تعیین ارزش زمانی کاربران شبکه راه در معابر قیمت گذاری شده شهری

بابک میربهاء، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمود صفارزاده(مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سید احسان سید ابریشمی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سعید شرافتی پور، کارشناس ارشد، پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران
E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

دریافت: ۹۱/۱۰/۱ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۶

چکیده

در اقتصاد حمل و نقل برای محاسبه فواید ناشی از کاهش زمان سفر استفاده‌کنندگان ، نیاز به تعیین ارزش زمانی آنهاست که این مقدار به صورت نرخ حاشیه‌ای جایگزینی زمان سفر به ازای پول در تابع عملکرد یک راننده تعریف می‌شود. در مدل‌های سنتی ارزش زمانی، به نرخ دستمزد افراد توجه شده و به سایر پارامترهای مرتبط با زمان، شخص و سفر کمتر توجه گردیده است. بنابراین در مدل پیشنهادی برای محاسبه ارزش زمانی از یک رویکرد تحلیلی استفاده شد که برخلاف مدل‌های سنتی ، فرض ثابت بودن مطلوبیت حاشیه‌ای پارامترها در آن درنظر گرفته نمی‌شود. در این مدل با رویکرد بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت کاربران و با درنظر گرفتن قیود زمانی و مالی نسبت به حل یک مدل برنامه‌ریزی اقدام و سپس با استفاده از ضرایب لاگرانژ محدودیت‌های تعریف شده برای تابع هدف، شرایط مرتبه اول تعیین شد. در ادامه از نظریه سیمون و بلوم جهت بسط تیلور پارامترها حول نقطه میانگین‌شان استفاده و در نهایت با مشتق‌گیری نسبت به زمان سفر و هزینه برنامه سفر، مقدار ارزش زمانی براساس پارامترهای تعریف شده محاسبه گردید. برای جمع‌آوری اطلاعات جهت پرداخت مدل از روش رجحان بیان شده در محدوده زوج و فرد شهر تهران استفاده شد. در حدود ۶۵۰ پرسشنامه شامل سناریوهای قیمت‌گذاری و سایر مشخصات موردنظر کاربران جمع‌آوری و از اطلاعات آنها برای پرداخت مدل محاسبه ارزش زمانی با استفاده از یک مدل لوجیت دوتایی اقدام شد که نشان می‌داد استفاده‌کنندگان در تقابل با شرایط مالی و زمانی هر گزینه، با چه احتمالی نسبت به انتخاب خودروی شخصی اقدام می‌کنند. در نهایت، مقدار ارزش زمانی افراد برابر با ۴۳۷۶۰ ریال برآورد و همچنین مشخص شد که در صورت وضع مقدار ارزش زمانی به عنوان عوارض ورود به محدوده در شرایط کنونی، حدود ۴۰ درصد از استفاده‌کنندگان وسیله شخصی را برای رفت و آمد انتخاب می کنند.

واژه‌های کلیدی: ارزش زمانی استفاده‌کنندگان، قیمت‌گذاری تراکم، روش رجحان بیان شده

۱. مقدمه

ارزیابی صحیح تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری در مورد زیرساختها و سیاستهای حمل و نقلی نیازمند تخمین دقیق ارزش زمانی[۱] (VOT) استفاده‌کنندگان است. هنشر[۲] (2001) بیان کرد که ٦٠ درصد منافع به دست آمده از سرمایه‌گذاری‌های مربوط به زیرساختهای حمل و نقلی می‌تواند شامل زمان صرفه‌جویی شده استفاده‌کنندگان باشد [Hensher, 2007] . تمام ارزیابی‌های انجام گرفته در این خصوص نتایجی را ارایه کردند که نشان‌دهنده اهمیت زیاد زمان سفر و کشسانی آن در برابر پارامترهایی مانند قیمت، سفر، زمان دسترسی و سایر متغیرهای تقاضا است [Alvarez et al, 2001]. علاوه بر این، در سیاستهای نوین مدیریت تقاضا که اخیراً در آن توجه بسیاری به قیمت‌گذاری تراکم شده است، وابستگی زیادی به مقدار ارزش زمانی استفاده‌کنندگان وجود دارد. در حقیقت ناهمگونی ارزش زمانی استفاده‌کنندگان است که موجب می‌شود تا در قالب قیمت‌گذاری تراکم و با تخصیص منابع در ساعت شلوغی به کاربرانی که برای منابع بیشترین ارزش را قائل هستند، منافع همگانی ارتقاء پیدا کند [Lam & Small, 2001]. به طور مثال، لو، مهمسانی و ژو با اتکاء بر مفهوم ارزش زمانی نسبت به ارزیابی راهبردهای قیمت‌گذاری دینامیک تراکم در معابر شهری اقدام کردند [Lu, Mahmassani and Xuo, 2008].

در اقتصاد خرد، ارزش زمانی سفر به صورت تمایل به پرداخت استفاده‌کننده برای صرفه‌جویی یک واحد زمان سفر تعریف می‌شود [Jiang and Takayuki, 2004]. به عبارت دیگر، ارزش زمانی را می‌توان به صورت نرخ حاشیه‌ای جایگزینی زمان سفر به ازای پول در تابع عملکرد یک راننده تعریف کرد [Brownstone, 2003].

در ارتباط با همین موضوع، اسمال [Small,1982] با بازنگری مطالعات متعددی، متوسط هزینه ارزش زمانی را برای سفرهای کاری در حدود ۵۰ درصد نرخ حقوق خالص افراد محاسبه کرد. با این حال، برونستون و اسمال [Brownstone and Small, 2005] بر بی‌اعتباری این ادعا پس از انجام مطالعات بیشتر اذعان و بیان کردند که مقدار ارزش زمانی در بین شهرهای صنعتی می‌تواند از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد نرخ ناخالص حقوق در واحد زمان متفاوت باشد. در این پژوهش از یک دیدگاه تحلیلی برای تعیین تابع مطلوبیت و همچنین مدل محاسبه ارزش زمانی استفاده‌کنندگان استفاده شده است. مدل پیشنهادی بر اساس ایده بلایک و کاز[۳] که نسبت به آزاد کردن فرض ثابت بودن تأثیر حاشیه‌ای پارامترها اقدام کردند، ارایه و در تابع مطلوبیت سعی بر آن شد تا برخلاف نظریه‌های سنتی اقتصادی تنها هزینه درنظر گرفته نشود و به نوعی، از سایر پارامترها در مدل مطلوبیت استفاده شود. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه به شیوه رجحان بیان شده[٤] (SP) جمع‌آوری شد و طی آن با طراحی سناریوهای مختلف انتخاب سفر برای استفاده‌کنندگان، هر پرسش‌شونده در ارتباط با مشخصات سفر، مشخصات اقتصادی – اجتماعی و همچنین نحوه انتخاب گزینه سفر در مواجهه با شرایط مختلف قیمت‌گذاری مورد پرسش قرار گرفت و از اطلاعات به دست آمده در کالیبراسیون مدل محاسبه ارزش زمانی سفر استفاده شد. در ادامه این پژوهش ابتدا به بررسی ادبیات و در دو بخش بعدی نسبت به تشریح فرآیند جمع‌آوری اطلاعات و ساخت مدل ارزش زمانی پرداخته شده است.

۲. ادبیات تحقیق

در نظریه سنتی رفتار استفاده‌کننده، مطلوبیت تنها بستگی به مصرف کالا دارد که به پارامتر درآمد محدود می‌گردد [Becker, 1965]. به عبارت دیگر، زمان در این نظریه درنظر گرفته نمی‌شود، زیرا هر زمان اضافی به صورت عاملی برای فعالیت اقتصادی با هدف به دست آوردن پول درنظر گرفته می‌شود. در دهه ۱۹٦۰، پیشرفت‌های اقتصادی و بهبودهای تولید باعث شد تا محدودیت زمانی اهمیت زیادی داشته باشد. در نتیجه از آنجا که دیگر زمان، فقط برای به دست آوردن پول درنظر گرفته نمی‌شود، تخصیص و اهمیت زمان‌های غیرکاری، مورد توجه قرار گرفت. بکر [٥] در سال ۱۹٦۵ تخصیص زمان را برای فعالیت‌های مختلف در فرآیند تحلیل رفتار مصرف‌کننده معرفی کرد و چارچوب اقتصاد خرد را برای محاسبه قیمت سایه[٦] صرفه‌جویی در زمان

ارایه کرد [Becker, 1965]. بجای تنها کالای مصرف شده در نظریه سنتی، بکر اذعان کرد که خانوارها کالای بازار و زمان را (برای آماده‌سازی و مصرف) با یکدیگر ترکیب می‌کنند تا نیازهای اولیه بیشتری را رفع کنند و این پارامترها به صورت مستقیم وارد تابع مطلوبیتشان می‌شود. به همین دلیل زمان تبدیل به یک ورودی ضروری برای تابع مطلوبیت شد و محدودیت زمانی نیز علاوه بر محدودیت درآمدی معرفی شد. در نظریه بکر این امکان وجود داشت که زمان با تخصیص کمتر به مصرف (و تخصیص بیشتر به کار) تبدیل به پول شود. بنابراین، اولین مفهوم ارزش زمانی این بود که مصرف دارای یک هزینه زمانی عدم به دست‌آوردن پول است. این مفهوم تبدیل به اساس پیدایش دیدگاه نرخ دستمزد[۷] شد [Becker, 1965].

