

مدل سازی ساختاری اثرات همزمان کیفیت حمل و نقل شخصی و همگانی بر تقاضای سفر روزانه

حسین عزیزیان^۱، منوچهر وزیری^۲

۱- دانشجوی دکتری برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد گروه برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

یکی از متغیرهایی که در تصمیمات مدیریتی سیستم حمل و نقل دارای اهمیت بسزایی است، متغیر کیفیت خدمات است. پژوهشگران رویکردهای متنوعی را برای مدل سازی اثرات ابعاد مختلف کیفیت حمل و نقل برای طرق مختلف بکار برده اند. با توجه به کلان بودن متغیر کیفیت حمل و نقل، رویکرد کلان را می توان یک رویکرد مناسب برای مدل سازی آن به حساب آورد. ارائه داده های کلان شهرهای مختلف، توسط بانک های اطلاعاتی متمرکز، بستر چنین مدل سازی کلانی را ایجاد نموده اند. پژوهش حاضر به بررسی روابط کلان عرضه و تقاضای حمل و نقل شخصی و همگانی و متغیر نهان کیفیت حمل و نقل با استفاده از داده های شهرهای جهان و بهره بردن از روش مدل سازی معادلات ساختاری پرداخته است. نتایج مدل سازی نشان می دهد که تقاضای سفر روزانه شهر به طور معناداری تحت تأثیر کیفیت حمل و نقل شخصی و همگانی است. بدین معنا که با افزایش کیفیت حمل و نقل شخصی و افزایش کیفیت حمل و نقل همگانی، سیستم حمل و نقل شهری افزایش تقاضای سفر روزانه را شاهد خواهد بود. قسمت دیگر این پژوهش به بررسی اثرات همزمان کیفیت حمل و نقل شخصی بر تقاضای حمل و نقل شخصی و همگانی و اثرات کیفیت حمل و نقل همگانی بر تقاضای حمل و نقل شخصی و همگانی پرداخته است. از نتایج این مدل سازی مشاهده می شود که تقاضای حمل و نقل شخصی به طور معناداری تحت تأثیر کیفیت حمل و نقل شخصی و همگانی است. در سوی دیگر تقاضای حمل و نقل همگانی نیز به طور معناداری تحت تأثیر کیفیت حمل و نقل شخصی و همگانی است. تأثیر کیفیت حمل و نقل شخصی بر تقاضای همگانی و کیفیت حمل و نقل همگانی بر تقاضای شخصی منفی و تأثیر کیفیت حمل و نقل شخصی بر تقاضای سفر همگانی و کیفیت حمل و نقل همگانی بر تقاضای شخصی مثبت به دست آمده است. نکته قابل توجه دیگر این است که نقش کاهنده یا منفی کیفیت حمل و نقل شخصی بر تقاضای سفر حمل و نقل همگانی

^۱ دانشجوی دکتری، ۰۹۱۳۱۹۸۰۷۶۷ و h_azizian_366@yahoo.com

^۲ منوچهر وزیری، ۶۶۱۶۴۲۴۹ و vaziri@sharif.edu

تقریباً دو برابر نقش کاهنده کیفیت حمل‌ونقل همگانی بر تقاضای سفر حمل‌ونقل شخصی است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای تصمیمات کلان شهری و تصمیم‌گیری در رابطه با توسعه حمل‌ونقل همگانی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: کیفیت حمل‌ونقل همگانی و شخصی، تقاضای سفرهای روزانه شخصی و همگانی، مدل‌سازی عرضه و تقاضا، مدل‌سازی معادلات ساختاری، داده‌های شهرهای جهان.

۱- مقدمه

به دنبال عوامل مختلف از جمله توسعه شهرها، افزایش جمعیت و افزایش روزافزون خودروهای شخصی، امروزه بسیاری از شهرها با معضل شلوغی و تراکم ترافیک روبرو هستند. یکی از پیش‌نیازهای ضروری برای مدیریت علم‌محور و افزایش کارایی سیستم حمل‌ونقل، شناخت روابط موجود در آن است. شناخت روابط ناهم‌فزون تقاضای سفر، حجم زیادی از پژوهش‌های چند دهه‌ای اخیر در حوزه تقاضای سفر حمل‌ونقل شهری را به خود اختصاص داده است، ولی در شناخت روابط عرضه و تقاضا به صورت هم‌فزون کاستی‌های فراوانی وجود دارد. در زمینه‌ی مدل‌های هم‌فزون عرضه، تقاضا و بازخوردهای آن‌ها، خصوصاً برای اطلاعات چندین شهر به‌جای یک شهر خاص، پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است [۳]. این در حالی است که بانک‌های اطلاعاتی متمرکز و بین‌المللی، اطلاعات باارزشی را در مورد عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری پوشش داده‌اند؛ که می‌توان از آن‌ها برای بررسی روابط کلان عرضه و تقاضا بهره برد. تحلیل تقاضای حمل‌ونقل می‌تواند به بسیاری از سؤالات و مسائل برنامه‌ریزی و مدیریت پاسخ دهد. غالباً طیف وسیعی از سیاست‌های حمل‌ونقلی ممکن پیشنهاد می‌شود که رده‌های مختلفی از منابع سرمایه‌گذاری را دربر می‌گیرد، از ساخت آزادراه یا خطوط مترو با هزینه‌های گزاف گرفته تا مدیریت ترافیک یا پارکینگ با هزینه‌هایی به‌مراتب کمتر. با استفاده از تحلیل تقاضای حمل‌ونقل می‌توان به سؤالاتی در مورد اثرات مربوط به اعمال سیاست‌های کاربری زمین نیز اشاره نمود [۱]. تصمیمات سیستم حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری، طیف وسیعی از تصمیمات را دربر می‌گیرد. از جمله این تصمیمات می‌توان به حجم سرمایه‌گذاری، ساختار کلی شبکه، اضافه کردن خطوط مختلف وسایل نقلیه، قیمت‌گذاری خدمات حمل‌ونقل، تغییر ابعاد ناوگان حمل‌ونقل همگانی و تواتر ارائه خدمات و موارد متعدد دیگر از این قبیل اشاره نمود [۲].

