مدل‌سازی تقاضای سفر با استفاده از بلوک‌های آماری: مطالعه موردی شهر تهران

علی شیرزادی بابکان[1*]، محمدسعدی مسگری[2]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده نقشه‌برداری- GIS، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری- GIS، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: ۸۷/۱۱/۲۷ پذیرش: ۹۰/۳/۱۱

چکیده

در این مقاله با استفاده از بلوک‌های آماری شهر تهران به مدل‌سازی تقاضای سفر در سیستم‌های اطلاعات مکانی پرداخته شده است. برای نیل به این هدف از ۳۱۹۱ بلوک آماری شهر تهران به عنوان نواحی ترافیکی جهت نمایش مبدأ- مقصدهای سفر استفاده شد. پس از آماده‌سازی اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز در محیط GIS، به براورد تولید و جذب سفر برای هر یک از نواحی ترافیکی پرداخته شد.

برای این منظور، مدل‌هایی به تفکیک اهداف سفر با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره توسعه داده شدند. سپس با توجه به میزان تولید و جذب سفر تخمین زده شده برای هر یک از نواحی و فاصله مکانی بین آن‌ها، با استفاده از مدل جاذبه به توزیع سفر میان آن‌ها پرداخته شد. برای بهبود مدل‌سازی توزیع سفر از طول کوتاه‌ترین مسیر موجود بر روی شبکه معابر به‌عنوان فاصله میان نواحی استفاده شد. در نهایت ماتریس مبدأ- مقصد که خروجی نهایی توزیع سفر است، به‌دست آمد. این ماتریس حجم تقاضای سفر روزانه میان مکان‌های مختلف را نشان می‌دهد و می‌تواند کمک شایان توجه‌ای به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل برای توسعه و مدیریت بهینه حمل‌ونقل شهری کند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی تقاضای سفر، نواحی ترافیکی، تولید و توزیع سفر، GIS.

۱- مقدمه

تقاضای فزاینده حمل‌ونقل سبب بروز مسائل و مشکلات فراوانی در شهرهای امروزی شده است. تخمین تقاضای سفر، یک رکن اساسی و نقطه شروع در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری به شمار می‌رود. در تحقیقات زیادی از مدل‌سازی تقاضای سفر و تعاملات مکانی میان نواحی

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: shirzadi_ali@yahoo.com

ترافیکی به عنوان یک ورودی اساسی برای برنامه‌ریزی عملیاتی حمل‌ونقل استفاده شده است؛ به عنوان مثال (Ceder, 2003b; Nuzzolo, 2003) برای زمان‌بندی حرکت وسائل نقلیه و تخصیص ناوگان، (Cha and Murray, 2001; Murray, 2003) برای براورد پوشش دسترسی به حمل‌ونقل، (Grengs, 2001; Huang and Wei, 2002; Murray and Wu, 2003; Yu and Shaw, 2008; Yu, 2006) برای ارزیابی دسترس‌پذیری، (Horner and Murray, 2003; O'Neill et al., 1992) برای تحلیل ناحیه خدمات رسانی، (Azar and Ferreira, 1995; Peng et al., 1997) برای پیش‌بینی تعداد کل مسافران حمل‌ونقل عمومی، (Ceder, 2003a; Ramirez and Seneviratne, 1996; Soehodo and Koshi, 1999) برای طراحی مسیر حمل‌ونقل عمومی و (Furth and Rahbee, 2000; Horner and Grubesic, 2001) برای تعیین مکان ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی از مدل‌سازی تقاضای سفر استفاده کرده‌اند.

از طرف دیگر، تنوع زیاد اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و نیز قابلیت‌های تحلیلی، مدل‌سازی و نمایشی موجود در سیستم‌های اطلاعات مکانی، آن‌ها را به یک ابزار ارزشمند برای تحلیل و مدل‌سازی تقاضای حمل‌ونقل تبدیل کرده است.

بنابراین پیاده‌سازی مدل‌های تقاضای سفر در محیط GIS[1] باعث برطرف شدن بسیاری از نارسایی‌های سیستم مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری می‌شود (Black, 2003; Knowles et al., 2008; Shaw, 2002).

تحقیقات بسیاری در توصیف و پیش‌بینی تقاضای سفر انجام گرفته است که در بیش‌تر آن‌ها تقاضای سفر با استفاده از نواحی ترافیکی و به‌وسیله مدل‌سازی چهار مرحله‌ای تقاضای سفر تشریح و پیش‌بینی شده است (Miller, 1999). در مرحله اول این فرایند معمولاً از تحلیل رگرسیون برای تخمین تولید و جذب سفر استفاده می‌شود (Banister, 2002; Ortúzar and Willumsen, 2006; Papacostas and Prevedouros, 2001). سپس در مرحله دوم، یک ماتریس مبدأ- مقصد سفر برای نواحی ترافیکی (TAZs)[2] تعیین می‌شود که

1. Geospatial Information Systems
2. Traffic Analysis Zones

معمولاً با استفاده از مدل‌های مبتنی بر جاذبه براورد می‌شود (Keeling, 2008; Meyer and Miller, 2001; Taaffe & et al., 1996; Wirasinghe and Kumarage, 1998).

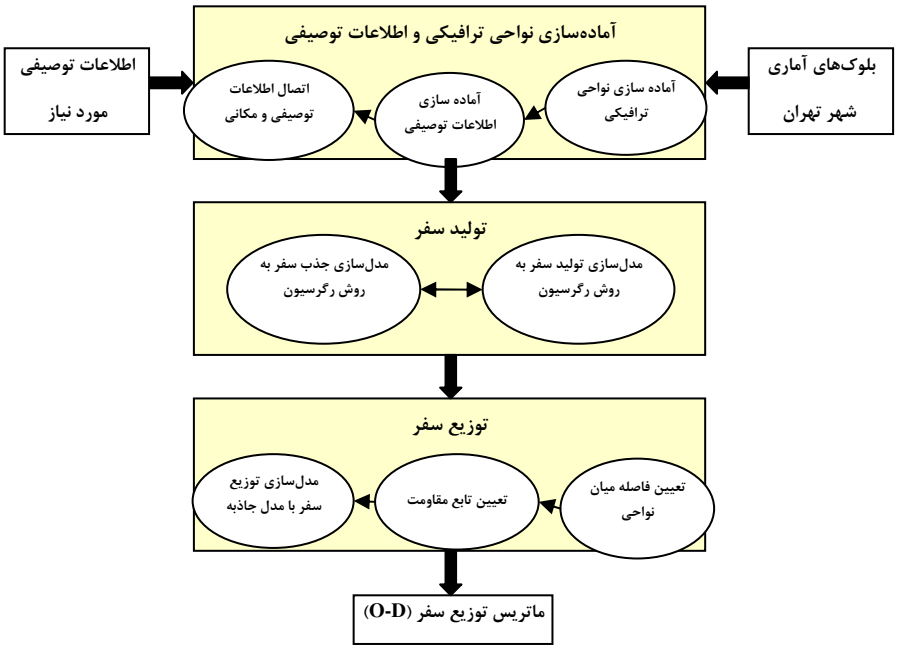
در حال حاضر متخصصان و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل بسیاری از کشورها از مدل‌سازی تقاضای سفر به منظور آگاهی از حجم تقاضای موجود و آتی میان نواحی مختلف شهری برای توسعه و بهبود سیستم حمل‌ونقل شهری استفاده می‌کنند. اما در ایران و به‌خصوص در کلان‌شهرهایی مانند تهران تاکنون تحقیقات و مطالعات قابل ذکری در این زمینه انجام نشده است و تنها مطالعات محدودی به‌وسیله برخی از سازمان‌های اجرایی فعال در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری صورت گرفته است که این مطالعات نیز بسیار کلی بوده و در یک محیط غیرمکانی به پیش‌بینی کلی تقاضای سفر در سطح مناطق وسیع شهری پرداخته‌اند. از این رو هدف اساسی مقاله حاضر، مدل‌سازی و بررسی کمّی تقاضای سفر میان نواحی مکانی با وسعت بسیار کم (بلوک‌های آماری) شهر تهران در محیط GIS است تا بتوان از آن به‌عنوان بستری برای انجام سایر تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در جهت توسعه و مدیریت حمل‌ونقل شهری استفاده کرد.

