تحلیل سطوح مختلف انتقال‌پذیری مدلهای انتخاب وسیله (نمونه موردی: سفرهای با هدف خرید)

امیررضا ممدوحی(مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امیرحسین باغستانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۹۱/۱۲/۱۴ پذیرش: ۹۲/۰۴/۳۰

چکیده:

در سال‌های اخیر برنامه‌ریزی حمل و نقل، تأکید بیشتری بر حمایت از روش‌هایی داشته که هزینه مطالعات مربوطه را به حداقل برساند. برخی پژوهشگران استفاده از مدل پرداخت شده در یک شهر را برای بررسی رفتار سفر در شهر دیگر به عنوان یک راهکار، با صرفه‌جویی در زمان و هزینه مطالعات حمل و نقلی مطرح کردند. گرچه نمی‌توان انتظار داشت مدل مبدأ به طور کامل مشاهدات شهر مقصد را بازسازی کند، ولی بررسی این فرآیند نیز می‌تواند اطلاعات نسبتاً مفیدی را در اختیار قرار دهد. این مقاله به معرفی انواع و سطوح مختلف انتقال‌پذیری و نیز ارایه معیارهای گوناگون انتقال‌پذیری مدل انتخاب وسیله می‌پردازد. برای آشنایی با چالش‌های پژوهشی مربوطه، یک مطالعه موردی با هدف سفر خرید در مقیاس واقعی (انتقال مدل انتخاب وسیله تهران به قزوین) در چهار سطح انتقال‌پذیری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سفرهای با هدف خرید در ساعت اوج صبح با ساختار مدل لوجیت چندجمله‌ای و سه شیوه سواری شخصی، تاکسی و اتوبوس برای انجام سفر در نظر گرفته شده است. جهت ایجاد زمینه مناسب برای مقایسه نتایج، مدل انتخاب وسیله قزوین با ساختار مشابه مدل تهران پرداخت شد. مدل در سطوح اول، دوم و سوم (به غیر از متغیر محدوده طرح ترافیک) انتقال‌پذیر ولی در سطح چهارم (دقیق‌ترین سطح) انتقال‌ناپذیر تشخیص داده شد. آماری آزمون انتقال در این سطح، عدم برابری ضرایب متغیرهای دو مدل را نشان می‌دهد. نتایج مبتنی بر شاخص انتقال، استفاده از مدل تهران برای قزوین را نامناسب و تا حدودی گمراه‌کننده می‌داند، به شکلی که حتی برازش کمتری نسبت به مدل سهم بازار داشته است. همچنین بررسی معیارهای خطای نسبی، حاکی از اختلاف میان سهم‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل انتقال یافته است. دلایل مختلفی همچون متفاوت بودن شرایط اقتصادی، اجتماعی و ترافیکی و نیز متأثر بودن سفرهای خرید از شرایط جغرافیایی و عادات فرهنگی می‌تواند باعث این امر باشد.

واژگان کلیدی: انتقال‌پذیری، مدل‌های انتخاب وسیله، مکانی، هدف سفر خرید

۱. مقدمه

افزایش روزافزون وسایل نقلیه و شبکه‌های حمل و نقلی در شهرها، منجر به پیچیده‌تر شدن رفتار سفر در جوامع شهری شده است. به منظور مقابله با این پیچیدگی، مدل‌های برنامه‌ریزی حمل و نقل در سطوح مختلف تعریف می‌شوند. تهیه این مدل‌ها نیازمند هزینه و زمان نسبتاً زیادی است. انتقال‌پذیری[۱] مدل به عنوان یک راهکار برای رفع مشکل هزینه و زمان بکار گرفته می‌شود. انتقال‌پذیری در زمینه‌های مختلفی تعریف می‌شود. اصلی‌ترین بخش‌بندی انتقال‌پذیری مدل‌ها، آنها را به دو دسته انتقال‌پذیری زمانی و مکانی تقسیم می‌کند. در انتقال‌پذیری زمانی، مدل تهیه شده در یک دوره زمانی به دوره زمانی دیگر انتقال می‌یابد. در نتیجه برای پیش‌بینی نتایج در دوره زمانی جدید از همان مدل دوره قبلی استفاده می‌شود.