سیستم حمل‌ونقل را در نگاه کلان آن می‌توان از دو رویکرد بررسی نمود. رویکرد اول حمل‌ونقل شخصی و رویکرد دوم حمل‌ونقل همگانی است. سیستم حمل‌ونقل با بسیاری از سیستم‌های دیگر، روابط مختلفی دارد، هم بر آن‌ها اثر می‌گذارد و هم از آن‌ها اثر می‌پذیرد. اقتصاد، محل و شدت فعالیت‌ها در یک ناحیه، محیط‌زیست، کیفیت زندگی و خصوصیات اجتماعی از بخش‌هایی هستند که حمل‌ونقل با آن‌ها در ارتباط است [۳]. مدل‌هایی که بدون توجه به پیچیدگی‌های سیستم حمل‌ونقل

و پیامدهای آن، اعم از مستقیم یا غیرمستقیم، انتخاب شده و مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند، می‌توانند منجر به نتایجی غیرمنتظره یا به کلی متناقض شوند [۲، ۳].

تمایل و توانایی مصرف‌کنندگان برای خرید کالا یا خدمات را تقاضا و توانایی و تمایل تولیدکنندگان یا فروشندگان برای ارائه کالا یا خدمات را عرضه می‌نامند [۴]. فرآیند تولید و توزیع محصولات و خدمات برای انجام کامل، نیازمند شبکه‌های حمل‌ونقل است و از طرف دیگر انجام بسیاری از کارها نیازمند جابجایی است و بر بستر چنین شبکه‌هایی است که تقاضای حمل‌ونقل به‌عنوان یک تقاضای مشتق شده، تأمین می‌شود [۵، ۶]. مطالعات مختلفی سعی نموده‌اند تا روابط بین عرضه و تقاضا را شناسایی کنند. از سوی دیگر مطالعات متعددی به مدل‌سازی جداگانه عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری پرداخته‌اند. نقطه تفکیک مقاله حاضر این است که با استفاده از داده‌های شهرهای مختلف جهان با به‌کارگیری روش مدل‌سازی معادلات ساختاری به مدل‌سازی روابط کلان عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری پرداخته است. در این راستا متغیرهای نهانی مانند کیفیت سیستم حمل‌ونقل و تقاضای شهر مدل شده‌اند. در نتیجه این مدل‌سازی می‌توان اثرات متقابل کیفیت حمل‌ونقل و تقاضا را مشاهده نمود. کیفیت حمل‌ونقل و به‌طور خاص کیفیت حمل‌ونقل همگانی به دلیل نقش قابل توجهی که در ترغیب مسافران به استفاده از وسایل نقلیه همگانی دارد به‌عنوان فاکتور مهمی در مدیریت سیستم حمل‌ونقل به شمار می‌رود [۷]. ارزیابی عملکرد حمل‌ونقل همگانی برای شناخت تقاضای حمل‌ونقل شهری دارای اهمیت زیادی است [۸]. انواع مطالعاتی که به بررسی کیفیت سیستم حمل‌ونقل از دید مسافران و استفاده‌کنندگان وجود دارند ولی در این مقاله سعی در مدل‌سازی کیفیت حمل‌ونقل در بعد کلان آن است. روش مدل‌سازی معادلات ساختاری، می‌تواند پیشنهاد مناسبی برای تحلیل روابط بین کیفیت حمل‌ونقل و تقاضای سفر شهر باشد. مدل‌سازی معادلات ساختاری، یک ابزار تحلیل نسبتاً جدید است که ریشه‌های آن به نیمه اول قرن بیستم برمی‌گردد، ولی به دلیل پیچیدگی‌های ریاضیاتی و محاسباتی، استفاده از آن تا پیشرفت رایانه‌ها کند بوده است [۹]. توانایی این روش برای بررسی و تحلیل سیستم‌های پیچیده و روابط همزمان، در کنار رشد استفاده از رایانه، موجب گسترش استفاده از آن شده است.

۲- مرور ادبیات

اولین فعالیت‌ها در زمینه‌ی مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری، به دهه ۱۹۵۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا برمی‌گردد. زمانی که مطالعات حمل‌ونقل دیترویت و شیکاگو انجام شده است. این روش‌ها در ادامه در دهه ۱۹۶۰ برای لندن مورد استفاده قرار گرفتند [۱۰]. مدل تقاضای سفر را می‌توان به‌عنوان روابطی بین تقاضای سفر و خصوصیات مربوط به آن از یک سو و فعالیت سفر و خصوصیات عرضه سیستم حمل‌ونقل و خصوصیات آن از سوی دیگر در نظر گرفت.

پژوهش‌ها پیرامون مدل‌سازی جداگانه خصوصیات و توابع عرضه یا تقاضای حمل‌ونقل شهری از فراوانی قابل توجهی برخوردار است. ولی پژوهش‌های مدل‌سازی مشترک یا همزمان عرضه و تقاضا به گستردگی پژوهش‌های جداگانه نیست. گادری [۱۱] در پژوهشی به بررسی حمل‌ونقل شهری در سه بعد عرضه، تقاضا و هزینه‌ها برای شهر مونترال می‌پردازد. داده‌های مورد استفاده برای این پژوهش به صورت اطلاعات ماهیانه و در فاصله سال‌های ۱۹۵۶ تا ۱۹۷۱ بوده‌اند. با توجه به خودهمبستگی موجود در داده‌ها، گادری روش‌هایی مانند تخمین‌زننده خود بازگشت کمترین مربعات خطای تعمیم یافته^۲، تخمین‌زننده خود بازگشت کمترین مربعات خطای تعمیم یافته دومرحله‌ای^۴، روش تکراری به ظاهر نامرتب تعمیم یافته برای چند خودهمبستگی و روش تکراری از تخمین‌زننده متغیرهای کارا با اطلاعات کامل^۳ را برای پژوهش خود استفاده نموده است.

البالات و بل [۱۲] در پژوهش خود با استفاده از بانک اطلاعاتی تحرک شهرها که توسط موسسه بین‌المللی حمل‌ونقل همگانی، UITP^۱ جمع‌آوری شده است، به بررسی جداگانه و همزمان عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری برای ۴۵ شهر مختلف اروپا پرداخته‌اند. برای مدل‌سازی جداگانه و همزمان عرضه و تقاضا، ضرایب توابع به‌تنهایی با استفاده از روش کمترین مربعات معمولی^۵، OLS و ضرایب توابع همزمان با استفاده از روش رگرسیون به‌ظاهر نامرتب^۶، SUR تعیین شده است.

