



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲
Vol.5, No.4, Winter 2014 Iranian Remote Sensing & GIS

۵۱-۶۸

طراحی نواحی ترافیکی با استفاده از توسعه مکانی الگوریتم k-means

علی شیرزادی بابکان^{۱*}، عباس علیمحمدی سراب^۲، محمد طالعی^۳

۱. دانشجوی دکتری گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار گروه GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۴

چکیده

نواحی ترافیکی که برای نمایش مکان‌های تولید و جذب سفر به کار گرفته می‌شوند در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل کاربرد گسترده‌ای دارند. از آنجا که نحوه تعیین این نواحی روی نتایج حاصل از تحلیل و مدل‌سازی‌های حمل‌ونقل تأثیر فراوانی دارد، طراحی مناسب آن بسیار مهم است. در این مقاله با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی روشی کارآمد برای طراحی مناسب این نواحی ارائه شده است. با استفاده از روش ارائه‌شده می‌توان معیارهای مختلفی را برای ایجاد نواحی ترافیکی همگن در نظر گرفت و تعداد و اندازه‌شان را کنترل کرد. در روش پیشنهادی این مقاله از تکنیک k-means برای خوشه‌بندی واحدهای مکانی پایه و ایجاد نواحی ترافیکی همگن استفاده شده است. برای جلوگیری از ایجاد فضای خالی و همپوشانی میان نواحی و نیز ممانعت از تشکیل نواحی با اندازه‌های خیلی بزرگ یا کوچک، قیدهایی به تکنیک k-means افزوده شده است. اما ایجاد نواحی همگن بدون در نظر گرفتن فشردگی شکل هندسی، سبب پیچیدگی شکل هندسی نواحی می‌گردد. به منظور برطرف‌ساختن این مشکل یک الگوریتم هندسی برای ایجاد نواحی با شکل هندسی فشرده شرح و بسط داده شده است. در نهایت از روش پیشنهادی برای طراحی مجدد نواحی ترافیکی شهر تهران و مقایسه نتایج آن با نواحی ترافیکی موجود استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که نواحی طراحی‌شده در این مقاله بسیار همگن‌تر از نواحی موجود است. اگرچه با اعمال الگوریتم فشردگی شکل هندسی، از میزان همگنی نواحی ایجادشده کاسته می‌شود، اما باز هم از نواحی موجود همگن‌ترند.

کلیدواژه‌ها: نواحی ترافیکی، ناحیه‌بندی، فشردگی شکل هندسی، الگوریتم k-means.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، تلفن: ۰۹۱۲۵۷۰۸۶۴۷

۱- مقدمه

نواحی ترافیکی^۱ (TAZs) به عنوان ورودی در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل شهری به کار می‌روند. این نواحی معمولاً برای نمایش مبدأ - مقصد سفرهای شهری استفاده می‌شوند و از ورودی‌های ضروری برای مدل‌سازی چهارمرحله‌ای تقاضای سفر هستند (Keeling, 2008; Ortuzar and Willumsen, 2006; Knowles et al., 2008). این نواحی که در تحلیل‌ها و برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل شهری کاربرد وسیعی دارند، تأثیر بسزایی بر برآورد پارامترهای مدل‌های گوناگون حمل‌ونقل، میزان مناسب بودن اندازه‌گیری‌ها و نتایج حاصل از محاسبه سناریوهای مختلف حمل‌ونقل دارند. با این حال، تأثیر نواحی ترافیکی چندان مورد توجه پژوهشگران حمل‌ونقل قرار نگرفته است (Miller, 1999). یکی از مهم‌ترین مراحل بیشتر فرایندهای تحلیل و مدل‌سازی حمل‌ونقل شهری، تعیین نواحی ترافیکی مناسب است. از این رو در این مقاله طراحی مناسب این نواحی با استفاده از GIS بررسی شده است. چنانچه به جای استفاده از نواحی ترافیکی، از مکان دقیق مبدأ - مقصد هر سفر استفاده شود، مشکلات و پیچیدگی‌های عملیاتی و محاسباتی زیادی ایجاد می‌شود. به همین دلیل در اغلب تحلیل‌ها و برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل، داده‌های جمع‌آوری شده در سطح قطعات ملکی یا بلوک‌های آماری به صورت نواحی بزرگ‌تر تجمیع می‌شوند. این ناحیه‌بندی معمولاً به صورت اختیاری و با نظر کارشناسان انجام می‌شود، و فرایند مکانی مشخصی برای آن استفاده نمی‌شود (Martinez et al., 2005). طراحی اختیاری نواحی ترافیکی یکی از عوامل ایجاد خطا به شمار می‌رود، چراکه هنگام تجمیع نواحی کوچک به نواحی بزرگ‌تر، معضل واحدهای ناحیه‌ای تغییرپذیر^۲ (MAUP) به وجود می‌آید. در اغلب برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل، تأثیر MAUP روی نتایج نادیده گرفته می‌شود (Martiez et al., 2009). این در حالی است که میزان همگنی خصوصیات اقتصادی - اجتماعی، تعداد، اندازه، و شکل

نواحی ترافیکی تأثیر زیادی روی الگوهای سفر مبدأ - مقصد و نتایج تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌های گوناگون حمل‌ونقل دارد (Viegas et ; Binetti and Ciani, 2002). (al., 2008).

نواحی ترافیکی همگن، ورودی مطلوب‌تری برای مدل‌سازی و تحلیل‌های گوناگون حمل‌ونقل و ترافیک به شمار می‌روند و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل و ترافیک همواره به دنبال آن بوده‌اند که با حفظ فشردگی شکل هندسی نواحی بتوانند نواحی همگن‌تری را طراحی کنند. در پژوهش حاضر به این مسئله اساسی در حمل‌ونقل و ترافیک توجه شده و سعی شده است که با استفاده از ابزارهای مکانی ارائه‌شده به وسیله GIS روش‌هایی مکان‌مبنا برای طراحی نواحی ترافیکی همگن ارائه گردد. برای این منظور از روش k-means که الگوریتم خوشه‌بندی شناخته‌شده و پرکاربردی است، بهره گرفته شده است. بدین ترتیب بلوک‌های آماری موجود با استفاده از این الگوریتم به نواحی ترافیکی همگن خوشه‌بندی می‌شوند. در اجرای این الگوریتم به منظور جلوگیری از تشکیل فضای خالی و همپوشانی میان نواحی، از اطلاعات همسایگی استخراج‌شده از سامانه اطلاعات مکانی بهره گرفته می‌شود. به عبارت دیگر هر بلوک آماری فقط با نواحی همسایه خود مقایسه می‌گردد و با توجه به معیارهای همگنی در نظر گرفته‌شده برای نواحی، به ناحیه‌ای که نزدیک‌تر است، تعلق می‌گیرد. اما در نظر گرفتن معیارهای همگنی بدون توجه به شکل هندسی نواحی، سبب تشکیل نواحی با مرزهای هندسی پیچیده می‌گردد. این نواحی اگرچه بسیار همگن‌اند، اما پیچیدگی شکل هندسی‌شان، مدیریت آنها را و استفاده از آنها را در عمل غیرممکن می‌سازد. برای رفع این مشکل، یک الگوریتم هندسی به منظور ایجاد نواحی با شکل هندسی فشرده شرح و بسط داده شده و به

1. Traffic Analysis Zones
2. Modifiable Areal Unit Problem

الگوریتم k-means اضافه می‌شود. هرچند به کارگیری این الگوریتم تا حدی از همگنی نواحی ایجادشده می‌کاهد، اما با کاهش پیچیدگی شکل هندسی آنها در عمل امکان استفاده‌شان آشکارا افزایش می‌یابد.