۲- روش تحقیق

در این مقاله به منظور مدل‌سازی تقاضای سفر از سیستم مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری (UTMS)[1] استفاده شده است. سیستم مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری چارچوبی است که متخصصان حمل‌ونقل به کمک آن به بررسی الگوهای مکانی سفر میان نواحی شهری می‌پردازند. این سیستم به طور کلی از چهار مرحله اصلی تولید سفر، توزیع سفر، تفکیک سفر (انتخاب وسیله) و تخصیص ترافیک تشکیل شده است که در این مقاله از دو مرحله اول آن برای تخمین تقاضای سفر میان نواحی شهری استفاده می‌گردد. برای این منظور نخست به معرفی منطقه مورد مطالعه، نحوه تعیین نواحی ترافیکی مناسب و بررسی آثار آن‌ها بر روی نتایج مدل‌سازی تقاضای سفر و سپس به توسعه‌ی مدل‌های تولید و توزیع سفر برای این

1. Urban Transportation Modeling System

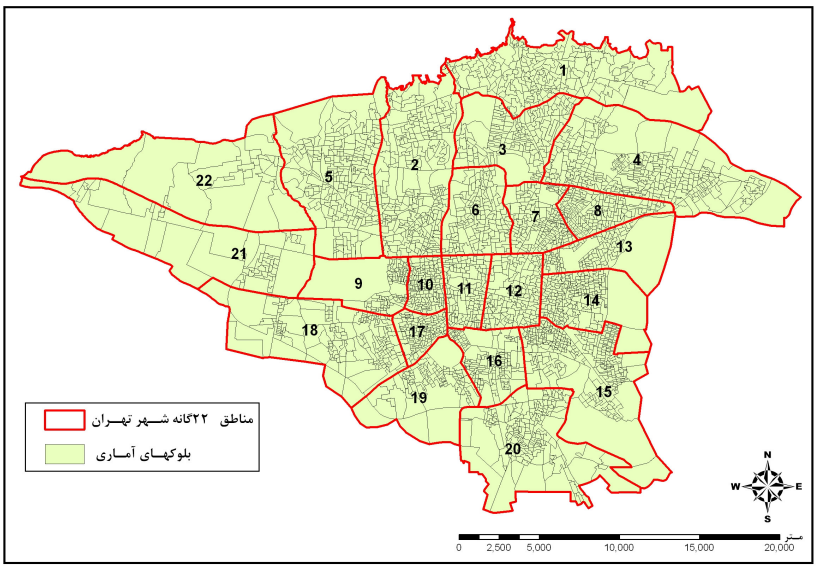
نواحی ترافیکی پرداخته می‌شود. فرایند مدل‌سازی صورت گرفته شده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ فرایند مدل‌سازی صورت گرفته به منظور براورد تقاضای سفر میان بلوک‌های آماری شهر تهران

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این مقاله از ۳۱۹۱ بلوک آماری تشکیل دهنده مناطق ۲۲گانه و اطلاعات آماری سال ۱۳۸۶ شهر تهران استفاده شده است. اطلاعات آماری به صورت فایل‌های متنی موجود بوده که در نرم‌افزار ArcGIS آماده‌سازی شده و به گونه‌ای مناسب به نقشه بُرداری بلوک‌های آماری مناطق ۲۲ گانه شهر تهران متصل شدند. در شکل ۲ بلوک‌های آماری مورد استفاده به‌عنوان نواحی ترافیکی نشان داده شده است.



شکل ۲ نقشه بلوک‌های آماری (نواحی ترافیکی) مورد استفاده در مدل‌سازی تقاضای سفر شهر تهران

۲-۲- آماده‌سازی نواحی ترافیکی

برای مدل‌سازی تقاضای سفر، نخست منطقه مورد مطالعه به نواحی ترافیکی تقسیم می‌شود. این نواحی برای نمایش مبدأ و مقصدهای سفر به‌کار برده می‌شوند و از اهمیت زیادی در فرایند چهار مرحله‌ای تقاضای سفر برخوردار هستند (Miller and Storm, 1996; You et al., 1997a,b).

یک ویژگی بسیار مهم نواحی ترافیکی که بر نتایج حاصل از مراحل مختلف مدل‌سازی تقاضای سفر تأثیر می‌گذارد، توان تفکیک مکانی آن‌ها می‌باشد. برای اولین بار Gehlke and Biehl, 1934 پی بردند که نتایج حاصل از تحلیل‌های مبتنی بر داده‌های مکانی می‌تواند با توجه به مجموعه نواحی در نظر گرفته شده، متفاوت باشد. Openshaw and Taylor, 1979 این مسأله را برای اولین بار با عنوان مسأله واحدهای ناحیه‌ای قابل اصلاح (MAUP)[1] مورد بررسی دقیق قرار دادند. به طور کلی می‌توان گفت که هر چه تجمیع داده‌ها بیش‌تر باشد، مقدار خطاهای مدل‌سازی بزرگ‌تر خواهد شد (Francis et al., 1999; Horowitz, 2001).

1. Modifiable Areal Units Problem

یک راه‌حل مؤثر برای کاهش آثار احتمالی MAUP بـر روی نتـایج مـدل‌سـازی تقاضـای سفر، استفاده از نواحی با انـدازه کوچـک مـی‌باشـد (Church, 2002; Miller and Shaw, 2001; Miller, 1996; Openshaw, 1996). از ایـن‌رو در ایـن مقالـه بـرای کـاهش آثـار MAUP از بلوک‌های آماری به عنوان نواحی ترافیکی استفاده شده است. بلوک‌های آماری در حال حاضر جزئی‌ترین اطلاعات مکانی موجود در سطح شهر تهران بوده که حاوی اطلاعـات توصیفی مورد نیاز برای براورد تقاضای سفر می‌باشند.

۲-۳- تولید سفر[1]

پس از این‌که منطقه مورد مطالعه به تعدادی ناحیه ترافیکی تقسیم شد، مرحله بعدی در فراینـد مدل‌سازی تقاضای سفر، تعیین تعداد کمّی سفرهایی است که هر ناحیه تولید یا جذب می‌کند. تعداد سفرهای تولید یا جذب شـده یـک ناحیـه بـه کـاربری زمـین آن ناحیـه و خـصوصیات اقتصادی- اجتماعی تولیدکنندگان سفر بستگی دارد.

در این مقاله مدل‌های تولید و جذب سفر متفاوتی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیـره و به روش گام به گام[2] برای سفرهای با اهداف کار، تحصیل، خرید (کالا و خدمات)، تفریح و هیچ سرخانه[3] توسعه داده شده است. صورت کلی یک مدل رگرسیون چند متغیره بـه صـورت ذیل می‌باشد:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \ldots + a_n x_n \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه y متغیر وابسته، xها متغیرهای مستقل و aهـا پارامترهـای مـدل هـستند. هم‌چنین تعدادی متغیر کمکی (مجازی)[4] نیز برای برخی نـواحی خـاص در نظـر گرفتـه شـده است. تمامی این متغیرها با حرف D شروع می‌شوند و مقدار آن‌ها برای نواحی مورد نظر یـک و برای سایر نواحی صفر است. علت انتخاب این متغیرها انطباق بیش‌تر میزان تولید و جـذب

1. Trip generation
2. Stepwise
۳. سفرهای هیچ‌سرخانه به سفرهایی اطلاق می‌شود که مبدأ و مقصد آن‌ها خانه نیست.
4. Dummy

سفر در آن نواحی با نمونه‌برداری‌های موجود می‌باشد. مدل‌های تولید سفر توسعه داده شده در روابط (۲)، (۳)، (٤)، (٥) و (٦)، و مدل‌های جذب سفر در روابط (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) به‌ترتیب برای اهداف سفر کار، تحصیل، خرید، تفریح و هیچ‌سرخانه ارائه شده‌اند.