پژوهش دیگری که به بررسی روابط عرضه و تقاضای سیستم حمل‌ونقل می‌پردازد، پژوهش حق‌شناس [۱۳] است. حق‌شناس برای پژوهش خود با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی موسسه بین‌المللی حمل‌ونقل همگانی، UITP و مرجع بین‌المللی وابستگی به اتومبیل در شهرها و اطلاعات شهرهای ۱ صفهان، مشهد و تهران، یک بانک اطلاعاتی جمع‌آوری می‌کند. این بانک اطلاعاتی دارای ۱۴۰ متغیر و برای ۱۱۰ شهر در سراسر جهان برای سال‌های ۱۹۶۰، ۱۹۷۰، ۱۹۸۰، ۱۹۸۷، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ تهیه شده است. حق‌شناس در ادامه برای تخمین شاخص‌های پایداری به بررسی همزمان روابط عرضه، تقاضا و تعادل عرضه و تقاضا برای حمل‌ونقل شهری با استفاده از رویکرد مدل‌سازی پویای سیستمی^۷ می‌پردازد. مدل‌هایی که حق‌شناس برای مدل‌سازی پویای سیستمی مورد استفاده قرار داده است به چهار دسته مدل‌های تولید سفر، مدل‌های

^۱Least-Squares Generalized Autoregressive Estimator

^۲Two-Stage Least-Squares Generalized Autoregressive Estimator

^۳Full-Information Instrumental Variables Efficient Estimator

^۴L'Union Internationale des Transports Publics

^۵Ordinary Least Squares

^۶Seemingly Unrelated Regression

^۷System Dynamic modelling

سهم طریقه، مدل‌های عرضه حمل‌ونقل و مدل‌های تعادل عرضه و تقاضا تقسیم می‌شوند. به جز مدل‌های سهم طریقه که دارای رویکرد انتخاب گسسته هستند، بقیه مدل‌های پایه‌ای مورد استفاده حق شناس دارای شکل رگرسیون هستند، اما در این مدل‌ها فرضیات و تئوری روابط، ارزیابی کمی نشده‌اند.

به دلیل توانایی و انعطاف‌پذیری بالای مدل‌سازی معادلات ساختاری، این روش در پژوهش‌های علوم اجتماعی مانند جامعه‌شناسی، روان‌شناسی و تعلیم و تربیت، پژوهش‌های مختلفی را در پی داشته است [۱۴]. در پژوهش‌های بازاریابی برای بررسی بازخوردهای میان عرضه و تقاضا، خصوصیات مشتریان و نحوه رفتار آنها، در پژوهش‌های زیست‌محیطی برای بررسی نحوه تأثیر آلودگی‌های آب و آلودگی هوا بر سلامتی، در پژوهش‌های تعلیم و تربیت برای بررسی و اندازه‌گیری هوش و رابطه آن با شخصیت و فضای تحصیلی و در پزشکی برای بررسی کیفیت زندگی و تحلیل عوامل دخیل در آن، پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است [۱۵]. مدل‌سازی معادلات ساختاری در شاخه‌های مختلف حمل‌ونقل نیز استفاده شده است. استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری در تحلیل تقاضای سفر سهم قابل توجهی از کاربردهای این روش در شاخه‌های مختلف حمل‌ونقل را به خود اختصاص می‌دهد. گلوب [۱۶] مرور جامعی بر پژوهش‌ها پیرامون رفتار سفر با استفاده از معادلات ساختاری ارائه نموده است. از دیگر کاربردهای مدل‌سازی معادلات ساختاری در زمینه حمل‌ونقل می‌توان به مطالعات در زمینه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین [۱۷-۱۹] مطالعات روابط بین حمل‌ونقل و ارتباط از راه دور [۲۰، ۲۱] و موارد متعدد دیگر اشاره نمود.

۳- مدل‌سازی معادلات ساختاری

مدل‌سازی معادلات ساختاری، خانواده‌ای در حال رشد از انواع روش‌های آماری، برای بررسی روابط بین متغیرها است. قابلیت‌های متعدد این روش و توانایی تحلیل سیستم‌های پیچیده چندمتغیره از یک سو و پیشرفت‌های نرم‌افزاری مرتبط با آن از سوی دیگر موجب شده است که استفاده از این روش افزایش یافته و امروزه این روش را می‌توان غالب در مدل‌سازی چندمتغیره به حساب آورد [۹، ۲۲، ۲۳]. از مزایای مدل‌سازی معادلات ساختاری می‌توان به قابلیت در نظر گرفتن داده‌های مفقود یا

^۱Discrete Choice

^۲Multivariate

^۳Missing Data

داده‌های غیر نرمال^۳ و مدل‌سازی روابط بین عبارتهای خطا^۴ اشاره نمود [۲۴]. اگرچه داده‌هایی که برای مدل‌سازی در این روش استفاده می‌شود از نوع داده‌های مشاهده‌شده است ولی توانایی این روش برای مدل‌سازی متغیرهای دیده‌نشده^۵ و متغیرهای نهان^۶ موجب شده است که مدل‌سازی معادلات ساختاری به‌عنوان یک روش مدل‌سازی متغیرهای نهان نیز شناخته شود. همچنین به این دلیل که این روش می‌تواند برای بررسی رابطه علی بین متغیرها استفاده شود به‌عنوان روش مدل‌سازی علی نیز شناخته می‌شود [۲۵]. متغیر نهان متغیری است که به‌طور مستقیم قابل مشاهده یا اندازه‌گیری نیست. از این رو به‌طور غیرمستقیم از طریق مجموعه‌ای از متغیرهای مشاهده‌شده یا اندازه‌گیری شده استنباط می‌شود [۲۳].

دو نسل از روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری را می‌توان در نظر گرفت [۲۶]. نسل اول، روش‌های بر پایه هم‌بستگی^۷ است. در سال ۱۹۶۹، جورسگوک [۲۷] اولین مرتبه این روش‌ها را ارائه نموده است. در این نسل با استفاده از حداقل ساختن اختلاف بین ماتریس‌های واریانس و کوواریانس مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده به تخمین مدل معادلات ساختاری پرداخته می‌شود. متداول‌ترین روش برای تخمین مدل در روش‌های نسل اول، استفاده از بیشینه در ستنمایی است. برای استفاده از روش بیشینه در ستنمایی باید فرضیاتی در مورد توزیع متغیرها انجام شود که متداول‌ترین فرض، توزیع نرمال برای متغیرها است. نسل دوم از روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری را می‌توان روش‌های مؤلفه محور^۸ در نظر گرفت که بعدها به روش حداقل مربعات جزئی^۹ معروف شدند. این روش‌ها نیز در ابتدا توسط ولد ارائه شد [۲۶، ۲۸]. از جمله مزایای این روش‌ها نسبت به نسل اول، عدم نیاز به داده‌های فراوان و فرض توزیع نرمال برای متغیرها است.