مقاله حاضر در پنج بخش کلی ساختاردهی شده است. در بخش دوم مبانی نظری مرتبط با مسئله ناحیه‌بندی ارائه شده و مسئله واحدهای ناحیه‌ای تغییرپذیر در تحلیل و مدل‌سازی حمل‌ونقل و ضرورت آن مطرح و بررسی شده است. سپس راهکارهایی برای طراحی مناسب نواحی ترافیکی ذکر گردیده است. در بخش سوم، روش پیشنهادشده برای طراحی مناسب نواحی ترافیکی به تفصیل توضیح داده شده است. در بخش چهارم، روش پیشنهادی برای شهر تهران به‌عنوان نمونه مطالعاتی پیاده‌سازی گردیده است. در بخش پنجم بحث و نتیجه‌گیری در مورد نواحی ترافیکی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی ارائه شده و نتایج حاصل با وضع موجود مقایسه گردیده است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- مسئله واحدهای ناحیه‌ای تغییرپذیر (MAUP)

نخستین بار گه‌لک و بیهل (1934) پی بردند که نتایج حاصل از تحلیل‌های مبتنی بر داده‌های مکانی، برحسب مجموعه نواحی در نظر گرفته‌شده می‌توانند متفاوت باشند. اوپنشاو و تیلور (1979) این مسئله را مسئله واحد ناحیه‌ای تغییرپذیر (MAUP) نامیدند. MAUP زمانی اتفاق می‌افتد که سامانه ناحیه‌بندی مورد استفاده، قابلیت تغییر داشته باشد. به‌عبارت دیگر، اگر سامانه ناحیه‌بندی اختیاری باشد، نتایج تحلیل‌هایی که از ناحیه‌بندی‌های دیگری استفاده می‌کنند، ممکن است متفاوت باشند. بدین ترتیب نتایج به‌دست‌آمده ممکن است ناشی از اثر مصنوعی واحدهای ناحیه‌ای باشد و با تغییر ناحیه‌بندی تغییر کند (Wong, 2009; Martinez et al., 2009).

تأثیر MAUP را به‌طور کلی می‌توان به دو مؤلفه

تأثیر مقیاس و تأثیر شیوه ناحیه‌بندی تقسیم کرد. تأثیر مقیاس به تأثیر سطح تجمیع داده‌ها روی نتایج مدل‌سازی، و تأثیر شیوه ناحیه‌بندی به حساسیت نتایج به نحوه پیکربندی‌های گوناگون نواحی در یک مقیاس معین مربوط می‌شوند (Wong and Amrhein, 1996; Schuurman et al., 2007; Martinez et al., 2005; Wong, 2009; Hayward and Parent, 2009). اگرچه هنوز هم راه‌حلی کلی برای MAUP وجود ندارد، اما در برخی از تحقیقات راه‌حلی‌هایی برای کنترل تأثیر آن در برخی از زمینه‌های کاربردی ویژه پیشنهاد شده است (Guo and Bhat, 2004). به‌عنوان نمونه امرهین (Amrhein, 1995) نشان داد که تأثیر MAUP می‌تواند برحسب نوع اطلاعات آماری محاسبه‌شده تغییر کند، و اگرچه اثر آشکاری بر میانگین و واریانس ندارد، اما تأثیر آن روی ضرایب رگرسیون و همبستگی زیاد است. گوو و بات (Guo and Bhat, 2004) تأثیر MAUP را در زمینه مدل‌سازی انتخاب مکان سکونت نشان دادند و یک روش چندمقیاسی برای کاهش تأثیر آن روی نتایج مدل‌سازی ارائه کردند. دارک و برام (Dark and Bram, 2007) مروری جامع روی تأثیر MAUP بر جغرافیای طبیعی، سنجش از دور و GIS انجام دادند. اشتاین و دیگران (Stein et al., 2009) تأثیر MAUP را به‌عنوان یکی از عوامل عدم قطعیت در مطالعات مربوط به سنجش از دور با جزئیات کامل بررسی کردند. پالیوال (Paliwal, 2011) تأثیر MAUP را در سنجش از دور با استفاده از دو نمونه مطالعاتی ارزیابی کرد. انتیوا (Nthiwa, 2011) تأثیر MAUP را روی تفسیر محرومیت‌های مختلف در شهر استانبول ترکیه با استفاده از داده‌های چند مقیاسه مدل‌سازی کرد.

تأثیر MAUP بر تخمین تولید و توزیع سفر زیاد است و بدون تردید در سرتاسر مدل‌های تقاضای سفر و سایر تحلیل‌های حمل‌ونقل منتشر می‌شود (Zhao and Ding, 2002). به‌عنوان مثال، دینگ (Ding, 1998) اثر تجمیع داده‌های اقتصادی - اجتماعی را بر نواحی ترافیکی بررسی کرد و نشان داد که تعداد

همین دلیل بیشتر مراجع اصلی مدل سازی حمل و نقل در مورد مسائل و روش های طراحی نواحی ترافیکی پیشنهادی ندارند و فقط رهنمون هایی تجربی در این خصوص ارائه کرده اند (Martinez et al., 2009).

یکی از نخستین تحقیقات انجام شده در زمینه تجمیع داده های مکانی را وارد (Ward, 1963) انجام داده است. او روشی را برای تشکیل گروه های سلسله مراتبی از زیرمجموعه هایی که خصوصیات مشابه دارند، ارائه کرد. پس از او پژوهشگران دیگری از قبیل باتی، ماسر و براون، و کین (Masser ; Keane, 1975) روش های جدیدی را برای تجمیع داده های مکانی ارائه کردند. اوپنشاو (1977b) یکی از اولین الگوریتم ها را برای طراحی نواحی ترافیکی ارائه کرد. او یک روش سلسله مراتبی اکتشافی را برای مسئله ناحیه بندی خودکار با استفاده از بهینه سازی تابع هدف شرح و بسط داد. پس از او پژوهشگران دیگری مانند (Openshaw, 1977b) ; a ; Chesbon and Cheryl, 1992; O'Neill, 1991; 1978 ; Lolonis and Armstrong, 1993; Ding et al., 1993 ; Horn, ; Gan, 1994; Bennion and O'Neill, 1994 Ding, ; You et al., 1997b; Morphet, 1997; 1995 Eagleson et al., 2002; 1998) از روش های متنوعی مانند روش های خوشه بندی^۱، روش های بهینه سازی اکتشافی (از قبیل الگوریتم های بازپخت شبیه سازی شده^۲، الگوریتم های ژنتیک^۳، و جست و جوی ممنوع^۴، روش های مکان یابی - تخصیص^۵، شبیه سازی Monte Carlo^۶ و روش های ابتکاری مبتنی بر GIS به منظور دستیابی به راه حل بهینه برای طراحی نواحی استفاده کردند.

در سال های اخیر یکی از مهم ترین تحقیقات

سفرهای درون ناحیه ای به شدت تحت تأثیر تعداد نواحی است. اورد و کلیف (Ord and Cliff, 1976) نشان دادند که بایاس انتشار یافته ای در توزیع سفر مبتنی بر مدل جاذبه وجود دارد، چراکه جریان های میان ناحیه ای تحت تأثیر اندازه نواحی هستند. بدین ترتیب نواحی کوچک تر، جریان های میان ناحیه ای بیشتری ایجاد می کنند، چرا که در آن صورت مسافت های کوتاه تری برای رسیدن به محدوده های نواحی طی می شود. باتی و سیکدار (Batty and Sikdar, 1982a) نیز اثر مهم تجمیع ناحیه ای را در تخمین پارامترهای مدل تقاضای سفر و ارزیابی میزان مناسب بودن مدل های توزیع سفر برشمردند. افزون بر اینها، اوپنشاو (Openshaw, 1977b) پی برد که آرایش های مختلف نواحی نیز اثر درخور توجهی روی تخمین پارامترهای مدل های توزیع سفر دارد. این درحالی است که در گذشته بیشتر پژوهشگران حمل و نقل، این تأثیرات را به دلیل فقدان داده و ابزار مناسب برای بررسی آن نادیده می گرفتند. اما در سال های اخیر داده های مکانی رقومی و ابزارهای GIS امکان ارزیابی این اثرها و توسعه سیستم های ناحیه بندی بهینه را فراهم آورده است (Martinez et al., 2005). بدون شک استفاده از نواحی ترافیکی بهینه سبب کاهش تأثیرات MAUP و بهبود نتایج مراحل مختلف برنامه ریزی حمل و نقل می گردد.

۲-۲- طراحی نواحی ترافیکی (TAZs)

تعیین طرح ناحیه بندی برای منطقه مورد مطالعه از مراحل اولیه در اکثر مطالعات مربوط به حمل و نقل به شمار می آید. هیچ دستورالعمل و قاعده صریحی برای انجام بهینه این کار وجود ندارد و در عمل به صورت تجربی سعی می شود همگنی درون ناحیه ای و استفاده از مرزهای اجرایی به عنوان محدوده نواحی به کار گرفته شود (Martinez et al., 2007). کین و کلیف و هاگت (Keane, 1975; Cliff and Haggett, 1970) مسئله ناحیه بندی را بررسی کردند و نشان دادند که دستیابی به راه حل کاملاً دقیق و بهینه بسیار مشکل است. به

1. clustering methods
2. simulated annealing
3. genetic algorithms
4. tabu search
5. location-allocation models
6. Monte Carlo simulation

- انطباق مرز نواحی با مرزهای سیاسی، اجرایی و آماری؛
- انطباق مرز نواحی با عوارض جداکننده فیزیکی موجود از قبیل راه آهن و رودخانه؛
- تعیین تعداد نواحی با نظر تصمیم گیران؛
- اجتناب از در نظر گرفتن خیابان‌های اصلی به عنوان مرز نواحی؛
- در نظر گرفتن اندازه مناسب برای نواحی به گونه‌ای که خطای ناشی از تجمع داده‌ها زیاد نشود؛
- به حداقل رساندن سفرهای درون ناحیه‌ای؛ و
- به حداکثر رساندن دقت آماری تخمین درایه‌های ماتریس مبدأ - مقصد.