رابطه (۲) $T_i^w = 0.565 * VP_i * RE_i + 1.112 RE_i$ $R^2 = 0.972$

رابطه (۳) $T_i^s = 1.473 * VP_i * RSt_i + 0.825 * RStu_i$ $R^2 = 0.963$

رابطه (۴) $T_i^{sh} = 0.164 * P_i + 0.313 * VP_i * P_i$ $R^2 = 0.938$

رابطه (۵) $T_i^r = 0.105 * P_i + 0.377 * VP_i * P_i$ $R^2 = 0.916$

رابطه (۶) $R^2 = 0.895$

$$T_i^{nh} = 0.491 * E_i + 6.208 * VP_i * Shp_i + 3496 * DM_i + 963 * DS_i$$

رابطه (۷) $T_j^w = 1.627 * E_j + 2.414 * Shp_j + 5710 * DM_j$ $R^2 = 0.954$

رابطه (۸) $T_j^s = 1.231 * St_j + 0.762 * Stu_j + 2176 * DU_j$ $R^2 = 0.941$

رابطه (۹) $R^2 = 0.914$

$$T_j^{sh} = 4.098 * Shp_j + 0.195 * E_j + 0.823 * H_j + 15532 * DM_j + 3471 * DS_j + 5590 * DF_j - 0.904 * Shp_j * DTl_j$$

رابطه (۱۰) $R^2 = 0.901$

$$T_j^r = 153.297 * Pk_j + 1.847 * Shp_j + 4182 * DPk_j + 1807 * DS_j - 0.266 * Shp_j * DTl_j$$

رابطه (۱۱) $R^2 = 0.889$

$$T_j^{nh} = 0.456 * E_j + 2.883 * Shp_j + 3761 * DM_j + 941 * DS_j$$

که در آن‌ها:

$T_i^{nh}, T_i^r, T_i^{sh}, T_i^s, T_i^w$ تعداد سفرهای تولید شده از ناحیه i و $T_j^{nh}, T_j^r, T_j^{sh}, T_j^s, T_j^w$ تعداد سفرهای جذب شده به ناحیه j به‌ترتیب برای اهداف سفر کار، تحصیل، خرید، تفریح و هیچ‌سرخانه ؛ P_i: جمعیت ساکن در ناحیه i؛ VP_i: سرانه مالکیت خودرو شخصی در ناحیه i؛ RE_i: تعداد افراد شاغل ساکن در ناحیه i؛ E_i: تعداد کارکنان در واحدهای اشتغال موجود در ناحیه i؛ RSt_i: تعداد دانش‌آموزان ساکن در ناحیه i؛ St_i: تعداد دانش‌آموزان واحدهای آموزشی موجود در ناحیه i؛ $RStu_i$: تعداد دانشجویان ساکن در ناحیه i؛ Stu_i: تعداد دانشجویان واحدهای آموزش عالی موجود در ناحیه i؛ Shp_i: تعداد واحدهای کسبی موجود در ناحیه i؛ H_i: تعداد تخت‌های بیمارستانی موجود در ناحیه i؛ Pk_i: تعداد پارک‌های موجود در ناحیه i؛ DM_i: متغیر کمکی بازار برای ناحیه i؛ DS_i: متغیر کمکی میادین اصلی واقع در ناحیه i؛ DU_i: متغیر کمکی مربوط به دانشگاه‌های بزرگ واقع در ناحیه i؛ DF_i: متغیر کمکی مربوط به میادین میوه و تره‌بار واقع در ناحیه i؛ DTl_i: متغیر کمکی مربوط به محدوده طرح ترافیکی برای ناحیه i؛ DPk_i: متغیر کمکی مربوط به پارک‌های اصلی شهر تهران و بهشت‌زهرا در ناحیه i می‌باشند.

۲-۴- توزیع سفر[1]

پس از به‌دست آوردن میزان تولید و جذب سفر به تفکیک اهداف سفر برای هر یک از نواحی ترافیکی، در این مرحله به توزیع سفرهای براورد شده میان این نواحی پرداخته می‌شود. نتیجه این مرحله ایجاد یک ماتریس سفر با عنوان ماتریس مبدأ- مقصد (O-D)[2] می‌باشد. ماتریس سفر قالبی است که در مطالعات حمل‌ونقل، عموماً از آن به منظور نمایش الگوی سفر استفاده می‌شود. در این ماتریس هر یک از سطرها و ستون‌ها نماینده نواحی ترافیکی و هر درایه (T_{ij}) در آن، بیانگر میزان سفر انجام شده از ناحیه i به ناحیه j می‌باشد. مدل‌های توزیع

1. Trip distribution
2. Origin-Destination matrix

سفر متفاوتی از قبیل مدل‌های رشد، فرصت‌های میانی، و جاذبه[1] وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای مدل‌سازی توزیع سفر استفاده کرد. در این مقاله از مدل‌های جاذبه متفاوتی به تفکیک اهداف سفر برای توزیع سفر میان بلوک‌های آماری شهر تهران استفاده شده است.

۲-۴- ۱- مدل جاذبه

مدل جاذبه به علت سادگی و دقت بالا یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های مورد استفاده برای توزیع سفر به شمار می‌رود. صورت کلی مدل جاذبه مورد استفاده به صورت ذیل است:

$$T_{ij} = a_i * P_i * b_j * A_j * f(d_{ij}) \quad , \quad \begin{cases} \sum_j T_{ij} = P_i \\ \sum_i T_{ij} = A_j \end{cases} \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن :

T_{ij}: تعداد سفرها از ناحیه i به j؛ P_i: تعداد سفرهای تولید شده از ناحیه i؛ A_j: تعداد سفرهای جذب شده به ناحیه j؛ d_{ij}: مقاومت میان نواحی i و j؛ $f(d_{ij})$: مقدار تابع مقاومت میان نواحی i و j؛ a_i: پارامتر موازنه‌کننده سطر i؛ b_j: پارامتر موازنه‌کننده ستون j می‌باشند. این مدل برای نشان دادن میزان مقاومت اشخاص برای انجام سفرهای با مدت زمان یا مسافت‌های متفاوت از یک تابع مقاومت (تابع اصطکاک) ($f(d_{ij})$) استفاده می‌کند.

۲-۴-۲- محاسبه فاصله میان نواحی

معمولاً هزینه تعامل میان مکان‌ها به صورت تابعی از فاصله اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور عموماً از فاصله اقلیدسی مرکز تا مرکز یا یک تابع از آن استفاده می‌شود؛ در حالی که فاصله اقلیدسی یک نماینده ضعیف برای توزیع هزینه‌های تعامل میان نواحی به شمار می‌رود. در این مقاله برای بهبود اندازه‌گیری فاصله میان نواحی، از فاصله بر روی شبکه معابر به عنوان

1. Gravity model

عامل مقاومت در برابر سفر استفاده شده است. برای این منظور نخست مراکز ثقل نواحی تعیین و سپس نزدیک‌ترین معبر موجود به آن نقاط شناسایی شده و کوتاه‌ترین مسیر میان نواحی به این ترتیب محاسبه شد. طول کوتاه‌ترین مسیر حاصل به‌علاوه فاصله میان مراکز ثقل تا نزدیک‌ترین معبر به عنوان فاصله میان نواحی، نقش عامل مقاومت در برابر سفر را ایفا می‌کند. در نهایت ماتریسی تشکیل داده می‌شود که تعداد سطرها و ستون‌های آن برابر با تعداد نواحی و هر درایه‌ی آن فاصله میان نواحی را مشخص می‌کند.

۲-۴-۳- تعیین تابع مقاومت (مقادیر اصطکاک)

پس از تعیین ماتریس فاصله باید تابع مقاومت مناسبی برای هر یک از اهداف سفر توسعه داده شود. در این مقاله، مقادیر تابع مقاومت (مقادیر اصطکاک) در یک فرایند تکراری به گونه‌ای براورد شده‌اند که تعداد سفرهای تخمین زده شده به‌وسیله مدل جاذبه در بازه‌های فاصله‌ای مشخص، بیش‌ترین انطباق را با سفرهای نمونه‌برداری شده موجود داشته باشند.

به این ترتیب مقادیر اصطکاک مجزایی در بازه‌های فاصله‌ای مشخص برای توزیع سفر هر یک از اهداف سفر به‌دست آمد. علت متفاوت بودن مقادیر تابع مقاومت برای هر یک از اهداف سفر این است که میزان تمایل افراد برای انجام سفرهای با فواصل مختلف با توجه به هدف سفر به طور قابل توجه‌ای تغییر می‌کند.

۳- نتایج

۳-۱- تولید و جذب سفر نواحی

با به‌کارگیری روابط توسعه داده شده در بخش ۲-۳، میزان تولید و جذب سفر بلوک‌های آماری شهر تهران براورد می‌شود. نتایج تجمیع شده تولید و جذب سفر بلوک‌های آماری در سطح مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به تفکیک اهداف سفر در جدول‌های ۲،۱ و شکل‌های ۳، ٤، ٥ و ٦ ارائه شده است.