نوآوریهای بعدی توسط جانسون [۸] (۱۹٦٦) که زمان کاری را در تابع مطلوبیت معرفی کرد انجام شد. وی توضیح داد دلیل اینکه ارزش زمانهای غیرکاری برابر با نرخ دستمزد درنظر گرفته می‌شود، وجود نداشتن زمان کاری در تابع مطلوبیت است. در نظریه بکر، تنها زمانهای غیرکاری و کالا در مطلوبیت‌های تولید درنظر گرفته می‌شد. جانسون تأکید کرد که علاوه بر درنظر گرفتن زمان کاری در تابع مطلوبیت، ارزش زمان غیرکاری نیز باید به صورت مجموع نرخ دستمزد و ارزش زمان کاری درنظر گرفته شود [Johnson, 1966].

اوورت[۹] (۱۹٦۹) اقدام مشابهی را برای درنظر گرفتن زمان سفر انجام داد. قبل از اوورت زمان به دو صورت زمانهای کاری و غیرکاری درنظر گرفته می‌شد. در حقیقت هیچ تفاوتی بین فعالیت‌های غیرکاری لحاظ نمی‌گردید. بنابراین، ارزش زمانی صرفه‌جویی شده در سفرها برابر با ارزش زمانهای غیرکاری درنظر گرفته می‌شد. وی اذعان کرد که زمان سفر باید به عنوان متغیری در تابع مطلوبیت در شرایطی که سفر به خودی خود مطلوبیت ایجاد می‌کند (به طور مثال دیر یا زود رسیدن به محل کار)، درنظر گرفته شود [Oort, 1969].

دسپراپا [۱۰](۱۹۷۱) نشان داد که ارزش زمانی در فعالیت‌های مختلف لزوماً برابر نرخ دستمزد نیست. در حقیقت وی برای اولین بار از مفهوم ارزش زمانی در فعالیتهای مختلف استفاده کرد. ایده اصلی وی این بود که زمان و کالا بجای اینکه جایگزین هم باشند، درحقیقت مکمل یکدیگر هستند. بنابراین، علاوه بر محدودیت‌های مربوط به منابع زمان و درآمد، مجموعه‌ای از محدودیت‌های مربوط به مصرف زمان برای هر فعالیت معرفی شد. محدودیت مصرف زمان نشان‌دهنده ارتباط زمان و کالاها بود که مصرف کالاهای ارایه شده نیازمند تخصیص حداقل زمانی هستند[De Serpa, 1971].

در همان زمان، ددونا[۱۱] (۱۹۷۲) سطحی را که مدل رفتار مصرف‌کننده می‌تواند منجر به فهم تصمیمات سفر شود مورد آزمایش قرار داد. در مدل او، مطلوبیت نه تنها مربوط به سطح فعالیت می‌شود، بلکه به ارضای شرایط حاضر نیز مربوط است[De Donea,1972].

ویکری[۱۲] (۱۹٦۹) در خصوص تأثیر رسیدن به مقصد در زمان مطلوب در شرایط تراکم ترافیک بحث کرد. او ارزشهای زمانی مختلفی را برای رسیدن به محل کار، قبل و بعد از زمان آغاز سفر مطلوب، درنظر گرفت. اسمال[۱۳] (۱۹۸۲) در ارتباط با احتمال برنامه‌ریزی مجدد فعالیت‌ها در قالب سفرهای روزانه بحث کرد. زمان آغاز سفر به صورت متغیری که بر مطلوبیت، زمان سفر و هزینه تأثیرگذار است، معرفی شد. نتایج نشان داد که ارزش زمانی به برنامه کاری افراد بستگی دارد [Small, 1982; Bates et al, 2001] .

ایوانس[۱٤] در سال ۱۹۷۲ ارتباط بین زمان و کالا را در محدودیت درآمد با معرفی هزینه مستقیم به ازای هر ساعت مصرف شده در فعالیت مربوطه منعکس کرد[Evans, 1972]. گرنوا[۱۵] (۱۹۸٦) تغییرات مصرف کالا را بر اساس جایگزینی سفر با سایر فعالیت‌ها در اقتصاد خانوار مورد آزمایش قرار داد. او با درنظر گرفتن زمان کار در تابع مطلوبیت نتیجه گرفت که ارزش زمانی وابسته به متغیرهای وابسته به کار و نرخ حاشیه‌ای دستمزد است [Gronau, 1972].

دیاز[۱٦] (۲۰۰۳) یک محدودیت زمانی حداکثر را با توجه به مصرف کالا، علاوه بر حداقل ملزومات زمانی، تعریف کرد. چارچوب وی هر دو مدل دسرپا و اوانس را ترکیب کرده و به صورت کامل

جدول۱. مروری بر روشها و نتایج تعیین ارزش زمانی در مطالعات گذشته

نام محقق	مدل مورد استفاده	VOT (دلار به ازای هر ساعت)
لورنت[۱۸] (۱۹۹۸)	RP و لوجیت دوتایی	۱۲
قوش[۱۹] (۲۰۰۰)	RP و لوجیت شرطی	۲۲
سولیوان[۲۰] (۲۰۰۰)	RP و لوجیت چندجمله‌ای	۱۶
اسمال و سولیوان (۲۰۰۱)	RP و لوجیت چندجمله‌ای	۱۶
مرتضوی و هولکترانتز[۲۱] (۲۰۰۱)	SP و پروبیت	۶/۴۳
اسمال و برون استون (۲۰۰۵)	SP و لوجیت	۲۰
اوزبای و توزل[۲۲] (۲۰۰۸)	SP و لوجیت	۱۷

روابط بین کالا و زمان فعالیتها را در نظر می‌گرفت [Diaz, 2003].

کونو و موریسیگی[۱۷] (۲۰۰٤) ارزش زمانی را با توجه به چندین پارامتر برای تقاضای سفرهای شخصی با هدف خرید محاسبه کردند. تابع مطلوبیت شامل زمان غیرکاری، کالاهایی که برای خرید نیازمند سفر هستند و سایر کالاها بود. در مدل ارایه شده، فرض بر این بود که مصرف‌کننده مطلوبیت خود را تحت محدودیت‌های درآمدی و زمانی حداکثر می‌کند [Kono, and Morisugi, 2004].

آلوارز و همکارانش نسبت به تعیین ارزش زمانی در شبکه راه‌های موازی اقدام کردند. آنها از روش رجحان بیان شده برای بررسی تأثیر قیمت‌گذاری بر انتخاب مسیر افراد از یک آزادراه به یک مسیر فرعی استفاده نمودند[Alvarez et al, 2007]. آبرانتس و واردمن نسبت به بررسی زمان سفر در شهر لوزان اقدام کردند. آنها دریافتند که الاستیسیته ارزش زمانی نسبت به تولید ناخالص ملی بسیار قابل توجه و در حدود ۰/۹ بوده است[Abrantes and Wardman, 2011].

فوسگراو و کارلستروم نسبت به تعیین ارزش زمانی قابلیت اتکای سفر اقدام کردند. آنها تابع مطلوبیت کاربران را بر مبنای قابلیت برنامه‌ریزی مسیر درنظر گرفتند و نشان دادند که امید مطلوبیت با متوسط و انحراف معیار زمان سفر رابطه خطی دارند[Fosgerau and Karlstom, 2010].

فوسگراو و انگلسون نسبت به بررسی تغییرات ارزش زمانی در بین کاربران مختلف اقدام کردند. نتایج نشان داد که میزان ریسک‌پذیری کاربران در انتخاب گزینه‌های سفر در ارزش زمانی آنها تأثیرگذار است[Fosgerau and Engelson, 2012].

در همین خصوص، مطالعات متعدد دیگری در ارتباط با تعیین ارزش زمانی به انجام رسیده است که نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از مدلهای انتخاب گسسته برای تعیین ارزش زمانی بسیار متداول است [Ghosh, 2000; Sulivan, 2000; Small and Sulivan, 2001; Brownston et al, 2003; Crilio and Axhausten, 2006; Hess et al, 2005]. در این ارتباط، جدول (۱) نشان‌دهنده خلاصه برخی از مطالعات در ارتباط با نحوه جمع‌آوری اطلاعات و مقدار ارزش زمانی در برخی از تحقیقات مشابه است.

همچنین، مطالعات نشان می‌دهند که جمع‌آوری اطلاعات به صورت رجحان بیان شده (SP)[۲۳] کاملاً متداول بوده است. پژوهشگرانی همچون فوسگراد و انگلسون [Fosgerau and Engelson, 2011] ، جنلیوس و همکاران [Jenelius et al. 2011]، جنلیوس[Jenelius, 2011] وتسونگ و ورهوف [Tseng and Verhoef, 2008] با طراحی سناریوهای فرضی و جمع‌آوری اطلاعات به صورت رجحان بیان شده به تحقیق در ارتباط با تأثیر شرایط برنامه‌ریزی سفر و وابستگی آن با زمان روز پرداختند. تسونگ و ورهوف (۲۰۰۸) با استفاده از اطلاعات رجحان بیان شده به این نتیجه رسیدند که

ارزش زمانی در ساعات مختلف روز متفاوت است. به طور کلی، در ارتباط با مطالعات و پژوهش‌های پیشین نتایج زیر را می‌توان بیان کرد:

– مدلهای انتخاب گسسته به صورت گسترده‌ای برای محاسبه ارزش زمانی بکار گرفته شده‌اند.

– جمع‌آوری اطلاعات به صورت رجحان بیان شده با هدف تعیین ارزش زمانی قابل قبول است.

– در توابع مطلوبیت استفاده‌کنندگان در جهت محاسبه ارزش زمانی کمتر به تأثیر حاشیه‌ای سایر پارامترها، بجز پارامترهای مرتبط با زمان و هزینه توجه شده است.