در نظر گرفتن و پیاده‌سازی تمامی معیارهای مذکور در فرایند طراحی نواحی ترافیکی بسیار مشکل و پیچیده است، زیرا برخی از این معیارها با یکدیگر در تضادند (Martinez et al., 2009). از این رو در تمامی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه فقط برخی از این معیارها که از نظر تصمیم گیران و برنامه ریزان حمل و نقل اهمیت بیشتری دارند، در نظر گرفته می‌شوند. در مقاله حاضر نیز با توجه به تحقیقات انجام شده و نظر کارشناسان حمل و نقل ترافیک در این زمینه، فقط معیارهای مربوط به همگنی خصوصیات اقتصادی - اجتماعی، شکل و اندازه نواحی در نظر گرفته شده و از سایر معیارها صرف نظر شده است.

به طور کلی ناحیه بندی منطقه‌ای که در اینجا مطالعه شده، از دو مرحله تعیین تعداد نواحی و تعیین شکل و ابعاد آنها تشکیل شده است. تعداد نواحی در منطقه مطالعه شده معمولاً با توجه به سطح جزئیات تحلیل و مدل سازی تعیین می‌شود. مسئله تعیین تعداد نواحی را می‌توان از طریق سامانه ناحیه بندی سلسله مراتبی حل کرد. در این نوع ناحیه بندی، واحدهای مکانی به شکل زیرنواحی، و زیرنواحی‌ها به صورت نواحی بزرگ تر تجمع می‌شوند و بدین ترتیب امکان تحلیل و تصمیم گیری در سطوح مختلف جزئیات فراهم می‌شود. افزون بر این، تعداد نواحی ترافیکی باید به گونه‌ای

انجام شده در این زمینه را مارتینز و همکاران (2009) انجام داده است. آنها روشی جامع برای تعیین نواحی ترافیکی به دست آوردند و کوشیدند با استفاده از داده‌های تقاضای سفر مکان مرجع شده به طراحی بهینه نواحی ترافیکی در نرم افزار GIS دست یابند. روش آنها با تجمع مبدأ - مقصدهای مکان مرجع به سلول‌های نسبتاً کوچک یک شبکه منظم شروع می‌شود. از این شبکه به عنوان مبنای طراحی نواحی ترافیکی استفاده می‌شود، به گونه‌ای که یک سطح سه بعدی از آن ساخته می‌شود و هر نقطه اوج در این سطح به عنوان مرکز یک ناحیه در نظر گرفته می‌شود و محدوده هر ناحیه با دره‌های اطراف آن مشخص می‌گردد. برای جلوگیری از ایجاد نواحی با ساختارهای هندسی پیچیده، مجموعه‌ای از قواعد به کار گرفته می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مورد این قواعد به مارتینز (2006) رجوع شود. در طراحی این الگوریتم از پنج قید روی تعداد سفرهای هر ناحیه، اندازه هر ناحیه، خطای آماری تخمین ماتریس مبدأ - مقصد، تعداد نواحی، و نبود همپوشانی و فضای خالی میان نواحی استفاده می‌شود. آنها در نهایت روش پیشنهادی‌شان را روی کلان شهر لیسبون - به عنوان نمونه مطالعاتی - به کار گرفتند.

۲-۳- معیارهای طراحی نواحی ترافیکی

در چهار دهه اخیر، پژوهشگران رهنمون‌های مختلفی را برای طراحی نواحی ترافیکی بیان کردند. مارتینز (2009) مجموعه کاملی از این رهنمون‌ها را همراه با پیشنهاد دهندگان آنها در جدولی گردآوری کرده است. این رهنمون‌ها را می‌توان چنین جمع بندی کرد (Martinez et al., 2009; Ortuzar and Willumsen, 2006; O'Neill, 1991):

- همگنی خصوصیات اقتصادی - اجتماعی و تولید و جذب سفر نواحی؛
- مجاورت و تحدب نواحی؛
- فشردگی شکل هندسی نواحی؛
- انحصاری بودن (فاقد جزیره و حفره بودن) نواحی؛

در نظر گرفته می‌شوند تا از ایجاد نواحی خیلی بزرگ یا خیلی کوچک جلوگیری شود. در مرحله دوم، الگوریتم به هم فشردگی شکل هندسی ناحیه‌ها اجرا می‌شود، که موجب ایجاد نواحی ترافیکی با شکل هندسی فشرده‌تر می‌گردد. در شکل ۱ مراحل روش تحقیق نشان داده شده است.

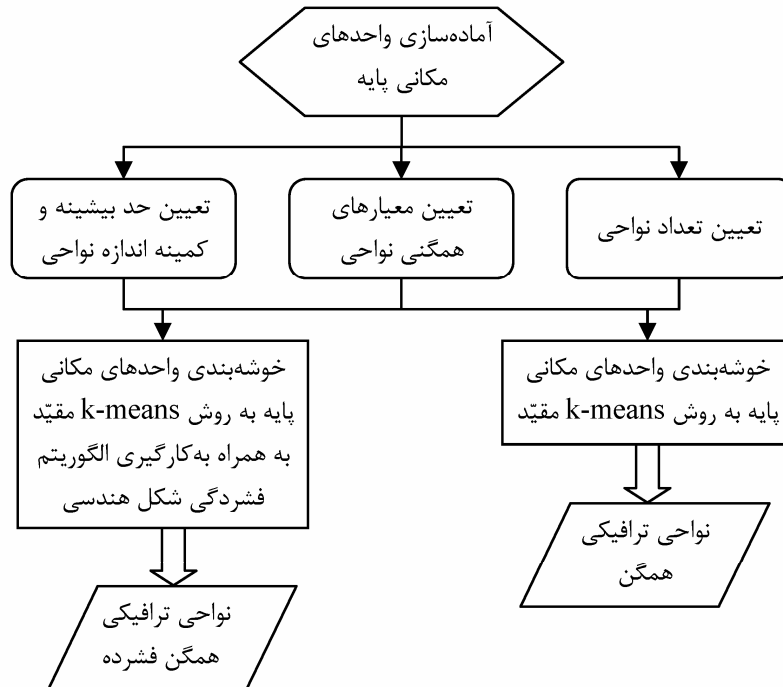
۳-۱- ایجاد نواحی ترافیکی همگن

در این بخش به دسته‌بندی واحدهای مکانی پایه و ایجاد ناحیه‌های ترافیکی همگن با استفاده از روش خوشه‌بندی داده‌ها پرداخته می‌شود. روش‌های متنوعی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های سلسله‌مراتبی، k-means، مبتنی بر گراف، مبتنی بر الگوریتم‌های ابتکاری، مبتنی بر فازی، مبتنی بر شبکه‌های عصبی و تحلیل مؤلفه اصلی^۱ (PCA) اشاره کرد.

انتخاب شود که اندازه نواحی خیلی بزرگ یا کوچک نشود، چراکه نواحی کوچک ممکن است همبستگی مکانی زیادی با یکدیگر داشته باشند و به دلیل کمبود مشاهدات، نتایج غیرقابل اعتمادی تولید کنند. از طرف دیگر استفاده از نواحی بزرگ، تغییرپذیری درون ناحیه‌ای را افزایش می‌دهد و موجب بالارفتن تعداد سفرهای درون ناحیه‌ای و در نتیجه کم‌برآورد حجم ترافیک در شبکه می‌شود (Martinez, Ortuzar and willumsen, 2006; 2006).

۳- روش تحقیق

روش پیشنهادی در این مقاله برای طراحی نواحی ترافیکی از دو مرحله اصلی تشکیل شده است. در مرحله یکم از روش خوشه‌بندی برای تخصیص واحدهای مکانی پایه به نواحی ترافیکی همگن برحسب معیارهایی مشخص استفاده می‌شود. در این مرحله قیدهای مشخصی نیز هنگام ایجاد نواحی ترافیکی



شکل ۱. مراحل روش تحقیق

1. Principal Component Analysis

در این مقاله از روش خوشه‌بندی k-means که روشی سریع، آسان و مطمئن برای خوشه‌بندی داده‌ها برحسب معیارهای گوناگون است، استفاده می‌شود. روش خوشه‌بندی k-means قابلیت پشتیبانی از k معیار را به‌عنوان k متغیر مستقل داد. صورت کلی تابع هدف k-means به‌صورت رابطه (۱) است.