رایج‌ترین نوع انتقال‌پذیری که مورد نظر مقاله جاری نیز هست، انتقال‌پذیری مکانی است که هدف آن استفاده از مدل ساخته شده در یک شهر یا ناحیه برای شهر یا ناحیه دیگر است. در صورتی که نتایج انتقال‌پذیری مدل مناسب باشد و بتوان از آن برای پیش‌بینی رفتار سفر در مقصد دیگر استفاده کرد، در هزینه‌های مطالعات حمل و نقلی صرفه‌جویی خواهد شد. از نگاهی دیگر، انتقال‌پذیری می‌تواند در چهار سطح مختلف مورد بررسی قرار گیرد. در نخستین سطح، انتقال نظریه مورد استفاده در رفتار سفر[۲] در حالت کلی و کلان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سطح دوم، انتقال‌پذیری نوع مدل ریاضی[۳] مورد مطالعه قرار گرفته و در سطح سوم، انتقال‌پذیری ساختار یا فرم تابعی مدل[۴] بررسی می‌شود. در آخرین و دقیق‌ترین سطح انتقال‌پذیری، ضرایب متغیرهای مورد استفاده در مدل مورد توجه قرار می‌گیرد، به طوری که مدل با حفظ تمامی ضرایب خود انتقال داده می‌شود [Sikder et.al, 2011]. طبیعی است که با افزایش جزییات و دقت سطوح، احتمال انتقال‌پذیری مدل کاهش می‌یابد (شکل ۱).

همچنین انتقال‌پذیری می‌تواند در مراحل مختلف مدل‌های کلاسیک برنامه‌ریزی حمل و نقل مثل ایجاد سفر، توزیع سفر و تفکیک سفر مورد نقد و بررسی قرار گیرد. انتقال‌پذیری هر یک از این مراحل، بسته به مدل پرداخت شده برای آنها، قابلیت بررسی در سطوح مختلف را خواهد داشت.

هدف این مقاله، معرفی و ارایه معیارهای مختلف انتقال‌پذیری و بکارگیری آنها در یک نمونه موردی برای مدل انتخاب وسیله در چهار سطح مختلف است. با توجه به این که بررسی مقوله انتقال‌پذیری در کشور تنها به اندک مطالعاتی در مورد مدل‌های تولید سفر محدود می‌شود، مقاله جاری با بررسی مدل‌های انتخاب وسیله در سطوح مختلف می‌تواند ابعاد جدیدی از انتقال‌پذیری مدل‌ها را نشان دهد. در بخش بعدی مقاله، به مرور تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی انتقال‌پذیری پرداخته می‌شود. در بخش سوم، معیارهای بررسی انتقال‌پذیری میان مدل‌ها معرفی شده و در بخش چهارم روش انجام مطالعه‌ی موردی شرح داده می‌شود. بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادات می‌پردازد.

۲. مرور ادبیات

لارنس و دمسکی[۶] پژوهش‌هایی را در مورد مفهوم انتقال‌پذیری مدل‌های ایجاد سفر در سه شهر ایالت ویرجینیا و برای سه هدف خانه- مبنا با هدف کار، سفرهای خانه- مبنا با سایر اهداف و سفرهای غیرخانه- مبنا انجام دادند. آنها برای ساخت مدل‌های ایجاد سفر از دو روش طبقه‌بندی عرضی و رگرسیون خطی استفاده کردند. نتایج این دو پژوهش نشان داد در صورتی که انتخاب شهرهای مورد نظر جهت انتقال‌پذیری با دقت لازم صورت گیرد، مدل‌های طبقه‌بندی عرضی نیز قابل انتقال خواهند بود [Lawrence and Demetsky, 1980].

او و یو[۷] به مطالعه تأثیرات ویژگی‌های شهری شامل اندازه محیط شهری، نوع تمرکز فعالیت‌ها و خصوصیات جغرافیایی بر

انتقال‌پذیری مدل‌های تقاضا پرداختند. یکی از نتایج این مطالعه نشان داد که اثربخشی جمعیت به عنوان شاخصی از اندازه محیط بر روی مدل انتخاب وسیله در کلان‌شهرها قابل توجه بوده و همچنین مدل‌های تولید سفر کلان‌شهرها انتقال‌پذیری بیشتری نسبت به غیرکلان‌شهرها داشته‌اند[Ou and Yu, 1982].

در مطالعات گالبریت و هنشر[8] انتقال‌پذیری مدل‌های انتخاب وسیله سفرهای کاری، مورد بحث قرار گرفت. در این پژوهش مدل‌های متعددی در شهر مبدأ پرداخته شده و سپس انتقال‌پذیری آنها به شهر مقصد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد ضعیف‌ترین مدل در میان مدل‌های مبدأ، بهترین عملکرد را در انتقال‌پذیری داشته است[Galbraith and Hensher, 1982].

در مطالعات کاراسما[9] علاوه بر معیارهای رایج سنجش انتقال‌پذیری از الاستیسیته قیمتی نیز استفاده شد. وی در بررسی انتقال‌پذیری سفرهای خانه–مبنا با سایر اهداف (غیرکاری)، روش‌های مختلفی را برای بهبود مدل انتقال یافته تحلیل کرد. این روش‌ها با ایجاد تغییراتی در مدل شهر مبدأ، سعی در مطابقت بیشتر نتایج با داده‌های شهر مقصد داشتند[Karasmaa, 2001].