– کمتر مطالعاتی در کشورهای در حال توسعه به انجام رسیده است.

در ادامه فرآیند مدلسازی و جمع‌آوری اطلاعات تبیین می شود.

۳. مدل‌سازی

در این بخش فرآیند محاسبه ارزش زمانی استفاده‌کنندگان راه تشریح می‌شود. در جهت محاسبه ارزش زمانی افراد، نیاز به تعیین تابع مطلوبیت برای انجام سفر با در نظرگرفتن ارزش زمان آنها است. بنابراین با رویکرد بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت کاربران و با درنظر گرفتن قیود زمانی و مالی نسبت به حل یک مدل برنامه‌ریزی اقدام شده و بر اساس متغیرهای تعیین شده، مقدار ارزش زمانی تعیین می‌شود. در جهت پرداخت مدل برنامه‌ریزی، لازم است مدل انتخاب گسسته‌ای که متغیر وابسته آن بکارگیری وسیله نقلیه شخصی برای ورود به محدوده قیمت‌گذاری شده را نشان می‌دهند بر اساس اطلاعات رجحان بیان شده ساخته و پرداخت شود. نتایج به دست آمده از مدل انتخاب گسسته برای تعیین ضرایب مربوط به ارزش زمانی بکار گرفته شد. در ادامه به تشریح هر یک از مراحل مدلسازی پرداخته می‌شود.

۳-۱ صورت‌بندی مدل برنامه‌ریزی

از دیدگاه ریاضی، رابطه بین عوارض و ارزش زمانی سفر می‌تواند در قالب اجزای هزینه سفر نشان داده شود. در ساده‌ترین حالت، تابع هزینه راننده برای دو نوع گزینه سفر (که می‌تواند شامل دو مسیر، دو شیوه حمل و نقل و یا بازه‌های زمانی i و j باشد) می‌تواند به صورت روابط (۱) و (۲) بیان شود [Ozbay and Yanmaz-Tuzel, 2008]:

$$Cost_i = p_i + VOT * (t_i + d_i) + \varepsilon \quad (۱)$$

$$Cost_j = p_j + VOT * (t_j + d_j) + \varepsilon \quad (۲)$$

که در آن:

$Cost_i$: هزینه گزینه سفر i،

p_i:هزینه‌های خارجی گزینه سفر i (مانند عوارض)،

VOT: ارزش زمانی افراد،

t_i:زمان سفر گزینه i ،

d_i: تاخیر گزینه سفر i،

ε: سایر هزینه‌ها،

همان طور که در روابط بالا نشان داده شده، هزینه‌های انتخاب سفر کاربر (انتخاب مسیر، شیوه حمل و نقل یا دوره زمانی مشخص برای انجام سفر) می‌تواند به سه جزء مشخص تقسیم‌بندی شود. اولین بخش شامل هزینه‌های کلی(Pi) و هزینه‌های مستقیم خارج از جیب است(مانند عوارض). بخش دوم به عدم مطلوبیت ناشی از زمان سفر می‌پردازد که خود می‌تواند در قالب سه بخش زمان سفر، تأخیر و ارزش پولی زمان سفر بیان شود. در نهایت، بخش سوم هزینه‌های مشاهده نشده‌ای است که در حین سفر محقق می‌شود. بر اساس فرمولاسیون کلی نشان داده شده در روابط (۱) و (۲)، ارتباط بین زمان سفر و عوارض را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\Delta Cost = 0 \Rightarrow VOT = \frac{\Delta P}{(t_i + d_i) - (t_j + d_j)} \quad (۳)$$

که در آن ΔP تفاوت بین قیمت گزینه‌های i و j ، t_i و t_j زمان سفر گزینه‌های i و j ، d_i و d_j تاخیر گزینه‌های i و j و

VOT نشان‌دهنده ارزش زمانی استفاده‌کنندگان است. همان طور که مشاهده می‌شود، در اینجا فرض بر ثابت بودن تأثیر حاشیه‌ای سایر پارامترهاست و تنها با توجه به پارامترهای زمان و هزینه نسبت به تعیین ارزش زمانی اقدام می‌شود که این مهم باعث درنظر نگرفتن تأثیر حاشیه‌ای سایر پارامترها می‌گردد.

بنابراین برای تعیین ارزش زمانی کاربران لازم است تا تابع مطلوبیت آنها برای انتخاب برنامه سفر بیشینه شود. برنامه سفر شامل مجموعه‌ای از انتخاب‌های وسایل نقلیه برای انجام سفر است که کاربر را از مبداء به مقصد هدایت می‌کند. به طور مثال، کاربر ممکن است از مبداء با تاکسی به ایستگاه اتوبوس و پس از آن با استفاده از اتوبوس به مقصد برسد که مجموع این انتخاب‌ها را برنامه سفر گویند. برای تعیین تابع مطلوبیت کاربر می‌توان رابطه زیر را در نظر گرفت که در آن هدف، بیشینه کردن مطلوبیت کاربر در انتخاب برنامه سفر است. با توجه به اینکه برای محاسبه ارزش زمانی تنها پارامترهای هزینه و زمان سفر مورد نیاز است، در این قسمت از وارد کردن سایر پارامترها در قالب تابع مطلوبیت صرفنظر شده است.

$$\underset{i}{Max}\ V_j(t_i, TL_j, c_i, I_j) \qquad (٤)$$

$$St:$$

$$\sum_{i=1}^{n} b_i c_i \le I_j \qquad (٥)$$

$$\sum_{i=1}^{n} b_i t_i \le TL_j \qquad (٦)$$

$$b_i = 0,1 \qquad (٧)$$

که در آن:

t_i : زمان سفر متوسط برای برنامه سفر i (دقیقه)،

TL_j : سقف زمانی در دسترس برای کاربر j (دقیقه)،

c_i : هزینه انتخاب برنامه سفر i (ریال)،

I_j : سقف درآمد کاربر j (ریال)،

b_i : متغیر دوتایی (صفر و یک) که برابر است با ۱ اگر برنامه سفر i انتخاب شود و در غیر این صورت برابر ۰ است،

در روابط بالا، t_i نشان‌دهنده متوسط زمان سفر برنامه سفر i است. با توجه به وابستگی زمان سفر به شرایط تراکم در مسیرها و همچنین امکان بکارگیری مسیرهای مختلف برای یک مبداء و مقصد مشخص، از متوسط زمان سفر استفاده شده است. متغیر TL_j حداکثر سقف زمانی است که از زمان آغاز حرکت تا رسیدن به مقصد به نحوی در اختیار افراد قرار دارد که موجب هر گونه زیان یا عدم مطلوبیت برای افراد نشود. به طور مثال، افراد برای رسیدن به محل کار تا یک زمان مشخص (مثلاً ساعت ۸ صبح) فرصت دارند و ورود پس از آن ساعت موجب احتساب جریمه دیرکرد برای آنها می‌شود. پس اگر فرض شود فردی ساعت ٦ صبح به سمت محل کار خود عزیمت می‌کند، مقدار سقف زمانی وی برای رسیدن به محل کار ۲ ساعت است. همچنین متغیر c_i نشان‌دهنده هزینه برنامه سفر i است که شامل هزینه‌های سوخت، پارکینگ و هزینه‌های جانبی برای خودروی شخصی و کرایه برای سایر هزینه‌ها است. درنهایت متغیر I_j نشان‌دهنده حداکثر درآمد ماهیانه فرد برحسب ریال است. همان طور که توضیح داده شد، تابع هدف نشان‌دهنده بیشینه کردن مطلوبیت انتخاب نوع سفر برای کاربر است.

در ارتباط با محدودیتها، محدودیت اول (رابطه ۵) نشان‌دهنده این مهم است که مجموع هزینه انتخاب سفرهای کاربر از سطح درآمد وی کمتر خواهد بود و محدودیت دوم(رابطه ٦) نشان‌دهنده همین فرآیند در ارتباط با زمان سفر گزینه‌های انتخاب سفر و سقف زمانی مورد نظر استفاده‌کننده است.

۳-۲ روش حل مدل

در معادله غیر خطی نشان داده شده (روابط ٤ الی ۷)، با تعریف ضرایب لاگرانژ λ و ϑ برای محدودیت‌های (۵) و (٦) می‌توان شرایط کوهن - تاکر[٢٤] مسئله بهینه‌سازی بالا را به صورت زیر تعیین کرد که در آن ضرایب لاگرانژ به ترتیب نشان‌دهنده مطلوبیت حاشیه‌ای به دست آوردن یک واحد زمان و یک واحد هزینه است.

(۸)

$$L = V_{ij} + \lambda(\sum_{i=1}^{n} b_i c_i - I_j) + \vartheta(\sum_{i=1}^{n} b_i t_i - TL_j)$$

$$\lambda(\sum_{i=1}^{n} b_i c_i - I_j) = 0 \qquad (۹)$$

$$\vartheta(\sum_{i=1}^{n} b_i t_i - TL_j) = 0 \qquad (۱۰)$$

برای حل دستگاه معادلات شامل روابط (۸) تا (۱۰)، از مفاهیم نظریه پوش[۲۵] [Kanemoto, 1980] استفاده شده است.