رابطه (۱)

$$d_{iz} = \sqrt{(\bar{x}_{1z} - x_{1i})^2 + (\bar{x}_{2z} - x_{2i})^2 + \dots + (\bar{x}_{kz} - x_{ki})^2}$$

که در آن: d_{iz} فاصله چندمعیاره واحد مکانی پایه i از ناحیه ترافیکی z؛ $\bar{x}_{1z}, \bar{x}_{2z}, \dots, \bar{x}_{kz}$ میانگین هر معیار در ناحیه ترافیکی z؛ $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ مقدار هر معیار در واحد مکانی پایه i است. سپس با استفاده از رابطه (۲) جمع فاصله‌های مربوط به هر ناحیه محاسبه می‌شود و در نهایت از آن برای محاسبه مقدار کلی تابع هدف در رابطه (۳) استفاده می‌گردد.

رابطه (۲)

$$dz_j = \sum_{i=1}^n d_{iz} \in z_j$$

رابطه (۳)

$$gv = \frac{\sum_{j=1}^m dz_j}{m}$$

که در آن: dz_j مقدار تابع برای هر ناحیه j؛ m تعداد نواحی و gv مقدار کلی تابع هدف در هر تکرار است؛ که هرچه کوچک‌تر باشد، مناسب‌تر است. با استفاده از این روش سعی می‌شود که میانگین مجموع فاصله‌های میان مقادیر معیارهای واحدهای مکانی پایه متعلق به هر ناحیه، با متوسط مقادیر معیارهای هر ناحیه مینیمم شود. بدین ترتیب در هر تکرار، هر واحد مکانی پایه به ناحیه‌ای از نواحی مجاور خود که مقادیر معیارهای آن به متوسط آن ناحیه نزدیک‌تر است، تعلق می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد، در این مقاله روش خوشه‌بندی مکانی با در نظر گرفتن معیارهای همسایگی و مجاورت به کار گرفته می‌شود، به گونه‌ای

که هر واحد مکانی فقط با نواحی مجاور خود سنجیده می‌شود و به یکی از آنها تخصیص می‌یابد. برای این منظور با استفاده از اطلاعات مجاورت، روش k-means به کار گرفته شده که آن را از سایر الگوریتم‌های خوشه‌بندی معمولی روی داده‌های آماری متفاوت می‌سازد. در هر تکرار، نواحی مجاور هر واحد مکانی پایه تعیین شده است و فاصله آن از هریک از این نواحی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود، و در نهایت آن واحد مکانی به ناحیه‌ای که فاصله کمتری از آن دارد، تعلق می‌گیرد. بنابراین هر واحد مکانی پایه فقط امکان تعلق به یکی از نواحی مجاور خود را دارد. بدین ترتیب قید مجاورت مکانی واحدهای مکانی پایه با نواحی اعمال می‌شود و از ایجاد فضای خالی بین نواحی یا همپوشانی نواحی با یکدیگر جلوگیری به عمل می‌آید.

افزون بر این، به‌منظور جلوگیری از ایجاد نواحی خیلی کوچک یا خیلی بزرگ با توجه به اندازه محدوده مطالعه‌شده، تعداد نواحی ترافیکی با نظر کارشناسان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک محدوده‌ای مجاز برای اندازه نواحی در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب در صورتی که با اضافه‌شدن واحد مکانی پایه به یکی از نواحی مجاور خود، مساحت آن ناحیه از حد بیشینه در نظر گرفته‌شده بیشتر شود، امکان اضافه‌کردن آن واحد مکانی به ناحیه وجود ندارد و واحد مکانی مورد نظر فقط می‌تواند به یکی از نواحی مجاورش که اندازه آن در محدوده مجاز قرار می‌گیرد، اضافه گردد. در مواردی استثنایی چنانچه مساحت تمامی نواحی مجاور یک واحد مکانی از حد بیشینه در نظر گرفته‌شده برای اندازه نواحی بیشتر باشد، واحد مکانی پایه به ناحیه‌ای تعلق می‌گیرد که مساحت آن کمتر از سایر نواحی مجاور است.

نواحی ایجادشده با این روش، خصوصیات همگنی دارند و از لحاظ اندازه در محدوده مشخصی قرار می‌گیرند، اما شکل هندسی به هم فشرده‌ای نخواهند داشت، چراکه هیچ‌گونه معیاری برای شکل هندسی

نواحی در نظر گرفته نشده است. بنابراین به الگوریتم دیگری نیاز است که شکل هندسی نواحی را در نظر بگیرد و نواحی با شکل هندسی فشرده‌تری ایجاد کند، هرچند که قطعاً مقدار همگنی نواحی ایجاد شده کاهش خواهد یافت. این الگوریتم در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۳-۲- فشردگی شکل هندسی نواحی ترافیکی

تاکنون روش‌های متنوعی برای ایجاد نواحی با شکل هندسی فشرده اجرا شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های پیشنهادی مارتین (1998)، اولنیدز و اوپنشاو (1999) و الونیدز (2000) اشاره کرد. تمامی این روش‌ها مبتنی بر مختصات جغرافیایی و خصوصیات هندسی نواحی هستند. به‌عنوان نمونه، روش پیشنهادی اولنیدز و اوپنشاو (1999) با محاسبه فاصله میان مراکز ثقل واحدهای مکانی پایه و نواحی خروجی، سعی بر کنترل شکل هندسی نواحی و حداقل‌سازی پراکندگی محلی مکانی دارد. روش دیگری که مارتین (2000) آن را پیشنهاد کرده، به‌دنبال حداقل‌سازی نسبت مجذور محیط بر مساحت نواحی است. کمترین مقدار این نسبت برای دایره - که فشرده‌ترین شکل هندسی است - برابر با $12/56$ و برای سایر اشکال اندکی بیشتر است. در مقاله حاضر از این روش برای فشرده‌سازی شکل هندسی نواحی ترافیکی بهره گرفته شده است.

محاسبه فشردگی و ایجاد نواحی با شکل هندسی فشرده، فرایندی بسیار زمان‌بر است. در پژوهش حاضر، صورت خاصی از روش حداقل‌سازی نسبت مجذور محیط بر مساحت شرح و بسط داده شده که در آن برای کاهش زمان محاسباتی از اطلاعات همسایگی نیز استفاده شده است. این روش، زمان فرایند کنترل شکل هندسی را کاهش می‌دهد، چراکه در هر لحظه فقط روی یک واحد مکانی پایه و همسایه‌های آن در نواحی مجاور تمرکز دارد. الگوریتم شرح و بسط داده شده بدین ترتیب عمل می‌کند که ابتدا هر واحد مکانی پایه که در بخش قبلی به یک ناحیه تخصیص داده شده است،

به‌همراه تمامی واحدهای مکانی همسایه آن در نظر گرفته می‌شود. اگر تعداد همسایه‌های آن در ناحیه مجاور از حد آستانه‌ای بیشتر باشد، در الگوریتم فشردگی شکل هندسی بررسی می‌شود و در غیر این صورت در ناحیه خود باقی می‌ماند. حد آستانه تعیین شده در این مقاله برابر با یک است، بنابراین صرفاً واحدهای مکانی‌ای که بیشتر از یک همسایه در ناحیه مجاور دارند، بررسی می‌شوند. به‌عنوان مثال، دو ناحیه و یک واحد مکانی پایه میان آنها را که به یکی از آنها تعلق دارد، در نظر بگیرید. اگر این واحد مکانی فقط یک همسایه در ناحیه مجاور داشته باشد، در الگوریتم بررسی نمی‌شود و در ناحیه‌ای که به آن تعلق گرفته است، باقی می‌ماند. اما اگر واحد مکانی مورد نظر، دو یا چند همسایه در ناحیه مجاور داشته باشد، در الگوریتم بررسی می‌شود. بدین ترتیب میزان فشردگی شکل هندسی هر ناحیه در صورت تعلق آن واحد مکانی به آن محاسبه می‌شود و در نهایت آن واحد مکانی به ناحیه‌ای تخصیص داده می‌شود که میزان فشردگی هندسی بیشتری به‌دست آید.