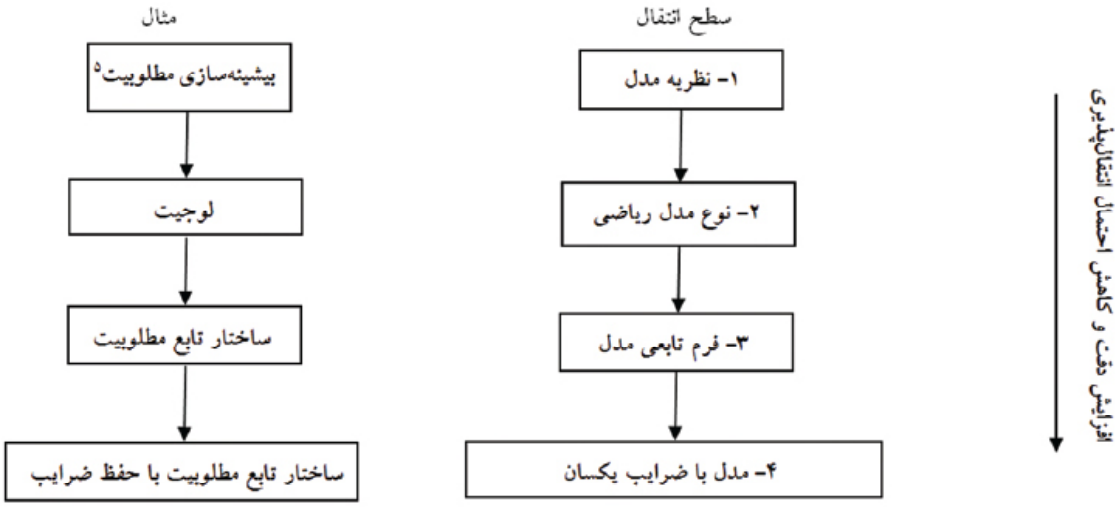
سانتوسو و سونوکاوا[10] با انتقال مدل‌های انتخاب وسیله سفرهای کاری بین مناطق شهری و حومه‌ی شهری، ابعاد مختلفی از انتقال مدل‌ها را مورد مطالعه قرار دادند[Santoso and Sunokava, 2005 and 2009]. این دو نیز از روش‌های متعددی برای بهبود مدل استفاده کرده و نتایج و اثرات آنها را با یکدیگر مقایسه کردند.

مشاق‌زاده‌فرد انتقال‌پذیری مدل‌های تولید سفر در سه شهر شیراز، تهران و مشهد را مطالعه کرد[Moshaghzadehfard, 2008].

از ویژگی‌های این پژوهش، بررسی اهداف مختلف سفر و در نظر گرفتن هر دو مدل همفزون و ناهمفزون است. در این مطالعه دو عامل مهم برازندگی مناسب مدل‌های شهر مبدأ و نیز دسته‌بندی مناسب شهرهای مبدأ[11] و مقصد[12] برای انتقال مناسب مدل‌ها مطرح شد. نتایج کلی، نشانگر انتقال‌پذیری مدل‌های مربوط به سفرهای کاری، با توجه به ثبات رفتاری در این دسته از سفرها بود. نتایج مدل‌های سفرهای با هدف خرید و تفریح، انتقال‌ناپذیر بودن آنها را به دلیل تحت تأثیر بودن منطقه جغرافیایی و عواملی همچون فرهنگ و عادات بومی دانسته است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

برای ارزیابی انتقال‌پذیری مدل‌ها در دقیق‌ترین سطح، معیارهای مختلفی تعریف شده که در بیشتر آنها، مدل انتقال داده شده با مدل شهر مقصد مقایسه می‌شود. در مقایسه‌ها فرض می‌شود که



شکل ۱. سطوح مختلف انتقال‌پذیری مدل

پارامترها به صورت مستقل و مجزا در دو ناحیه محاسبه شده و هدف، اندازه‌گیری خطایی است که در اثر استفاده از مدل مبدأ در ناحیه مقصد ایجاد می‌شود.

یکی از این معیارها (آماری t*) به تفاوت مطلق میان پارامترهای دو مدل مطابق رابطه (۱) می‌پردازد.

$$t^* = \frac{\theta_i - \theta_j}{\sqrt{(\frac{\theta_i}{t_i})^2 + (\frac{\theta_j}{t_j})^2}} \quad (۱)$$

فرضیه صفر برابری پارامترها (در سطح اطمینان ۹۵٪) در صورتی که t* کوچک تر از ۱/۹۶ باشد، قابل رد نیست که عدم اختلاف معنی‌دار دو پارامتر را نشان می‌دهد [Ortuzar and Willum-sen, 2002]. در رابطه بالا θ نماد ضرایب، t مقدار آزمون t آنها، i معرف منطقه‌ی مبدأ و j معرف منطقه مقصد است. گالبریت و هنشر توصیه کردند که از این معیار در مواقعی استفاده شود که پارامترها دارای خطای استاندارد پایین (آزمون t بالا) باشند و در غیراین‌صورت آماری t* ممکن است گمراه‌کننده باشد.