بر اساس نظریه پوش، تأثیر تغییر یک پارامتر بر مقدار بهینه مقدار یک تابع هدف، برابر با مشتق جزئی تابع هدف نسبت به آن پارامتر است. نظریه پوش به نرخ تغییرات بیشینه یا کمینه مقدار تابع هدف بر اساس تغییرات پارامترهای مربوطه میپردازد. به طور مثال، تغییر در بیشینه سطح تابع مطلوبیت یک فرد تحت تأثیر تغییری در درآمد، موجب ایجاد تغییر در حداقل هزینه تولید متأثر از آن تغییر در سطح محصولات دارد. در ادامه و در جهت روشن شدن مفهوم نظریه پوش نسبت به بیان ریاضی آن اقدام شده است.

الف- نظریه پوش

مسئله بیشینه‌سازی تابع هدف $f(x,b)$ را با محدودیت $g_j(x,b)=0, j=1,2,....,m$ و با توجه به بردارهای $x=(x_1,x_2,....,x_n)$ و $b=(b_1,b_2,....,b_n)$ درنظر بگیرید. اگر $x^*(b)$ پاسخ بهینه برای این مسئله باشد، آنگاه ضرایب لاگرانژی به صورت $\lambda=(\lambda_1,\lambda_2,....,\lambda_n)$ وجود خواهند داشت که $x^*(b)$ معادله لاگرانژین زیر را بیشینه کند[Kanemoto, 1980]. نظریه پوش رابطه بین مقدار حداکثر تابع هدف $f^*(b)=f(x^*(b),b)$ و لاگرانژ آن $\phi(x,\lambda,b)$ با فرض k پارامتر را بیان میکند. یعنی:

$$\partial f^*(b)/\partial b_k = \partial\phi(x,\lambda,b)/\partial b_k \qquad k=1,2,....,q \quad (۱۱)$$

با بکارگیری نتایج این نظریه در رابطه (٤) می‌توان ارتباط بین تابع مطلوبیت و ضرایب لاگرانژ آن را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial V_{ij}}{\partial TL_j} = \vartheta \qquad (۱۲)$$

$$\frac{\partial V_{ij}}{\partial I_j} = \lambda, \qquad (۱۳)$$

$$\frac{\partial V_{ij}}{\partial c_i} = -\lambda b_i \qquad (۱٤)$$

$$\frac{\partial V_{ij}}{\partial t_i} = -\vartheta b_i \qquad (۱۵)$$

با توجه به روابط (۱۲) الی (۱٤)، تابع دیفرانسیل رابطه (٤) را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$dV_{ij} = \frac{\partial V_{ij}}{\partial TL_j} dTL_j + \frac{\partial V_{ij}}{\partial I_j} dI_j + \frac{\partial V_{ij}}{\partial c_i} dc_i + \frac{\partial V_{ij}}{\partial t_i} dt_i \qquad (۱٦)$$

با جایگزینی روابط (۱۲) الی (۱۵) در رابطه (۱٦) می‌توان نوشت:

$$dV_{ij} = \vartheta dTL_j + \lambda dI_j - \lambda b_i dc_i - \vartheta b_i dt_i = \vartheta(dTL_j - b_i dt_i) + \lambda(dI_j - b_i dc_i) \qquad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷) می‌توان با مشتق‌گیری مستقیم نسبت به پارامترها، تابع مطلوبیت را تعیین کرد و با مشتق‌گیری نسبت به زمان و هزینه، مقدار ارزش زمانی را تعیین کرد. با این حال، باید دقت کرد که در این شرایط فرض بر مطلوبیت حاشیه‌ای ثابت برای سایر پارامترها خواهد بود که منجر به بی‌دقتی در تعیین ارزش زمانی به دلیل چشم پوشی از تأثیر پارامترهای غیر مستقیم خواهد شد [Blayac and Causse, 2001]. بنابراین، در این پژوهش آزادسازی فرض ثابت بودن تأثیر حاشیه‌ای بر تابع مطلوبیت مورد نظر بوده است.

با بکارگیری نظریه سیمون و بلوم [Simon and Blume, 1994] که شرایط مرحله اول به دست آمده از نظریه پوش را خلاصه‌ای از بسط تیلور با چندین پارامتر تعیین کردند، این امکان وجود دارد که بتوان بسط تیلور را حول نقطه میانگین پارامترهای حاشیه‌ای مطلوبیت ($\overline{TL_j}$ ، $\overline{I}$ ، $\overline{c_i}$ ، $\overline{t_i}$) تعیین کرد. در این شرایط فرض بر آن است که هر پارامتر تابع دیفرانسیل تابع

مطلوبیت با تمام متغیرهای مربوط به تابع مطلوبیت تغییر خواهد کرد. بنابراین، با بکارگیری این نظریه رابطه ۱۷ را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

(۱۸)

$$dV_{ij} = (\overline{t_0} + \beta(TL_j - t_i) + \eta(I_j - c_i))(dTL_j - dt_i) + (\overline{k_0} + \eta(TL_j - t_i) + (I_j - c_i))(dI_j - dc_i)$$

با داشتن دیفرانسیل تابع مطلوبیت و انتگرال‌گیری از طرفین ، میتوان ارزش زمانی کاربران (VOT) را از تقسیم نسبت تغییرات حاشیه‌ای تابع مطلوبیت به زمان بر نسبت تغییرات حاشیه‌ای تابع مطلوبیت به هزینه به صورت رابطه (۱۹) محاسبه کرد:

(۱۹)

$$VOT = \frac{\frac{\partial V}{\partial t_i}}{\frac{\partial V}{\partial c_i}} = \frac{\beta(t_i - 2TL_j) + (c_i - I_j)(2\eta) - \overline{t_0}}{\mu(c_i - 2I_j) + (t_i - TL_j)(2\eta) - k_0}$$

در جهت پرداخت مدل ارایه شده در رابطه (۱۹) لازم است تابع مطلوبیت انتخاب برنامه سفر استفاده‌کننده، تشکیل و با تعیین مدل انتخاب استفاده‌کننده، اقدام به تعیین ضرایب مربوطه شود. در این خصوص، در بخش ٤ نسبت به تشریح فرآیند جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و همچنین روند پرداخت مدل توضیحات لازم ارایه شده است.

٦. برداشت اطلاعات

اطلاعات مربوط به مشخصه‌های جوامع، پیوسته مورد نیاز سیاستمداران، برنامه‌ریزان، مهندسان و مدیران است. به دلایل مربوط به وقت و هزینه، این اطلاعات غالباً با استفاده از آمارگیری از یک نمونه تصادفی از جامعه به دست می‌آیند. جامعه مورد نظر در این مطالعه، کلیه مسافران عازم به سوی محدوده طرح ترافیک و زوج و فرد هستند. در این فرآیند جمع‌آوری اطلاعات، مشخصات اقتصادی- اجتماعی افراد، مشخصات برنامه سفر(گزینه مورد انتخاب) و مشخصات سفر مدنظر قرار گرفتند.

الف- تعیین تعداد نمونه

یکی از مهم ترین مسائل در برداشت اطلاعات، تعیین اندازه نمونه مورد نیاز است .اولین قدم در تعیین اندازه نمونه، مشخص کردن سطح قابلیت اعتماد برای برآوردهای موردنظر است. به طور کلی، هرچه نمونه بزرگ تر باشد قابلیت اعتماد برآوردهای به دست آمده بیشتر خواهد بود.

در پژوهش پیش‌روی از روش نمونه گیری تصادفی ساده برای برآورد حجم نمونه استفاده شده است. رابطه مورد استفاده به قرار زیر است [Hensher, 2000]:

$$n \geq \frac{Z^2(1 - P_y)}{\varepsilon^2 P_y} \qquad (۲۰)$$

که در آن:

P_y : سهمی از جامعه که به ویژگی مورد نظر مبتلا است.

N: جمعیت جامعه آماری

Z : ضریب قابلیت اطمینان

ε : خطای نسبی

رابطه (۲۰)، عبارت است از ضریب قابلیت اطمینان، که بر فرض نرمال بودن توزیع اطلاعات نمونه‌گیری استوار است. در این پژوهش با ٪۹۵ اطمینان و بر اساس اطلاعات الگوی سفر شهروندان تهرانی و با توجه به سهم انواع وسایل نقلیه قابل استفاده جهت انجام سفرهای درون شهری شهر تهران (در حدود ٤۰ درصد)، حداقل مشاهدات لازم جهت ساخت مدلها معادل ۲۳۰٤ به دست می‌آید.

$$n \geq \frac{Z^2(1-P_y)}{\varepsilon^2 P_y} = ۲۳۰۴ \qquad (۲۱)$$

در این پژوهش نسبت به تکمیل ٦۵۰ پرسشنامه اقدام شد که هر یک شامل ٤ سناریوی قیمت‌گذاری بودند. پس از بررسی‌های اولیه و حذف پرسشنامه‌های ناقص و غیر قابل استفاده، درحدود ۵۸۳ پرسشنامه قابل استفاده تشخیص داده شد که از داده‌های آن در مدلسازی استفاده گردید.

علاوه بر تعداد پرسشنامه‌ها، لازم بود تا الگوی فراوانی پرسشنامه‌های پرشده با الگوی اهداف سفر شهر تهران منطبق باشد. بر اساس اطلاعات حاصل از الگوی سفر تهران، سهم

هریک از اهداف سفر جذب شده به محدوده طرح ترافیک تهران در جدول(۲) ارایه شده است[Tehran Traffic and Transportation Comprehensive Studies Company, 2006]. بر این اساس، سهم اهداف سفری که به صورت تصادفی توسط پرسشنامه‌ها پر شده بود، با الگوی اهداف سفر شهر تهران مقایسه شد که نتایج نشان از انطباق نسبی این نسبتها است.