۴- ساختار بانک اطلاعاتی

با توجه به نیاز روش‌های مختلف مدل‌سازی به اطلاعات قابل‌اتکا، اطلاعات عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری، یکی از ارکان تحلیل سیستم حمل‌ونقل و شناخت روابط آن است. بانک‌های اطلاعاتی بین‌المللی که اطلاعات شهرهای مختلف را در سرتاسر جهان به صورت متمرکز جمع‌آوری نموده و در اختیار قرار می‌دهند، به دلیل اطلاعاتی که پیرامون عرضه و تقاضا ارائه می‌کنند، بستر مناسبی را برای تحلیل عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری ایجاد نموده‌اند. تعداد بانک‌های اطلاعاتی جامع شهری که اطلاعات مختلف حمل‌ونقل شهری را دربرداشته باشند، اندک است. در مواردی هم اطلاعات برای کشورهای مختلف گزارش شده است، یا اطلاعات گزارش شده تنها برای شهرهای یک کشور یا منطقه خاص یا تنها برای حمل‌ونقل همگانی است. در این میان تنها تعداد انگشت‌شماری بانک‌های اطلاعاتی هستند که متغیرهای متعددی را برای حمل‌ونقل شهرهای مختلف گزارش کرده‌اند. موسسه بین‌المللی حمل‌ونقل همگانی، UITP، دو مجموعه در رابطه با حمل‌ونقل شهری برای شهرهای مختلف ارائه کرده است. اولین مجموعه [۲۹] که در سال ۲۰۰۱ منتشر شد با نام بانک اطلاعاتی هزاره شهرها برای

تحرك پایدار^۰ شناسخته می شود. این مجموعه خصوصیات مربوط به ۱۰۰ شهر در نقاط مختلف جهان در سال ۱۹۹۵ را جمع آوری نموده است. خصوصیات مختلف شهرها از جمله جمعیت، خصوصیات حمل و نقل و پیامدهای آن از جمله اطلاعات ارائه شده در این مجموعه است. مجموعه دوم [۳۰] که در سال ۲۰۰۶ منتشر شد، با نام بانک اطلاعاتی تحرك در شهرها^۱ شناسخته می شود. این مجموعه، اطلاعات مربوط به ۵۲ شهر که بیشتر آن ها در اروپا هستند را برای سال ۲۰۰۱ ارائه می کند. در این مقاله از داده های MCD برای تحلیل روابط عرضه و تقاضای حمل و نقل شهری استفاده شده است. فهرست شهرهای این بانک اطلاعاتی در نمودار (۱-۱) جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) فهرست شهرهای بانک اطلاعاتی MCD

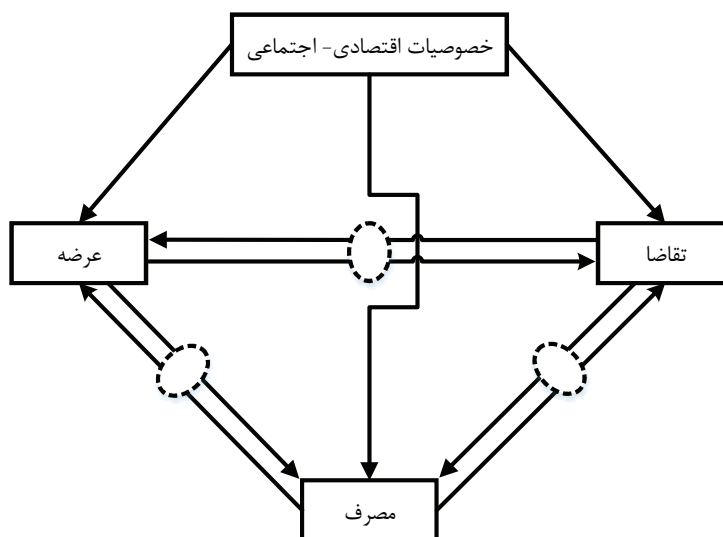
| شماره | شهر | کشور | شماره | شهر | کشور | شماره | شهر | کشور |
|-------|----------|---------|-------|-----------|----------|-------|---------|---------|
| ۱ | آمستردام | هلند | ۲ | فرانکفورت | آلمان | ۳ | تورین | ایتالیا |
| ۴ | آتن | یونان | ۵ | کراکو | لهستان | ۶ | دوبلین | ایرلند |
| ۷ | بارسلونا | اسپانیا | ۸ | گراتس | اتریش | ۹ | هامبورگ | آلمان |
| ۱۰ | برلین | آلمان | ۱۱ | گلاسکو | انگلستان | ۱۲ | هلسینکی | فنلاند |
| ۱۳ | برن | سوئیس | ۱۴ | گنت | بلژیک | ۱۵ | سنگاپور | سنگاپور |

| شماره | شهر | کشور | شماره | شهر | کشور | شماره | شهر | کشور |
|-------|-------------|-----------|-------|--------|----------|-------|------------|----------|
| ۱۶ | بیلپائو | اسپانیا | ۱۷ | لندن | انگلستان | ۱۸ | هنگ کنگ | چین |
| ۱۹ | بلوگنا | ایتالیا | ۲۰ | لیسبون | پرتغال | ۲۱ | سائوپائولو | برزیل |
| ۲۲ | بروکسل | بلژیک | ۲۳ | لیل | فرانسه | ۲۴ | استکهلم | سوئد |
| ۲۵ | بوداپست | مجارستان | ۲۶ | مارسی | فرانسه | ۲۷ | روتتردام | هلند |
| ۲۸ | شیکاگو | آمریکا | ۲۹ | مادرید | اسپانیا | ۳۰ | زوریخ | سوئیس |
| ۳۱ | کلرمون فران | فرانسه | ۳۲ | لیون | فرانسه | ۳۳ | سویل | اسپانیا |
| ۳۴ | کوپنهاگ | دانمارک | ۳۵ | مارسی | فرانسه | ۳۶ | نیوکاسل | انگلستان |
| ۳۷ | دوبی | امارات | ۳۸ | منچستر | انگلستان | ۳۹ | والنسیا | اسپانیا |
| ۴۰ | دوبلین | ایرلند | ۴۱ | مونبخ | آلمان | ۴۲ | ورشو | لهستان |
| ۴۳ | ژنو | سوئیس | ۴۴ | میلان | ایتالیا | ۴۵ | وین | اتریش |
| ۴۶ | پاریس | فرانسه | ۴۷ | نانت | فرانسه | ۴۸ | ملبورن | استرالیا |
| ۴۹ | پراگ | جمهوری چک | ۵۰ | رم | ایتالیا | ۵۱ | اسلو | نروژ |
| ۵۲ | تالین | استونی | | | | | | |

