

شبیه‌سازی پتانسیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه با استفاده از سنجش از دور و GIS الهه اکبری*

استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲

چکیده

توزیع جمعیت به عنوان یکی از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و محلی مطرح می‌باشد. در روش کروپلث و دسی‌متریک که توزیع جمعیت به صورت همگن در پلی‌گون‌های بزرگ مانند تقسیمات محلی یا با در نظر گرفتن لایه‌ی کمکی کاربری اراضی، به صورت منفرد و با اختصاص اوزان یکسان، تولید می‌شود، نقشه‌های حاصل فاقد دقت لازم جهت استفاده در مقیاس‌های بزرگ می‌باشند. در این تحقیق پنج عامل تاثیرگذار در توزیع جمعیت شامل کاربری اراضی، فاصله از سکونتگاه، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و شیب، بکار برده شده‌اند. روش مورد استفاده برای استخراج توزیع جمعیت؛ روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه، تلفیقی از روش دسی‌متریک و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. در این روش میزان ضریب هر کدام از عوامل تاثیرگذار بر توزیع جمعیت، با استفاده از روش‌های تجربی و محاسباتی تعیین گردید. با استفاده از روش AHP، وزن هر کدام از عوامل برآورد و با تعدیل آنها، وزن بهینه بدست آمد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به شهرستان‌های کلیبر و خداآفرین واقع در استان آذربایجان شرقی در شمالغربی ایران می‌باشند. در این تحقیق برای تولید لایه کاربری اراضی از تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در سنجش از دور استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که خطای نقشه توزیع جمعیت بدست آمده از طریق RMSE به میزان ۲/۱۶ نفر در کل شهرستان است. توزیع جمعیت تولید شده برای برنامه‌ریزی شهری، آنالیزهای مکانی، مانیتورینگ رشد مناطق مسکونی، یافتن تعداد خاص جمعیت در فاصله‌ای خاص از مکان، مطالعات مخاطرات محیطی، استفاده در علوم پزشکی و غیره مفید می‌باشد.

واژگان کلیدی: نقشه توزیع جمعیت، روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه، GIS، RS، کلیبر و خداآفرین.

مقدمه

داشتن اطلاع دقیق از چگالی جمعیت در نقاط مختلف یک منطقه دارای کاربردهای متعددی مانند برنامه‌ریزی توزیع فضایی سرویس‌های امکانات عمومی (مراکز بهداشت، ایستگاه‌های پلیس)، مدیریت منطقه در حوادث غیر مترقبه، برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی شهری، آلودگی هوا و ترافیک می‌باشد (اکبری، ۱۴۰۳، اکبری و همکاران، ۱۳۹۴، کلانتری و همکاران، ۱۳۹۴، میوانه و همکاران، ۱۳۹۳، ولیداد و همکاران، ۱۳۹۲، انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲، Dobson et al., 2000; Sleeter and Gould, 2007; Xuegang et al., 2007; Silva & Poelman, 2016; Mossoux et al., 2018; Liu & Martinez, 2019; Moos et al., 2021). ضمن آنکه برخی از فعالیت‌های برنامه‌ریزی نیازمند مانیتورینگ تغییرات توزیع جمعیت در نقاط مختلف است و همگن نبودن نرخ رشد جمعیت در نقاط مختلف موجب بررسی توزیع جمعیت در زمان‌های سرشماری می‌شود، لذا مدلسازی توزیع جمعیت در منطقه به ازای هر سرشماری ضروری می‌باشد (Mileu et al., 2022). طراحی مکانی تاسیسات خدماتی عمدتاً دارای دو نوع محدودیت، مکانی و ظرفیتی می‌باشد. بطور نمونه در استاندارد سازمان ملی زمین و مسکن، محدوده تحت پوشش درمانگاه ۶۵۰ الی ۷۵۰ متر، برای جمعیت ۲ هزار الی ۴ هزار خانوار در نظر گرفته می‌شود (حبیبی و مسائلی، ۱۳۷۸). طراحی خدماتی از این نوع نیازمند دانستن مقدار متوسط جمعیت در هر نقطه از منطقه می‌باشد. این مقادیر از نقشه توزیع جمعیت رستری قابل حصول هستند؛ این در حالی است که سرشماری‌های رسمی جمعیت برای سکونتگاه‌ها انجام می‌شوند و آمار آنها برای نقاط روستایی بیان می‌گردد. بنابراین مقادیر جمعیت برای نقاط در محل‌های مشاهداتی حاصل می‌شوند که دارای توزیع مکانی گسسته می‌باشند، اما نقشه‌های توزیع جمعیت که تراکم جمعیت را در هر نقطه از منطقه بیان می‌نمایند (Xiong, 2008)؛ در توزیع واقع‌تری نسبت به داده‌های گسسته سرشماری، مقادیر را ارائه می‌دهند (Zhao & Yang, 2020). همچنین تغییرات مکانی تراکم جمعیت در این نوع نقشه‌ها بهتر نشان داده می‌شود و امکان ترکیب با داده‌های رستری دیگر در آن به آسانی وجود دارد (Yang et al., 2021). به همین دلایل این نقشه‌ها مبنای برنامه‌ریزی‌هایی متعددی هستند که ظرفیت خدماتی آنها تابع جمعیت می‌باشند. با توجه به پایه‌ای و مهم بودن این نوع خدمات، بهینه نمودن نقشه‌های توزیع جمعیت از نظر دقت، دارای اهمیت می‌باشد (Liao et al., 2010).