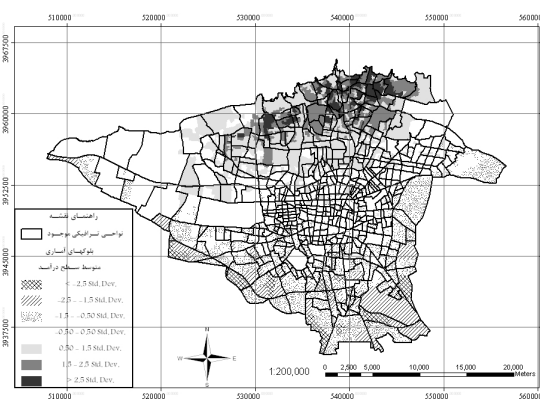
۴- نتایج

در این بخش با استفاده از مفاهیم و الگوریتم‌های توضیح داده شده در بخش‌های قبلی، طراحی نواحی ترافیکی در شهر تهران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه بررسی شد. شهر تهران از ۳۱۹۱ بلوک آماری تشکیل شده است که از آنها به‌عنوان واحدهای مکانی پایه به‌منظور ناحیه‌بندی ترافیکی استفاده شد. این واحدها حاوی اطلاعات سرشماری لازم برای طراحی نواحی ترافیکی هستند. در مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران، این شهر به ۵۶۰ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است که در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران از جمله مدل‌سازی تقاضای سفر به‌کار گرفته می‌شوند. این ناحیه‌بندی به‌صورت تجربی و براساس قواعدی کلی صورت گرفت و مرز نواحی بر مرز

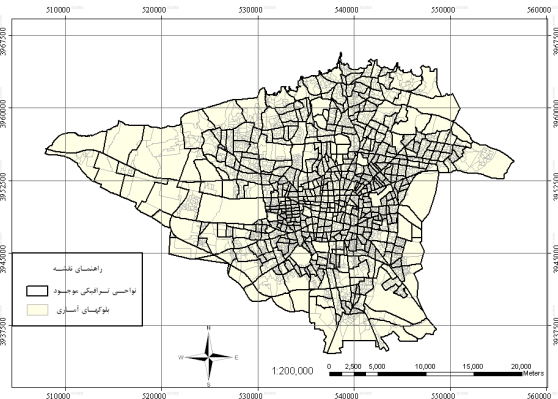
طراحی نواحی ترافیکی با استفاده از توسعه مکانی الگوریتم k-means

معیارهای متوسط سطح درآمد، متوسط مالکیت خودرو و متوسط بُعد خانوار با استفاده از روش انحراف معیار نمایش داده شده است. در این شکل‌ها بلوک‌های خاکستری تیره دارای مقادیر بیشتر از میانگین بلوک‌های هاشورخورده دارای مقادیر کمتر از میانگین هستند. همان‌گونه که مشخص است، نواحی ترافیکی موجود از لحاظ معیارهای تعیین شده بسیار ناهمگن‌اند، به‌گونه‌ای که بعضی از نواحی ترافیکی شامل بلوک‌هایی با مقادیر بسیار متفاوت برای هر یک از این معیارها هستند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که اختلاف مقادیر هر معیار میان بلوک‌های تشکیل‌دهنده یک ناحیه ترافیکی بسیار زیاد است، تا جایی که سبب افزایش انحراف معیار و ناهمگنی در آن ناحیه می‌شود.

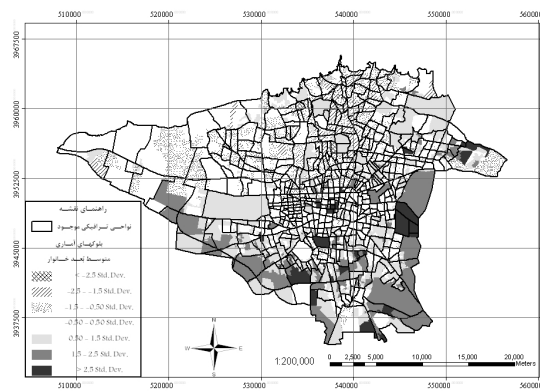
بلوک‌های آماری منطبق نیست، که همین امر مشکلات عدیده‌ای را برای استفاده از اطلاعات آماری موجود در بلوک‌های آماری به‌منظور تحلیل تقاضای سفر ایجاد کرده است. از این‌رو در مقاله حاضر از روش پیشنهاد شده در بخش ۳ برای طراحی مجدد ۵۶۰ ناحیه ترافیکی با استفاده از بلوک‌های آماری به‌گونه‌ای استفاده می‌شود که مرز این نواحی بر مرز بلوک‌های آماری منطبق شود و درعین حال نواحی ترافیکی همگن‌تری با استفاده از معیارهای مورد نظر حاصل گردد. شکل ۲ منطقه مطالعه شده را به‌همراه مرز بلوک‌های آماری و نواحی ترافیکی موجود نمایش می‌دهد. در شکل‌های ۳-الف، ۳-ب و ۳-ج به ترتیب میزان همگنی نواحی ترافیکی موجود از لحاظ



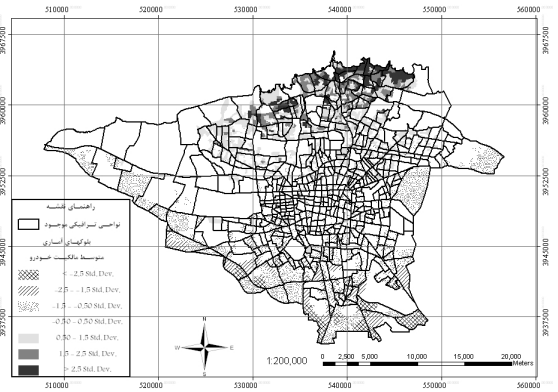
شکل ۳-الف. همگنی نواحی ترافیکی موجود از نظر متوسط سطح درآمد



شکل ۲. بلوک‌های آماری و نواحی ترافیکی موجود



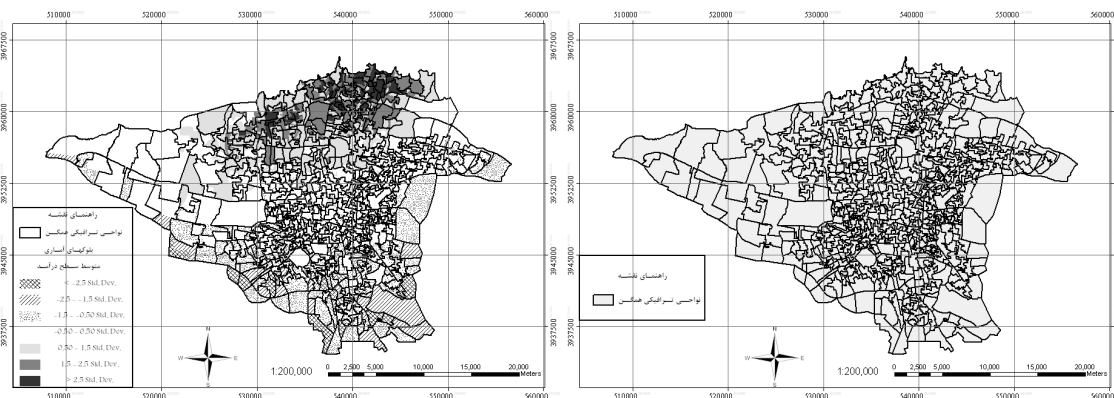
شکل ۳-ب و ج. میزان همگنی نواحی ترافیکی موجود شهر تهران از نظر متوسط مالکیت خودرو و متوسط بُعد خانوار



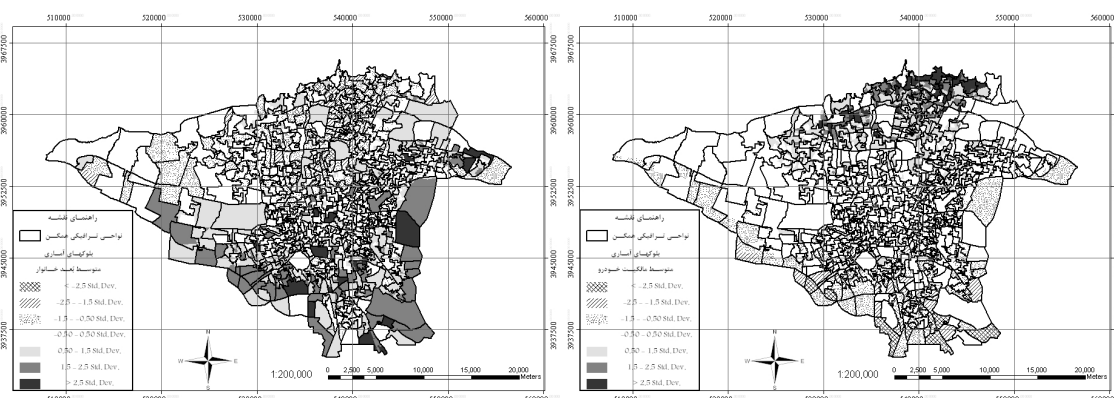
۴-۱- طراحی نواحی ترافیکی همگن

نواحی ترافیکی همگن با استفاده از روابط (۱) تا (۳) تعیین شدند. با توجه به محدودیت اطلاعات موجود در این تحقیق از سه معیار متوسط سطح درآمد، متوسط بُعد خانوار، و متوسط مالکیت خودرو به عنوان متغیرهای تابع هدف k-means استفاده شده است. تعداد نواحی ترافیکی برابر با همان ۵۶۰ ناحیه ترافیکی موجود در نظر گرفته شد تا بدین طریق بتوان میزان همگنی نواحی ترافیکی حاصل را با نواحی ترافیکی موجود مقایسه کرد. افزون بر این با توجه به وسعت منطقه مطالعه شده، تعداد نواحی ترافیکی در نظر گرفته شده و اندازه نواحی ترافیکی موجود، دو حد آستانه ۰/۲ و ۵

