نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴

Vol.3, No.4, Winter 2016

۶۵-۸۲

پهنه‌بندی توزیع فضایی جمعیت شهری به روش درونیابی سطحی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی تصویر مبنا- منطقه مورد مطالعه: شهر تهران

رضا آقاطاهر[1*]، نجمه نیسانی سامانی[2]

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه آزاد اسلامی- واحد یادگارامام (ره)

۲- استادیار گروه سنجش از دور و *GIS*- دانشکده جغرافیا- دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۴

چکیده

آگاهی از مشخصات جمعیتی یک شهر از نیازهای اولیه تصمیم‌گیرندگان شهری می‌باشد. این در حالی است که داده‌های جمعیتی عموماً در بازه‌های زمانی بلند مدت از قبیل ده یا پنج ساله تهیه و یا بازبینی می‌شوند. در این فاصله زمانی، جمعیت با اعمال تخمین‌های غیر شهودی و تقریبی از قبیل نرخ متوسط مهاجرت و یا داده‌های آماری دقیق‌تری چون زاد و ولد تخمین زده می‌شود. در کنار نادقیق بودن نتایج تخمین‌های جمعیتی نکته مهم عدم امکان استفاده از آنها برای ارائه برآوردی از پراکندگی جمعیت می‌باشد. این تحقیق با احساس نیاز به بهبود تخمین جمعیت و بالاخص تعیین پراکندگی جمعیت در محیط‌های شهری به ارائه روشی مبتنی بر بکارگیری داده‌های مکانی پرداخته است. فرضیه تحقیق عبارتست از اینکه عامل مکان در قالب کاربری اراضی و تراکم و پراکندگی جمعیت دارای ارتباط مشخصی با یکدیگر می‌باشند. در صورت مشخص بودن ارتباط مزبور و وجود تخمین‌های دقیق‌تر و عینی‌تری از تغییرات کاربری اراضی، می‌توان این تغییرات را در تراکم و پراکندگی جمعیت تصویر نمود. نتیجه این فرآیند افزودن فاکتوری عینی و قابل اطمینان در تخمین جمعیت است که می‌تواند سبب بهبود روش‌های تخمینی موجود گردد. در این تحقیق چند ارتباط اصلی میان کاربری اراضی و جمعیت از قبیل سکونت، تمایل به زندگی در مجاورت یکدیگر و همچنین توزیع پیوسته جمعیت در حوزه مکانی معرفی شده‌اند. این ارتباط‌ها با استفاده از روش تخمین و حداکثرسازی در محیط محاسباتی یک سیستم اطلاعات مکانی تصویر مبنا پیاده‌سازی شده‌اند تا شبیه‌سازی از جمعیت و پراکندگی آن در شهری مانند تهران حاصل گردد. روش تخمین و حداکثرسازی در این تحقیق به عنوان نوعی از درونیابی سطحی بکار گرفته شده است. داده‌های کاربری اراضی مورد نیاز نیز از تصاویر ماهواره‌ای *IRS-D* مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۲/۰۳/۰۶ و ۲۰۱۳/۱۰/۲۶ استخراج شده است. نتایج حاصل برآورد مناسبی از جمعیت و پراکندگی آن را در منطقه مورد مطالعه خاطر نشان می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: توپولوژی، آمار جمعیتی، تصاویر ماهواره‌ای، درونیابی سطحی.

* نویسنده مکاتبه کننده تهران، آزادراه خلیج فارس، روبروی مرقد مطهر حضرت امام خمینی(ره)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگارم امام(ره)، گروه مهندسی نقشه برداری.

تلفن : ۰۹۱۲۲۰۷۰۹۶۲

Email: **Reza_Aghataher@yahoo.com**

۱- مقدمه

این تحقیق در نظر دارد تا روشی را برای استخراج پهنه‌بندی به هنگام جمعیت یک شهر با استفاده از داده‌های مکانی ارائه دهد. به طور خاص کاربری اراضی به عنوان عامل کنترلی در تخمین و پهنه‌بندی جمعیت در این مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تصمیم‌گیری در محیط‌های شهری نیازمند بکارگیری شواهد عینی و قابل استناد می‌باشد. این امر ناشی از مشارکت مستقیم طیف گسترده‌ای از بخش‌های مختلف در تصمیم‌گیری‌ها و لزوم ایجاد سطح بالایی از هماهنگی در میان این بخش‌ها می‌باشد. به علاوه تصمیم‌گیری‌های شهری می‌بایست در بازه‌های زمانی کوتاهی اخذ گردند و به اجرا درآیند. از این رو ایجاد هر چه سریعتر و مؤثرتر سطوح هماهنگی و مشارکتی عنوان شده در اولویت مسئولان شهری قرار می‌گیرد. راهکار کلی برای پرداختن به این مهم تصویرسازی ساختار فیزیکی و اجتماعی شهرها و در کنار آن ایجاد ابزارهایی برای کاوش و تحلیل ساختار ایجاد شده می‌باشد. اطلاعات مکانی و سیستم‌های اطلاعات مکانی قابلیت‌های مناسبی را در این زمینه ارائه می‌نمایند.

جمعیت از جمله فاکتورهای مهمی است که در تصمیم‌گیری‌های شهری نقشی اصلی ایفا می‌نماید. داده‌های جمعیتی در فواصل ده یا پنج ساله تجدید و یا بازبینی می‌شوند. در این فاصله تخمین جمعیت با در نظر گرفتن پارامترهای نادقیقی چون میزان مهاجرت و زاد و ولد به انجام می‌رسد این تخمین‌های جمعیتی سطح نامشخصی از نادقیقی را همراه دارند و مبتنی بر شواهد عینی نیز نیستند. به علاوه این تخمین‌ها ماهیت پویا و توزیع‌یافتهٔ جمعیت را نادیده می‌گیرند و فرض ایستا و متمرکز (غیرپیوسته) بودن را لحاظ می‌نمایند. بدین ترتیب امکان برآورد تراکم و پراکندگی جمعیتی برای این تخمین‌ها متصور نمی‌باشد.

از موارد دیگری که سطحی از نادقیقی را در تخمین جمعیت وارد می‌نماید تلخیص داده‌های جمعیتی است. بدنبال ساماندهی داده‌های جمعیتی، داده‌های مزبور در قالب داده‌های تلخیص شده برای بلوک‌های شهری ارائه می‌گردند که از آنها به عنوان بلوک‌های آماری یاد می‌شود. علاوه بر گسسته‌سازی ناشی از تلخیص داده‌های آمار جمعیتی در حوزهٔ بلوک‌های آماری، عدم مطابقت این بلوک‌ها با سایر تقسیم‌بندی‌های شهری (بلوک‌های شهرداری و خدمات شهری) عملاً اوضاع بغرنجی در استفاده از داده‌های جمعیتی ایجاد می‌نماید.

شرایط تشریح شده در مورد جوامع در حال توسعه بالاخص ابرشهرها بسیار پیچیده‌تر می‌باشد. این امر خود عاملی محدود کننده در موفقیت مدیران در برنامه‌ریزی‌های شهری بوده است. بر این اساس یکی از انتظارات و توقعات مدیران شهری پرداختن به این مسأله است که آیا روشی برای تصویرسازی دقیق‌تر پهنه‌بندی جمعیتی وجود دارد؟ در این راستا ارتباطات اصلی میان کاربری اراضی و جمعیت از قبیل سکونت، تمایل به زندگی در مجاورت یکدیگر و همچنین توزیع پیوسته جمعیت در حوزه مکانی را در نظر گرفته شد. این ارتباط‌ها با استفاده از روش تخمین و حداکثرسازی در محیط محاسباتی یک سیستم اطلاعات مکانی تصویر مبنا پیاده‌سازی شده‌اند تا شبیه‌سازی از جمعیت و پراکندگی آن در شهری مانند تهران حاصل گردد. در این تحقیق روش تخمین و حداکثرسازی به عنوان نوعی از درونیابی سطحی بکار گرفته شده است. نتایج حاصل براورد مناسبی از جمعیت و پراکندگی آن را در شهر تهران خاطر نشان می سازد.

در بخش دوم مروری بر منابع مرتبط با تحقیق ارائه گردیده است. نظریه استفاده شده در این تحقیق برای پرداختن به مسألهٔ فوق‌الذکر در بخش سوم تشریح گردیده است. این نظریه مبتنی بر تصویرسازی محیط‌های شهری در قالب سیستمی مرتبط شامل فاکتورهای اجتماعی و فیزیکی است. در این راستا

امکان استفاده از ارتباط میان فاکتور جمعیت، به‌عنوان فاکتوری اجتماعی، با فاکتورهای فیزیکی مانند کاربری اراضی برای تصویرسازی جمعیت به هنگام تشریح شده است. در بخش چهارم روش اجرایی تحقیق ارائه شده است. این روش مبتنی‌بر استفاده از روش تخمین و حداکثرسازی به صورت بهبود یافته با اعمال برخی روابط فیزیکی و اجتماعی می‌باشد. در بخش پنجم نتایج حاصل از بکارگیری روش ارائه شده برای منطقهٔ مطالعاتی شهر تهران ارائه است.