روش‌های متداول تولید نقشه‌های توزیع جمعیت، کروپلث و انترپولاسیون ناحیه‌ای می‌باشند (Zhao & Yang, 2020). در نقشه کروپلث با استفاده از رنگ، سایه روشن یا الگو، داده‌های آماری محدوده‌هایی مانند استان یا شهرستان را نشان می‌دهند (Slocum et al, 2009; Adams et al., 2020). در این روش توزیع یکنواختی از پدیده (در اینجا تراکم جمعیت) در هر ناحیه (Dorling, 1993) بدون در نظر گرفتن لایه کمکی تولید می‌شود. روش انترپولاسیون ناحیه‌ای دارای حالت‌های مختلفی بر اساس روش درونیابی بکار برده شده، می‌باشد. از جمله متداول‌ترین این روش‌ها (۱) وزندهی ناحیه‌ای، (۲) انترپولاسیون آماری، (۳) انترپولاسیون ناحیه‌ای برمبنای مدل سطحی می‌باشند (Comber and Zeng, 2019). روش‌های درونیابی ناحیه‌ای بر اساس تقاطع هندسی نقاط مشاهداتی مرجع و نقاط هدف انجام می‌شوند که در

شبیه‌سازی پخانسپیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریگ توسعه‌یافته داده پایه... ۳.

برخی از آنها قابلیت استفاده از داده‌های کمکی نیز وجود دارد، برخلاف روش وزندهی ناحیه‌ای ساده که از اطلاعات کمکی استفاده نمی‌کند و درونیابی را بین خصوصیات هندسی ناحیه‌ای مناطق مرجع و هدف انجام می‌دهد (Sleeter and Gould, 2007)، درونیابی به روش دسی‌متریگ فرایند انتقال مقادیر از مناطق مرجع به مناطق هدف با داده‌های کمکی می‌باشد؛ به نحوی که میزان مجموع مقادیر کنترل می‌شود (Sleeter and Gould, 2007; Liu & Martinez, 2019)؛ می‌توان گفت روش دسی‌متریگ با روش درونیابی ناحیه‌ای (انتقال مقادیر از مناطق مرجع به مناطق هدف با هندسه‌های متفاوت) نیز ارتباط نزدیکی دارند (Goodchild and Lam, 1980). روش دسی‌متریگ، روش ارجح در انترپولاسیون ناحیه‌ای است (Eicher and Brewer, 2001; Cartagena-Colón et al., 2022; Pirowski and Szypuła, 2024). برخی از محققین دریافته‌اند که روش دسی‌متریگ نسبت به روش وزندهی ناحیه‌ای، درونیابی pycnophylactic هموار (Mrozinski and Cromley, 1999)، سایر روش‌های درونیابی ناحیه‌ای فاقد داده کمکی (Gregory, 2002) و کروپلث (Zelinsky, 1970)، از تخمین‌های دقیق‌تر و واقعی‌تر برای توزیع جمعیت در محدوده کم جغرافیایی برخوردار است.