ب- طراحی پرسشنامه

از آنجا که سیاست قیمت‌گذاری معابر تهران در شرایط موجود اعمال نمی شود، اطلاعات مورد نیاز از طریق طراحی پرسشنامه در قالب رجحان بیان شده گردآوری شد. در این پرسشنامه با ارایه سطوح مختلف قیمت ورود به محدوده، نظر فرد مبنی بر حد آستانه قیمت ورود به محدوده که در آن، فرد تصمیم به عدم انجام سفر و یا استفاده از مد جایگزین خودروی شخصی برای ورود به محدوده زوج و فرد و طرح ترافیک خواهد کرد، مورد پرسش قرار گرفت. بخشهای اصلی پرسشنامه بکاررفته عبارت بودند از:

- اطلاعات مرتبط با ویژگیهای فردی، اجتماعی و اقتصادی افراد،
- اطلاعات مرتبط با سفر و شیوه حمل و نقل افراد، و
- اطلاعات مرتبط با پاسخ افراد به سیاست‌گذاریها و تغییرات موردنظر مطالعه‌کننده.

از آنجا که هدف، به دست آوردن آستانه تغییر رفتار کاربران در مقابل قیمت‌گذاری بود، لازم بود تا حداقل ۲ سناریو قیمت‌گذاری مطرح شود. از طرفی بهتر بود تا تعداد سناریوها از ٤ سناریو بیشتر نشود تا مخاطب دچار خستگی و فراموشی سناریوهای قبلی نگردد. همچنین برای قیمت‌گذاری آستانه پایین و بالا به همراه یک قیمت‌گذاری میانه انتخاب شد تا بتوان قضاوت مناسبی درمورد تغییر رفتار مردم به دست آورد. این آستانه‌ها با استفاده از یک پروژه پایلوت تعیین شد که طی آن میزان حساسیت افراد به قیمت‌گذاری محدوده، تعیین و سپس محدوده‌های قیمت‌گذاری بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد. قیمت‌گذاری آستانه پایین به گونه‌ای انتخاب شد که اکثر افراد دارای خودروی شخصی امکان پرداخت آن را داشته باشند. قیمت‌گذاری آستانه بالا نیز به گونه‌ای انتخاب شد که هیچ‌یک از پرسش‌شوندگان تقریباً تمایلی به پرداخت آن هزینه نداشته باشند و یا درصد بسیار کمی از افراد، حاضر به پرداخت آن باشند. سناریوهای پیشنهادی قیمت‌گذاری در جدول (۳) نشان داده شده است.

بر همین اساس سوالاتی طراحی شد و کاربر بر اساس هزینه‌های تعیین شده برای ورود به محدوده، نسبت به انتخاب آنها بر اساس حد آستانه تمایل خود به پرداخت اقدام می‌کرد. در ارتباط با گزینه‌های انتخاب سفر توسط کاربر، برای هر پرسش‌شونده یادآوری می‌شد که هر کدام از انتخاب سفرها از هزینه‌های زیر

جدول۲. سهم اهداف سفر جذب شده به محدوده طرح ترافیک

ردیف	هدف سفر	سهم از سفرهای تهران* (درصد)	تعداد پرسشنامه تکمیل شده	سهم از پرسشنامههای پرشده(درصد)
۱	کار	٦۷	٤۳۰	٦٦/۱
۲	خرید	۱۳	۹۲	۱٤/۱
۳	تفریح	۱۱	۷٦	۱۱/٦
٤	تحصیل	۹	۵۲	۸/۳
جمع		۱۰۰	٦۵۰	۱۰۰

*مرجع. مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، ۱۳۸۵

جدول۳. قیمت‌گذاری ارایه شده براساس ساعات اوج و غیر اوج(تومان)

ساعت سناریو	ساعات اوج صبح (۱۰:۰۰-۶:۳۰)	ساعات غیراوج (۱۶:۰۰-۱۰:۰۰)	ساعات اوج عصر (۱۷:۰۰-۱۶:۰۰)
سناریو اول	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰
سناریو دوم	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰
سناریو سوم	۶۰۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰
سناریو چهارم	۹۰۰۰	۷۰۰۰	۹۰۰۰

تشکیل شده‌اند:

۱ – استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی (اتوبوس و مترو): در این حالت استفاده کننده در مواجهه با قیمت تعیین شده تصمیم به استفاده از حمل و نقل عمومی می‌گیرد. این حالت می‌تواند بر اساس نوع دسترسی به حمل و نقل عمومی شامل هزینه‌های زیر باشد:

* بلیط اتوبوس یا مترو (در شرایطی که دسترسی به صورت پیاده انجام شود)
* بلیط اتوبوس یا مترو به همراه هزینه تاکسی (در شرایطی که دسترسی از/به ایستگاه حمل و نقل عمومی از طریق تاکسی انجام گیرد)
* بلیط اتوبوس یا مترو به همراه هزینه استفاده از خودروی شخصی (در شرایطی که دسترسی از/به ایستگاه حمل و نقل عمومی از طریق خودروی شخصی انجام گیرد)

۲ – استفاده از سواری شخصی: در این حالت استفاده کننده در مواجهه با قیمت تعیین شده همچنان تصمیم به استفاده از خودروی شخصی خود می‌گیرد. این حالت می‌تواند شامل هزینه‌های زیر باشد:

* هزینه پارکینگ
* هزینه سوخت
* هزینه عوارض تعیین شده

۳ – استفاده از تاکسی یا آژانس: در این حالت استفاده کننده در مواجهه با قیمت تعیین شده، تصمیم به استفاده از تاکسی یا آژانس می‌گیرد. در این حالت، هزینه‌ها تنها شامل کرایه استفاده خواهد بود.

پ– پایایی پرسشنامه‌ها

منظور از پایایی پرسشنامه این است که اگر صفتهای مورد سنجش با همان روش برداشت اطلاعات و تحت شرایط مشابه و در زمانهای مختلف مجدداً اندازه‌گیری شوند، نتایج تقریبا یکسان حاصل شود. آلفای کرونباخ به طور کلی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود[Cronbach, 1951]:

(۲۲)

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{\sigma^2}\right) \quad \text{یا} \quad \frac{k\overline{C}}{\overline{V}+(k-1)\overline{C}}$$

که دراین روابط:

k : تعداد سوالات،

S_i^2: واریانس سوال i ام،

σ^2: واریانس مجموع کلی سوالات،

$\overline{C}$: میانگین کواریانس بین سوالات، و

$\overline{V}$: واریانس میانگین سوالات

بدیهی است هرقدر شاخص آلفای کرونباخ به ۱ نزدیک تر باشد، همبستگی درونی بین سوالات بیشتر و در نتیجه پرسشها همگن‌ترخواهند بود. ضریب کرونباخ برای سوالات پرسشنامه

۰/۵۵۳ است که بر اساس دسته‌بندی اشاره شده، قابل قبول محسوب می‌شود.

۵. پرداخت مدل ارزش زمانی

در مدلهای انتخاب سفر، فرض بر این است که فرد مسافر برای هر یک از گزینه‌های موجود مطلوبیتی درنظر می‌گیرد که این مطلوبیت تابعی از ویژگیهای گزینه و خصوصیات اقتصادی و اجتماعی آن فرد است. از این‌رو مدلهای احتمالی که احتمال انتخاب هر گزینه را براساس عوامل تأثیرگذار تعیین می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. مبنای مدلهای رفتاری، انتخاب از بین مجموعه تصمیم‌هایی(گزینه‌های مختلف) است که فرد مسافر با آن روبرو است. در این بخش مدلسازی رفتار کاربران در ارتباط با انتخاب برنامه سفر انجام شد. بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده، یک مدل انتخاب گسسته با توجه به پارامترهای اقتصادی – اجتماعی پرداخت و اعتبارسنجی شد. در ادامه جزییات مدلسازی در این پژوهش تشریح شده است.

۵ – ۱ مدلسازی و تفسیر نتایج

در جهت ساخت مدل، ابتدا نسبت به معرفی پارامترها اقدام می‌شود. متغیرهایی که در مدل تعیین ارزش زمانی افراد استفاده می‌شوند، بر دو نوع تقسیم‌بندی شده‌اند که عبارتند از: متغیرهای مربوط به سناریوهای قیمت‌گذاری و متغیرهای مربوط به مشخصات اقتصادی – اجتماعی. در جدول (٤)، به ترتیب متغیرهای مؤثر در مدل تعیین ارزش زمانی در محدوده زوج و فرد شهر تهران به همراه توضیح مختصری از آنها ارایه شده است. به منظور ساخت مدل باید اطلاعات حاصل از پرسشنامه که به پایگاه داده‌ها تبدیل شده است، پایش شود. منظور از پایش اطلاعات، فرم‌دهی به آنها برای تبیین متغیرهای مناسب در جهت ساخت مدل است. در این راستا، دو گونه از متغیرها (متغیرهای مستقیم و غیرمستقیم) مطرح هستند. متغیرهای مستقیم متغیرهایی هستند که بدون تغییر و به طور مستقیم از حاصل اطلاعات پرسشنامه هستند که از جمله آنها می‌توان از زمان سفر (بر حسب دقیقه) یا سن (بر حسب گروه سنی) نام برد. متغیرهای غیرمستقیم نتیجه بازسازی ساختاری متغیرهای پرسشنامه اند. برای مثال اهداف سفر به چند متغیر ساختگی تبدیل می‌شود که هریک نشان‌دهنده دارا بودن مدرکی برای یک نوع هدف سفر خاص در هر مشاهده است.