۲- نظریه تحقیق

شهرها را می‌توان به صورت سیستمی مرتبط، متشکل از اجزای موجود در محیط شهری و ارتباط‌های میان آنها، تصویر نمود [۱]. در چنین سیستمی فرض بر این است که ساختار هر جزء در نتیجهٔ روابط آن با سایر اجزا شکل گرفته و تعیین می‌شود. این تصویر توپولوژیک قابلیت‌های فراوانی را برای مدل‌سازی شهری ایجاد می‌نماید که مبتنی بر شناخت و مدل‌سازی روابط میان اجزای شهری می‌باشند. چنین سیستمی علاوه بر انعطاف‌پذیری از سطح بالایی از پایداری نیز برخوردار می‌باشد.

بر این اساس و با فرض وجود ارتباط میان عامل جمعیتی و فاکتور کاربری اراضی در محیط‌های شهری، این تحقیق به بررسی تأثیر فاکتور کاربری اراضی شهری در ساختاردهی جمعیتی شهرها می‌پردازد. انتخاب فاکتور کاربری اراضی از میان فاکتورهای مختلف مرتبط با جمعیت به دلیل نیاز به تزریق سطحی از شواهد عینی و قابل استناد در ساختاربندی جمعیت بوده است. سایر فاکتورها (از قبیل جاذبهٔ مناطق مختلف در شکل‌گیری عامل مهاجرت) از چنین مشخصه‌ای به‌صورت بارز و قابل استفاده بی‌بهره بوده‌اند.

فرض بعدی در این تحقیق عبارت از امکان استخراج پهنه‌بندی پیوستهٔ جمعیت از داده‌های جمعیتی تلخیص شده در حوزهٔ بلوک‌های آماری با استفاده از درون‌یابی داده‌های جمعیتی مبتنی بر ارتباط آنها با پهنه‌بندی ساختمانی است. در شرایطی که فرضیات مطرح شده تماماً مبتنی بر مشخصات فیزیکی بوده‌اند و به منظور تقلیل تأثیر منفی ناشی از در نظر نگرفتن فاکتورهای اجتماعی مرتبط با توزیع جمعیت، از قبیل رفتارهای انسانی، فرض دیگر تحقیق بر امکان دخالت دادن فاکتورهایی که هم دارای ارتباط با فاکتور جمعیت و هم کاربری اراضی بوده‌اند قرار گرفت. بر این اساس در نظر گرفتن عامل تمایل جوامع انسانی به زندگی در کنار یکدیگر و پرهیز از پراکندگی زیاد به عنوان نمونه‌ای از فاکتورها در فرآیند برآورد توزیع جمعیتی در نظر گرفته شده است.

۳- مروری بر منابع

مطالعات مرتبط با این تحقیق که با هدف وارد کردن عامل مکان در تخمین تراکم و پراکندگی جمعیت به انجام رسیده‌اند تحت عنوان کلی درونیابی سطحی یا درون‌یابی فضایی[1] طبقه‌بندی می‌شوند. درون‌یابی‌سطحی عبارت است از انتقال داده از یک مجموعه (واحدهای مبدأ) به مجموعه دیگری (مجموعه مقصد) شامل عناصر دارای همپوشانی و غیرسلسله‌مراتبی [۲]. به معنای دیگر هدف اصلی در این تحقیقات ارائه روش‌هایی است که امکان تغییر تقسیم‌بندی‌های بلوک‌های آماری را فراهم می‌نمایند. ساده‌ترین نوع درون‌یابی فضایی، وزن‌دهی فضائی است. در این روش توزیع جمعیت در هر بلوک آماری همگن فرض می‌شود. بدین ترتیب با تعیین تقاطع هر بلوک جمعیتی هدف با بلوک‌های مبدا می‌توان جمعیت را تخمین زد[۳،۴]. نمونه‌ای از روش آماری همگن

[1] Areal Interpolation

توسط *Ghorbani* در سال ۲۰۰۶ ارائه گردید. تحلیل‌های مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که روش‌های آماری همگن در کلانشهرها نیازمند افزودن المانهای سطحی متغیر و استفاده از روشهای آمار مکانی است[۵].

با توجه به غیر واقعی بودن فرض همگن بودن جمعیت دو روش درون‌یابی داسی متریک۱ و کنترلی ارائه گردیده‌اند. در هر دو روش سعی می‌گردد که توزیع داده‌ها نیز به نوعی در محاسبات لحاظ گردد. در روش درون‌یابی داسی متریک تأکید بر استخراج اطلاعات از روابط همسایگی و محلی موجود میان بلوک‌های آماری است. برای مثال در این روش به مناطق تفریحی و جنگلی در یک بلوک مقدار صفر اختصاص می‌دهند و یا براساس دوری و نزدیکی به آن تغییراتی را لحاظ می‌کنند [۶۰]. *Wang* و *Wu* در سال ۲۰۱۰ روشی را مبتنی بر درونیابی سطحی ارائه نمود که برتری این روشها را نسبت به روشهای همگن خاطر نشان نمود[۷]. در روش دوم یک داده کنترلی مستقل دخالت داده می‌شود. این داده ارائه‌دهنده اطلاعاتی در مورد توزیع جمعیت هم برای بلوک‌های آماری مبدأ و هم هدف است. به معنای دیگر در روش دوم داده‌های کنترلی از لحاظ تقسیم‌بندی محدود به تقسیم‌بندی بلوک‌های مبدأ و مقصد نیستند و از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردارند [۸۰]. در این راستا *sharfi* در سال ۲۰۱۴ روشی را با استفاده از داده های کنترلی توسعه و ضرورت بکارگیری این نوع اطلاعات را در افزایش دقت مدل عنوان کرد[۹]. با توجه به این که دو روش مزبور نیازمند داده‌های جانبی می‌باشند، روش کنترلی نیازمند داده‌های جانبی دقیق‌تری می‌باشد. داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای گزینه‌های مناسبی برای این روش محسوب می‌گردند. این امر ناشی از قابلیت به هنگام بودن این داده‌ها و حجم مناسب اطلاعاتی است که ارائه می‌نمایند[۱۰].

۴- مواد و روشها

روش اتخاذ شده در این تحقیق مبتنی بر استفاده ترکیبی از دو روش داسی متریک و کنترلی می‌باشد. در این راستا تعریف قواعد محلی توزیع جمعیت در کنار استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بهنگام و با قدرت تفکیک متوسط به عنوان داده‌های کنترلی مورد توجه قرار گرفته است. از نقطه نظر محاسباتی نیز از روش تخمین و حداکثرسازی۲ استفاده شده است[۱۱].

پیش از تشریح روش محاسباتی، ابتدا به بیان راه حل مسأله به صورت مفهومی می‌پردازیم. در این راستا دو استراتژی را مقابل دسترسی به داده های جانبی کافی ترسیم می‌نماییم.

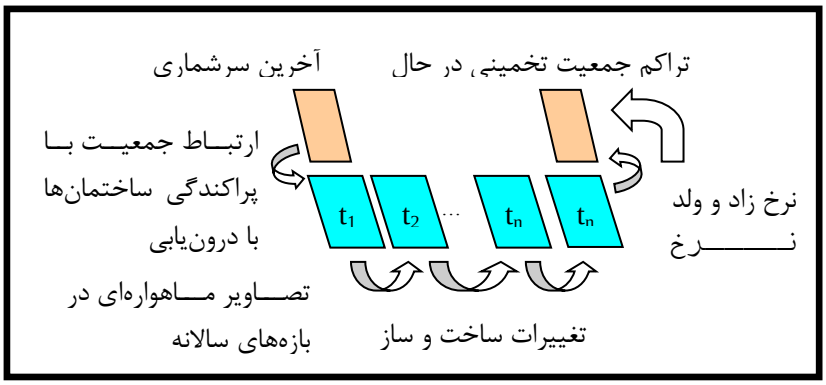
۴-۱- ساختار مفهومی تحقیق

شکل (۱) شمایی مفهومی از روش مورد نظر در این تحقیق را نمایش می‌دهد.

براین اساس ابتدا اطلاعات آمار جمعیتی آخرین سرشماری در سطح بلوک‌های آماری تهیه می‌شود. سپس نزدیکترین تصویر ماهواره‌ای به این آمار برای استخراج پهنه‌بندی تراکم ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و ارتباط میان عامل پراکندگی ساختمان‌ها و آمار جمعیتی با استفاده از روش درون‌یابی تخمین و حداکثرسازی [۱۲] تعیین می‌گردد. سپس برای تعیین نرخ تغییرات تراکم ساختمانی در فاصلهٔ آخرین سرشماری تا حال، از تصاویر ماهواره‌ای پرکننده استفاده می‌گردد.