جدول ۱ تولید سفر روزانه غیر بازگشت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به تفکیک اهداف سفر

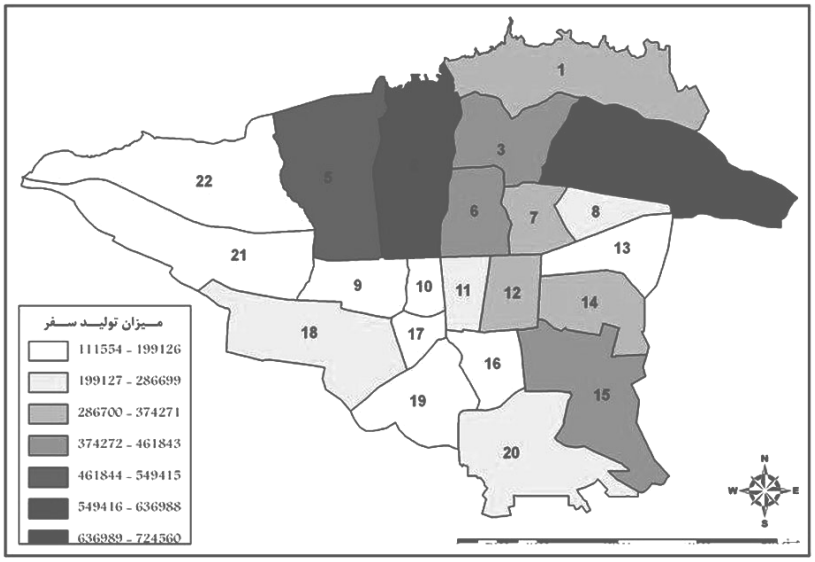
منطقه	سفرهای کاری	سفرهای تحصیلی	سفرهای با هدف خرید	سفرهای تفریحی	سفرهای هیچ سرخانه	جمع کل
۱	۱۰۹۹۸۰	۸۲۹۷۱	۵۶۷۶۰	۵۲۸۱۵	۵۲۳۵۷	۳۵۴۸۸۳
۲	۲۱۵۰۵۲	۱۴۰۱۸۲	۹۵۷۴۹	۹۳۵۲۵	۸۰۹۰۱	۶۲۵۴۰۹
۳	۱۱۴۸۲۰	۷۷۹۵۴	۵۲۷۹۷	۵۹۱۷۶	۱۰۵۴۱۲	۴۱۰۱۵۹
۴	۲۷۳۶۷۷	۱۵۵۶۱۸	۱۰۵۴۸۸	۱۰۵۹۱۲	۸۳۸۶۵	۷۲۴۵۶۰
۵	۱۹۸۷۱۹	۱۱۷۹۳۱	۷۸۴۰۹	۸۱۲۶۱	۴۷۶۳۹	۵۲۳۹۵۹
۶	۹۵۰۵۵	۵۶۸۹۹	۳۸۶۸۱	۴۱۱۳۴	۱۷۵۵۷۶	۴۰۷۳۴۵
۷	۱۰۸۵۷۳	۴۹۱۹۴	۴۰۲۵۰	۴۳۸۶۰	۸۷۰۰۲	۳۲۸۸۷۹
۸	۱۰۵۳۹۱	۵۳۴۶۶	۴۲۳۵۹	۴۵۱۳۶	۳۴۳۱۵	۲۸۰۶۶۷
۹	۵۵۹۸۳	۲۴۶۴۷	۱۹۶۷۷	۲۲۵۳۰	۲۸۳۳۱	۱۵۱۱۶۸
۱۰	۷۹۷۹۳	۲۹۳۹۳	۲۷۱۹۱	۲۹۲۲۴	۲۸۰۲۳	۱۹۳۶۲۴
۱۱	۸۰۶۹۳	۲۵۹۳۲	۲۴۳۳۳	۲۷۷۱۴	۷۵۵۵۵	۲۳۴۲۲۷
۱۲	۷۴۲۳۱	۲۴۶۹۸	۲۱۹۰۷	۲۳۵۰۹	۱۸۵۱۰۳	۳۲۹۴۴۸
۱۳	۷۳۲۲۴	۳۳۱۶۵	۲۶۳۲۹	۲۷۸۰۴	۲۷۱۶۸	۱۸۷۶۹۰
۱۴	۱۴۹۳۵۰	۵۷۳۰۴	۴۸۵۲۷	۵۲۵۲۲	۳۵۱۶۰	۳۴۲۸۶۳
۱۵	۱۹۸۹۴۸	۶۶۷۱۹	۶۲۱۲۶	۶۶۲۰۵	۴۷۴۴۸	۴۴۱۴۴۶
۱۶	۸۱۴۰۲	۲۴۷۸۸	۲۶۰۲۰	۲۸۲۳۸	۲۸۷۵۸	۱۸۹۲۰۶
۱۷	۷۷۱۰۶	۲۶۵۹۸	۲۵۴۹۲	۲۷۹۱۰	۲۲۷۲۰	۱۷۹۸۲۶
۱۸	۱۲۰۰۹۰	۴۷۰۷۶	۴۲۸۲۸	۴۲۸۱۶	۳۳۰۹۹	۲۸۵۹۰۹
۱۹	۸۲۶۵۱	۲۷۷۵۱	۲۶۶۵۶	۲۸۳۲۴	۱۵۳۶۵	۱۸۰۷۴۷
۲۰	۱۱۴۲۳۴	۴۲۹۴۰	۳۸۴۳۵	۳۹۷۱۳	۳۱۹۴۱	۲۶۷۲۶۳
۲۱	۵۴۹۵۰	۲۶۹۴۱	۱۹۶۴۸	۲۱۳۷۹	۲۲۸۹۰	۱۴۵۸۰۸
۲۲	۳۹۳۵۹	۱۸۵۴۶	۱۵۸۵۱	۱۹۸۴۵	۱۷۹۵۳	۱۱۱۵۵۴
جمع کل	۲۵۰۳۲۸۱	۱۲۱۰۷۱۳	۹۳۵۵۱۳	۹۸۰۵۵۲	۱۲۶۶۵۸۱	۶۸۹۶۶۴۰

با استفاده از این جداول می‌توان میزان تولید و جذب سفر روزانه غیر بازگشت مناطق مختلف شهر تهران را مورد بررسی قرار داد و اطلاعات ارزشمندی از حجم تقاضای سفر آن‌ها به‌دست آورد. به عنوان نمونه همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، منطقه ٤ دارای

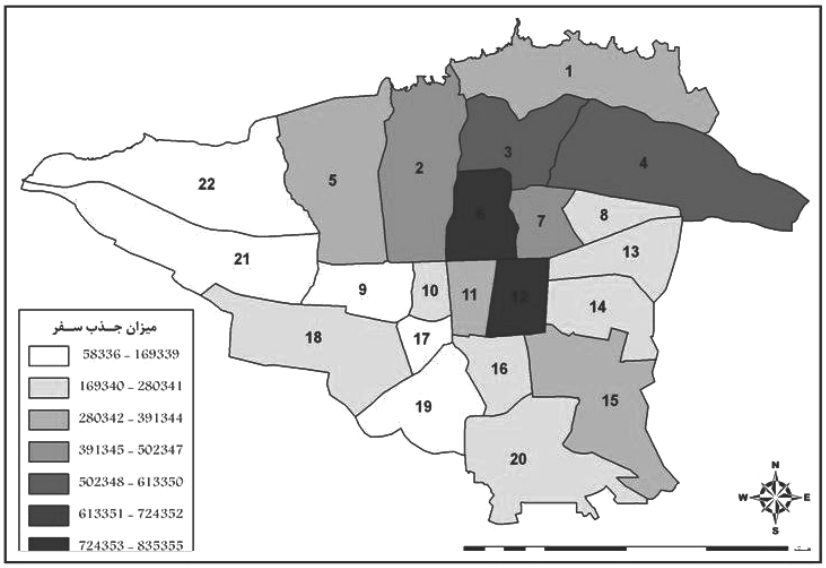
بیش‌ترین حجم تولید سفر روزانه در میان مناطق ۲۲گانه شهر تهران می‌باشد که میزان سفرهای ایجاد شده از آن به تفکیک اهداف سفر نیز مشخص شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۲، مناطق ٦ و ۱۲ دارای بیش‌ترین جذب سفر روزانه غیر بازگشت می‌باشند که میزان سفرهای انجام شده به این مناطق نیز برای اهداف مختلف سفر مشخص شده است. به همین ترتیب می‌توان سفرهای سایر مناطق را نیز به تفکیک اهداف سفر تجزیه و تحلیل قرار کرد.