با چنین رویکردی متغیرهای زیادی در هر گروه از داده‌های محدوده طرح ترافیک و محدوده زوج– فرد به وجود می‌آید. به منظور تشخیص متغیرهای مناسب جهت مدلسازی، همبستگی میان متغیرها بررسی می‌شود. آشکار است که به دلیل ساخت چندین متغیر غیر مستقیم بر پایه یک متغیر مستقیم، همبستگی میان این متغیرها زیاد است و انتخاب مناسب ترین متغیر از طریق کنترل ضریب همبستگی با متغیر وابسته و سطح معناداری آن در مدل صورت می‌گیرد.

پس از بررسیهای انجام شده در خصوص اندرکنش همبستگی متغیرهای مستقل با یکدیگر و با متغیر وابسته، گروهی از متغیرها برای مدلسازی انتخاب شدند. اطلاعات جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار Nlogit 4 مورد تجزیه و تحلیل و مدلسازی قرار گرفت و پس از بررسی سطح معنی‌داری متغیرها، مدلهای مختلفی برای حداکثر میزان قابلیت پیش‌بینی انتخاب سفر کاربران ساخته شدند. فرآیند تحقیق به صورت تشکیل تابع مطلوبیت با فرض وجود کلیه متغیرها در تابع مطلوبیت و حذف متغیرهایی بود که بر اساس خروجیهای آماری معنی‌دار نبودند. پس از ساخت و تحلیل تعداد زیادی مدل، در نهایت جداول (۵) و (٦) نشان‌دهنده نتایج مدلهای انتخاب گسسته برنامه سفر بر اساس قیمت‌گذاری انجام شده است. جدول (۵) نشان‌دهنده نتایج ساخت مدل انتخاب گسسته بدون درنظر گرفتن عدد ثابت و جدول (٦) نشان‌دهنده نتایج برآورد مدل با استفاده از عدد ثابت است. متغیر وابسته در این مدلها یک متغیر دوتایی است که در ارتباط با انتخاب وسیله نقلیه شخصی با توجه به قیمت‌گذاریهای انجام شده برابر ۱ (y=۱) و در صورت عدم انتخاب وسیله نقلیه شخصی ۰ (y=۰) انتخاب می‌شود.

متغیرهای مستقل I، TL، C، OCU، t به عنوان عوامل اصلی

جدول٤. متغیرهای مؤثر بر مدلهای انتخاب تعیین ارزش زمانی

نام متغیر	شرح متغیر
PURD	متغیر ساختگی هدف سفر اجباری(برای هدف سفر تحصیل و کار، ۱ و در غیراینصورت صفر)
t	متوسط زمان سفراز مبدأ به مقصد (دقیقه)
TL	سقف زمانی افراد برای رسیدن به مقصد (دقیقه)
NP	تعداد سرنشین خودرو
EN	تعداد دفعات ورود به محدوده زوج و فرد
OPT	قیمت عوارض ورود به محدوده در ساعت غیر اوج (ریال)
PT	قیمت عوارض ورود به محدوده در ساعت اوج (ریال)
GEN	جنسیت، اگر زن باشد ۰ و اگر مرد باشد ۱
$JOB_{Employee}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد کارمند باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Manager}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد مدیر باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Buisness}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد کارمند باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Professor}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد استاد دانشگاه باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Student}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد دانشجو باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
JOB_{House}	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد خانه دار باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Retired}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد بازنشسته باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$JOB_{Workless}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد بیکار باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
JOB_{Other}	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر شغل فرد سایر شغلها باشد و برابر ۰ اگر دارای شغل دیگری باشد
$EDU_{undergrad}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر تحصیلات فرد زیر دیپلم یا دیپلم باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
EDU_{BS}	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر تحصیلات فرد فوق دیپلم یا لیسانس باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
EDU_{MS}	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر تحصیلات فرد فوق لیسانس یا پزشک عمومی باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
EDU_{PHD}	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر تحصیلات فرد دکترا یا پزشک باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
C	هزینه برنامه سفر انتخاب شده توسط کاربر (ریال)
HA	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر محل سکونت فرد در محدوده زوج و فرد باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
$VehCG_{low}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر گروه قیمتی خودرو بین ۱ تا ۹ میلیون باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
$VehCG_{medium}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر گروه قیمتی خودرو بین ۹ تا ۲۰ میلیون باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
$VehCG_{high}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر گروه قیمتی خودرو بین ۲۰ تا ٦۰ میلیون باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
$VehCG_{very\ high}$	متغیر ساختگی برابر با ۱ اگر گروه قیمتی خودرو بیش از ٦۰ میلیون باشد و برابر ۰ در غیر این صورت
VehN	تعداد اتومبیل خانواده
VehO	سرانه مالکیت خودرو(تعداد اتومبیل بر تعداد اعضای خانواده)
I	سطح درآمد ماهیانه افراد (ریال)
PER	متغیر ساختگی در صورت داشتن مجوز طرح ترافیک ۱ و در غیر اینصورت صفر
PN_{Odd}	متغیر ساختگی در صورت داشتن شماره پلاک فرد ۱ و در غیر اینصورت صفر
PN_{even}	متغیر ساختگی در صورت داشتن شماره پلاک زوج ۱ و در غیر اینصورت صفر
OCU	تعداد سرنشین خودرو

مدل تعیین شده‌اند و غالب آنها (بجز پارامتر T که در مدل اول در بازه اطمینان ۹۰ درصد معنی‌دار و در مدل دوم بی‌معنی است) در بازه اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار هستند. همچنین پارامتر ترکیبی زمان و هزینه سفر نیز با توجه به فرمولاسیون مقدار ارزش زمانی که به صورت رابطه (۱۹) بیان شد، در این مدل مدنظر قرار گرفت. در ارتباط با متغیر ترکیبی، ذکر این نکته حائز اهمیت است که با وجود همپوشانی این متغیر با متغیرهای مرتبط با زمان و درآمد، نتایج برآورد مدلهای مختلف نشان داد که بهترین ترکیب از دیدگاه توانایی مدل برای پیش‌بینی و همچنین سایر آزمونهای اعتبارسنجی، در شرایطی اتفاق می‌افتد که متغیر ترکیبی به صورت توأم با متغیرهای مذکور آورده شود.

در جدول (٦) نتایج برآورد مدل در شرایط محاسبه عدد ثابت برای مدل انتخاب گسسته برنامه سفر نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، ورود عدد ثابت موجب می‌شود تا توان پیش‌بینی مدل ارتقاء پیدا کند (از ۷۸ درصد پیش‌بینی صحیح در حالت بدون عدد ثابت به ۹۲ درصد در شرایط ورود عدد ثابت). با این حال، بزرگی نسبی کمیت عدد ثابت و اثرگذاری آن بر سایر ضرایب و همچنین بی‌معنی شدن متغیر زمانی در این مدل موجب می‌شود تا مقدار ارزش زمانی در این شرایط منفی به دست آمده و در نتیجه امکان بکارگیری مدل مذکور برای تعیین مقدار ارزش زمانی با اشکال روبرو شود. از همین‌رو از مدل اول (بدون ضریب ثابت) برای محاسبه ارزش زمانی استفاده شده است.

در ادامه توضیحاتی در ارتباط با هر یک از متغیرهای بکاررفته در مدل و علامتهای به دست آمده آنها در مدلها ارایه شده است.

t: عبارت است از متوسط زمان سفر افراد که علامت مثبت این متغیر نشان‌دهنده ارتباط مستقیم آن با متغیر وابسته است، یعنی افراد در شرایطی که زمان سفر بیشتری داشته باشند، تمایل بیشتری به پرداخت خواهند داشت.

OCU: عبارت است از تعداد سرنشینان خودرو که علامت مثبت آن نشان‌دهنده تمایل بیشتر افراد به پرداخت در شرایطی است که تعداد سرنشینان وسایل نقلیه بیشتر باشد. در حقیقت، با افزایش تعداد سرنشینان وسیله نقلیه شخصی، توجیه پرداخت عوارض برای افراد افزایش پیدا خواهد کرد.

I: سطح درآمد ماهیانه افراد که به عنوان مبنای اصلی تصمیم‌گیری

جدول ۵. مقایسه نتایج پیش‌بینی و برآورد مدل در شرایط بدون درنظر گرفتن ضریب ثابت

متغیر	مقدار	[P[Z|>z	خطای استاندارد	میانگین
گزینه انتخاب وسیله نقلیه شخصی (y=1)				
—	-۰٫۰۹۴*	۰٫۰۵۰	۰٫۰۰۰۴	۳۳۰۶
OCU	۰٫۰۵۰۰**	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۰	۱٫۷۵
-	۱٫۵۳**	۰٫۰۰۰	-۰٫۰۸۱	۲٫۰۴
TL	-۰٫۰۳۷**	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰۲	۱۲۴٫۲
C	-۰٫۰۰۲**	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰۲	۳۲۳٫۰۳
TL*C	۱٫۸۳**	۰٫۰۰۰	۲٫۲۹	-٫۳۱
.Note: ***, **, * = Significance at 1%, 5%, 10% evel				
Criterion F (log L) -394.64732				
Pseudo R-squared 0.34	Significance level .0000000			
Log likelihood function -237.4	Restricted log likelihood -359.6770			
Pct. Correct Pred. 78.18499				

جدول ٦. مقایسه نتایج پیش‌بینی و برآورد مدل در شرایط با درنظر گرفتن ضریب ثابت

متغیر	مقدار	[P[|Z|>z	خطای استاندارد	میانگین
	گزینه انتخاب وسیله نقلیه شخصی (y=1)			محدوده زوج و فرد
Intercept	۱۸٫۳۹***	۰٫۰۰۰	۲۰۰۵	-
T	۰٫۰۰۳۲	۰٫۳	۰٫۰۰۶	۳۳۰۶
CCL	-۰٫۱۵۴**	۰٫۹	-۰٫۱۶۸	۰٫۷۵
I	-۰٫۳۷۹۰	۰٫۰۷	-۰٫۲۰۴	۲٫۰۲
TL	-۰٫۰۴۹***	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۵	۱۳۴٫۲
C	-۰٫۰۰۵***	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰۵	۳۲۳۰٫۲
TL*C	۲۶٫۵۷***	۰٫۰۰۰	۵۰۲	۰٫۲۱
.Note: ***, **, * = Significance at 1%, 5%, 10% level Criterion F (log L) -138.26				
Pseudo R-squared 0.61	Significance level .0000000			
Log likelihood function -138.3	Restricted log likelihood -359.6770			
Pct. Correct Pred. 92.3				

افراد برای هزینه کرد درنظر گرفته می‌شود. ضرایب این پارامتر در مدل نیز نشان‌دهنده رابطه مستقیم آن با تمایل به پرداخت افراد است.