کیلومترمربع برای حداکثر و حداقل مساحت نواحی ترافیکی انتخاب شد. در شکل ۴ نواحی ترافیکی به دست آمده، نشان داده شده است. با توجه به نواحی نشان داده شده در این شکل و مقادیر ارائه شده در جدول ۱ مقدار تابع هدف کلی برای این نواحی به میزان ۴۳/۷۳ واحد کمتر از نواحی موجود است، که نشان از بهبود جدی همگنی آنها در مقایسه با نواحی موجود دارد. اما شکل این نواحی بسیار پیچیده است، چراکه هیچ گونه کنترلی روی شکل هندسی آنها صورت نگرفته است. بنابراین الگوریتمی برای ایجاد نواحی ترافیکی با شکل هندسی فشرده تر به کار گرفته شد که نتایج آن در بخش بعدی نشان داده شده است.

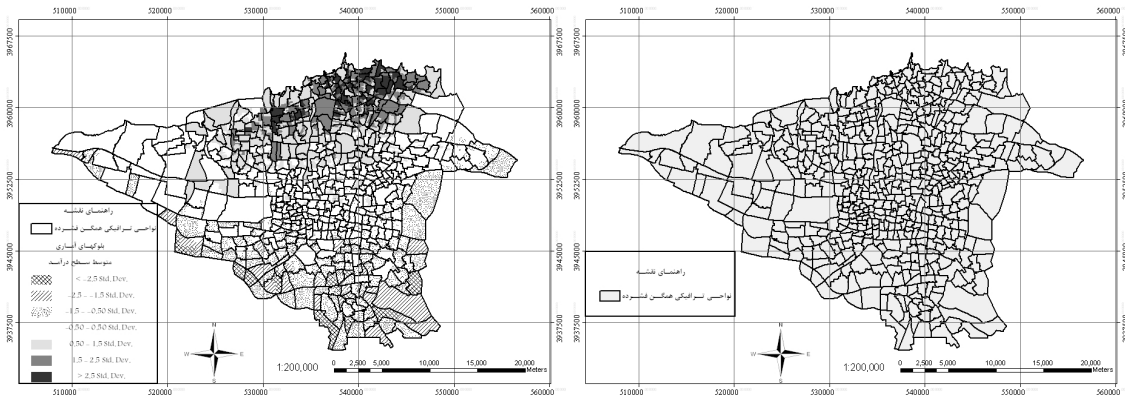


شکل ۴- الف و ب. نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی غیرفشرده و میزان همگنی آنها برحسب متوسط سطح درآمد

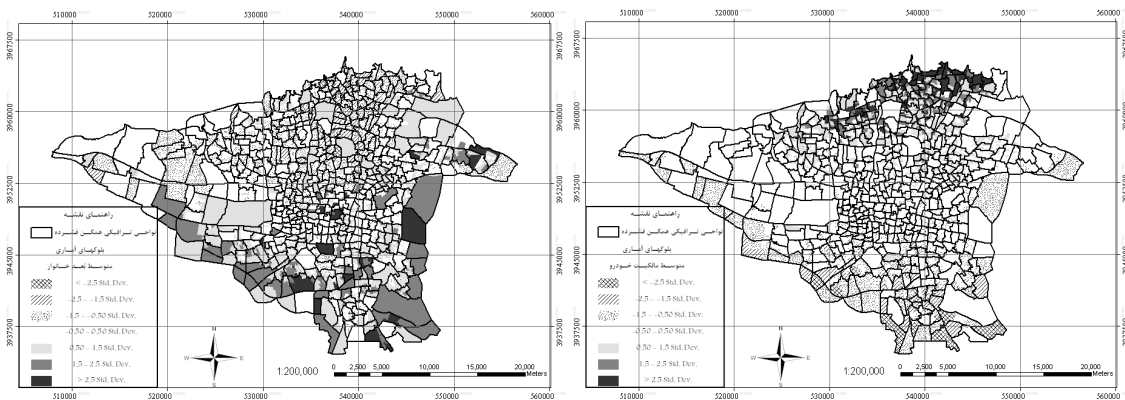


شکل ۴- ج و د. میزان همگنی نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی غیرفشرده برحسب متوسط مالکیت خودرو و بُعد خانوار

طراحی نواحی ترافیکی با استفاده از توسعه مکانی الگوریتم k-means



شکل ۵-الف و ب. نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی فشرده و میزان همگنی آنها برحسب متوسط سطح درآمد



شکل ۵-ج و د. میزان همگنی نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی فشرده برحسب متوسط مالکیت خودرو و بُعد خانوار

۴-۲- طراحی نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی فشرده

به منظور ایجاد نواحی با شکل هندسی فشرده، از الگوریتم فشرده‌گی شکل هندسی که در بخش ۳-۲ توضیح داده شد، استفاده گردید. نواحی به دست آمده از این روش در شکل ۵ نشان داده شدند. همان گونه که در شکل مشخص است، نواحی به دست آمده از این روش در مقایسه با نواحی ایجاد شده در بخش ۴-۱ شکل هندسی فشرده تری دارند، اگرچه میزان همگنی آنها برحسب مقدار تابع هدف کلی ارائه شده در شکل ۶ به مقدار ۸/۰۵ کاهش یافته است.

۵- بحث و نتیجه گیری

نواحی ترافیکی پیش از مدل سازی تقاضای سفر مورد نیاز هستند و در تمامی مراحل بعدی مدل سازی از تولید تا تخصیص سفر به کار گرفته می شوند. طراحی صحیح و مناسب نواحی ترافیکی بسیار مهم است، زیرا این نواحی روی نتایج مدل سازی تقاضای سفر و سایر برنامه ریزی ها و تصمیمات مبتنی بر تقاضای سفر تأثیر جدی می گذارند. این تأثیرات که به نام مسئله ناحیه بندی تغییرپذیر (MAUP) شناخته می شوند، ناشی از آن اند که سیستم ناحیه بندی مورد استفاده اختیاری است و با بهبود یا تغییر در ناحیه بندی، نتایج حاصل از تحلیل های مبتنی بر آنها دستخوش تغییر می شوند. از این رو در مقاله حاضر سعی شد که به منظور

کاهش این تأثیرات روش خوشه‌بندی مکانی برای طراحی مناسب نواحی ترافیکی ارائه شود. این روش آشکارا سبب بهبود همگنی نواحی ترافیکی می‌شود و فشردگی شکل هندسی نواحی را نیز تضمین می‌کند. روش به کار گرفته شده در این مقاله نسبتاً سریع است و محدودیتی در اعمال تعداد معیار ندارد، به گونه‌ای که در صورت وجود اطلاعات کافی می‌توان سایر معیارهای مورد نظر کارشناسان حمل‌ونقل را نیز برای ایجاد نواحی ترافیکی همگن در آن وارد کرد. اما از آنجا که با افزایش تعداد معیارها زمان محاسباتی افزایش می‌یابد، پیشنهاد می‌شود که برای مناطق وسیع صرفاً معیارهای اصلی و ضروری در نظر گرفته شوند.