جدول ۲ جذب سفر روزانه غیر بازگشت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران به تفکیک اهداف سفر

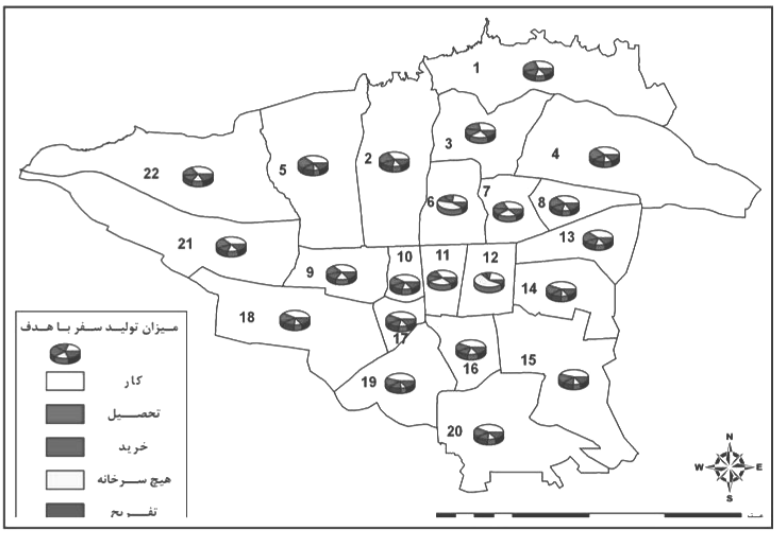
منطقه	سفرهای کاری	سفرهای تحصیلی	سفرهای با هدف خرید	سفرهای هیچ سرخانه	سفرهای تفریحی	جمع کل
۱	۶۹۰۹۲	۸۷۸۸۶	۴۵۶۱۶	۵۲۸۴۶	۵۵۳۵۳	۳۱۰۷۹۳
۲	۱۱۱۲۱۶	۱۱۲۱۵۶	۷۲۱۴۸	۸۰۹۴۷	۶۲۴۹۳	۴۳۸۹۶۰
۳	۱۴۰۴۶۸	۱۱۸۰۴۰	۷۷۴۲۷	۱۰۵۸۵۲	۸۳۷۵۰	۵۲۵۵۳۷
۴	۱۶۳۷۳۵	۱۳۷۱۳۰	۶۵۶۰۱	۸۴۵۴۸	۸۲۷۹۹	۵۳۳۸۱۳
۵	۸۴۵۴۳	۱۰۱۲۲۰	۳۵۷۷۶	۴۷۶۷۴	۵۶۷۶۱	۳۲۵۹۷۴
۶	۳۲۶۶۶۶	۱۳۸۰۰۵	۱۲۱۲۶۶	۱۷۵۸۷۸	۷۳۵۴۰	۸۳۵۳۵۵
۷	۱۵۳۲۷۸	۴۸۰۲۱	۶۲۹۹۰	۸۶۹۹۷	۵۲۳۴۳	۴۰۳۶۲۹
۸	۶۲۰۴۵	۴۹۲۹۲	۲۸۰۱۶	۳۴۵۴۷	۳۵۴۹۶	۲۰۹۳۹۶
۹	۷۴۳۶۱	۲۳۶۳۲	۱۷۴۸۹	۲۸۴۷۵	۲۴۲۰۳	۱۶۸۱۶۰
۱۰	۷۷۶۵۰	۲۳۵۹۸	۲۲۸۱۰	۲۸۱۷۲	۲۹۰۷۱	۱۸۱۳۰۱
۱۱	۱۵۶۶۲۹	۴۱۰۹۶	۴۷۵۰۸	۷۵۹۲۹	۴۰۳۳۹	۳۶۱۵۰۱
۱۲	۴۲۵۸۸۵	۴۷۲۹۶	۱۱۸۵۸۶	۱۸۵۴۰۴	۵۷۱۶۰	۸۳۴۳۳۱
۱۳	۵۱۶۲۵	۴۱۰۲۴	۲۲۸۱۸	۲۷۲۵۲	۳۲۱۸۵	۱۷۴۹۰۴
۱۴	۷۴۴۵۱	۶۰۰۲۳	۲۸۹۶۹	۳۵۶۸۳	۴۳۹۴۱	۲۴۳۰۶۷
۱۵	۱۱۶۳۱۳	۳۴۰۳۳	۴۰۲۸۲	۴۷۱۰۵	۵۳۱۸۹	۲۹۰۹۲۲
۱۶	۷۳۹۴۶	۳۱۶۷۸	۲۶۵۰۹	۲۸۷۵۶	۳۱۵۸۷	۱۹۲۴۷۶
۱۷	۵۹۵۷۱	۱۶۰۵۳	۱۸۷۵۹	۲۲۹۴۱	۲۵۰۱۵	۱۴۲۳۳۹
۱۸	۹۱۹۵۰	۲۳۴۶۲	۲۶۰۱۲	۳۳۰۴۰	۳۷۸۴۷	۲۱۲۳۱۱
۱۹	۴۱۷۱۶	۱۵۰۶۰	۱۱۶۸۲	۱۵۱۱۰	۲۲۶۴۰	۱۰۶۲۰۸
۲۰	۸۰۳۱۳	۳۲۷۶۶	۲۷۸۷۴	۳۱۶۸۷	۴۲۷۶۸	۲۱۵۴۰۸
۲۱	۵۶۸۳۲	۱۷۳۷۶	۱۱۴۱۶	۲۱۲۲۶	۲۵۰۶۹	۱۳۱۹۱۹
۲۲	۱۰۹۹۶	۱۱۸۶۶	۵۹۵۹	۱۶۵۱۲	۱۳۰۰۳	۵۸۳۳۶
جمع کل	۲۵۰۳۲۸۱	۱۲۱۰۷۱۳	۹۳۵۵۱۳	۱۲۶۶۵۸۱	۹۸۰۵۵۲	۶۸۹۶۶۴۰



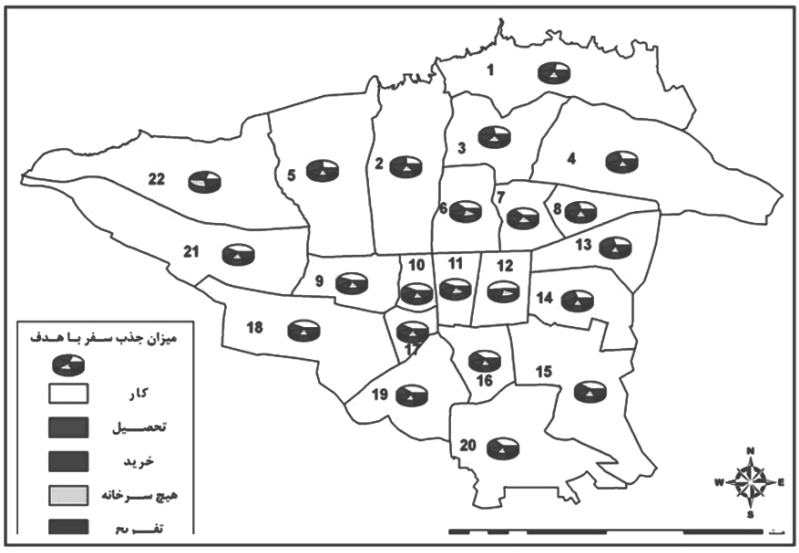
شکل ۳ تولید سفر غیر بازگشت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران



شکل ۴ جذب سفر غیر بازگشت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران



شکل ۵ درصد تولید سفر غیر بازگشت هر یک از اهداف سفر در مناطق ۲۲گانه شهر تهران



شکل ۶ درصد جذب سفر غیر بازگشت هر یک از اهداف سفر در مناطق ۲۲گانه شهر تهران

۳-۲- توزیع سفر میان نواحی

با استفاده از رابطه (۱۲) که در بخش ۲-٤-۱ توضیح داده شد، یک ماتریس توزیع سفر مجزا برای هر یک از اهداف سفر به‌دست می‌آید که با جمع درایه‌های نظیر آن‌ها، ماتریس مبدأ- مقصد نهایی حاصل می‌شود. با توجه به این‌که مجموع هر سطر این ماتریس برابر با میزان تولید و مجموع هر ستون آن برابر با میزان جذب براورد شده از مرحله قبل می‌باشد و نیز پرداخت مدل جاذبه با استفاده از نمونه‌برداری‌های موجود صورت گرفته است و مجموع سفرها برای زوج مبدأ- مقصدهای موجود در یک محدوده فاصله ای مشخص برابر با میزان سفرهای مشاهداتی آن ها می باشد، لذا این ماتریس از دقت قابل قبولی برخوردار است. صورت تجمیع شده این ماتریس در سطح مناطق ۲۲گانه شهر تهران در جدول ۳ نشان داده شده است. با استفاده از این جدول می‌توان از حجم سفرهای انجام شده میان مناطق مختلف شهر تهران آگاهی پیدا کرد. به عنوان نمونه حجم سفرهای روزانه از منطقه ۲ به ۵ برابر با ٤٦٤۰۳ سفر تخمین زده شده است و به همین ترتیب می‌توان حجم سفرهای انجام شده از منطقه ۲ به سایر مناطق و یا از سایر مناطق به یکدیگر را نیز براورد کرد.

۴- نتیجه‌گیری

مدیران و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل شهری برای برنامه‌ریزی در راستای استفاده هر چه بهتر از منابع موجود و هم‌چنین توسعه آتی سیستم حمل‌ونقل شهری، نیازمند تخمینی از میزان تقاضای سفر شهری می‌باشند. در این راستا با مدل‌سازی تقاضای سفر می‌توان میزان سفرهای انجام شده میان مکان‌های مختلف شهر را به‌صورت کمّی براورد کرد.

در این مقاله برای مدل‌سازی تقاضای سفر از بلوک‌های آماری به عنوان نواحی ترافیکی استفاده شد که به دلیل کوچک بودن اندازه آن‌ها نسبت به نواحی ترافیکی مورد استفاده در سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، آثار MAUP بر روی نتایج مدل‌سازی تقاضای سفر را به طور قابل توجه‌ای کاهش و دقت مدل‌سازی را افزایش داده است. اگر چه استفاده از این نواحی کوچک موجب افزایش پیچیدگی و زمان محاسباتی مدل‌سازی نیز شده است.

در مدل‌سازی تولید و جذب سفر، همان‌طور که از روابط (۲) تا (۱۱) مشخص است، تمامی مدل‌ها دارای ضریب همبستگی (R^2) بسیار مناسبی می‌باشند که با انجام آزمون F (فیشر) مشخص شد، مقدار حاصل از این آزمون در سطح اطمینان ۹۹ درصد بسیار بزرگ‌تر از مقدار F مربوط به جدول آماری

می‌باشد که نشان از برازندگی مناسب این مدل‌ها دارد. هم‌چنین مقدار حاصل از آزمون t مربوط به تمامی متغیرهای موجود در این مدل‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد بیش‌تر از مقدار t مربوط به جدول می‌باشد که نشان از تأثیرگذاری این متغیرها در مدل‌های مربوطه می‌باشد. هم‌چنین اگر چه به نظر می‌رسد این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های توسعه داده شده در سایر تحقیقات، دارای R^2 کوچک‌تری می‌باشند، اما این مسأله کاملاً طبیعی و منطقی است چرا که هرچه داده‌های مورد استفاده در مدل کلی‌تر باشند، مقدار R^2 مدل بزرگ‌تر خواهد بود. به طور کلی مدل‌های همفزون دارای R^2 بزرگ‌تری نسبت به مدل‌های ناهمفزون می‌باشند، چرا که واریانس داده‌ها در مدل‌های ناهمفزون به مراتب بیش‌تر از واریانس داده‌های مورد استفاده در مدل‌های همفزون می‌باشد.

در این مقاله برای تخمین تقاضای مربوط به هر هدف سفر، از یک مدل یکسان برای تمامی نواحی موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در این صورت دقت براورد تقاضای سفر این مدل‌ها برای تمامی نواحی یکسان نخواهد بود و در برخی نواحی ممکن است اختلاف بسیار زیادی با مقادیر واقعی تقاضای سفر داشته باشند. بنابراین در تحقیقات آتی می‌توان با توسعه مدل‌های رگرسیون متفاوت برای بخش‌های مختلف شهر و یا با استفاده از روش‌های پیش‌بینی و مدل‌سازی نوین از قبیل منطق فازی، شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی- فازی (مانند (ANFIS)[1] به دقت بهتری در براورد تقاضای سفر دست پیدا کرد.

در مدل جاذبه مورد استفاده در این مقاله برای توزیع سفر میان بلوک‌های آماری شهر تهران از طول کوتاه‌ترین مسیر موجود بر روی شبکه معابر به عنوان عامل مقاومت در برابر سفر میان نواحی استفاده شده است. در حالی که سایر تحقیقات صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی تقاضای سفر معمولاً از فاصله اقلیدسی به عنوان عامل مقاومت در برابر سفر استفاده کرده‌اند. استفاده از فاصله شبکه‌ای به‌جای فاصله اقلیدسی در این مقاله، به طور قابل توجه‌ای باعث بهبود توزیع سفر و کاهش خطاهای ناشی از اندازه‌گیری ضعیف عامل مقاومت در برابر سفر میان نواحی شده است.

در نهایت می‌توان گفت که مدل‌سازی تقاضای سفر در GIS، زیربنای بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های عملیاتی حمل‌ونقل به شمار می‌رود. استفاده از یک سیستم اطلاعات مکانی برای مدل‌سازی تقاضای سفر، نه تنها امکان تفسیر الگوهای مکانی سفر را به آسانی فراهم می‌کند، بلکه هم‌چنین امکان مدل‌سازی روابط میان شبکه حمل‌ونقل و فعالیت‌های مجاور را نیز فراهم می‌کند.

1. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

جدول ۳ صورت تجمیع شده ماتریس مبدأ- مقصد سفرهای روزانه غیر بازگشت در سطح مناطق ۲۲ گانه شهر تهران