C: برابر است با هزینه هر برنامه سفر که در این ارتباط توضیحات کافی در جدول ٤ ارایه شده است. به طور مشخص با افزایش این پارامتر، تمایل افراد به انتخاب وسیله نقلیه شخصی کاهش می‌یابد.

TL: سقف زمانی افراد برای رسیدن به مقصد برای هر یک از کاربران برابر است با حداکثر زمانی که فرد از زمان حرکت به سمت مقصد خود، بدون متحمل شدن هزینه اضافی (مانند جریمه) در اختیار دارد. با افزایش این پارامتر، افراد گزینه‌های بیشتری برای انتخاب برنامه سفر در اختیار خواهند داشت و طبیعتاً تمایل آنها به پرداخت کاهش پیدا خواهد کرد.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (٥) و همچنین رابطه (١٩) برای محاسبه ارزش زمانی کاربران، می‌توان مقدار ارزش زمانی را به صورت رابطه (٢٣) محاسبه کرد:

$$VOT = \frac{(-0.037)(t_i - 2TL_j) + (2\times 18.3)(c_i - I_j) - 0.094}{1.53(c_i - 2I_j) + (2\times 18.3)(t_i - TL_j) + 0.002} \quad (٢٣)$$

با درنظر گرفتن مقدار میانگین هر یک از متغیرهای زمانی و هزینه، که در ستون میانگین در جدول (٥) نشان داده شده است، مقدار ارزش زمانی برابر با ٤٣٧٦٠ ریال به ازای هر ساعت خواهد شد. در ادامه و جهت تعیین میزان تغییرات مدل نسبت به عوارض تعیین شده برای ورود به محدوده نسبت به آنالیز حساسیت این متغیر در مدل اقدام شد. شکل (١) حساسیت تغییرات تقاضای وسایل نقلیه شخصی در مقابل با نرخ عوارض را نشان می‌دهد. جهت انجام این تحلیل متغیرهای مدل در سطح میانگین خود، همان طور که در جدول (٥) نشان داده شده است، فرض شده و کشش‌پذیری تقاضا به ازای تغییر نرخ عوارض تحلیل شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در شرایطی که مقدار عوارض ورود معادل ارزش زمانی کاربران انتخاب شود، در حدود ٤٠

درصد از کاربران نسبت به استفاده از وسیله نقلیه شخصی اقدام می‌کنند.

۵ – ۲ اعتبارسنجی

در جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از آزمونهای زیر استفاده شده است:

الف– آزمون نسبت درست‌نمایی (تمایل) : به‌منظور اعتباریابی کل مدل در مدل‌های دوگانه و چندگانه از این آزمون استفاده می‌شود. روش کار به این صورت است که باید مشخص شود میزان تفاوت $L^*(\beta)$ از $L^*(0)$ برای مدل مورد نظر دارای معنی است یا نه. این آزمون با استفاده از توزیع مربع کای ($x2$) انجام می‌شود. به این منظور می‌بایست رابطه زیر برقرار باشد [Louviere et al, 2000]:

$$-2\left[L^*(0)-L^*(\beta)\right] \succ \chi^2_{N,1-\alpha} \qquad (۲۴)$$

که در آن:

$L^*(0)$: لگاریتم تابع تمایل(Likelihood) با فرض صفر بودن همه پارامترها،

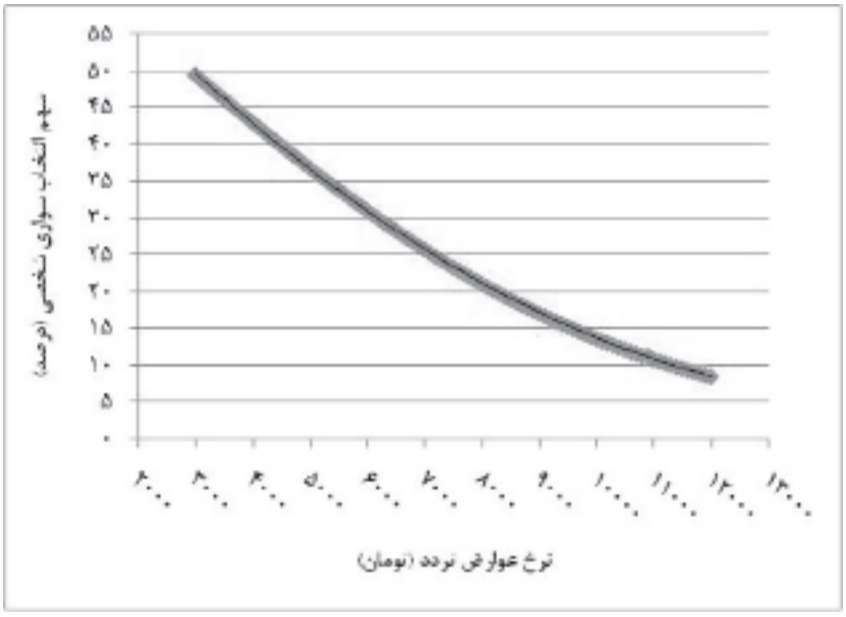
$L^*(\beta)$: لگاریتم تابع تمایل(Likelihood) بعد از پرداخت مدل،

$\chi^2_{N,1-\alpha}$: آمار با توزیع χ^2 با N درجه آزادی و بازه اطمینان $1-\alpha$،

در عبارت بالا α نشان‌دهنده سطح اطمینان (در این پژوهش برابر با ۰/۰۰۵) و برابر با تعداد پارامترهایی است که با اعمال محدودیت در مدل برآورد شده‌اند. در صورت برقراری رابطه فوق مدل در بازه اطمینان موردنظر پذیرفته می‌شود. مقدار $L^*(0)$ برابر با ۳۹۷/۱۷– و مقدار $L^*(\beta)$ برابر با ۲۳۷/٤٤– است که با جایگزینی در رابطه (۳۷) مقدار ۳۱۹ به دست می‌آید. مقایسه این مقدار با توجه به درجه‌آزادی ۵ و سطح اطمینان تعیین شده از جداول توزیع مربع کای به دست میآید[Soong, 2004]، موید معنی‌داری نتایج مدل است.

ب– شاخص ρ^2 : به‌منظور ارزیابی میزان برازندگی مدل از شاخص ρ^2 استفاده می‌شود در این جا، مقدار شاخص برازندگی برابر با ۰/۳٤ است که با توجه به ماهیت مدل و مقایسه با نمونه‌های مطالعات انجام شده، مناسب ارزیابی می‌شود.

پ– آزمون درصد درست: این آزمون قابلیت بازتولید انتخاب افراد توسط مدل را نشان می‌دهد. به این صورت که مجموع سهم محاسبه شده توسط مدل برای گزینه‌های مختلف را بر سهم



شکل ۱. تغییرات تقاضای سواری شخصی در مقایسه با نرخ عوارض

گزینه‌های متناظر مشاهده شده داده‌های نمونه تقسیم می‌کند و هرچه درصد به دست آمده بیشتر باشد نشانگر آن خواهد بود که مدل از وضعیت بهتری برخوردار است. در مدل پیشنهادی درصد درست به دست آمده با توجه به جدول (۵) در حدود ۷۸ است که مناسب ارزیابی می‌شود.

٦. جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش نسبت به تعیین ارزش زمانی کاربران از رویکرد بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت انتخاب برنامه سفر برای هر استفاده‌کننده استفاده شد. پارامترهای مربوط به هزینه و زمان برنامه‌های سفر به عنوان متغیرهای مدل درنظر گرفته شدند و با استفاده از ضرایب لاگرانژ محدودیتهای تعریف شده برای تابع هدف نسبت به تعیین شرایط مرتبه اول اقدام شد. سپس از نظریه سیمون و بلوم جهت بسط تیلور پارامترها حول نقطه میانگین‌شان استفاده شد. در نهایت با مشتق‌گیری نسبت به زمان سفر و هزینه برنامه سفر، مقدار ارزش زمانی بر اساس پارامترهای تعریف شده محاسبه شد.