[1] Dasymetric

[2] Expectation-Maximization - EM



شکل ۱: شمایی از فرآیند تخمین تراکم جمعیتی در حال حاضر

در نهایت نرخ تغییر تراکم ساختمانی حاصله در کنار نرخ زاد و ولد و مرگ و میر و تخمین نرخ مهاجرت تفسیر شده و در تعیین تراکم جمعیتی در حال حاضر بکار گرفته می‌شود. با درنظر گرفتن آنچه عنوان شد دو استراتژی کلی مبتنی بر وجود یا عدم وجود تصاویر ماهواره‌ای پرکننده بازهٔ زمانی آخرین سرشماری تا حال حاضر قابل فرض می‌باشند که عبارتند از :

۴-۱-۱- در صورت وجود تصاویر ماهواره‌ای پرکننده

این استراتژی حالت ایده‌آلی را در نظر می‌گیرد که در آن در فاصله زمانی t_1 که آمارگیری جمعیتی به انجام رسیده است، تصویر ماهواره‌ای مزبور وجود داشته باشد و در فواصل زمانی بین t_1 و t_n نیز تصاویر ماهواره‌ای وجود داشته باشند. در چنین حالتی با انجام درون‌یابی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای در سالی که آمارگیری انجام شده است این امکان فراهم می‌گردد تا پیش‌بینی جمعیت به‌صورت مرحله‌ای در بازه‌های زمانی یکساله انجام گیرد. این فرآیند تکرار می‌گردد تا در نهایت به زمان مورد نظر یعنی t_n ختم گردد. بدین ترتیب و با لحاظ شدن تغییرات سالانه می‌توان انتظار داشت که تخمین نهایی به واقعیت نزدیکتر باشد.

۴-۱-۲- در صورت عدم وجود تصاویر ماهواره‌ای پر کننده

در چنین شرایطی معمولا" تصویر ماهواره‌ای در فاصله‌ای مناسب و نزدیک به زمان آمارگیری جمعیتی، t_1، در اختیار نمی‌باشد. نتیجتا فواصل زمانی سالانه میان t_1 و t_n از لحاظ برخورداری از تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند و نزدیکترین بازهٔ زمانی نسبت به t_1 (مثلا" t_1')که دارای تصویر ماهواره‌ای می‌باشد تعیین می‌گردد. سپس میزان جمعیت بلوکهای آماری برای زمان t_1' با استفاده از روشهای آماری و برآوردهای تخمینی مرسوم تعیین می‌گردد. ادامه فرآیند مانند آنچه در حالت نخست ارائه گردید به انجام می‌رسد.

۴-۲- روش های داسی متریک

روشهای داسی‌متریک که اصطلاحا "اندازه‌گیری تراکم" اطلاق می‌شود. یکی از تکنیکهای کارتوگرافی سطح مبنا است که از مجموعه‌ای از داده‌های کمکی برای انتقال متغیرهای اجتماعی آماری مانند (جمعیت) از واحدهای مکانی کلی به واحدهای مکانی جزئی‌تر استفاده می‌کند .در این روش، منطقه اجرائی (منطقه مبنا) به واحد های مکانی کوچکتری

(منطقه هدف) که قرار است مقدار نسبت میانگین برای هر واحد تعیین شود، تقسیم می‌شوند.

۴-۳- روش تخمین و حداکثرسازی

روش تخمین و حداکثرسازی مبتنی بر روشهای آماری کلاسیک می‌باشد. این روش، با فرض رفتار آماری مشخص برای داده‌ها، در قالب فرآیندی دو مرحله‌ای به پیش‌بینی داده‌های مفقود شده می‌پردازد و سپس با استفاده از فرآیند یافتن ماکزیمم درستنمایی ۱، پارامترهای تخمین را بهبود می‌دهد. این فرآیند تا همگرایی یک پارامتر معیار و کنترلی تکرار می‌گردد.
داده‌های مفقود شده که در بالا به آن اشاره شد می‌توانند شامل مشاهداتی باشند که ثبت نشده‌اند، پارامترهایی که مشاهده نشده‌اند و یا داده‌هایی که تلخیص شده‌اند. در مورد داده‌های جمعیتی، داده‌های مفقود شده در سطح بلوک‌های آماری ناشی از تلخیص داده‌ها می‌باشند.
مفهوم اساسی مطرح در روش تخمین و حداکثرسازی بر ساده‌سازی ساختار توابع درستنمایی ۲ است. مراحل عنوان شده برای روش تخمین و حداکثرسازی بترتیب عبارتند از [۱۳]:

- مرحله تخمین که در آن داده‌های مفقود شده با یافتن سطحی از مشابهت میان داده‌های موجود و مدل آماری مورد نظر مقداردهی می‌شوند.
- مرحله افزایش شباهت که در آن مقادیر تخمین زده شده برای داده‌های مفقود شده با تخمین پارامترهای مدل با استفاده از روش بیشترین شباهت ساختاردهی مجدد و تکرار می‌شود.

پارامترهایی که در روش تخمین و حداکثرسازی استفاده می‌شوند عبارتند از [۱۳۰]:

Y: دامنهٔ داده‌های مشاهده شده

رابطه (۱) $Y = (Y_1, Y_2, ..., Y_n)' \in \gamma$

y: داده‌های مشاهده شده

رابطه (۲) $y = (y_1, y_2, ..., y_n)'$

X: دامنهٔ مرجع داده‌های کامل

رابطه (۳) $X = (X_1, X_2, ..., X_m)' \in \chi$

x: داده‌های کامل

رابطه (۴) $x = (x_1, x_2, ..., x_m)'$

z: داده‌های مفقود شده

رابطه (۵) $z = (z_1, z_2, ..., z_{m-n})'$

θ: برآورد پارامترهای مدل

رابطه (۶) $\theta = (\theta_1, \theta_2, ..., \theta_d)' \in \Theta$

تابع تراکم دادهٔای کامل

رابطه (۷) $f_X(x|\theta)$

براین اساس و با فرض اینکه g تابعی از داده‌های کامل (بدون حذف شدن مشاهده یا پارامتر و داده‌ای)، به داده‌های مشاهده شده باشد ($y = g(x)$ $g: \chi \to \gamma$)، اگر $\chi(y)$ زیر مجموعه‌ای از χ باشد که روی γ تصویر می‌گردد، لگاریتم شباهت داده‌های کامل *(Complete Likelihood)* نسبت به پارامتر θ از تابع f عبارتست از [۱۳۰]:

رابطه (۸) $\log L_c(\theta) = \log f_X(x|\theta)$

و با داشتن تابع g می‌توان مشابهت داده‌های مشاهده شده را بصورت رابطه (۹) تعیین نمود [۱۳۰]:

رابطه (۹) $f_Y(y|\theta) = \int_{\chi(y)} f_X(x|\theta) d_x$

براین اساس هدف روش تخمین و حداکثرسازی، حل معادلهٔ (۱۰) خواهد بود [۱۳۰]:

رابطه (۱۰) $\frac{\partial \log L(\theta)}{\partial \theta} = 0$

که این مهم بصورت تکراری و با لحاظ کردن $\log L_c(\theta)$

[1] Maximum Likelihood-ML
[2] Likelihood

به انجام می‌رسد. چنانکه عنوان شد هر تکرار EM شامل دو مرحله تخمین و حداکثرسازی است [۱۳۰]:

- **مرحلهٔ تخمین**

برای این منظور مقادیر اولیهٔ θ را معادل $\theta^{(0)}$ لحاظ می‌نمائیم و رابطهٔ (۱۱) را محاسبه می‌کنیم [۱۳۰] (مقدار اولیه عددی تصادفی نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود که در این تحقیق ۲ در نظر گرفته شده است):

$$Q(\theta|\theta^{(0)}) = E[\log L_c(\theta)|y,\theta^{(0)}]$$ رابطه (۱۱)

آنچه حاصل می‌گردد داده‌های کامل شبیه‌سازی شده است که با تخمین اولیه از پارامترهای مدل $\theta^{(0)}$ حاصل گردیده است (منظور از E امیدریاضی می‌باشد).

- مرحلهٔ حداکثرسازی

در این مرحلهٔ $Q(\theta|\theta^{(0)})$ نسبت به θ و روی Θ محاسبه می‌گردد. در نتیجه $\theta^{(1)}$ حاصل می‌شود. بدین‌ترتیب خواهیم داشت [۱۳۰]:

$$Q(\theta^{(1)}|\theta^{(0)}) \geq Q(\theta|\theta^{(0)}) \quad \forall \theta \in \Theta$$ رابطه (۱۲)

در ادامه فرآیند تخمین با $\theta^{(1)}$ مجددا" تکرار می‌گردد. در کل می‌توان دو مرحلهٔ روش تخمین و حداکثرسازی را بصورت زیر خلاصه نمود:

۱- مرحلهٔ E (تخمین) [۱۳۰]:

$$Q(\theta|\theta^{(k)}) := E[\log L_c(\theta)|y,\theta^{(k)}]$$ رابطه (۱۳)

۲- مرحلهٔ M (حداکثرسازی) [۱۳]:

$$\theta^{(k+1)} = \arg\max_{\theta\in\Theta} Q(\theta|\theta^{(k)})$$ رابطه (۱۴)

۳- تکرار مراحل ۱ و ۲ تا زمانی که شرط همگرایی (۱۵) برقرار گردد, ادامه می‌یابد [۱۳۰]:

$$L(\theta^{(k+1)}) - L(\theta^{(k)}) < \varepsilon$$ رابطه (۱۵) (حد آستانه)

با توجه به روند ارائه شده، روش تخمین و حداکثرسازی، علاوه بر ساده‌سازی عنوان شده، از ثبات محاسباتی که در نتیجه اعمال تغییرات مرحله‌ای و تکراری بوجود می‌آید نیز برخوردار می‌باشد. بر این اساس امکان پرهیز از تخمین‌های غیر واقعی (بیش‌از حد یا کمتراز حد) فراهم می‌گردد.