برای دخالت دادن عوامل کمکی متعدد Bhaduri و همکاران (۲۰۰۴) با تلفیق روش دسی‌متریگ^۱ و رگرسیون، روش درونیابی دانش‌پایه‌ای برای توزیع جمعیتی توسعه دادند که از داده‌های کمکی بیشتری استفاده می‌نماید. این روش با استفاده از ۴ داده کمکی اولیه از جمله پوشش زمین، فاصله از جاده، شیب و عوارض مشخصه‌ای^۲ تاثیرگذار در توزیع جمعیت مانند پارک، گورستان در پیکسل‌های ۹۰ متری پیاده‌سازی شده است. همچنین Liao و همکاران (۲۰۱۰) نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و داده‌های کمکی شیب، توزیع مکانی رودخانه، زیر ساختارهای حمل و نقل و پوشش زمین، رستر توزیع جمعیت را در منطقه روستایی Heshun در چین تولید نمودند. Moos و همکاران (۲۰۲۱) و Dhieb (۲۰۲۲) به ترتیب از روش دسی‌متریگ و دسی‌متریگ دو متغیره برای تولید نقشه توزیع جمعیت استفاده کردند. Dhieb (۲۰۲۲) از دو لایه کاربری اراضی و توپوگرافی برای این منظور استفاده کرده است. (Alghais & Haider et al., (2022) Algharib (2022) از روش کروپلث برای تولید نقشه توزیع جمعیت استفاده کردند. (Lu and Weng (2024) با استفاده از روش دسی‌متریگ و سه لایه کمکی ارتفاع، جاده و کاربری اراضی، اقدام به تهیه نقشه جمعیت کرده‌اند. با بررسی این تحقیقات مشخص می‌شود که برای تولید نقشه توزیع جمعیت از تعداد لایه کمکی محدود استفاده شده و پیشنهاد کرده‌اند که برای برآورد مناسب‌تر توزیع جمعیت بهتر است که عوامل ورودی با دقت بیشتر نزدیک به واقعیت ترکیب شوند.

¹ Dasymetric

² landmark

در این تحقیق به منظور تولید نقشه یا رستر توزیع جمعیت از روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه استفاده شد. این روش تلفیقی از روش دسی‌متریک و تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) می‌باشد. لایه‌های کمکی مورد استفاده، کاربری اراضی، جاده، رودخانه، نواحی سکونتگاهی و شیب می‌باشند. با در نظر گرفتن اولویت‌های تجربی و محاسباتی در خصوص حضور جمعیت در هر کلاس از لایه‌های کمکی، عوامل تاثیرگذار به صورت لایه‌های رستری تهیه و مقادیر سلول‌ها نرمالیزه گردیدند. اولویت‌های تجربی براساس دانش قبلی از منطقه اختصاص داده شدند. سپس وزن به هر لایه-ی استاندارد شده با روش AHP نسبت داده شد و در نهایت با اجرای الگوریتم جمعیت، نقشه یا رستر پتانسیل توزیع جمعیت تولید گردید. با استفاده از آمار سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران در شهرستانهای کلبر و خداآفرین، نقشه توزیع جمعیت ایجاد شده است.

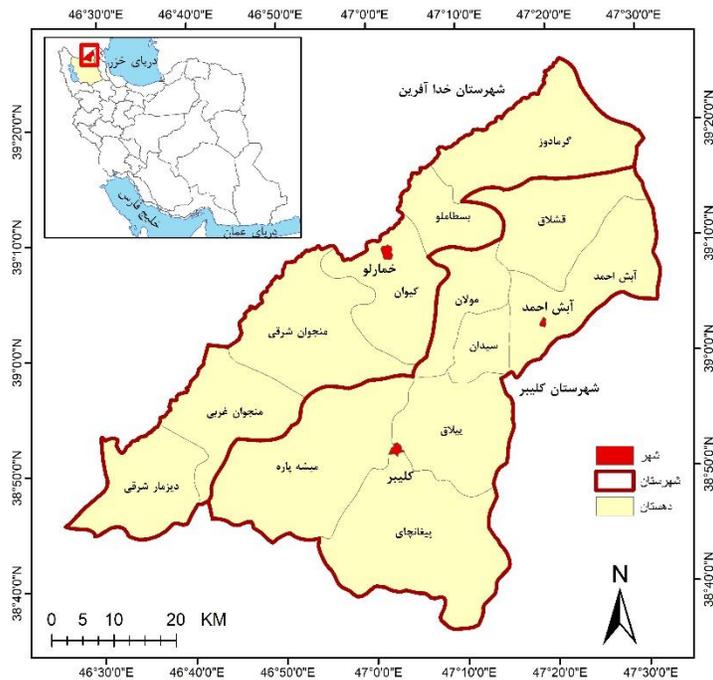
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهرستانهای کلبر و خداآفرین، در استان آذربایجان شرقی هستند. این شهرستانها با وسعت ۳۵۹۷ کیلومتر مربع، در مجموع دارای جمعیتی معادل ۸۴۵۹۷ نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) می‌باشند. در مجموع این دو شهرستان در عرض جغرافیایی بین ۳۸ درجه و ۳۸ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی قرار دارند. شکل ۱، موقعیت این شهرستانها در کشور و استان را نشان می‌دهد. دلیل انتخاب این دو شهرستان، ایجاد لایه جمعیت به منظور بررسی ارتباط بیماری لیشمانیوز احشایی با جمعیت انسانی در تحقیق بعدی است.