معیارهای دیگر مثل آماری آزمون انتقال[۱۳] (TTS) و شاخص انتقال[۱۴] (TI) بر اساس توانایی مدل مبدأ در توصیف رفتارهای مشاهده شده در مقصد و بر پایه لگاریتم احتمال[۱۵] عمل می‌کنند. مقایسه اصلی در این معیارها، اختلاف در لگاریتم احتمال میان مدل پرداخت شده در مبدأ i و بکار گرفته شده در مقصد j از یک سو، و مدل تهیه شده در مقصد j برای مشاهدات همین مکان از سوی دیگر است. رابطه آماری آزمون انتقال که توسط آدرتون و بن‌اکیوا[۱۶] تعریف شد به شکل رابطه (۲) است [Ortuzar and Willumsen, 2002]:

$$TTS=-2[L_j(\beta_i)-l_j(\beta_j)] \quad (۲)$$

که در آن،

$L_j(\beta_i)$: لگاریتم احتمال مشاهدات در منطقه j بر اساس مدل منطقه‌ی i

$L_j(\beta_j)$: لگاریتم احتمال مشاهدات در منطقه j بر اساس مدل منطقه j

جهت بررسی تطابق پارامترهای دو مدل در این روش از مقدار بحرانی مجذور کای[۱۷] استفاده می‌شود.

کاپلمن و ویلموت[۱۸] با سنجش دقت لگاریتم احتمال بر اساس یک مدل مرجع (مثل مدل سهم‌های بازار[۱۹])، شاخص انتقال را بیان کردند (رابطه ۳).

$$TI=\frac{L_j(\beta_i) - L_j(C_j)}{L_j(\beta_j) - L_j(C_j)} \quad (۳)$$

در این رابطه $L_j(C_j)$، لگاریتم احتمال مشاهدات در منطقه j بر اساس مدل سهم بازار تعریف شده و دیگر متغیرها نیز مطابق تعریف قبل هستند. طبق انتظار لگاریتم احتمال $L_j(\beta_j)$ بیشتر از $L_j(\beta_i)$ و $L_j(\beta_i)$ بیشتر از $L_j(C_j)$ خواهد بود. شاخص انتقال دارای کران بالای یک به معنای عملکرد یکسان مدل‌های مبدأ و مقصد خواهد بود، در حالی که کران پایین نخواهد داشت. نتایج منفی برای TI بیانگر عملکرد ضعیف‌تر مدل مبدأ از یک مدل پایه خواهد بود و نتایج آن گمراه‌کننده بوده و از بی مدلی نیز بدتر است. با توجه به نسبی بودن شاخص انتقال و ماهیت آماری آزمون انتقال، نگرش‌های این دو شاخص نسبت به یکدیگر متفاوت است.

علاوه بر موارد ذکر شده، می‌توان از ρ^2_{trans} و $\rho^2_{c-trans}$ مطابق روابط (۴) و (۵) جهت سنجش خوبی برازش[۲۰] مدل مبدأ برای داده‌های مقصد استفاده کرد.

$$\rho^2_{trans}= 1 - \left(\frac{L_j(\beta_i)}{L_j(0)}\right) \quad (۴)$$

$$\rho^2_{c-trans}= 1 - \left(\frac{L_j(\beta_i)}{L_j(C_j)}\right) \quad (۵)$$

که در آن:

$L_j(0)$: لگاریتم احتمال مشاهدات در منطقه j است زمانی که تمام پارامترهای مدل صفر هستند.

معیار خطای نسبی[۲۱] (REM) به بررسی تفاوت پیش‌بینی مدل و مشاهده برای سهم هر کدام از گزینه‌ها می‌پردازد.

$$REM=\frac{(PS_k-OS_k)}{os_k} \quad (۶)$$

PS_k: سهم پیش‌بینی شده برای گزینه k توسط مدل

OS_k: سهم مشاهده شده برای گزینه k

۴. مدل‌سازی و تحلیل

برای بررسی انتقال‌پذیری تا دقیق‌ترین سطح (ثبات ضرایب متغیرها) نیاز به مدل انتخاب وسیله در دو شهر تهران و قزوین است. به دلیل دسترسی نداشتن به داده‌ها و اطلاعات (مبدأ- مقصد) تهران امکان مدل‌سازی برای این شهر وجود نداشته و از گزارش مطالعات مربوطه استفاده شده است[Center for Transport & Traffic Comprehensive Studies, 2011]