معایب روش تخمین و حداکثرسازی عبارتند از[۱۴]:

- وابستگی به وجود تخمین مناسبی از داده‌ها
- ضعف در ایجاد سطح پیوسته به دلیل عدم تأمین پیوستگی در مرز بلوک‌های آماری
- تغییر دادن مجموع جمعیت در بلوک‌های آماری
- عدم تبعیت از رفتار طبیعی جمعیت انسانی

جهت رفع معایب فوق، به خدمت‌گیری روش‌های تلفیقی توصیه گردیده است [۱۵]. بر این اساس در این تحقیق شرایط فوق در روش تخمین و حداکثرسازی مرسوم لحاظ گردیده است. بدین ترتیب روشی بهبود یافته حاصل شده است.

اعمال شرایط عنوان شده را در قالب روش‌های مستقل لحاظ نموده‌ایم [۱۵۰]:

- استفاده از داده‌های کنترلی شامل نحوهٔ پراکندگی ساختمان‌ها جهت تأمین تخمین مناسب از داده‌های بهنگام
- اعمال شرط مرزی پیوستگی دیریخله[1]
- استفاده از روش تثبیت مجموع موسوم به روش پیکنوفلکتیک[2]
- اعمال شرط تمایل انسان‌ها به زندگی اجتماعی و در کنار هم

این روش‌ها در قالب مکانیزم‌هایی شرطی در روش تخمین و حداکثرسازی تلفیق شده‌اند که شرح جزئیات فرآیند تلفیقی حاصله در ادامه ارائه گردیده است.

[1] Dirichlet
[2] Pycnophelactic

۴-۴- شرط مطابقت درون‌یابی با تراکم ساختمانی

برای اعمال این شرط از اطلاعات مربوط به پراکندگی ساختمانها به‌صورت یک دادهٔ کنترلی که وزن مشخصی را به داده‌ها اعمال می‌نماید استفاده می‌گردد. با توجه به لزوم استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پس از آماده‌کردن تصاویر مناسب (تصاویر باند سیاه وسفید[1] با قدرت تفکیک متوسط به بالا)، بافت ساختمانها با استفاده از فرآیند کلاسه‌بندی با نظارت[2] استخراج می‌گردد. این داده به عنوان لایه وزن‌دهی استفاده می‌شود که در آن برای هر پیکسل وجود و یا عدم وجود ساختمان را در محل آن تعیین می‌نماید. نکته حائز اهمیت در این میان نحوهٔ استخراج عوارضی مانند ساختمانها در یک محیط شهری است. برای این منظور نیازمند دخالت دادن اطلاعات تکمیلی و روشهای اصلاحی در کلاسه‌بندی می‌باشیم. از جمله مؤثرترین روشها برای بهبود چنین فرآیندی تلفیق نمودن اطلاعات مربوط به تصویر فیلتر شده با فیلتر واریانس[3] و همچنین لحاظ کردن اطلاعات مدل‌های رقومی زمین[4] می‌باشد.

۴-۵- شرط پیوستگی درونیابی در مرزها

یکی از شرط‌های مهم در زمینه تخمین سطوح جمعیتی عبارتست از اینکه در محل تلاقی بلوکهای آماری نباید شکستگی وجود داشته باشد. چنانکه در واقعیت نیز جمعیت از یک بلوک آماری به بلوک آماری دیگر با شکستگی در مرز بلوکها همراه نیست [۱۴۰]. برای اعمال این شرط با توجه به اینکه مرزبندی بلوکهای آماری، مرزبندی منظمی نیست روش اتخاذ شده، اعمال شرط مرزی انتگرال دیریخله می‌باشد. با داشتن معادلهٔ یک سطح مانند Z، انتگرال دیریخله عبارتست از [۱۴]:

رابطه (۱۶)

$$\text{Minimize} \iint [(\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2]^2 d_x d_y$$

که در معادله فوق، $Z(x, y)$ (سطح تراکم جمعیتی)، (x, y) موقعیت و z جمعیت می‌باشد.

برای حداقل نمودن کردن رابطهٔ فوق، معادله (۱۷) حل می‌گردد [۱۴۰]:

$$\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} = 0$$

رابطه (۱۷)

این معادله تحت عنوان معادله حداقل‌سازی انرژی در تئوری خطی شدهٔ مربوط به الاستیسیته شناخته می‌شود [۱۴۰].

۴-۶- شرط ثابت بودن جمعیت در بلوک‌های آماری

علاوه‌بر آنچه بیان شد شرط دیگری نیز می‌بایست لحاظ گردد که متضمن ثابت ماندن تعداد جمعیت در هر حوزهٔ آماری قبل و بعد از درون‌یابی باشد. این شرط به‌عنوان شرط پیکنوفلکتیک شناخته شده است. شرط مزبور به‌صورت رابطه (۱۸) نمایش داده می‌شود[۱۶۰].

$$\iint Z(x,y)\, d_x d_y = H_i$$

رابطه (۱۸)

که در آن $Z(x,y)$، تابع پراکندگی و H_i، تراکم جمعیت تعیین شده برای محدوده شمارهٔ i است.

۴-۷- شرط تمایل به زندگی اجتماعی

یک شهر محیطی پیچیده از روابط اجتماعی است. در نتیجه با درنظر گرفتن فرآیندهایی صرفا" جبری و محاسباتی نمی‌توان نتیجه لازم را در بررسی روابط اجتماعی فراهم نمود. از همین‌رو یکی از شرط‌های اعمال شده در مورد درون‌یابی فوق‌الذکر شرطی است که براساس اصل تمایل انسانها به زندگی در کنار یکدیگر بنا شده است. اعمال شرط رفتار انسان در تعیین محل زندگی، که به‌صورت معمولبه زندگی در کنار سایر انسان‌ها تمایل دارند نیازمند ایجاد

[1] PAN
[2] Supervised
[3] Variance Filter
[4] DTM

سطحی از شباهت محلی می‌باشد. این مهم از طریق استفاده از فیلترهای میانگین‌گیری ایجاد می‌گردد [۱۴۰].

۴-۸- روش محاسباتی

برای ایجاد یک مدل محاسباتی جهت ایجاد پهنه‌بندی تراکم جمعیتی روابط تشریح شده می‌بایست به صورت گسسته درآیند. بر این اساس روند محاسباتی مورد نظر به صورت زیر خواهد بود:

۱- ایجاد شبکه‌ای منظم با قدرت تفکیک مناسب به‌عنوان سطح هدف که در نهایت نمایشگر توزیع تراکم جمعیتی می‌باشد. در این حالت تابع توزیع g که درمبانی نظری بیان شد بعنوان تابع توزیع تراکم جمعیتی همواره دارای مقادیر بزرگتر مساوی صفر می‌باشد$(g(x)>0)$. قدرت تفکیک مناسب، با در نظر گرفتن حداقل قدرت تفکیک لایه‌های داده مورد استفاده تعیین می‌گردد. در این راستا و با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل‌های عنوان شده حول محور عوارض بلوک‌های ساختمانی به انجام می‌رسند می‌بایست در تعیین قدرت تفکیک، شرط نمونه‌برداری بهینه شانن[1] [۱۴۰]را در نظر گرفت. بر اساس شرط مزبور امکان تشخیص یک عارضه در صورتی فراهم می‌باشد که عارضهٔ مزبور حداقل حوزه‌ای بیشتر از دو برابر قدرت تفکیک مربوطه را به خود اختصاص دهد. بدین ترتیب در مورد داده‌های برداری که می‌بایست نمونه‌برداری شده و تبدیل به داده‌های شبکه‌ای شوند، حداکثر قدرت تفکیک معادل نیمی از مقیاس مربوطه لحاظ می‌گردد. البته آنچه عنوان شد در صورت بدون خطا فرض کردن داده‌ها است. در صورت وجود خطا پیشنهاد شده است که میزان قدرت تفکیک حداکثر را معادل با مقیاس در نظر گرفت [۱۴].

۲- تخمین اولیه توزیع جمعیت با فرض توزیع یکنواخت جمعیت در هر بلوک آماری انجام می‌گردد. بدین ترتیب تراکم جمعیت در هر سلول برابر با جمعیت کل بلوک مربوطه ضرب در مساحت سلول تقسیم بر مساحت کل بلوک خواهد بود[۱۶۰].

۳- اعمال شروط؛

- شرط مطابقت با توزیع ساختمان‌ها؛ برای این منظور در ابتدای هر تکرار، لایهٔ باینری توزیع ساختمان‌ها با لایهٔ توزیع جمعیتی ضرب می‌گردد.
- شرط پیوستگی در مرزها؛ برای محاسبه مشتقات ارائه شده در رابطه (۱۷)، هر یک از اجزاء عبارت به‌صورت عبارات تفاضلی در فضای گسسته شبکه ایجاد شده لحاظ می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = (z_{i,j+1} - 2z_{i,j} + z_{i,j}) / \Delta x^2$$ رابطه (۱۹)

این روابط با کانولو[2] کردن یک فیلتر ۳*۳ روی شبکه اعمال می‌گردند.