۵- مدل مفهومی عرضه و تقاضای شهری

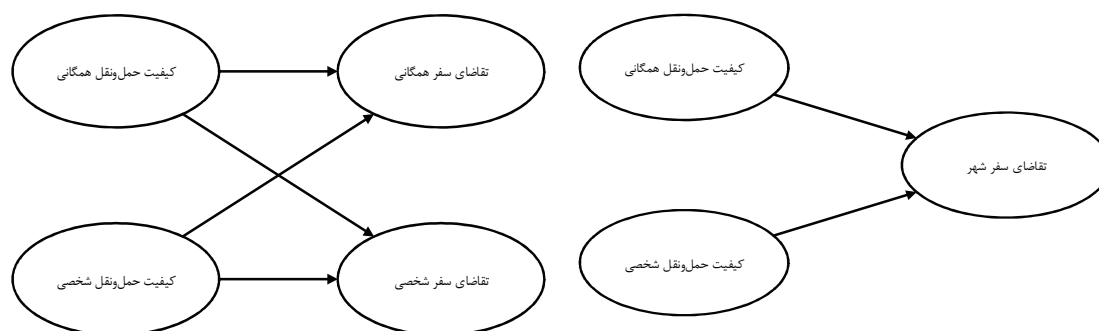
به طور کلی روابط کلان سیستم حمل و نقل شهری را می توان در شکل ۰ (۱) مشاهده نمود. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، عرضه، تقاضا و مصرف سیستم حمل و نقل با یکدیگر روابط گوناگونی

دارند و بر یکدیگر اثر گذاشته و از یکدیگر اثر می‌پذیرند. خصوصیات اقتصادی-اجتماعی شهر نیز بر هر سه جنبه عرضه، تقاضا و مصرف در سیستم حمل‌ونقل شهری تأثیر دارند. در این شکل متغیرهای نهان سیستم حمل‌ونقل شهری که می‌تواند بین هر سه دسته روابط قرار داشته باشد با بیضی‌های خط‌چین مشخص شده است.



شکل (۱) روابط کلان سیستم حمل‌ونقل شهری

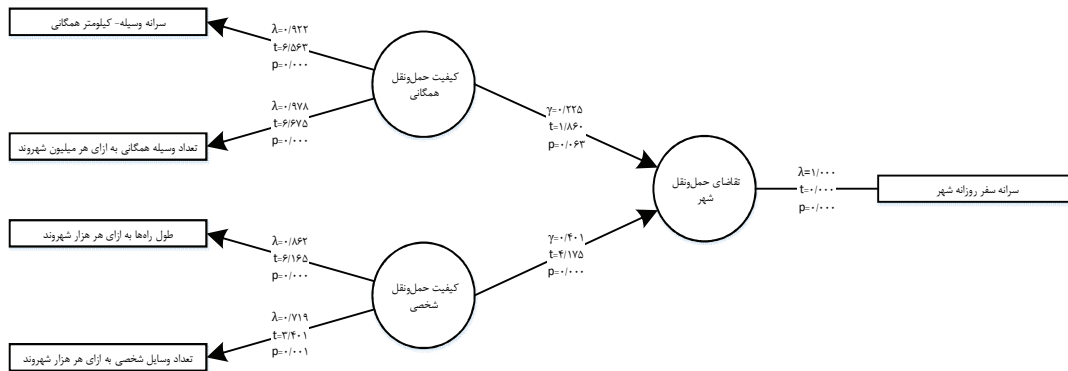
برای بررسی تأثیر کیفیت حمل‌ونقل همگانی و کیفیت حمل‌ونقل شخصی بر تقاضای سفر همگانی شهر، می‌توان مدلی مشابه شکل (۲) را در نظر گرفت. در چنین ساختاری، مشابه شکل الف، تقاضای سفر شهر، متأثر از کیفیت سیستم حمل‌ونقل شخصی و کیفیت سیستم حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفته شده است. این ساختار به مدل‌سازی روابط بین عرضه سیستم حمل‌ونقل همگانی و سیستم حمل‌ونقل شخصی از طریق متغیرهای کیفیت حمل‌ونقل همگانی و کیفیت حمل‌ونقل شخصی و تقاضای حمل‌ونقل شهر می‌پردازد. در ساختار ب این شکل، روابط همزمان کیفیت عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شخصی و همگانی بر تقاضای شخصی و همگانی پرداخته شده است.



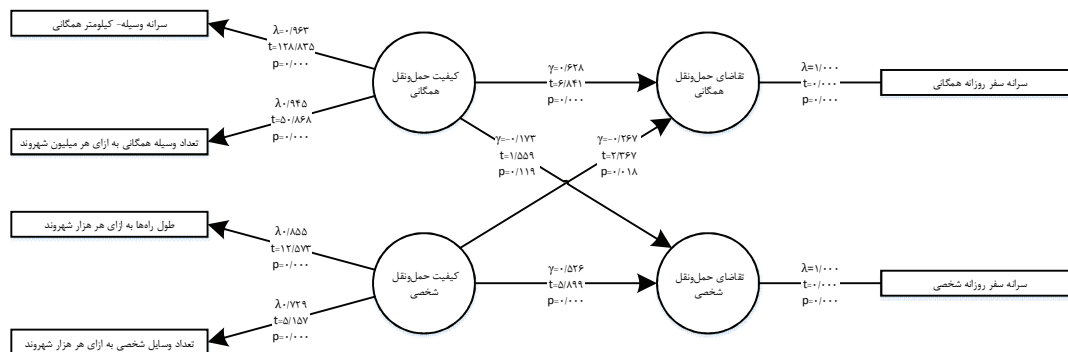
شکل (۲) رابطه کیفیت حمل و نقل همگانی و کیفیت حمل و نقل شخصی با تقاضای سفر همگانی و شخصی شهر