این مدل به شکل لوجیت چندجمله‌ای[۲۲] با سه شیوه تاکسی، سواری شخصی و اتوبوس برای سفرهای ساعت اوج صبح ساخته شده است. در نخستین سطح انتقال‌پذیری، نظریه مورد استفاده در ساخت مدل تهران بررسی می‌شود. با توجه به بکارگیری نظریه بیشینه‌سازی مطلوبیت در مدل تهران و قابلیت استفاده آن در پرداخت مدل قزوین، مدل در سطح اول انتقال‌پذیر است. در سطح دوم، انتقال‌پذیری نوع مدل ریاضی بکار رفته در مدل تهران (لوجیت چندجمله‌ای) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با انجام محاسبات و معنی‌دار شدن آزمون‌های مربوط به استفاده از مدل لوجیت چندجمله‌ای برای داده‌ها و اطلاعات (مبدأ- مقصد) قزوین، مدل در سطح دوم انتقال‌پذیر تشخیص داده می‌شود. در بررسی سومین سطح انتقال‌پذیری، ساختار مدل قزوین باید مشابه مدل تهران پرداخت شود که به این منظور گزینه‌های تعریف شده برای انتخاب وسیله در دو مدل یکسان در نظر گرفته شد. علاوه بر این متغیرهای مورد استفاده در مدل تهران از قابلیت انتقال به قزوین برخوردار بوده و تنها متغیر محدوده طرح ترافیک از این امر مستثنی بود (به دلیل بی‌معنایی متغیر مذکور در قزوین از مدل حذف شده است). ساختار مدل مورد بررسی در این پژوهش به شکل زیر است:

$$U_{taxi}= a + b\,(TAXT) + c\,(CO) \quad (۷)$$

$$U_{car}= d\,(TT) + e\,(CO) \quad (۸)$$

$$U_{bus}= f + g\,(IVT) + h\,(OVT) \quad (۹)$$

که در آن:

U_{taxi} : تابع مطلوبیت سفر با تاکسی

U_{car} : تابع مطلوبیت سفر با سواری شخص

U_{bus} : تابع مطلوبیت سفر با اتوبوس

TAXT : زمان سفر با تاکسی (دقیقه)

CO : میزان سرانه مالکیت خودرو (وسیله بر نفر)

TT : زمان سفر با سواری شخصی

IVT : زمان سفر داخل اتوبوس

OVT : زمان سفر خارج اتوبوس

a,b,c,d,e,f,g,h : ضرایب متغیرها

جدول (۱) نتایج پرداخت مدل توسط نرم‌افزار NLOGIT برای قزوین و نیز ضرایب مدل تهران[Center for Transport & Traffic Comprehensive Studies, 2011] را نشان می‌دهد. جدول (۲) به مقایسه آماری توصیفی متغیرهای بکار رفته در دو شهر می‌پردازد. با توجه به تفاوت شرایط اقتصادی، اجتماعی و ترافیکی کلان‌شهر تهران و قزوین، انتظار می‌رود که اختلاف زمانی بین داده‌های مورد استفاده این دو شهر در متعادل شدن شرایط مذکور بهبود حاصل کند (اطلاعات شهر تهران مربوط به سال ۸۳ و اطلاعات شهر قزوین مربوط به سال ۹۰ است).

ملاحظه می‌شود که مقادیر متوسط متغیرهای مربوط به زمان سفر

(مانند زمان سفر با سواری شخصی، زمان سفر داخل اتوبوس) در تهران حدوداً دو برابر این مقادیر در قزوین است، در حالی که مقادیر متوسط مالکیت خودرو در دو شهر اختلاف کمی با یکدیگر دارند. نکته قابل ذکر دیگر در مورد متغیر زمان سفر با تاکسی است که مقدار آن مطابق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$TAXT = TT + (T)(Dist) + T_a \qquad (۱۰)$$

در این رابطه، **T**متوسط زمان توقف تاکسی (به منظور سوار و پیاده کردن مسافر) در یک کیلومتر، **Dist** معرف کوتاه‌ترین فاصله زمینی بین مبدأ و مقصد و در نهایت T_a، متوسط زمان دسترسی به وسیله نقلیه تاکسی است. در مطالعات تهران مقادیر **T**و T_a به ترتیب برابر ۲۱/۵ ثانیه و ۶ دقیقه تخمین زده شده است. برای پرداخت مدل قزوین، متوسط زمان توقف تاکسی همانند تهران ۲۱/۵ ثانیه در نظر گرفته شده، در حالی که برای T_a، مقدار ۲ دقیقه فرض شده است.