از \ به	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	جمع کل
۱	۱۲۴۱۰۰	۱۰۵۳۶	۶۹۳۲۸	۴۱۶۸۹	۴۲۶۳	۳۶۴۹۳	۱۶۱۷۲	۲۲۹۶	۴۲۴۰	۲۶۱۵	۷۵۸۷	۲۱۵۰۲	۲۹۳۰	۲۹۸۳	۱۷۵۶	۸۲۰	۵۴۴	۹۲۹	۶۲۳	۱۳۷۷	۱۱۶۹	۹۴۳	۲۵۴۱۸۳
۲	۲۶۹۴۳	۱۷۰۲۹۰	۵۴۵۶۲	۱۵۴۹۲	۴۴۶۰۳	۱۰۸۲۱۶	۴۲۵۱۲۲	۴۰۴۳	۱۴۹۱۱	۲۰۴۵۹	۳۵۳۷	۴۸۸۲۷۴	۲۷۹۵۳	۴۵۰۹	۵۷۴۵	۴۸۲۰	۷۸۹۱	۸۰۶۷	۲۷۳۹	۲۶۰۹	۲۲۷۵	۲۰۵۲	۴۱۰۱۵۹
۳	۴۱۲۴۴	۱۷۹۸۳	۱۳۷۹۸۹	۴۲۹۱۰	۴۲۸۵	۵۸۶۸۶	۳۱۳۸۹	۴۵۳۷	۶۲۲۷	۳۵۸۰	۹۱۵۶	۳۱۵۳۴۶	۲۲۹۵۳	۴۵۰۹	۵۲۷۵	۵۲۰	۱۳۹۴	۲۳۹۰	۲۳۹۸	۲۶۰۹	۲۲۷۵	۲۰۵۲	۴۱۰۱۵۹
۴	۴۱۷۱۱	۱۲۱۴۸	۷۲۳۴۷	۲۶۰۱۵۱	۶۱۰۱	۶۴۲۹۰	۶۱۱۰۷	۶۱۳۷۵	۵۰۷۹	۲۱۶۸۶	۵۲۱۹	۱۳۶۸۶	۱۶۱۱۰	۲۲۶۱۱	۵۲۵۲۲۳	۱۳۶۸۶	۲۹۲۳	۲۵۸۹	۳۲۴۳	۱۷۷۶	۴۱۴۹	۲۳۷۰	۲۴۵۶۰
۵	۱۲۵۱۰	۷۵۴۴۳	۲۲۶۴۰۴	۱۱۵۴۲	۱۵۰۳۳۲	۱۵۰۳۳	۱۴۸۵۰	۲۲۷۴۱	۲۱۶۸۶	۱۵۰۳۳	۱۴۰۳۳	۴۰۳۸۰	۳۳۷۳	۲۶۹۸	۳۳۷۳	۴۳۱۶	۳۳۰۱	۷۱۵۱	۱۰۱۳۰	۴۳۹۶	۴۹۵۴	۱۳۳۰۳	۵۲۳۹۵۹
۶	۱۰۹۱۶	۲۶۴۲۰	۲۹۷۷۶	۹۳۷۰	۸۸۵۰	۱۶۲۰۵۰	۶۷۱۱	۵۹۰۸	۵۸۲۸	۱۹۲۷	۴۲۳۷۷	۲۳۵۶۸	۴۲۳۷۷	۵۶۹۲	۳۸۴۲	۲۶۴۳	۲۱۴۶	۲۱۵۱	۲۱۲۴	۲۱۰۲	۲۸۰۲	۲۹۰۱	۴۰۷۳۴۵
۷	۱۰۱۹۵	۱۲۷۲۴	۳۰۸۹۱	۲۵۴۵۱	۴۵۲۶	۸۰۶۷۶	۱۸۲۵۶	۱۹۲۷	۱۸۲۵۷	۲۴۲۴	۱۱۴۶۵	۱۱۴۶۸۱	۴۱۸۳۱	۱۲۸۵۹	۳۳۵۸	۲۶۳۸	۱۱۵۱	۱۲۶۵	۱۲۶۵	۲۶۸۳	۲۵۱۴	۸۲۷	۳۳۸۸۷۹
۸	۶۶۹۹	۵۲۱۱	۱۷۱۶۴	۶۶۶۴۶	۱۸۱۵	۲۶۴۱۸	۲۶۳۴۰	۶۸۹۰۰	۱۰۱۸	۱۸۳۰	۵۸۹۳	۲۸۴۲۸	۱۲۴۴۳	۷۶۴	۲۲۵۱	۳۷۱۸	۶۳۹۱	۱۷۰۰۲	۲۸۴۲۸	۵۸۹۳	۱۸۳۰	۱۰۱۸	۲۸۰۶۷۰
۹	۱۷۸۹	۹۶۹۸	۲۷۸۳	۲۷۸۱۲	۱۱۹۰۷	۱۱۹۰۷۱	۱۳۵۷۱	۵۳۶	۲۲۴۱	۲۹۸۱۸	۱۷۴۱۳	۱۱۷۳۶	۱۲۴۴۳	۱۲۵۱	۱۲۵۱	۱۲۵۱	۱۱۵۱	۹۹۲۴	۲۲۵۱	۲۲۴۳	۱۴۶۵	۱۷۱۷	۱۵۱۱۶۸
۱۰	۲۵۳۶	۱۰۱۱	۴۱۲۱	۲۵۲۲	۲۷۱۷	۵۸۷۹	۸۱۱۵	۴۳۶۹	۲۰۳۹	۱۲۶۷	۱۱۸۴	۲۰۴۹۸	۲۶۴۵۲	۴۵۹۹۶	۱۱۸۵۳	۱۳۳۱	۴۶۲۰	۲۰۵۷۴	۶۸۷۸	۲۵۲۵	۴۰۸۹	۷۶۳۰	۱۳۶۸۰
۱۱	۱۳۶۴۶	۱۳۶۴۶	۷۶۳۰	۴۰۸۹	۵۲۵۸	۳۵۱۵۳	۹۱۸۱	۲۵۳۲	۳۸۰۰	۱۲۴۰۷	۴۹۱۸۵	۵۱۹۳۰	۲۳۶۵	۳۲۸۰	۱۳۴۵۳	۶۰۵۸	۷۶۲۸	۴۲۳۳	۲۶۶۹	۴۶۱۹۶	۳۳۱۳	۱۷۲۶	۱۳۴۴۲۷
۱۲	۱۸۴۰	۱۸۴۰	۱۸۶۹۰	۵۱۰۶	۱۰۸۱۹	۱۲۲۶۰	۱۰۶۸۴	۷۵۱۹	۴۰۲۴	۱۳۶۴۶	۲۱۳۶۶	۳۳۳۸۶	۲۱۳۶۶	۹۴۴۴	۱۳۴۵۳	۱۳۰۶۹	۲۳۶۵	۶۰۵۸	۴۲۳۰	۳۲۴۳	۲۶۶۹	۷۱۹۷	۳۲۹۴۸۱
۱۳	۳۷۸۱	۲۹۷۲	۷۰۷۸	۱۳۲۵۰	۱۱۸۰	۱۶۶۱۱	۱۴۱۶۱	۱۳۶۷۲	۱۴۳۷۲	۷۳۷	۱۲۲۸	۵۹۱۴	۳۰۱۷۱	۴۵۰۶۶	۱۱۸۴	۲۰۴۹۸	۲۶۴۵۲	۴۵۹۹۶	۱۱۸۵۳	۴۰۴۲	۱۰۲۸	۱۴۸۶	۱۸۶۹۰
۱۴	۱۲۶۲	۴۱۱۲	۷۹۱۱	۱۵۷۶۱	۲۴۴۶	۱۹۶۱۶	۱۲۳۵۸	۶۷۹۱	۱۴۸۰	۲۰۹۸	۱۰۴۷۰	۱۰۴۰۷	۲۶۴۳۳	۴۷۴۸۷	۹۴۳۷۶	۱۹۲۰۳	۳۹۱۰	۱۶۸۳	۱۷۷۷	۱۰۷۲	۶۱۹۵	۸۲۳	۳۴۲۱۶۳
۱۵	۳۷۹۷	۲۵۸۰	۱۴۷۸۵	۲۵۰۷۹	۳۸۱۲	۲۵۰۷۹	۱۱۴۴۴	۴۳۲۷	۲۱۸۰	۲۹۹۲	۲۰۳۷	۸۰۴۰۳	۲۶۲۲۹	۵۰۳۲۹	۱۴۳۷۵۹	۲۴۶۲۹	۳۸۰۹	۲۸۰۶	۴۰۷۳	۳۸۹۵	۲۱۹۷۰	۴۵۳	۴۴۱۴۴۶
۱۶	۱۵۶۳	۴۵۰۰	۱۹۰۷	۱۹۷۳	۲۴۰۷	۱۵۵۵۶	۴۱۲۶	۷۰۹	۲۵۱۹	۷۵۰۹	۱۰۵۹۶	۲۰۹۳۴	۱۶۱۹۲	۳۸۴۷۲	۱۷۸۲	۱۰۰۵	۵۷۹	۱۸۸۷۲	۱۸۹۵۴	۹۹۵۶	۳۲۸۷۸	۱۷۵۰۱	۱۸۹۳۰۶
۱۷	۱۹۰۷	۲۴۸۶	۲۳۳۹	۴۰۸۰	۱۱۲۸۶	۱۱۶۹۳۶	۱۱۲۸۶	۱۸۳۳	۲۵۲۸	۱۳۴۸۲	۱۵۵۵۶	۱۷۵۰۱	۱۲۳۲۹	۱۲۱۱	۱۲۲۱	۱۲۲۱	۱۱۶۵	۱۱۴۵	۴۹۴	۱۶۶۴	۱۶۱۹۲	۱۷۸۲	۱۷۹۸۲۶
۱۸	۱۲۱۷	۱۳۷۸۶	۴۷۱۰	۲۰۸۰	۱۱۲۸۶	۱۱۶۹۳۶	۱۱۲۸۶	۱۸۳۳	۲۵۲۸	۱۳۴۸۲	۱۵۵۵۶	۱۷۵۰۱	۱۲۳۲۹	۱۲۱۱	۱۲۲۱	۱۲۲۱	۱۱۶۵	۱۱۴۵	۴۹۴	۱۶۶۴	۱۶۱۹۲	۱۷۸۲	۱۷۹۸۲۶
۱۹	۹۱۵	۳۴۵۴	۵۳۲۴	۴۱۴۹	۵۴۴۳	۱۵۷۲۱	۲۱۱۹	۱۸۷۳	۲۰۹۲	۳۴۰۱	۲۷۶۸	۲۰۹۳۴	۱۲۳۲۹	۱۲۱۱	۱۲۲۱	۱۲۲۱	۱۱۶۵	۱۱۴۵	۴۹۴	۱۶۶۴	۱۶۱۹۲	۱۷۸۲	۱۷۹۸۲۶
۲۰	۷۶۸	۳۷۴۵	۱۱۲۴۴	۱۳۹۳۱	۱۶۷۳۳	۱۳۵۰	۱۱۰۴۴	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷	۱۱۰۴۷
۲۱	۱۱۵۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵	۱۱۵۷۵
جمع کل	۱۴۴۵	۳۱۰۷۹۳	۴۳۸۶۲۰	۵۲۵۵۲۷	۵۲۳۸۱۳	۳۲۵۵۲۴	۸۳۵۵۵	۴۰۶۲۹	۲۰۹۳۹۶	۱۶۸۱۶۰	۱۸۱۳۰۱	۳۶۵۱۰۱	۸۳۴۳۳۱	۱۷۴۹۰۴	۲۴۳۰۶۷	۲۴۰۹۲۲	۱۹۲۴۷۶	۱۴۳۳۹	۲۱۲۳۱۱	۱۰۶۲۰۸	۲۱۵۴۰۸	۱۳۱۹۱۹	۶۸۹۶۶۴۰