۶- نتایج مدل سازی ساختاری

پس از آماده سازی داده های بانک اطلاعاتی MCD، با توجه به مزایای استفاده از روش های نسل دوم مدل سازی معادلات ساختاری، PLS، مدل مفهومی مورد نظر، در نرم افزار SmartPLS پیاده سازی و اجرا شده است. مقادیر ضرایب مسیر و بارهای عاملی، مقدار آماره t و سطح معناداری (P-Value) ضرایب مسیر و بارهای عامل متناظر با مدل معادلات ساختاری برای مدل الف (تقاضای سفر شهر) و مدل ب (تقاضای سفر شخصی و همگانی) به ترتیب در شکل (۳) و شکل (۴) آمده است. همان طور که در این شکل ها دیده می شود از سرانه وسیله - کیلومتر حمل و نقل همگانی و تعداد وسایل نقلیه همگانی به ازای هر میلیون شهروند به عنوان شاخص های کیفیت حمل و نقل همگانی استفاده شده است. برای شاخص های کیفیت حمل و نقل شخصی نیز از شاخص های طول شبکه خیابانی به ازای هر هزار شهروند و تعداد وسایل نقلیه شخصی به ازای هر هزار شهروند استفاده شده است. در این ساختار از سرانه سفر روزانه شخصی و سرانه سفر روزانه همگانی به عنوان شاخص تقاضای حمل و نقل شخصی و شاخص تقاضای حمل و نقل همگانی شهر و از سرانه سفر روزانه شهر به عنوان شاخص تقاضای سفر حمل و نقل شهر استفاده شده است.



شکل (۳) ضرایب مسیر و بارهای عاملی، مقدار آماره t و سطح معناداری (P-Value) ضرایب مسیر و بارهای عامل متناظر با مدل معادلات ساختاری متناظر با مدل مفهومی الف (تقاضای سفر حمل و نقل شهر)



شکل (۴) ضرایب مسیر و بارهای عاملی، مقدار آماره t و سطح معناداری (P -Value) ضرایب مسیر و بارهای عاملی متناظر با مدل معادلات ساختاری متناظر با مدل مفهومی ب (تقاضای سفر شخصی و همگانی)

۶-۱- برازش مدل‌های اندازه‌گیری

همان‌طور که از نتایج شکل (۳) و شکل (۴) مشخص است کلیه بارهای عاملی بزرگ‌تر از 0.7 هستند؛ که بیان‌کننده پایایی بارهای عاملی است. از طرف دیگر تمامی بارهای عاملی در سطح بالاتر از $99/9$ درصد معنادار شده‌اند.

۶-۲- پایایی و روایی همگرا و روایی واگرا

برای بررسی پایایی و روایی همگرای مدل ساختاری، مقادیر پایایی مرکب (CR) و متوسط واریانس استخراج شده (AVE) در 0 آمده است. همان‌طور که از نتایج این جدول مشخص است، پایایی مرکب برای همه سازه‌ها بیش از مقدار حدی 0.7 است و این نشان‌دهنده پایایی سازه‌ها است. همچنین مقدار متوسط واریانس استخراج‌شده برای تمامی سازه‌ها مقادیر بیشتر از مقدار حدی 0.5 را اتخاذ کرده است که نشان می‌دهد روایی همگرای مدل در حد قابل قبول است [۳۱]. بررسی مقادیر بارهای مقطعی (Cross Loadings)، فورنل-لاکر و HTMT نشان می‌دهند که مدل معادلات ساختاری از روایی واگرا در حد قابل قبولی برخوردار است [۳۱].

جدول (۲) مقادیر معیارهای پایایی و روایی همگرا برای مدل معادلات ساختاری

| سازه | پایایی مرکب (CR) | متوسط واریانس استخراج‌شده (AVE) |
|------|------------------|---------------------------------|
|------|------------------|---------------------------------|

| | | | |
|-------|-------|-----------------------------|---------|
| ۰/۹۴۹ | ۰/۹۴۹ | کیفیت حمل و نقل همگانی | مدل الف |
| ۰/۶۳۰ | ۰/۷۷۲ | کیفیت حمل و نقل شخصی | |
| ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | تقاضای حمل و نقل شهر | |
| ۰/۹۱۰ | ۰/۹۵۳ | کیفیت حمل و نقل همگانی | مدل ب |
| ۰/۶۳۱ | ۰/۷۷۳ | کیفیت حمل و نقل شخصی | |
| ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | تقاضای حمل و نقل همگانی شهر | |
| ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | تقاضای حمل و نقل شخصی شهر | |

۶-۳- برازش مدل های ساختاری

همان طور که در شکل های (۳) و (۴) مشاهده می شود ضرایب مسیر در سطوح بالاتر از ۹۰ درصد معنی دار شده اند؛ که نشان دهنده صحت رابطه بین سازه ها و در نتیجه تأیید فرضیه های پژوهش است و می توان روایی این روابط ساختاری را تأیید کرد. ضریب تعیین (R^2) برای متغیر تقاضای حمل و نقل شهر برابر ۰/۱۷۹ برای مدل الف به دست آمده است که نشان دهنده توصیف نزدیک ضعیف آن است و برای متغیرهای تقاضای حمل و نقل همگانی و تقاضای حمل و نقل شخصی به ترتیب ۰/۵۵۹ و ۰/۳۵۸ برای مدل ب به دست آمده است که نشان دهنده توصیف متوسط آن است [۳۱]. معیار اندازه اثر (f^2) نیز برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل شخصی و تقاضای حمل و نقل شهر برابر ۰/۱۸۶ و برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل همگانی و تقاضای حمل و نقل شهر برابر ۰/۰۷۵ است که به ترتیب بیان کننده میزان اثر متوسط و ضعیف برای مدل الف است. همچنین معیار اندازه اثر (f^2) برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل شخصی و تقاضای حمل و نقل شخصی برابر ۰/۳۹۷ و برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل همگانی و تقاضای حمل و نقل شخص برابر ۰/۰۴۳ است که به ترتیب بیان کننده میزان اثر قوی و متوسط برای مدل ب است؛ از طرف دیگر این معیار برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل شخصی و تقاضای حمل و نقل همگانی برابر ۰/۱۴۹ و برای رابطه بین کیفیت حمل و نقل همگانی و تقاضای حمل و نقل شخص برابر ۰/۸۲۳ است که به ترتیب بیان کننده میزان اثر متوسط و قوی برای مدل ب است [۳۱].

برای برازش کلی مدل از معیار خوبی برازش (GOF) استفاده می شود که برای مدل الف معادلات ساختاری مقدار ۰/۳۷۱ و برای مدل ب معادلات ساختاری مقدار ۰/۵۹۴ را اتخاذ نموده است که بیشتر از مقدار حدی ۰/۳۶ است و بیانگر قوی بودن برازش کلی مدل است [۳۱].