جدول ۱. ضرایب متغیرهای مدل‌های لوجیت چندگانه انتخاب وسیله برای شهرهای قزوین و تهران

پارامتر مدل	a	B	c	d	e	f	g	h
قزوین	۱/۰۹۸۲	−۰/۰۸۲۱	۰/۷۳۶۹	−۰/۱۶۶۵	۴/۶۹۱۷	۰/۸۱۴۴	−۰/۰۶۵۰	−۰/۰۳۰۷
تهران	۱/۷۱۷۳	−۰/۰۲۹۸	۶/۳۶۹۵	−۰/۰۲۰۲	۱۰/۶۸۶۸	۲/۸۰۹۶	−۰/۰۱۴۸	−۰/۰۲۲۵

جدول ۲. مقایسه آماری توصیفی متغیرهای به کار رفته در مدل انتخاب وسیله شهرهای قزوین و تهران

متغیر	OVT		IVT		TT		CO		TAXT	
شهر	قزوین	تهران	قزوین	تهران	قزوین	تهران	قزوین	تهران	قزوین	تهران
متوسط	۱۳/۷۶	۲۳	۱۱/۶۰	۲۲	۹/۵۸	۱۷	۰/۱۹	۰/۲۲	۱۳/۰۲	۲۴
بیشینه	۲۵/۶۶	۶۵	۵۰/۵۴	۱۱۸	۲۱/۹۳	۷۶	۰/۳۶	۰/۴۹	۲۷	۸۳
کمینه	۴/۱۴	۵	۰	۰	۰/۶۰	۱	۰	۰/۰۴	۲/۷۳	۶

جدول ۳. برخی معیارهای خوبی برازش مدل لوجیت چندجمله‌ای برای شهر قزوین

شرح متغیر	مقدار
$L_j(0)$ لگاریتم احتمال (همه مقادیر صفر) مشاهدات قزوین	−۹۲۱
$L_j(Cj)$ لگاریتم احتمال (سهم بازار) مشاهدات قزوین	−۸۶۹/۶۳
$L_j(\beta_j)$ لگاریتم احتمال مشاهدات قزوین بر اساس مدل قزوین	−۸۵۶/۴۹
$\rho^2_0 = 1 - \rho$	۰/۰۷
$\rho^2_c = 1 - \rho$	۰/۰۱۵
$L_j(\beta_j)$ لگاریتم احتمال مشاهدات قزوین بر اساس مدل تهران	−۸۸۸/۴۸

در مرحله بعد، دقیق‌ترین سطح انتقال‌پذیری با معیارهای معرفی شده در بخش قبل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به منظور محاسبه شاخص انتقال و آماری آزمون انتقال، نیاز به لگاریتم احتمال مشاهدات قزوین بر اساس مدل تهران ($L_j(\beta_i)$) خواهد بود. بنابراین، آماره‌های توصیفی مشاهدات قزوین در مدل تهران قرار داده شد، که مقدار لگاریتم احتمال آن به همراه مقادیر دیگر لگاریتم‌های احتمال مشاهدات قزوین و نیز مقادیر متغیرهای سنجش خوبی برازش مدل قزوین در جدول (۳) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج پرداخت مدل‌ها و معیارهای تعریف‌شده در بخش قبل، انتقال‌پذیری مدل تهران برای قزوین مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به در اختیار نبودن مقادیر آزمون t ضرایب مدل تهران، به ناچار آماری t* از محاسبات حذف شده است.

به دنبال بزرگ تر بودن آماری آزمون انتقال (۶۳/۹۸) از مقدار بحرانی مجذور کای در سطح ۹۵٪ با ۷ درجه آزادی (۱۴/۱)، فرضیه صفر برابری ضرایب دو مدل رد می‌شود (مقدار آماری آزمون انتقال با قرارگیری اعداد جدول ۳در رابطه ۲به دست آمده است). منفی بودن مقدار شاخص انتقال از رابطه (۳) (۱/۴۳۵–)، عملکرد ضعیف‌تر مدل انتقال داده شده به نسبت مدل سهم بازار را نشان می‌دهد، که بر این اساس، نتایج مدل تهران برای قزوین گمراه‌کننده بوده و به کارگیری آن از بی‌مدلی نیز بدتر است.