۵- منابع

- Azar K.T. , Ferreira J., "Integrating geographical information systems into transit ridership forecast models"; *Advanced Transportation*, 29, 3, 1995, pp: 263-279.
- Banister D.; "Transport Planning", 2nd Edition, London: Spon Press.
- Black W. R.;"Transportation: A geographical analysis"; The Guilford Press, 2002, pp: 172-203.
- Ceder A.,;"Designing public transport network and routes"; In *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, Lam, A.H.K. and Bell, -M.G.H. (eds.), Elsevier Science Ltd, Kidlington, Oxford, UK, 2003a.
- Ceder A., , "Public transport timetabling and vehicle scheduling", In *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, Lam, A.H.K. and Bell, M.G.H. (eds.), Elsevier Science Ltd, Kidlington, Oxford, UK , 2003b.
- Cha H.-S., Murray A.T.; "Assessing public transit service equity in Columbus, Ohio"; *Studies in Regional and Urban Planning*, 9, 2001, pp: 69-83.
- Church R.L.; "Geographical information systems and location science"; *Computers & Operations Research*, 29 (6): 2002 , pp:541-562.
- Francis R.L., Lowe T.J., Rushton G. , Rayco M.B.; "A synthesis of aggregation methods for multifacility location problems: strategies for containing error"; *Geographical Analysis*, 31 (1), 1999, pp: 67-87.

- Furth P.G. , Rahbee A.B.; "Optimal bus stop spacing through dynamic programming and geographic modeling", *Transportation Research Record*, 1731, , 2000,pp:15-22.

-Gehlke C.E. , Biehl K.; "Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material"; *Journal of the American Statistical Association*, 29 (Supplement), 1934, pp: 169-70.

-Grengs J.; "Does public transit counteract the segregation of careless households? Measuring spatial patterns of accessibility"; *Transportation Research Record*, 1753, 2001, pp: 3-10.

- Horner M.W. , Grubesic T.H.; "A GIS-based planning approach to locating urban rail terminals"; *Transportation*, 28, 2001, pp: 55-77.

- Horner M.W. , Murray A.T., "Spatial representation impacts in transit service assessment", 2003.

- Horowitz A.J.; "Computational issues in increasing spatial precision of traffic assignments"; *Transportation Research Record*, 1777, 2001, pp: 68-74.

- Huang R. , Wei Y.D., , "Analyzing neighborhood accessibility via transit in a GIS environment";*Geographic Information Science*, 8 (1), 2002 , pp:39-47.

- Keeling D.J.; "Transportation geography - new regional mobilities"; *Progress in Human Geography*, Vol. 32, No. 2, 2008, pp: 275-283,

- Knowles R., Shaw J., Docherty I.; "Transport geographies: Mobilities, flows and spaces", Malden, MA: Blackwell, 2008.

- Meyer M.D. , Miller E.J.; "Urban transportation planning"; Mc Graw - Hill Press, New York, 2001.

- Miller H.J. , Shaw S.L.; "Geographic information systems for transportation: Principles and applications"; New York: Oxford University Press, 2001.
- Miller H.J. Storm J.D.; "Geographic information system design for network equilibrium-based travel demand models"; *Transportation Research C*, 4C (6), 1996 , pp: 373-389.
- Miller H.J.; "GIS and geometric representation in facility location problems"; *International Journal of Geographical Information Systems*, 10 (7), 1996 , pp: 791-816.
- Miller H.J. ;"Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T)"; *Geographical Analysis*, 31, 4, 1999 , pp: 373-399.
- Murray A.T. , Wu X.; "Accessibility tradeoffs in public transit planning"; *Geographical Systems*, 5, 2003, pp: 93-107.
- Murray A.T.; "A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access"; *Annals of Operations Research*, 2003.
- Nuzzolo A.; "Schedule-based transit assignment models"; In *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning*, Lam, A.H.K., and Bell, M.G.H. (eds.), Elsevier Science Ltd, Kidlington, Oxford, UK, 2003.
- O'Neill W.A., Ramsey R.D. , Chou J., , "Analysis of transit service areas using geographic information systems"; *Transportation Research Record*, 1364, 1992, pp: 131-138.
- Openshaw S. , Taylor P.J.; "A million or so correlation coefficients: Three experiments on the modifiable areal unit problem"; In *Statistical*

Applications in the Spatial Sciences, N. Wrigley (ed.), London: Pion, 1979, pp: 127-144.

- Openshaw S.; "Developing GIS-relevant zone-based spatial analysis methods"; In *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*, P. Longley and M. Batty (eds.), Geoinformation International, 1996.
- Ortúzar J. De D., Willumsen L.G.;"Modelling Transport"; 4rd Edition, New York: John Wiley & Sons, 2006, pp: pp. 199-257.
- Papacostas C.S. , Prevedouros P.D.; "Transportation engineering and planning"; 3rd Edition, Prentice Hall International Inc., 2001, pp: 345-358.
- Peng Z., Dueker K., Strathman J., Hopper J.;"A simultaneous route level transit patronage model: Demand, supply and inter-route relationship"; *Transportation*, 24, 1997, pp: 26-37.
- Ramirez A.I. , Seneviratne P.N. ;"Transit route design applications using geographic information systems"; *Transportation Research Record*, 1557, 1996 , pp: 10-14.
- Shaw S.L.; "Book review: Geographic information systems in transportation research"; *Regional Science*, 42(2), 2002 , pp: 418-421.
- Soehodo S. , Koshi M., "Design of public transit network in urban area with elastic demand"; *Advanced Transportation*, 33, 1, 1999, pp: 335-369.
- Taaffe E.J., Gauthier H.L. , O'Kelly M.E.; "Geography of transportation"; 2nd Edition, Prentice Hall, 1996.
- Wirasinghe S.C. , Kumarage A.S.; "An aggregate demand model for intercity passenger travel in Sri Lanka"; *Transportation*, 25, 1998 , pp:77-98.

- You J., Nedović-Budić Z., Kim T.J., "A GIS-based traffic analysis zone design: Technique"; *Transportation Planning and Technology*, 21, 1997a , pp: 45-68.
- You J., Nedović-Budić Z. , Kim T.J. ;"A GIS-based traffic analysis zone design: Implementation and evaluation"; *Transportation Planning and Technology*, 21, 1997b , pp: 69-91.
- Yu H. , Shaw S-L. ;"Exploring potential human activities in physical and virtual spaces: A spatio-temporal GIS approach"; *Geographic Information Science*, 22(4), 2008, pp: 409-430.
- Yu H., , "Spatio-temporal GIS design for exploring interactions of human activities"; *Cartography and Geographic Information Science*, 33(1), 2006, pp: 3-19.