از آنجا که نواحی ترافیکی موجود به صورت تجربی و بدون به کارگیری روش‌های تحلیلی مشخصی تعیین شده‌اند، میزان همگنی‌شان بسیار اندک است. به منظور افزایش همگنی این نواحی از روش پیشنهادی در این مقاله برای طراحی مجدد آنها بهره گرفته شد. همگنی نواحی حاصل از نظر معیارهای تعیین شده به مراتب بیشتر از نواحی ترافیکی موجود است، اما مشکل اساسی این نواحی شکل هندسی بسیار پیچیده و غیرمنظم آنهاست که امکان مدیریت و تحلیل تقاضای سفر مبتنی بر آنها را دشوار می‌سازد. از این رو یک الگوریتم هندسی به منظور کاهش پیچیدگی شکل هندسی نواحی با استفاده از اطلاعات همسایگی و تحلیل مجاورت در GIS شرح و بسط داده شد. نواحی حاصل از اعمال این الگوریتم در مقایسه با نواحی قبلی شکل هندسی بسیار منظم‌تری دارد، هرچند تا حدودی از میزان همگنی آنها کاسته شد. استفاده از اطلاعات همسایگی در الگوریتم محاسبه فشردگی شکل هندسی، سرعت این الگوریتم را به شدت بالا برد، چرا که فقط تعدادی از واحدهای مکانی لازم ارزیابی می‌شوند. بنابراین امکان استفاده از این الگوریتم در مجموعه داده‌های بزرگ نیز فراهم می‌شود.

شکل ۶ نمودار میزان همگنی کلی را برحسب تابع هدف ارائه شده در رابطه (۳) و جدول ۱، میانگین و

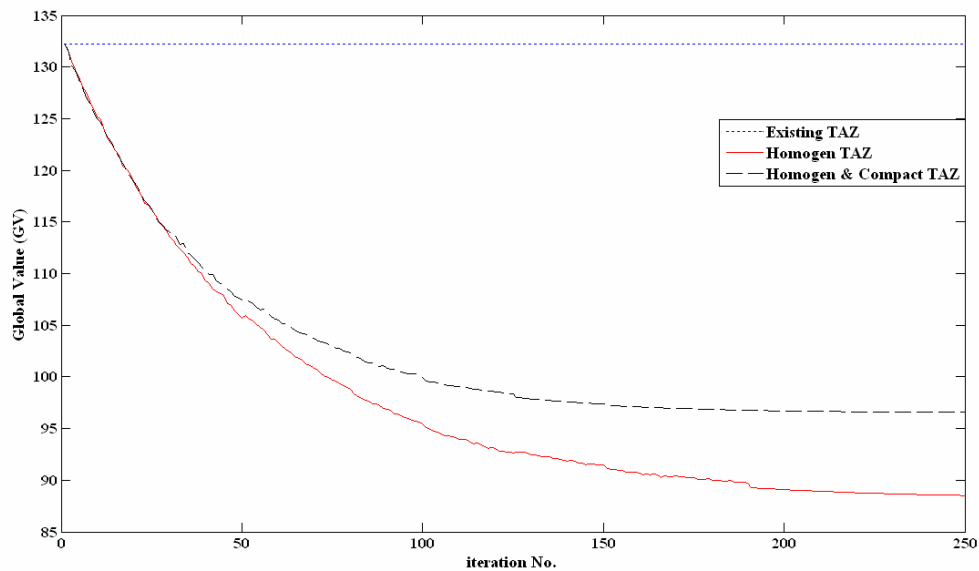
انحراف معیار نسبت مجذور محیط بر مساحت برای نواحی ترافیکی موجود، نواحی ترافیکی همگن، و نواحی ترافیکی همگن با شکل هندسی فشرده نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، مقدار تابع هدف کلی برای نواحی ترافیکی موجود برابر با ۱۳۲/۲۴ بوده که این مقدار برای نواحی همگن ایجاد شده با شکل هندسی غیرفشرده کاهش یافته و در تکرار ۲۵۰ به ۸۸/۵۱ کاهش یافته، که نشان‌دهنده بهبود همگنی نواحی ترافیکی ایجاد شده است. اما مقادیر میانگین و انحراف معیار نسبت مجذور محیط بر مساحت که در جدول ۱ ارائه شده‌اند و معیاری برای فشردگی شکل هندسی محسوب می‌شوند، نشان می‌دهند که شکل هندسی نواحی ایجاد شده بسیار نامنظم و پیچیده‌تر از نواحی ترافیکی موجود است. به عبارت دیگر، در مقابل افزایش شدید همگنی نواحی ترافیکی ایجاد شده، شکل هندسی آنها نیز بسیار پیچیده شده است. به دلیل پیچیدگی بیش از حد شکل آنها، این نواحی در عمل برای مدیریت و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک مناسب نیستند. از این رو در مرحله بعد، از الگوریتم فشردگی شکل هندسی نیز در کنار الگوریتم همگنی نواحی بهره برده شد.

همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص است، با به کارگیری الگوریتم فشردگی شکل هندسی تا حدودی از همگنی نواحی ایجاد شده کاسته شده است، به گونه‌ای که مقدار تابع هدف کلی برای نواحی همگن ایجاد شده با شکل هندسی فشرده در تکرار ۲۵۰ برابر با ۹۶/۵۶ شده است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که میزان کارایی الگوریتم ایجاد نواحی همگن در مقابل افزایش فشردگی شکل هندسی کاهش یافته است؛ هرچند میزان این کاهش زیاد نبوده و همچنان نواحی ترافیکی ایجاد شده از نواحی ترافیکی موجود بسیار همگن‌ترند. علاوه بر این، به کارگیری الگوریتم فشردگی شکل هندسی سبب شده است که تقریباً از تکرار ۱۵۰ به بعد بهبود چندانی در میزان همگنی نواحی ایجاد شده صورت نگیرد؛ اما در مقابل شکل هندسی

طراحی نواحی ترافیکی با استفاده از توسعه مکانی الگوریتم k-means

است. در نهایت، می‌توان گفت که استفاده از روش ارائه‌شده در این مقاله باعث بهبود جدی همگنی نواحی ترافیکی می‌شود و در عین حال فشردگی شکل هندسی نواحی را حفظ می‌کند. در نتیجه نواحی ترافیکی حاصل، ورودی بهتری برای مدل‌سازی تقاضای سفر و تحلیل‌های مختلف حمل‌ونقل و ترافیک شهری به‌شمار می‌روند.

نواحی ایجادشده را آشکارا بهبود داده است. مقادیر میانگین و انحراف معیار نسبت مجذور محیط بر مساحت نواحی ایجادشده که در جدول ۱ ارائه شده است، نشان می‌دهد که شکل هندسی این نواحی بسیار بهبود یافته و به شکل نواحی ترافیکی موجود نزدیک شده است. اگرچه شکل هندسی نواحی ترافیکی موجود اندکی بهتر از نواحی ایجادشده است، اما میزان همگنی نواحی ایجادشده بسیار بهتر از نواحی ترافیکی موجود



شکل ۶. نمودار میزان همگنی نواحی ترافیکی موجود و نواحی ترافیکی ایجادشده

جدول ۱. نسبت مجذور محیط بر مساحت برای نواحی ترافیکی موجود و نواحی ترافیکی ایجادشده

انحراف معیار	میانگین	نسبت مجذور محیط بر مساحت	
		نواحی ترافیکی	نواحی ترافیکی موجود
۵/۶۹	۲۱/۰۶	نواحی ترافیکی	نواحی ترافیکی موجود
۲۱/۵۶	۴۵/۱۱	نواحی ترافیکی همگن بدون لحاظ نمودن فشردگی شکل هندسی	نواحی ترافیکی موجود
۵/۷۰	۲۵/۰۲	نواحی ترافیکی همگن با در نظر گرفتن فشردگی شکل هندسی	نواحی ترافیکی موجود