رویکرد آماری آزمون انتقال و شاخص انتقال مقایسه مدل‌ها در دو شهر است در حالی که ρ^2_{trans} ، $\rho^2_{c-trans}$ و معیار خطای نسبی مناسب بودن مدل تهران برای قزوین را با توجه به مشاهدات قزوین می‌سنجند. مقدار محاسبه شده برای ρ^2_{trans}، ۳٪ و برای $\rho^2_{c-trans}$، مطابق انتظار عددی منفی (۲٪–) به دست آمده که نشانگر برازش نامناسب مدل تهران از مشاهدات قزوین است؛ در نتیجه مدل تهران نمی‌تواند مدل مناسبی برای رفتار انتخاب وسیله سفر در قزوین باشد. خطای نسبی به دست‌آمده برای سهم استفاده‌کنندگان از تاکسی، سواری شخصی و اتوبوس نیز، به ترتیب برابر ۱۴٪، ۳٪ و ۲۱٪ خواهد بود که برای سهم تاکسی و اتوبوس قابل توجه است. خلاصه نتایج و تحلیل‌های انتقال‌پذیری مدل انتخاب وسیله تهران به قزوین در جدول (۴) بیان شده است. خروجی تمامی معیارها در این گزارش، عدم انتقال‌پذیری مدل انتخاب وسیله با هدف خرید شهر تهران به شهر قزوین را در دقیق‌ترین سطح نتیجه می‌دهد، هر چند که در سه سطح اول (بجز متغیر طرح ترافیک در سطح سوم) انتقال‌پذیری مورد تأیید بود. این انتقال‌پذیرنبودن می‌تواند دلایل متفاوتی از جمله ناهمخوانی ضرایب متغیرهای مدل تهران با اطلاعات قزوین داشته باشد. همچنین بر خلاف سفرهای اجباری (مانند سفرهای کاری و تحصیلی) که معمولاً از الگوی رفتاری یکسانی در مناطق گوناگون برخوردارند، الگوی رفتاری سفرهای اختیاری (مانند سفرهای خرید) در شهرهای متفاوت می‌تواند تأثیرپذیر از عادات فرهنگی مختلف باشد. شرایط اقتصادی، اجتماعی و ترافیکی متفاوت دو شهر تهران و قزوین به ویژه در ساعات اوج صبح هم می‌تواند بر تصمیم‌گیری افراد در مورد انتخاب وسیله برای انجام سفر تأثیر بگذارد. ملاحظه می‌شود که دلایل متعددی می‌توانند در انتقال‌پذیری مکانی مدل‌ها نقش داشته باشند، به شکلی که اگر برای مثال این روند برای دیگر اهداف سفر طی می‌شد و یا دو شهر دیگر مورد مطالعه قرار می‌گرفت؛ نتایج می‌توانست دستخوش تغییراتی شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه مقوله انتقال‌پذیری مدل‌های تقاضای سفر، هدف این مقاله معرفی و ارایه معیارها و سطوح مختلف انتقال‌پذیری و بکارگیری آنها در یک نمونه موردی برای مدل انتخاب وسیله است. پس از تشریح مباحث روش‌شناسی، انتقال مدل انتخاب وسیله تهران به قزوین برای سفرهای با هدف

خرید در ساعت اوج صبح به عنوان نمونه موردی مطالعه شد. در سطوح اول و دوم به سبب قابلیت انتقال نظریه بیشینه‌سازی مطلوبیت و نیز مدل لوجیت، مدل مورد نظر انتقال‌پذیر تشخیص داده شد. در سطح سوم به استثناء متغیر محدوده طرح ترافیک، دیگر اجزاء توابع مطلوبیت مدل تهران قابلیت انتقال‌پذیری به قزوین را دارا بودند. در ادامه با استفاده از معیارهای مختلف تعریف شده، انتقال‌پذیری مدل در سطح چهارم مورد نقد و بررسی قرار گرفت. بزرگ تر شدن آماری آزمون انتقال از مقدار بحرانی(۱۴/۱<۶۳/۹۸)، فرضیه صفر برابری ضرایب متغیرها در دو مدل را رد می‌کند. نتایج مبتنی بر شاخص انتقال (۱/۴۳۵)، برازش ضعیف مدل تهران برای مشاهدات قزوین را گزارش می‌کند و انتقال‌پذیری مورد نظر را گمراه کننده می‌داند. محاسبات انجام شده برای ρ^2_{trans} و $\rho^2_{c-trans}$ نیز نتایج قبلی مبنی بر نامناسب بودن مدل تهران در برازش اطلاعات قزوین را تأیید می‌کند (ρ^2_{trans}=۰/۰۳۵ و $\rho^2_{c-trans}$=-۰/۰۲۲). همچنین معیار خطای نسبی وجود اختلاف قابل توجه میان سهم‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل تهران را اثبات می‌کند. در مجموع، این مقاله با وجود انتقال‌پذیری مدل انتخاب وسیله تهران به قزوین برای سفرهای با هدف خرید در سه سطح نخست (بغیر از متغیر طرح ترافیک در سطح سوم)، انتقال‌ناپذیر بودن آن در سطح چهارم را (دقیق‌ترین سطح) گزارش می‌کند. دلایل مختلفی همچون متفاوت بودن شرایط اقتصادی، اجتماعی و ترافیکی و متأثر بودن سفرهای خرید از شرایط جغرافیایی و عادات فرهنگی می‌تواند باعث این امر باشد. برای مثال میانگین زمان سفر با سواری شخصی در نمونه‌های تهران تقریباً دو برابر این مقدار در نمونه‌های قزوین است. این نکته در مورد زمان سفر با اتوبوس نیز صادق است. متوسط مسافتی که یک فرد برای خرید در تهران طی می‌کند متفاوت از قزوین است که در انتخاب وسیله انجام سفر تأثیرگذار خواهد بود. یکسان نبودن ارزش زمانی در کلان‌شهر تهران و شهر قزوین نیز می‌تواند از دیگر عوامل انتقال‌ناپذیر بودن مدل مورد نظر باشد.