- شرط ثبات جمعیتی در بلوک‌های آماری؛ اعمال این شرط در قالب ترکیبی از دو تابع آمارگیری منطقه‌ای[3] روی محدودهٔ هر یک از بلوک‌های آماری اعمال می‌گردد. در این راستا به‌ترتیب جمعیت حال حاضر و جمعیت واقعی هر بلوک استخراج می‌شوند. سپس ضریبی از تقسیم جمعیت واقعی به‌جمعیت فعلی حاصل می‌شود. با اعمال این ضریب، شرط ثابت بودن جمعیت[4] اعمال می‌گردد.
- شرط تمایل به زندگی اجتماعی؛ شرط مزبور از طریق کانولو کردن یک فیلتر میانگین

[1] Shannon

[2] Convolve
[3] Zonal Statistics
[4] Pycnophelatic

۳*۳ روی شبکه ایجاد می‌گردد.

۴- پس از تخمین مقادیر جدید، محدودهٔ تغییرات میزان تراکم جمعیتی شبکه در مرحله فعلی و مرحله قبل تست می‌گردند. تست مزبور با همپوشانی تفاضل دو لایه، محاسبهٔ تابع ماکزیمم فراگیر روی لایهٔ تفاضلی و مقایسهٔ نتیجهٔ حاصله با حدی آستانه به انجام می‌رسد. در تعیین حد آستانه، میزان حداقل مقادیر غیر صفر حاصل شده برای تراکم جمعیتی پس از مرحلهٔ نخست که شامل توزیع همگن داده‌ها است در نظر گرفته می‌شود.

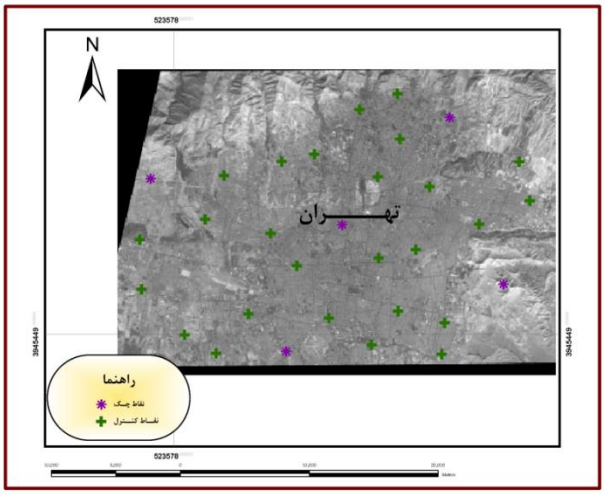
۵- یافته‌های تحقیق و تجزیه و تحلیل

آخرین دورهٔ سرشماری جمعیتی شهر تهران مربوط به سال ۱۳۹۰ می‌باشد که از سوی مرکز آمار ایران به انجام رسیده است. در مورد تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز برای استخراج پهنه‌بندی تراکم ساختمانی شهر تهران، با دقت مکانی مناسب (قدرت تفکیک مکانی متوسط به بالا)، در بازه‌های زمانی سالانه و امکان دسترسی مناسب در حال حاضر و آینده، تصاویر ماهواره‌ای *IRS* مورد استفاده قرار گرفتند. تصویر سیاه و سفید این سری از ماهواره‌ها *(IRS-1C and 1D)* با قدرت تفکیک معادل ۵/۸ متر، امکان تشخیص عوارض شهری مانند ساختمان‌ها را فراهم می‌نماید. نمونه‌های عملی استفاده از این تصاویر، مناسبت استفاده از تصاویر مزبور را در انجام تجزیه و تحلیل‌های مکانی درمقیاس‌های متوسط شهری مانند ۱:۲۵،۰۰۰ و ۱:۵۰،۰۰۰ نشان می‌دهند [۱۷].

در مراجعه به آرشیو تصاویر ماهواره‌ای با توجه به مدت زمان سه سالهٔ فعالیت سایت اخذ تصاویر ماهواره‌ای *IRS* (سپهر" ایستگاه گیرنده تصاویر ماهواره‌ای سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح ")، تنها دو تصویر مناسب جهت انجام تجزیه و تحلیل مورد نظر این تحقیق تشخیص داده شدند. این تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۲/۰۳/۰۶ و ۲۰۱۳/۱۰/۲۶ می‌باشند. از همین رو در پهنه‌بندی تراکم ساختمانی با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای موجود، سناریوی تشریح شده تحت عنوان پهنه‌بندی تراکم جمعیتی در شرایط عدم‌پوشش زمانی کامل تصاویر اتخاذ گردید. بر این اساس داده‌های آمار سرشماری با استفاده از تخمین‌های اعمال شده توسط مرکز آمار ایران برای سال ۱۳۹۱ شمسی آماده‌سازی گردیدند تا شبیه‌سازی از شرایط حاکم بر سناریوی وجود پوشش زمانی کامل تصاویر ماهواره‌ای حاصل گردد.

در گام بعدی تراکم ساختمانی شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ از تصاویر مربوطه در قالب فرآیند زیر استخراج شدند:

مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ۲۵ نقطهٔ کنترل و ۵ نقطهٔ تست در سطح شهر تهران در قالب مدل چندجمله‌ای درجهٔ ۱ به انجام رسید [۱۸]. پهنه‌بندی این نقاط در شکل (۲) نمایش داده شده است. دقت مرجع‌سازی تصاویر مزبور با استناد به میزان خطای مجذور مجموع مربعات خطاها در نقاط کنترل، با مقداری کمتر از ۳ متر (< ۰/۷ * ۵/۸)،[۱۹0] تست شدند و صحت آنها برای ادامهٔ فرآیند مذکور تأیید گردید.



شکل ۲: پراکندگی نقاط چک و کنترل زمینی برداشت شده توسط GPS برای زمین مرجع کردن تصاویر IRS-1D

تصـاویر مـاهواره‌ای بـا اسـتفاده از فیلتـر واریـانس به ابعاد ۳*۳ فیلتر شدند.

نتیجـهٔ حاصـله از مرحلـهٔ قبـل بـا اسـتفاده از روش کلاسه‌بندی تحت نظارت و معرفی مقـادیر سـلول‌هـای واقـع شـده در محـل‌هـای سـاخت و سـاز کلاسه‌بندی شدند.

پهنه‌بندی تراکم جمعیتی شـهر تهـران در سـال ۱۳۹۱ بـا اسـتفاده از داده‌هـای آمـار جمعیتـی و پهنـه‌بنـدی تـراکم سـاختمانی در سـال ۱۳۹۱ در قالـب فرآینـد تخمـین و حداکثرسـازی تشـریح شـده در فصل قبـل اسـتخراج شـد. تجزیـه و تحلیـل مزبـور با حد آستانهٔ ۰/۰۰۱ (میزان حداقل مقـادیر غیـر صـفر حاصل شده برای تراکم جمعیتی پس از مرحلهٔ نخسـت کـه شـامل توزیـع همگـن داده‌هـا اسـت در نظـر گرفته شده است) و پس از ۳۵ بار تکرار همگرا گردیـد. برنامـه نویسـی مراحـل مـورد نظـر نـرم افـزار متلـب انجام شد.

تغییـر تـراکم سـاختمانی (سـاخت و سـاز و تخریـب) با استخراج تغییرات دو لایهٔ پهنه‌بندی تراکم ساختمانی سال‌های۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ هجری شمسـی بـا اسـتفاده از طبقه‌بندی تصاویر و استفاده از داده‌های کنترلی پایگـاه اطلاعات مکانی محاسبه گردید[۲۰]. روش مورداستفاده در ایـن تحقیـق یـک روش طبقـه‌بنـدی پیکسـل مبنـا جهـت بـه روز رسـانی پایگـاه داده اطلاعـات مکـانی مـی‌باشـد. فرضـیات عمـده در نظـر گرفتـه شـده در این تحقیق عبارتند از: اولا") تعداد تغییرات رخ داده در یک کلاس خاص (مانند ساختمان)، بسـیار کمتـر از تعداد عوارض موجود از آن نوع عارضه در تصویر باشـد. ثانیا") عوارض جدید، ویژگـی‌هـا و خصوصـیات طیفـی مشـابه عـوارض قـدیمی در تصـویر داشـته باشـند. با اعمال ایـن فرضـیات، مراحـل انجـام ایـن تحقیـق را می‌توان به سه بخش عمده شامل: آماده‌سازی اطلاعات، بکارگیری دو تحلیل خوشه‌بندی و طبقه‌بنـدی تصـویر، مقایسه و آشکارسازی تغییرات تقسیم نمود.