برای تعیین تأثیر متغیرهای هزینه و زمان بر انتخاب استفاده‌کنندگان، یک مدل انتخاب گسسته پیشنهاد شد. توجه به پارامترهای مربوط به زمان سفر و هزینه و همچنین سایر مشخصات اجتماعی – اقتصادی کاربران، واکنش افراد در ارتباط با بکارگیری وسیله نقلیه شخصی بر اساس عوارض سفر تعیین شده پیش‌بینی شد. روش جمع‌آوری اطلاعات به صورت SP و با استفاده از پرسشنامه انجام شد. در قالب پرسشنامه طراحی شده ابتدا نسبت به اطلاعات مرتبط با سفر افراد، سپس در ارتباط با سناریوهای قیمت‌گذاری شده و در انتها در ارتباط با مشخصات اقتصادی – اجتماعی آنها سوال شد. بیش از ٦۰۰ پرسشنامه تکمیل و نتایج آن پس از وارد شدن در بانک اطلاعاتی و کدگذاری اطلاعات تحلیل شده و برای پرداخت مدل لوجیت دوتایی پیشنهادی اقدام گردید. نتایج مدل، نشان‌دهنده منطقی بودن علامت ضرایب به دست آمده بود. در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده، ارزش زمانی کاربرانی که از وسایل نقلیه شخصی استفاده می‌کنند تعیین شد که در حدود ٤۳۷٦۰ ریال به دست آمد.

به طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

* نتایج نشان داد که غیر از متغیرهای مرتبط با هزینه و زمان سفر، متغیری مانند تعداد سرنشینان خودرو (OCU) نیز در انتخاب برنامه سفر برای استفاده‌کننده حائز اهمیت است. این متغیر که در پژوهشهای پیشین کمتر به آن پرداخته شده است، نشان می‌دهد که به اشتراک‌گذاری خودرو[۳۲] می‌تواند برای پرداخت عوارض توجیه مناسبی برای افراد ایجاد کند، زیرا با افزایش تعداد سرنشینان وسیله نقلیه، عوارض به تعداد افراد قابل تقسیم بوده و طبیعتاً با کاهش هزینه، مطلوبیت بکارگیری این نوع شیوه سفر افزایش پیدا خواهد کرد.

* مقدار ارزش زمانی افراد در این مطالعه در حدود ٤۳۷٦۰ ریال به دست آمد. بکارگیری این قیمت به عنوان عوارض محدوده قیمتگذاری موجب می‌شود همچنان ٤۰ درصد از افراد نسبت به بکارگیری وسایل نقلیه شخصی خود تمایل داشته باشند.

* نتایج تحلیل آمار نشان داد افرادی که شغل آنها "خانه‌دار" و "دانشجو" تعیین شده است نمی‌توانند به عنوان آمار مناسبی برای محاسبه ارزش زمانی مورد استفاده قرار گیرند، زیرا درآمد چنین افرادی وابسته بوده و می‌تواند بسیار متغیر باشد.

* متغیرهایی مانند گروه قیمتی خودرو(VehCG)، تحصیلات و شغل افراد در مدل انتخاب برنامه سفر افراد حائز اهمیت نشدند که این می‌تواند به دلیل همپوشانی آنها با متغیر درآمد درنظر گرفته شده در مدل باشد.

در ادامه می‌توان تعیین ارزش زمانی افراد بر مبنای اهداف سفرشان را به عنوان یکی از موضوعهایی که در ادامه این پژوهش می‌تواند مورد بحث قرار گیرد، نام برد. همچنین بکارگیری نتایج این پژوهش در راستای تعیین استراتژیهای هدایت مسیر در شبکه معابر شهری موضوع دیگری است که در تحقیقات تکمیلی توسط نویسندگان در حال انجام است.

۷. پی‌نوشت‌ها

1 - Value Of Time

2 - Hensher

3 - Blayac & Causse

4- Stated Preference

5 - Becker

6 - Shadow Price

7 - Wage Rate

8 -Johnson

9 - Oort

10- Desperapa

11- De Donnea

12-Vickery

13- Small

14- Evans

15-Gronua

16- Diaz

17- Kono & Morisugi

18 - Lorent

19 - Ghosh

20 - Sullivan

21 -Mortazavi and Hultkrantz

22- Ozbay & Tuzel

23 - Car Pooling

۸. مراجع

- شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران (۱۳۸٦) "مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران"، تهران: شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران.

- Abrantes, P. and Wardman, M. (2011) "Meta analysis of UK values of travel time: An update", Transportation Research A 45, pp. 1–17.

- Alvarez, O., Cantos, C. and Garcia, L. (2007) "The value of time and transport policies in a parallel road network", Transport Policy, 14(5), pp. 366-376.

- Bates, J., Polak, J., Jones, P. and Cook, A. (2001) "The valuation of reliability for personal travel", Transportation Research E 37 (18), pp. 191–219.

- Becker, G. S. (1965) "A theory of the allocation of time", The Economic Journal, 75 (299), pp.493–517.

- Blayac, T. and Causse, A. (2001) "Value of time: a theoretical legitimization of some nonlinear representative utility in discrete choice models", Transportation Research Part B 35(4), pp. 391–400.

- Brownstone, D., Ghosh, A., Golob, T. F., Kazimi, C. and Van Amelsfort, D. (2003) "Driver's willingness to pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 Congestion Pricing Project", Transportation Research A 37(15), pp. 373–387.

- Brownstone, D. and Small, K. A. (2005) "Time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations", Transportation Research Part A 39(4), pp. 279–293.

- Cirillo, C. and Axhausen, K. W. (2006) "Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary", Transportation Research Part A 40(5), pp. 444–457.

- Cronbach, L. J. (1951) "Coefficient alpha and the internal structure of tests", Psychometrika. 16, pp. 297-334.

- De Donnea, F.X. (1972) "Consumer behavior, transport mode choice and value of time: some micro-economic models", Regional and Urban Economics, 1 (4), pp.355–382.

- De Serpa, A. C. (1971) "A theory of the economics of time", The Economic Journal, 81 (321), pp. 828–846.

- Evans, S. (1972) "On the theory of the valuation and allocation of time", Scottish Journal of Political Economy, 19, pp. 1–17.

- Fosgerau, M. and Engelson, L. (2011) "The value of travel time variance", Transportation Research B 45, pp. 1–8.

- Kono, T. and Morisugi, H. (2004) "Theoretical examination on value of time for private trips", Journal of Infrastructure Planning and Management, JSCE 639 (46), pp.53–64.37(2-3)

- Lam, T. and Small, K. A. (2001) "The value of time and reliability: Measurement from a value pricing experiment", Transportation Research Part E 37, pp.231-251.

- Louviere, J. J., Hensher, D. A. and Swait, J. D. (2000) "Stated choice methods, analysis and applications", Cambridge University Press, UK.

- Lu, C., Mahmassani, H. and Zhou, X. (2008) "A bi-criterion dynamic user equilibrium traffic assignment model and solution algorithm for evaluating dynamic road pricing strategies", Transportation Research C 16, pp. 371–389.

- Oort, O., (1969) "The evaluation of traveling time", Journal of Transport Economics and Policy, 3, pp.219–286.

- Ozbay,K and Yanmaz-Tuzel,O. (2008) "Valuation of travel Time and departure time choice in the presence of time of day pricing", Transportation Research Part A 42 (4), pp.577-590.

- Simon, C. P., Blume, L. (1994) "Envelope theorems mathematics for economists". W.W. Norton & Company, pp. pp.453–456.

- Small, K. A. (1982) "The scheduling of consumer activities: work trips", American Economic Review 72, pp.467–479.

- Small, K. and Sullivan, E. C. (2001) "Choice models of route, occupancy and time-of-day with value priced tolls", In: Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington, DC.

- Sullivan, E. (2000) "Continuation study to evaluate the impacts of the SR 91value-Priced express lanes", Final Report", State of California, Department of Transportation, USA.

- Soong, T.T. (2004) "Fundamentals of probability and statistics for engineers", Wiley.

- Tseng, Y. and Verhoef, E. T. (2008) "Value of time by time of day: a stated-preference study", Transportation Research 42B (7-8) pp.607-618.

- Fosgerau, M. and Karlstrom, A. (2010) "The value of reliability", Transportation Research B 44, pp. 38–49.

- Ghosh, A. (2000) "Heterogeneity in value of time: revealed and stated preference estimates from the I-15 congestion pricing project.Working Papers, University of California, Irvine.

- Gronau, R., (1986) Home production: a survey. In: Ashenfelter, O., Layard, R. (Eds.) "Handbook of labor economics", North Holland, Amsterdam.

- Hensher, A. D. and Button. K. J. (2000) "Handbook of transport modeling", Emerald Group Publishing., Chiechester, West Susex, England.

- Hensher, D. A. (2001) "Measurement of the valuation of travel time saving", Journal of Transport Economics and Policy, 35 (1), pp.71–98.

- Hess, A., Bierlaire, M. and Polak, J. W. (2005) "Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models", Transportation Research Part A 39 (2-3), pp. 221–236.

- Hultkrantz, L. and Mortazavi, R. (2001) "Anomalies in the value of travel-time changes", Journal of Transport Economics and Policy, 35 (2), pp.285–300.

- Jara-Diaz, S. (2003) "On the goods-activities technical relations in the time allocation theory", Transportation 30 (3), pp.245–260.

- Jenelius, E. (2011) "The value of travel time variability with trip chains, flexible scheduling and correlated travel times", In: Kuhmo Nectar Conference, Stockholm, Sweden, June 27–July 1, 2011.

- Jenelius, E., Mattsson, L. G. and Levinson, D. (2011) "Traveler delay costs and value of time with trip chains", Transportation Research Part B 45(5), pp.789–807.

- Jiang, M. and Takayuki, M. (2004) "Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings", Transportation Research Part A 38(8), pp.551-571.

- Johnson, M. (1966) "Travel time and the price of leisure", Western Economic Journal 4, pp.135–145.

- Kanemoto, Y. (1980) "Theories of urban externalities", North-Holland.