- Alvanides, S., 2000, **Zone Design Methods for Application in Human Geography**, Leeds, UK., University of Leeds, Ph.D. Thesis.
- Alvanides, S. and S. Openshaw, 1999, **Zone Design for Planning and Policy Analysis**, Geographical Information and Planning, S. Geertman, S. Openshaw and J. Stillwell. Berlin, Springer-Verlag: PP. 299-315.
- Amrhein, C.G., 1995, **Searching for the Elusive Aggregation Effect—evidence from Statistical Simulations**, *Environment & Planning A*, 27(1), PP.105-119.
- Batty, M., 1976, **Entropy in Spatial Aggregation**, *Geographical Analysis*, 8(1), PP. 1-21.
- Batty, M. and P. K. Sikdar, 1982a, **Spatial Aggregation in Gravity Models.1. An Information-theoretic Framework**, *Environment & Planning A*, 14(3), PP. 377-405.
- Batty, M. and P.K. Sikdar, 1982b, **Spatial Aggregation in Gravity Models.2 One-dimensional Population-density Models**, *Environment & Planning A*, 14(4), PP. 525-553.
- Batty, M. and P. K. Sikdar, 1982c, **Spatial Aggregation in Gravity Models. 3. Two-dimensional Trip Distribution and Location Models**, *Environment & Planning A*, 14(5), PP. 629-658.
- Batty, M. and P. K. Sikdar, 1982d, **Spatial Aggregation in Gravity Models.4. Generalizations and Large-Scale Applications**, *Environment & Planning A*, 14(6), PP.795-822.
- Bennion, M.W. and W.A. O'Neill, 1994, **Building Transportation Analysis Zones Using Geographical Information Systems**, *Transportation Research Record-Multimodal Priority Setting and Application of Geographic Information Systems No. 1429*, PP. 49-56.
- Binetti, M. and E. Ciani, 2002, **Effects of Traffic Analysis Zones Design on Transportation Models**, 9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, Bari, Italy.
- Chesbon, G. and P. Cheryl, 1992, **Using GIS to Define and Develop TAZ Data**, 4th International Conference on Microcomputers in Transportation, Baltimore, Maryland.
- Cliff, A.D. and P. Haggett, 1970, **On the Efficiency of Alternative Aggregations in Region-building Problems**, *Environment and Planning A*, 2, PP. 285-294.
- Dark, J.S. and D. Bram, 2007, **The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) in Physical Geography**, *Progress in Physical Geography*, 31, PP. 471-479.
- Ding, C., 1998, **The GIS-based Human-interactive TAZ Design Algorithm: Examining the Impacts of Data Aggregation on Transportation-planning Analysis**, *Environment & Planning, B* 25(4), PP. 60-1.
- Ding, C., K. Choi and T. J. Kim, 1993, **GIS-Based Traffic Analysis Zone Design**, 3rd

- International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Atlanta.
- Eagleson, S., F. Escobar and I. Williamson, 2002, **Hierarchical Spatial Reasoning Theory and GIS Technology Applied to the Automated Delineation of Administrative Boundaries**, Computers, Environment and Urban Systems, 26(2-3), P. 185.
- Gan, C.T., 1994, **A GIS-aided Procedure for Converting Census Data for Transportation Planning**, *ITE Journal-Institute of Transportation Engineers*, 64(11), PP. 34-40.
- Gehlke, C.E. and K. Biehl, 1934, **Certain Effects of Grouping Upon the Size of the Correlation Coefficient in Census Tract Material**, *Journal of American Statistical Association*, 29, PP. 169-70.
- Guo, J.Y. and C.R. Bhat, 2004, **Modifiable Areal Units: A Problem or a Matter of Perception in the Context of Residential Location Choice Modeling?** *Transportation Research Record*, No. 1898, PP. 138-147.
- Hayward, P. and J. Parent, 2009, **Modeling the Influence of the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) on Poverty in Pennsylvania**, *The Pennsylvania Geographer*, 47 (1), PP. 120-135.
- Horn, M.E.T., 1995, **Solution Techniques for Large Regional Partitioning Problems**, *Geographical Analysis*, 27, PP. 230-248.
- Keane, M., 1975, **Size of Region-building Problem**, *Environment & Planning A*, 7(5), PP. 575-577.
- Keeling, D.J., 2008, **Transportation Geography - New Regional Mobilities**, *Human Geography*, 32 (2), PP. 275-283.
- Knowles, R., J. Shaw and I. Docherty, 2008, **Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces**, Malden, MA: Blackwell, Wiley-Blackwell.
- Lolonis, P. and M.P. Armstrong, 1993, **Location-allocation as Decision Aids in Delineating Administrative Regions**, *Computers, Environment and Urban Systems*, 17, PP. 153-174.
- Martin, D., 1998, **Optimizing Census Geography: The Separation of Collection and Output Geographies**, *International Journal of Geographical Information Science*, 12, PP. 673-685.
- Martin, D., 2001, **Geography for the 2001 Census in England and Wales**, *Census Customer Services*, Office for National Statistics, PP. 1-17.
- Martinez, L.M., 2006, **TAZ Delineation and Information Loss in Transportation Planning Studies**, Dep. of Civil and Architecture, Lisbon, Portugal, IST-Technical University of Lisbon .MS Dissertation.
- Martinez, L.M., J.M. Viegas and E.A. Silva, **Modifiable Areal Unit Problem (MAUP)**

- Effects on Traffic Analysis Zones (TAZ) Delineation**, European Simulation and Modelling Conference, Porto, Portugal, EUROSIS.
- Martinez, L.M., J.M. Viegas and E.A. Silva, 2007, **Zoning Decisions in Transport Planning and their Impact on the Precision of Results**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1994, PP. 58-65.
- Martinez, L.M., J.M. Viegas and E.A. Silva, 2009, **A Traffic Analysis Zone Definition: A New Methodology and Algorithm**, Transportation, 36, PP. 581-599.
- Masser, I. and P.J.B. Brown, 1975, **Hierarchical Aggregation Procedures for Interaction Data**, Environment & Planning A, 7(5), PP. 509-523.
- Miller, H.J., 1999, **Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T)**, Geographical Analysis, 31 (4), PP. 373-399.
- Morphet, C.S., 1997, **A Statistical Method for the Identification of Spatial Clusters**, Environment & Planning A, 29(6), PP. 1039-1055.
- Nthiwa, A.N., 2011, **Modeling Scale and Effects of the Modifiable Areal Unit Problem on Multiple Deprivations in Istanbul**, Turkey. ITC (Faculty of Geo-information Science and Earth Observation), University of Twente. M.Sc. Thesis: 80.
- O'Neill, W.A., 1991, **Developing Optimal Transportation Analysis Zones Using GIS**, ITE Journal 61(12), PP. 33-36.
- Openshaw, S., 1977a, **A Geographical Solution to Scale and Aggregation Problems in Region Building, Partitioning, and Spatial Modeling**, Transactions of the Institute of British Geographers, 2, PP. 459-472.
- Openshaw, S., 1977b, **Optimal Zoning Systems for Spatial Interaction Models**, Environment & Planning A, 9(2), PP. 169-184.
- Openshaw, S., 1978, **An Optimal Zoning Approach to the Study of Spatially Aggregated Data**, Spatial Representation and Spatial Interaction, I. Masser and P. J. B. Bown, Leiden: Martinus Nijhoff, PP. 93-113.
- Openshaw, S. and P.J. Taylor, 1979, **A Million or So Correlation Coefficients: Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem**, Statistical Applications in the Spatial Sciences, N. Wrigley. London, Pion, PP. 127-144.
- Ord, J.K. and A.D. Cliff, 1976, **The Analysis of Commuting Patterns**, Environment and Planning A, 8, PP. 941-946.
- Ortuzar, J.D. and L.G. Willumsen, 2006, **Modelling Transport**, New York, John Wiley & Sons.
- Paliwal, A., 2011, **The Impact of Modifiable Areal Unit Problem on Estimation of Lake Extent**, ITC (Faculty of Geo-information Science and Earth Observation), University of Twente, M.Sc. Thesis, P. 65.

- Schuurman, N., N. Bell, J.R. Dunn and L. Oliver, 2007, **Deprivation Indices, Population Health and Geography: An Evaluation of the Spatial Effectiveness of Indices at Multiple Scales**, Journal of Urban Health-Bulletin of the New York Academy of Medicine, 84 (4), PP. 591-603.
- Stein, A., N.A.S. Hamm and Y. Qinghua, 2009, **Handling Uncertainties in Image Mining for Remote Sensing Studies**, International Journal of Remote Sensing, 30, PP. 5365-5382.
- Viegas, J., L. Martinez and E. Silva, 2008, **Modifiable Areal Unit Problem Effects on Traffic Analysis Zones Delineation**, Environment & Planning B.
- Ward, J.H., 1963, **Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function**, Journal of the American Statistical Association, 58 (301), PP. 236-244.
- Wong, D., 2009, **The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP)**, The SAGE Handbook of Spatial Analysis, London, Sage publications.
- Wong, D. and C. Amrhein, 1996, **Research on the MAUP: Old Wine in a New Bottle or Real Breakthrough?**, Journal of Geographical Systems, 3, PP. 73-77.
- You, J. S., Z. Nedovic and T. J. Kim, 1997a, **A GIS-based Traffic Analysis Zone Design: Implementation and Evaluation**, Transportation Planning and Technology, 21(1-2), PP. 69-91.
- You, J. S., Z. Nedovic and T.J. Kim, 1997b, **A GIS-based Traffic Analysis Zone Design: Technique**, Transportation Planning and Technology, 21(1-2), PP. 45-68.
- Zhao, Y. and K.M. Kockelman, 2002, **The Propagation of Uncertainty Through Travel Demand Models: An Exploratory Analysis**, Annals of Regional Science, 36, PP. 145-163.