در این روش، پس از آماده سـازی اطلاعـات کـه شـامل پیش پردازش، هـم مرجـع نمـودن تصـویر و نقشـه‌هـا با یکدیگر و حذف وابستگی‌های طیفی مولفه‌های *RGB* مـی‌باشـد، تحلیـل خوشـه‌بنـدی، (بـه روش *Isodata*)، به‌منظور کاهش اثر واگرایی بسیاری از کلاس‌هـایی کـه محـدوده طیفـی وسـیعی دارنـد انجـام گرفـت، تـا داده مـوردنظـر جهـت ورود بـه مرحلـه بعـد یا همان طبقه‌بندی آمـاده گـردد. روش مـورد اسـتفاده در طبقه‌بندی تصویر در ایـن تحقیـق، کمتـرین فاصـله ماهالانوبیس[1] بوده است.

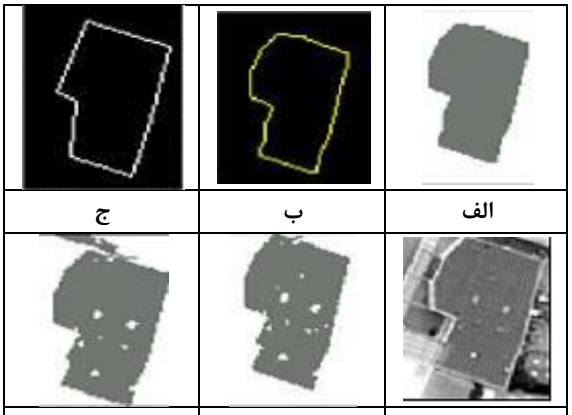
[1] Mahalanobis Distance

پس از استخراج ساختمان‌های موجود در تصویر، در مرحله بعد، با انجام مقایسه میان پایگاه داده برداری و تصویر حاصل از طبقه‌بندی، نقشه تغییرات[1] منطقه ایجاد شده و در نهایت پس‌پردازش‌هایی به منظور حذف اثر اشتباهات، خطاهای تصویری و برطرف نمودن شکاف ناشی از حذف پیکسل‌های خطا[2] و سایه با بکارگیری روش‌هایی مانند استفاده از اپراتورهای مورفولوژی و غیره، انجام گرفته‌است.

الگوریتم بکارگرفته شده در این تحقیق به منظور استخراج ساختمان‌ها، روش پیشنهاد شده توسط *Vozikis*،[۲۱] بر اساس متد "بسط ناحیه"[3] بوده که پس از اعمال قید توقف، شکل کلی ساختمان‌ها را از تصویر استخراج و تضاریس موجود در مرز این عوارض را با بکارگیری حد آستانه در الگوریتم تبدیل هاف[4] حذف نموده است. سپس با انجام مقایسه میان مرزهای استخراج شده از تصویر، به طریق ذکر شده، و پایگاه داده قدیمی منطقه، تغییرات رخ داده در ساختمان‌ها شناسایی گردیده‌اند. شکل زیر به نمایش چگونگی بکارگیری الگوریتم بسط ناحیه و تبدیل هاف بر اساس روش پیشنهاد شده توسط [۲۱] پرداخته است.

شکل (۳) تغییرات ناشی از ساخت و ساز و شکل (۴) تغییرات ناشی از تخریب را نمایش می‌دهد.

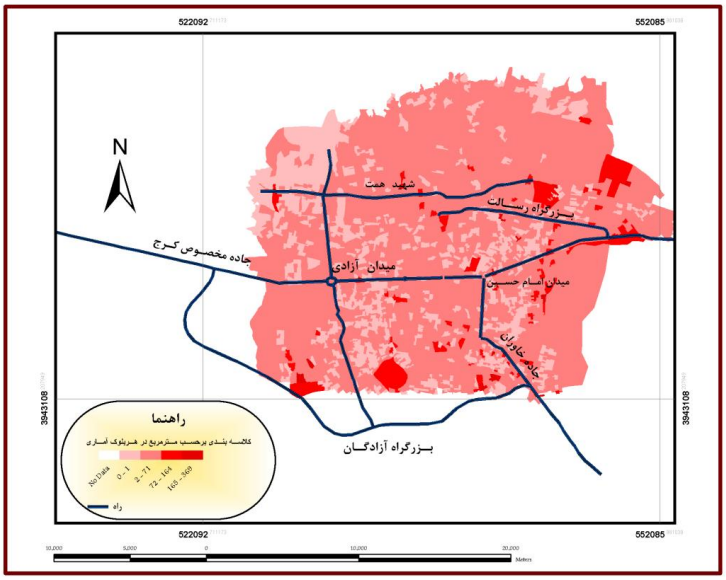
با توجه به سطح تغییرات نسبتا پایین ساخت و سازها و تخریب‌ها و در نظر گرفتن مواردی چون محدودیت‌های تغییر بافت شهری در تهران که عمدتا برنامه‌ریزی شده و در راستای انجام طرح‌های توسعهٔ شهری مانند احداث بزرگراه‌ها و فضاهای سبز و همچنین سهم در حدود ۹۵ درصدی مهاجران مقیم شهرهای حومهٔ تهران مانند کرج در افزایش جمعیت تهران در روز [۱۶]، ارتباط تغییرات مزبور با تغییرات جمعیتی در تهران عمدتا نمایانگر تغییر و توزیع جمعیت بومی می‌باشد که ناشی از زاد و ولد و مرگ و میر است. بر این اساس، سطح تغییرات تراکم ساختمانی در بلوک‌های آماری برای وزن‌دهی بلوک‌های آماری در جذب زاد و ولد و مرگ و میر در نظر گرفته شد. بدین ترتیب میزان زاد و ولد و مرگ و میر در خلال سال‌های۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ که به ترتیب معادل ۱۶۵۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ نفر بوده است [۲۲] براساس وزن بلوک‌های آماری توزیع گردید.



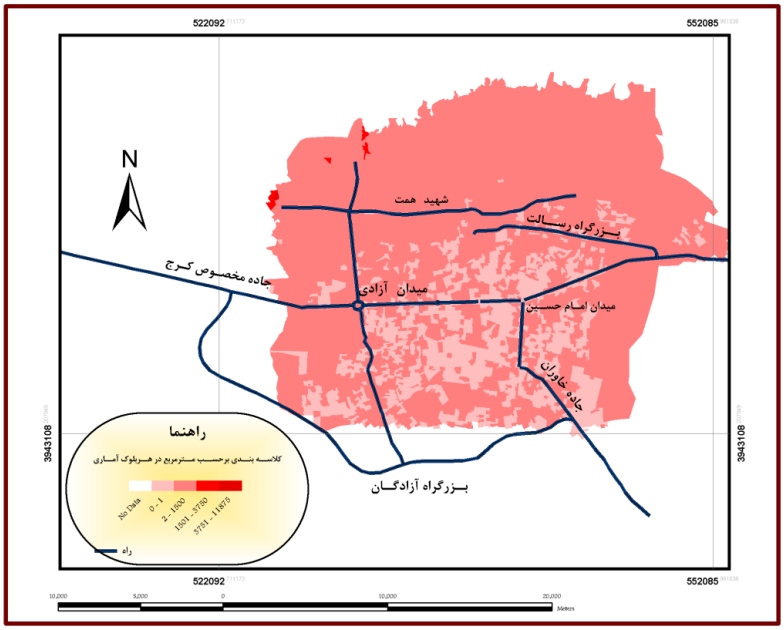
شکل۴: الگوریتم پیاده‌سازی شده توسط Vozikis [۲۱].
ساختمان مورد بررسی(الف)، الگوریتم بسط ناحیه(ب)، توقف الگوریتم(ج) بکارگیری اپراتور مورفولوژی (د)، برداری‌سازی عارضه استخراج شده (ه) و بکارگیری تبدیل هاف (ود

داده‌های جمعیتی تخمین زده شده برای سال۱۳۹۳ (در مرحلهٔ قبل) به همراه پهنه‌بندی تراکم ساختمانی استخراج شده برای شهر تهران در همین سال برای تعیین پهنه‌بندی تراکم جمعیتی شهر تهران در سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش تخمین و حداکثرسازی بهبود یافته بکار گرفته شدند. تجزیه و تحلیل مزبور با حد آستانهٔ ۰/۰۰۱ و پس از ۲۷ بار تکرار همگرا گردید. نتیجهٔ این تجزیه و تحلیل در شکل (۵) نمایش داده شده است.