۷- نتیجه‌گیری و تفسیر نتایج

با توجه به اینکه مدل‌های اندازه‌گیری و ساختاری ارائه‌شده، معیارهای برآزش را برآورده نموده‌اند، فرضیاتی که در این پژوهش برای روابط بین متغیرهای مشاهده شده با متغیرهای نهان یا روابط بین متغیرهای نهان ارائه شده است، تأیید می‌شوند. با تأیید این فرضیات، می‌توان این روابط را بررسی نموده و از نتایج آن بهره‌مند شد.

با دقت در نتایج مدل الف مشاهده می‌شود که توسعه حمل‌ونقل همگانی از طریق افزایش تعداد وسایل نقلیه همگانی و وسیله- کیلومتر حمل‌ونقل همگانی و به تبع آن افزایش کیفیت حمل‌ونقل همگانی و همچنین توسعه حمل‌ونقل شخصی از طریق افزایش تعداد وسایل نقلیه شخصی و افزایش طول شبکه خیابانی و به تبع آن افزایش کیفیت حمل‌ونقل شخصی، هر دو موجب افزایش تقاضای حمل‌ونقل شهر با شاخص سرانه سفر روزانه حمل‌ونقل شهر می‌شوند. نتیجه‌ای که در این قسمت از مقدار ضرایب مسیر بین کیفیت حمل‌ونقل همگانی با تقاضای سفر شهر و کیفیت حمل‌ونقل شخصی با تقاضای سفر شهر مشاهده می‌شود این است که نقش کیفیت حمل‌ونقل شخصی تقریباً دو برابر نقش کیفیت حمل‌ونقل همگانی در تقاضای سفر شهر است. این نتیجه نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در بخش‌هایی که منجر به افزایش کیفیت حمل‌ونقل شخصی می‌شود می‌تواند تأثیراتی به مراتب بیشتر بر افزایش تقاضای سفر شهر نسبت به افزایش کیفیت حمل‌ونقل همگانی داشته باشد.

با دقت در نتایج مدل ب مشاهده می‌شود که نقش کیفیت حمل‌ونقل همگانی بر تقاضای سفر همگانی مثبت است ولی تأثیر کیفیت حمل‌ونقل همگانی بر تقاضای سفر شخصی منفی است. به همین شکل تأثیر کیفیت حمل‌ونقل شخصی بر تقاضای سفر شخصی مثبت و بر تقاضای سفر همگانی منفی است. میزان تأثیر کیفیت حمل‌ونقل شخصی و کیفیت حمل‌ونقل همگانی به ترتیب بر روی تقاضای حمل‌ونقل شخصی و تقاضای حمل‌ونقل همگانی مقادیری نزدیک به هم را اتخاذ نموده‌اند؛ ولی میزان تأثیر منفی کیفیت حمل‌ونقل شخصی بر تقاضای حمل‌ونقل همگانی تقریباً دو برابر میزان تأثیر منفی کیفیت حمل‌ونقل همگانی بر تقاضای سفر شخصی است. این نتایج مؤید این نتیجه هستند که افزایش کیفیت حمل‌ونقل شخصی به مراتب بیشتر موجب کاهش تقاضای حمل‌ونقل همگانی نسبت به کاهش تقاضای حمل‌ونقل شخصی که به موجب افزایش کیفیت حمل‌ونقل همگانی صورت می‌گیرد، می‌شود.

به‌طور کلی از مدل‌های ساختاری بدست‌آمده نتیجه می‌شود که وسیله- کیلومتر وسایل نقلیه حمل‌ونقل همگانی نسبت به تعداد وسایل نقلیه همگانی، نقش بیشتری در کیفیت حمل‌ونقل همگانی دارند و

همین‌طور طول شبکه خیابانی نسبت به تعداد وسایل نقلیه شخصی نقش بیشتری در کیفیت حمل‌ونقل شخص دارند.

مدل‌سازی انجام شده با استفاده از داده‌های شهرهای مختلف جهان، بستر استفاده از تجربیات آن‌ها را فراهم می‌کند؛ در ضمن این رویکرد با تحلیل همزمان عرضه و تقاضا، مبین رابطه بین عرضه و تقاضا است. این پژوهش با هدف مدل‌سازی روابط بین متغیرهای نهان کلان سیستم حمل‌ونقل نظریاتی را ارائه نموده است که با استفاده از داده‌های شهرهای جهان تأیید شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل معادلات ساختاری این مقاله، و بر مبنای تجربیات شهرهای جهان، پیشنهاد می‌شود تا تصمیمات و سیاست‌های مختلفی که توسط مدیران، برای توسعه سیستم حمل‌ونقل و افزایش کیفیت سیستم حمل‌ونقل اتخاذ می‌شود با دید بازتری از بازخوردهای مختلف عرضه و تقاضای سیستم حمل‌ونقل و روابط و بازخوردهای بین حمل‌ونقل شخصی و حمل‌ونقل همگانی صورت گیرد و نتایج سیاست‌های مختلف با توجه به روابط بین عرضه و تقاضا بررسی شود. در این مقاله به بررسی همزمان عرضه و تقاضای شهری با استفاده از داده‌های شهرهای جهان با در نظرگیری متغیرهای نهان کیفیت حمل‌ونقل شخصی، کیفیت حمل‌ونقل همگانی و تقاضای سفر شخصی و همگانی شهر، پرداخته شده است. با توجه به کمبود چنین پژوهش‌هایی، شناخت چنین روابطی در سطح کلان مدیریتی از اهمیت بسزایی برخوردار است. این پژوهش نشان‌دهنده میزان اهمیت توجه به پارامترهای مؤثر در کیفیت حمل‌ونقل شخصی و کیفیت حمل‌ونقل همگانی و به تبع آن تقاضای حمل‌ونقل شخصی و تقاضای حمل‌ونقل همگانی و تقاضای سفر کلی شهر است. شناختی که از این پژوهش و پژوهش‌های مشابه به دست می‌آید می‌تواند روشن‌کننده روابط متقابل عرضه و تقاضای حمل‌ونقل شهری و روابط بین حمل‌ونقل شخصی و حمل‌ونقل همگانی با استفاده از تجربیات شهرهای جهان باشد.

محورهای توسعه یا پژوهش‌های آینده در ادامه پژوهش حاضر را می‌توان در ابعاد مختلف بررسی نمود. در بعد داده‌های شهرهای مختلف می‌توان داده‌های شهرهای بیشتری را برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار داد. در بعد دیگر می‌توان شاخص‌های دیگری را برای توصیف کیفیت حمل‌ونقل و تقاضای حمل‌ونقل شهری در نظر گرفت. در یک بعد دیگر نیز می‌توان متغیرهای نهان دیگری که در سطح کلان سیستم حمل‌ونقل شهری تأثیرگذار هستند وارد مدل‌سازی معادلات ساختاری نمود.