با توجه به این‌که تحقیقات گسترده‌ای در زمینه انتقال‌پذیری در کشور انجام نشده است، شاخه‌های مختلفی از این مبحث را می‌توان برای مطالعات آینده پیشنهاد کرد. تشخیص و تعیین معیارهایی مناسب برای دسته‌بندی شهرها به سبب انتقال مدل در میان آنها می‌تواند نمونه‌ای از این پژوهش‌ها باشد. علاوه بر این، استفاده از روش‌های اصلاح مدل و مشاهده تأثیرات آنها در انتقال مدل نیز از دیگر موضوعات پیشنهادی است.

جدول ۴. نتایج و تحلیل معیارهای انتقال‌پذیری مدل تهران به قزوین

معیار	شیوه	مقدار	نتیجه
TTS	–	۶۳/۹۸	بزرگ تر بودن از مقدار بحرانی مجذور کای، عدم برابری ضرایب دو مدل
TI	–	-۱/۴۳۵	مقدار منفی، گمراه‌کننده بودن نتایج مدل انتقال داده شده
ρ^2_{trans}	–	۰/۰۳۵	مقدار نزدیک به صفر، برازش نامناسب مدل انتقال داده شده
$\rho^2_{c-trans}$	–	-۰/۰۲۲	مقدار منفی، برازش نامناسب مدل انتقال داده شده
REM	تاکسی	-٪۱۴	اختلاف قابل توجه در سهم‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل انتقال یافته
	سواری	٪۳	
	اتوبوس	٪۲۱	

۶. سپاسگزاری

از معاونت محترم حمل و نقل و ترافیک شهرداری قزوین که نهایت همکاری را داشته و بخشی از اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش را در اختیار قرار دارند، صمیمانه سپاسگزاری می شود.

۷. پی‌نوشت‌ها

1- Transferability

2- Travel Behavior

3- Mathematical Model Class

4- Specific Model Form

5- Utility Maximization

6- Lawrence & Demetsky

7- Ou F.L & Yu J.C

8- Galbraith & Hensher

9- Karasmaa

10- Santoso D & Sunokawa T

۱۱- شهری که مدل مورد نظر با داده‌های مربوط به آن پرداخته می‌شود.

۱۲- شهری که مدل پرداخت شده در شهر مبدأ به جهت تشخیص رفتار سفر به آن انتقال داده می‌شود.

13- Transferability Test Statistics

14- Transfer Index

15- Log-likelihood

16- Atherton & Ben Akiva

17- Critical chi-squared

18- Koppelman & Wilmott

19- Market shares model

20- Goodness of fit

21- Relative Error Measure

22- Multinomial Logit

۸. مراجع

- Galbraith, R. A. and Hensher D. A. (1982) "Intra-metropolitan transferability of mode choice models", Journal of Transport Economics and Policy, Vol 16.

- Golob, T. F., Canty E.T. and Gustafon R.L. (1972), "Classification of metropolitan areas for the study of new system of arterial transportation", General Motors Research Laboratories.

- Karasmaa, N. (2001) "The spatial transferability of the Helsinki metropolitan area mode choice models", Proceedings of the 9th WCTR, Seoul.

- Lawrence, C. and Demetsky, J. (1980) "Transferability of trip generation models", Transportation Research Record No 751, pp. 751-762

- Ortuzar J. de. D. and Willumsen, L. (2002) "Modeling transport", John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex.

- Ou, F. L. and Yu, J. C. (1982) "Effect of urban character on transferability of demand models", Transportation Research Record No 874, pp.5-

- Santoso, D. and Sunokawa, T. K. (2005), "Transferability and updating of mode choice model in developing countries", Transportation Planning and Technology, Vol 28.

- Santoso, D. and Sunokawa, T. K. (2009) "Economic perspective of transferability of mode choice models", Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol 8.

- Sikder, S., Pinjari A., Srinivasan, S. and Nowrouzian, R. (2011) "Spatial transferability of travel forecasting models", 4th Innovations in Travel Modeling (ITM) Conference, Tampa, Florida.

– شرکت مطالعات جامع حمل و نقل ترافیک تهران (۱۳۹۰)"مدل انتخاب وسیله شهر تهران"، تهران: شرکت مطالعات جامع حمل و نقل ترافیک تهران.

– مشاق‌زاده‌فرد، سامان (۱۳۷۹) "انتقال‌پذیری مدل‌های تولید سفر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.