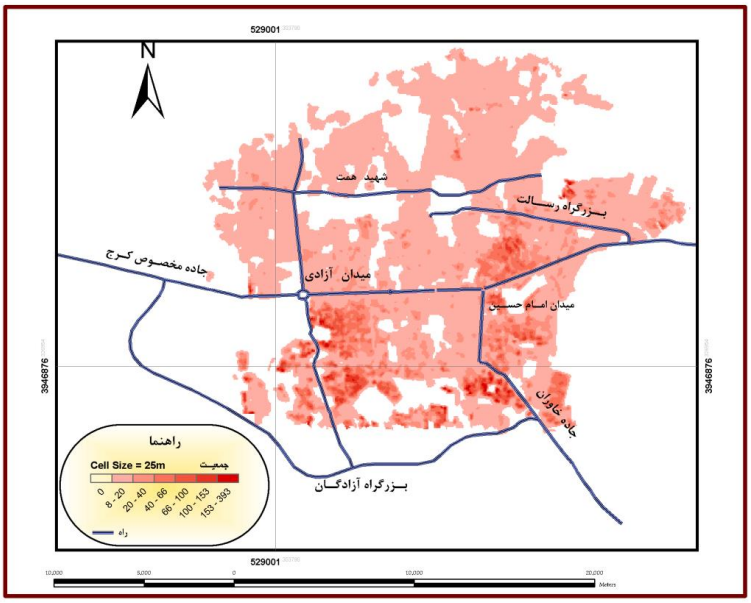
[1] Change Map
[2] Spurious Pixel
[3] Region Growing
[4] Hough Transformation



شکل ۳: تغییر تراکم ساختمانی شهر تهران ناشی از ساخت و ساز بین سالهای ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ هجری شمسی

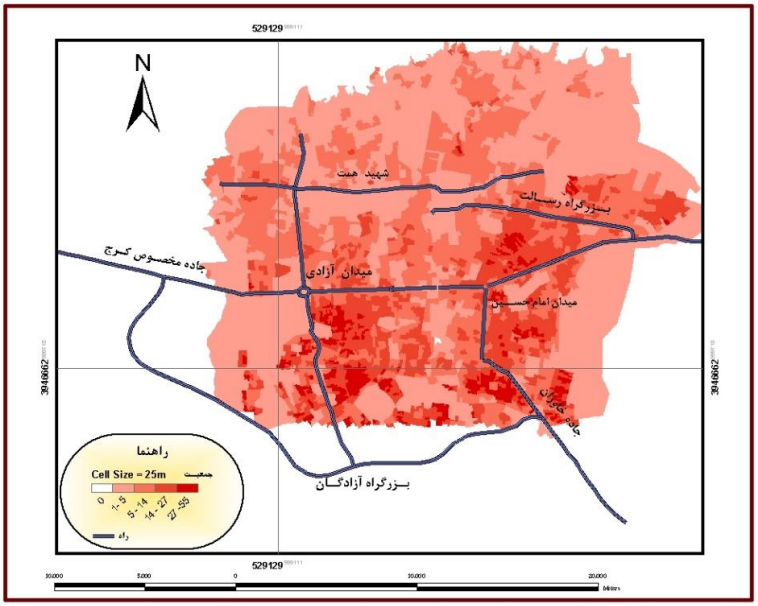


شکل ۴: تغییر تراکم ساختمانی شهر تهران ناشی از تخریب بین سالهای ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ هجری شمسی

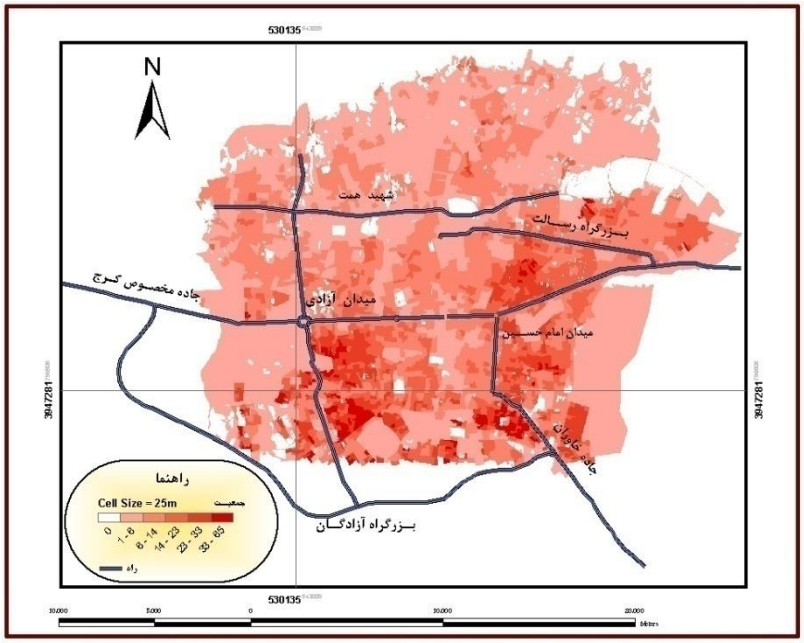


شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی جمعیت شهر تهران در سال ۱۳۹۳

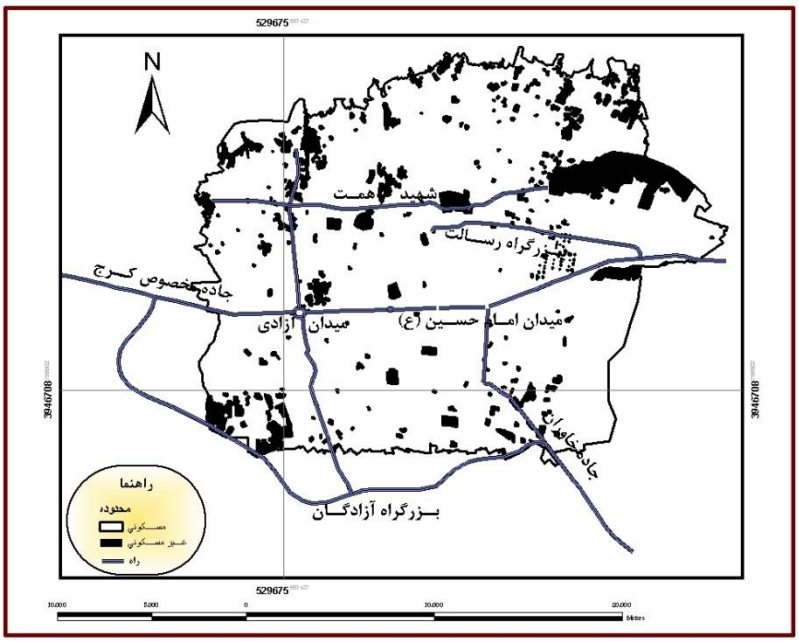
ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که پهنه‌بندی تراکم جمعیتی، رویه‌ای پیوسته است که نقاط نمونه‌برداری شدهٔ آن به صورت محاسباتی ایجاد گردیده‌اند. از این رو نمی‌توان انتظار مشابهت این سطح با تراکم جمعیتی واقعی درسطح نمونه‌برداری نقطه‌ای را داشت. بدین ترتیب امکان تست کلاسه‌بندی به روش محاسبهٔ *PCC* در این حوزه وجود ندارد. از همین رو دقت کلاسه‌بندی پهنه‌بندی تراکم جمعیتی حاصل شده، همانند پهنه‌بندی تراکم شرایط سازه‌ای ساختمان‌ها، معادل با ۸۹٪، دقت کلاسه بندی پهنه بندی تراکم ساختمانی استخراج شده برای سال ۱۳۹۳، منظور گردید.



شکل ۶: نقشه پهنه‌بندی جمعیت شهر تهران در سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش همگن



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی جمعیت شهر تهران در سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش Dasymetric



شکل ۸: پراکندگی مناطق غیرمسکونی در منطقه مورد مطالعه

به‌منظور مقایسه نتایج حاصله از روش ارائه شده در این تحقیق، تخمین جمعیتی برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از دو روش همگن و داسی متریک نیز به عمل آمده است. نتایج حاصل از دو روش مزبور در شکل‌های(۶) و(۷) ارائه گردیده‌اند. به علاوه شکل(۸) نمایش دهنده مناطق فاقد جمعیت می‌باشد که در استفاده از روش داسی متریک اعمال گردیده‌اند. جدول(۱) آماره‌های حداقل، حداکثر، متوسط و انحراف

معیار جمعیت تخمین زده شده در هر یک از سه روش به کار گرفته شده را نمایش می‌دهد. این آماره‌ها برای یک سلول ۲۵*۲۵ متری و با حذف مناطق عاری از جمعیت تعیین گردیده‌اند. سلول ۲۵*۲۵ متر بر مبنای میانگین خداقل طول بلوک‌های آماری بصورت مربعی انتخاب گردید.

چنانکه در مقادیر آماره‌ها مشاهده می‌شود، مقادیر آماره‌ها برای روش ارائه شده در این مقاله منطقی‌تر بوده به واقعیت نزدیکتر می‌باشند. برای نمونه متوسط ۲۷ نفر در مقابل متوسط حدود ۸ در دو روش دیگر را می‌توان در نظر گرفت. بدین معنا که عدد ۲۷ تصویر کننده حدود ۴ باب واحد مسکونی تک واحدی با جمعیت تقریبی ۴ تا ۵ نفر در هر واحد باشد که در مورد شهر تهران منطقی می‌باشد. این در حالی است که با در نظر گرفتن عدد میانگین حدود ۸ در دو روش دیگر نمی‌توان چنین تخمینی را حاصل نمود. همچنین با توجه به حذف مناطق فاقد جمعیت در تعیین آماره‌ها، استخراج حداقل جمعیت ۸ نفر در روش ارائه شده در مقابل حداقل‌های نزدیک به صفر در دو روش دیگر نیز دلیل دیگری بر عملکرد منطقی‌تر روش ارائه شده می‌باشد. در این میان بیشترین تفاوت سه روش مزبور در میزان حداکثر جمعیت می‌باشد. حداکثر جمعیت تخمین زده شده در روش ارائه شده در حدود ۴۰۰ می‌باشد. این مقدار در کنار انحراف معیار حدود ۲۷ نشان دهنده قابلیت روش ارائه شده در تصویرسازی تراکم عمودی جمعیت در ساختمان‌های بلندمرتبه می‌باشد. این در حالی است که در داده‌های بکار گرفته عامل ارتفاع ساختمان‌ها به سیستم تعریف نشده است.