نویسندگان مقاله بدین وسیله از دانشگاه صنعتی شریف به دلیل تأمین امکانات در راستای تسهیل انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۹- منابع

- ۱- Kanafani, A. K., *Transportation demand analysis*, McGraw-Hill, 1983.
- ۲- Pels, E. and Rietveld, P., *Cost functions in transport handbook of transport modelling*: Emerald, Inc., 2008.
- ۳- Cascetta, E., *Transportation systems analysis, models and applications*, Springer, ۲۰۰۹.
- ۴- باباخانی، م.، آسیایی، م.، ابراهیمی، ب. و راوشی، م.، مبانی اقتصاد خرد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷.
- ۵- Roson, R. and Small, K. A., *Environment and transport in economic modelling* vol. ۱۰, ۱۹۹۸.
- ۶- محمودی، ع.، اقتصاد حمل‌ونقل، شرکت چاپ و نشر بازرگانی، ۱۳۸۹.
- ۷- De Oña, J., De Oña, R., Eboli, L. and Mazzulla, G., Index numbers for monitoring transit service quality, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015.
- ۸- Hassan, M. N., Hawas, Y. E. and Ahmed, K., A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 50, pp. 47-61, 2013.
- ۹- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. and Anderson, R. E., *Multivariate data analysis*, Pearson Education, 2014.
- ۱۰- Bates, J., History of demand modelling, *handbook of transport modelling*: Emerald, Inc., 2008.
- ۱۱- Gaudry, M. J. I., A study of aggregate bi-modal urban travel supply, demand and network behavior using simultaneous equations with autoregressive residuals, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 14, pp. 29-58, 1980.
- ۱۲- Albalade, D. and Bel, G., Factors explaining urban transport systems in large European cities: a cross-sectional approach, *Research Institute of Applied Economics Working Papers, Barcelona, Spain*, pp. 1-27, 2009.
- ۱۳- حق‌شناس، ح.، ارزیابی سیاست‌های حمل‌ونقل پایدار با استفاده از تجربیات شهرهای جهان، پایان‌نامه دکتری، گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۱.
- ۱۴- Choo, S., Aggregate relationships between telecommunications and travel: structural

equation modeling of time series data, PhD Thesis, Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 2004.

۱۵- Lee, S. Y., *Structural equation modeling: a bayesian approach*, John Wiley and Sons, ۲۰۰۷.

۱۶- Golob, T. F., Structural equation modeling for travel behavior research, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 37, pp. 1-25, 2003.

۱۷- Wisner, J. D., A structural equation model of supply chain management strategies and firm performance, *Journal of Business Logistics*, vol. 24, pp. 1-26, 2003.

۱۸- Lin, C., Chow, W. S., Madu, C. N., Kuei, C.-H. and Yu, P. P., A structural equation model of supply chain quality management and organizational performance, *International journal of production economics*, vol. 96, pp. 355-365, 2005.

۱۹- Ramanathan, U. and Gunasekaran, A., Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships, *International Journal of Production Economics*, vol. 147, Part B, pp. 252-259, 2014.

۲۰- Choo, S. and Mokhtarian, P. L., Telecommunications and travel demand and supply: aggregate structural equation models for the US, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 41, pp. 4-18, 2007.

۲۱- Choo, S. and Mokhtarian, P. L., Do telecommunications affect passenger travel or vice versa?: structural equation models of aggregate US time series data using composite indexes, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1926, pp. 224-223, 2005.

۲۲- Raykov, T. and Marcoulides, G. A., *A first course in structural equation modeling*, Lawrence Erlbaum Associates, 2006.

۲۳- Schumacker, R. E. and Lomax, R. G., *A beginner's guide to structural equation modeling*, Taylor & Francis, 2010.

۲۴- Golob, T. F., Structural equation modeling, *Transportation systems planning: methods and applications*: CRC Press, 2002.

۲۵- Hoyle, R. H., Introduction and Overview, *handbook of structural equation modeling*: Guilford Press, 2012.

۲۶- داوری، ع. و رضازاده، آ.، مدل سازی معادلات ساختاری با نرم افزار PLS، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۲.

۲۷- Jöreskog, K. G., A general approach to confirmatory maximum likelihood factor analysis, *Psychometrika*, vol. 34, pp. 183-202, 1969.

۲۸- Wold, H., Causal flows with latent variables: partings of the ways in the light of

NIPALS modelling, *European Economic Review*, vol. 5, pp. 67-86, 1974.

۲۹- Millennium cities database for sustainable mobility, *International Association of Public Transport, UITP*, 2001.

۳۰- Mobility in cities database, *International Association of Public Transport, UITP*, ۲۰۰۶.

۳۱- محسنین، ش. و اسفیدانی، م. ر.، معادلات ساختاری مبتنی بر رویکرد حداقل مربعات جزئی به کمک نرم‌افزار *Smart-PLS* مهربان، ۱۳۹۳.

Structural modelling of simultaneous effects of private and public transport quality on daily trip demand

Hossein Azizian¹, Manouchehr Vaziri²

1- PhD candidate of transportation engineering, Sharif University of Technology

2- Faculty of transportation engineering, Sharif University of Technology

Abstract

One of the most important variables, playing key role in urban transportation decision making, is quality of service. Researchers implemented various approaches for modelling transport quality for different modes. Concerning the macro dimension of transport quality, aggregate modelling is a proper approach for transport quality modelling. Giving aggregate data of different world cities by centralized databanks, provided prerequisite of such a macro analysis. Present research used world cities data and structural equation modelling method to analyze macro relations of supply and demand of public and private transportation and transport quality as a latent variable. Modelling showed that daily trip demand of city is significantly influenced by public and private transport quality. This means that with increase in private and public transport quality, urban transport system will face increase in daily trip demand. Another part of this research analyzes the simultaneous effects of private transport quality on private and public transport demand and effects of public transport quality on private and public transport demand. The modelling showed that private transport demand is significantly influenced by private and public transport quality. Furthermore, public transport demand is significantly influenced by private and public transport quality. Effects of private transport quality on public transport demand and public transport quality on private transport demand are negative, whereas effects of private transport quality on private transport demand and public transport quality on public transport demand are positive. Another conclusion is that, the decreasing or negative role of private transport quality on public transport demand is almost twice the decreasing role of public transport quality on private transport demand. Results of this research can be used for macro level urban transportation and public transportation policy and decisions making.