همچنین به منظور اعتبارسنجی روش از دو کمیت‌سنج *RMSE*[1] و *CV RMSE*[2] (بر حسب درصد) استفاده گردید (جدول ۱). نتایج حاصل از محاسبه این دو کمیت با استفاده از داده های کنترل میدانی در منطقه مورد مطالعه دقت روش ترکیبی را در مقایسه با دو روش همگی وداسی متریک خاطر نشان می‌سازد.

۶- نتیجه‌گیری

آنچه در این تحقیق ارائه گردید روندی برای تهیهٔ لایه‌های پهنه‌بندی توزیع جمعیتی به هنگام بوده است که از قابلیت بالایی در حمایت از تصمیم‌گیری‌های شهری برخوردار می‌باشد. در مورد این روند فرضیات ارائه شده مبتنی بر در نظر گرفتن ساختاری رابطه‌ای و توپولوژیک از محیط‌های شهری و امکان استفاده از ارتباط اجزای مرتبط در این سیستم با المان‌های فیزیکی جهت افزودن پارامترهای واقعی پتانسیل بالایی را در این تحقیق و در سایر تحقیقات مشابه در حوزهٔ سیستم‌های اطلاعات مکانی ارائه نموده‌اند. بعلاوه مقایسه نتایج اعتبارسنجی روش ترکیبی در مقابل روشهای همگن و داسی متریک، بر اساس آماره های *min, max, mean* و *variance* و همچنین کمیت‌سنج‌های *RMSE* و *CV RMSE*، کارایی مدل ترکیبی را نشان می‌دهد. در همین راستا قابلیت این ساختار مفروض برای در اختیار گرفتن نقشی محوری و ترکیب سایر روابط از قبیل شروط اعمال شده در این تحقیق بر توزیع جمعیتی، نشان دهندهٔ انعطاف‌پذیری بالای ساختار مزبور می‌باشد. بدین ترتیب روش ارائه گردیده را می‌توان با در نظر گرفتن ملاحظات مرسوم در زمینهٔ کیفیت داده‌های مکانی به عنوان روشی مناسب در پهنه‌بندی توزیع جمعیتی در سطح بلوک آماری بکار برد.

[1] Root Mean Square Error
[2] Coefficient of Variation of the RMSD

جدول ۱: مقایسه آماری روشهای تخمین جمعیت (واحد : نفر در هر ۲۵*۲۵ متری)

معیار / روش	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	*RMSE*	*CV RMSE (%)*
همگن	صفر	۵۵	۷/۸۱	۸/۰۸	۷/۱۸	±۱۴
داسی متریک	صفر	۶۵	۸/۰۹	۸/۲۰	۵/۱۴	±۱۲
ترکیبی	۸	۳۹۳	۲۷/۱۱	۲۵/۲۰	۲/۱۶	±۹

۷- تقدیر و تشکر

از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جهت ارائه تصاویر *IRS-1D* و از مرکز آمار ایران جهت ارائه اطلاعات جمعیتی تقدیر و تشکر می‌گردد.

مراجع

[1] J. Kubanek, and E.M. Nolte, and H. Taubenböck, and F. Wenzel, and M. Kappas, "Capacities of remote sensing for population estimation in urban areas." Journal of Earthquake Hazard Impact and Urban Planning Environmental Hazards 2014, pp. 45-66, 2014.

[2] T. Novack, H. Kux, and C. Freitas, "Estimation of Population density of census sectors Using remote sensing data and spatial regression." Geocomputation, Sustainability and Environmental Planning, Studies in Computational Intelligence, 348 ,pp 111-122, 2011.

[3] M. F. Goodchild, and N. S.-N. Lam, Areal interpolation: a variant of the traditional spatial problem. Geo-Processing, 1, 297–312, 1980.

[4] Wu, Sh., Qiu, X. and Wang, L. "Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review." GIScience and Remote Sensing, 42(1): 58-74, 2005.

[5] R. Ghorbani, "Analysis of population density distribution of Tabriz city using trace censuses method". Geographic Research, Jan. 2006 (54):123-136 (in Persian).

[6] P. F. Fisher and M. Langford, "Modeling the errors in areal interpolation between zonal systems by Monte Carlo simulation". Environment and Planning A, 27, 211–22, 1995.

[7] L. Wang and Ch. Wu, "Population estimation using remote sensing and GIS technologies", International Journal of Remote Sensing, 2010 (31:21): 5569–5570.

[8] R. Flowerdew, and M. Green, "Areal interpolation and types of data". In A. S. Fotheringham, & P. A. Rogerson (Eds.), Spatial analysis and GIS (pp. 121–145). London: Taylor and Francis, 1994.

[9] M. Sharif, "Areal interpolation for quantification of population census data", Geomatic Conference, Apr. 2014 (in Persian)

[10] J. Portaa, J. Parapara, Ramón Doalloa, V. Barbosa, I.Santé, R.Crecente., C. Díaz A population-based iterated greedy algorithm for the delimitation and zoning of rural settlements. Computers, Environment and Urban Systems 2013 (39): 12–26.

[11] A.P. Dempster, and N.M. Laird, and D.B. Rubin, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm". Journal of the Royal Statistical Society B, 39, 1–38, 1977.

[12] J. B. Holt, C. P. Lo, and T. W. Hodler, "Dasymetric estimation of population density and areal interpolation of census data", Cartography and Geographic Information Science, 2004, 31(2): 103-121.

[13] F. Dellaert, "The expectation maximization algorithm." College of Computing, Georgia Institute of Technology, Technical Report Number GIT-GVU-02-20 February 2002.

[14] W. Tobler, and U. Deichmann, and J. Gottsegen, and K. Maloy, "The global demography project." NCGIA. Paper 95-6. Department of Geography, University of California, Santa Barbara, 1994.

[15] I. N. Gregory, "The accuracy of areal interpolation techniques: standardising 19th and 20th century census data to allow long-term comparisons." Computers, Environment and Urban Systems, Vol 19, No. 6, pp. 293–314, 2002.
[16] W. Tobler, "Smooth pycnophlactic interpolation for geographical region." Journal of the American Statistical Association, 74, PP. 519-530, 1979.
[17] R. Saberifar, "Estimation of urban population by remote sensing data." Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences (JETEMS), Research Institute Journals, 4 (6):565-569, 2013.
[18] S. Sadeghian, "Evaluation of high-resolution satellite images for mapping large scale in view of photogrammetry." Ph.D Thesis, Faculty of Engineering, Tehran University, 1391(Persian).
[19] B. C. Forster, "Probability maps an essential output of georaphic information systems. The International Colloquium on Photogrametry, Remote Sensing and Geographic Information System, Wuhon, P.R. China May 11-14, PP. 40-52, 1992.
[20] N. Neysani Samany, S, Saeedi, M.R. Delavar and R. Aghataher, "Management of city destruction after a disaster using a combination of GIS and remote sensing", 2009, 3th Conference on Response to Disaster, University of Tehran, Iran.
[21] G. Vozikis, "Automated generation and updating of digital city models using high-resolution line scanning systems", 2003, Commission III, WG III/7.
[22] Management and Planning Organization, "Statistical Yearbook Country". Statistical Center of Iran, 1392, (Persian).

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.3, No.4, Winter 2016

Spatial Demographic Distribution Zoning of a City with Area Interpolation Method using Image-based Geo-spatial Information System-Case Study: Tehran City

Reza Aghataher *[1], Najmeh Neysani Samany [2]

1- Instructor, Dept. of Surveying and Geomatics Eng., College of Eng., Azad University.
2- Assistant Professor, Faculty of Geography, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran, Iran.

Abstract

Demographic characteristics of a city are of a primary needs for urban decision makers. These demographic data, however are prepared or revised over long periods of e.g. about five to ten years. During these periods, the population is estimated based on subjective and approximate data like migration, along with more precise and objective data like birth and death. The result, which is subjective and imprecise data, cannot be used for deriving population distribution. Considering the need for more objective and precise estimation of population and population distribution of cities, this paper provides a spatial methodology. The premise is that the spatial characteristics of land uses and population density and population have specific relations. By defining these relations and using a precise and objective estimation of the land uses, we can project the population density and population. This methodology improves the population estimation by providing higher level of precision and objectiveness. In this paper, we introduceour findings of specific relations between land uses, e.g. settlement pattern and the human attitude to live near other human settlements and spatial continuous distribution of population. These relations are implemented in a geographical information system (GIS) using estimation-maximization (EM) approach and population density and distribution of the city Tehran, Iran is derived. The EM is used here as an area interpolation approach. The land use data are extracted from IRS-D satellite images. Besides, strategies are described in this paper dealing with the problem of lacking the spatial data.

Key words: Topology, Demographic data, Satellites Image, Area Interpolation

Correspondence Address: Dept. of Surveying and Geomatics Eng., College of Eng., Azad University, Tehran, Iran. Tel: 00982188400424 and 00989122070962.
Email: *reza_aghataher@yahoo.com*