¹ Analytical Hierarchy Process

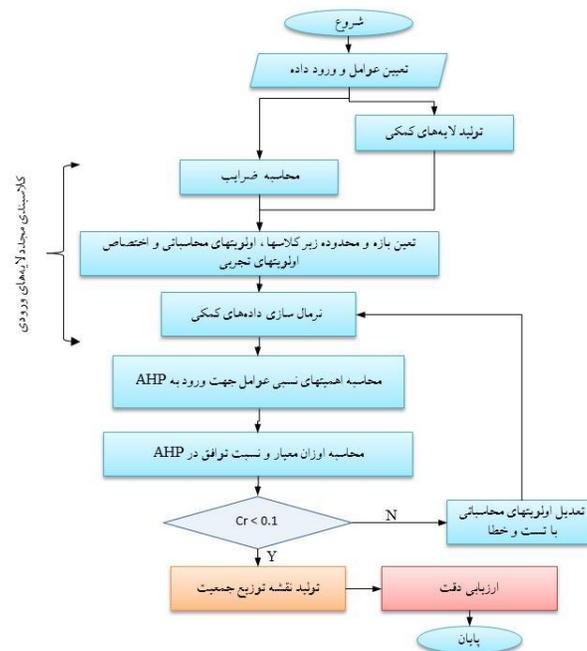
۵. شبیه‌سازی پخش‌سیل جمعیت پذیری به روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه...



شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of study area

روش تحقیق.

در این تحقیق، برای تولید نقشه توزیع جمعیت به روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه، بعد از تولید لایه‌های کمکی، کلاس‌بندی مجدد لایه‌های ورودی، محاسبه اوزان معیار به روش AHP، نقشه توزیع جمعیت تولید و دقت ارزیابی شد. شکل ۲، مراحل اجرای تحقیق را نشان می‌دهد. در ادامه به طور کامل مراحل روش تحقیق توضیح داده شده است.



شکل. فرآیند تولید نقشه توزیع جمعیت

Figure 2. flowchart of creating the population distribution map

تولید لایه‌های کمکی

مطابق پیشنهاد Liao et al, 2010; Bhaduri et al, 2004; 2007، داده‌های کمکی مورد استفاده در توزیع جمعیت در تحقیق حاضر به عنوان عوامل مؤثر بر آن، علاوه بر آمار سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، کاربری اراضی، شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از سکونتگاه می‌باشند.

لایه مقادیر جمعیت

داده‌های پایه جمعیت از مرکز آمار ایران (۱۳۹۵ یا ۲۰۱۷) اخذ شد. برای بیان توزیع جمعیت در سطح منطقه‌ای، کوچکترین قطعات ملکی یا کاداستر که سرشماری نفوس و مسکن با توجه به آنها انجام شده، می‌توانست بهترین نتیجه را داشته باشد. مقادیر جمعیتی برای نقاط شهری و روستایی به صورت داده‌های نقطه‌ای موجود می‌باشند. از آنجائیکه در

۷. شبیه‌سازی پخش‌سیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریگ توسعه‌یافته داده پایه... ۷.

تقسیمات سیاسی کشور محدوده فعالیت آبادی‌ها (سامان عرفی^۱) مشخص نمی‌شود و لایه کاداستر این شهرستان در دسترس نبود، بنابراین محتمل‌ترین حالت برای برآورد توزیع جمعیت یک نقطه، استفاده از عامل نزدیکترین نقطه به آن می‌باشد که با استفاده از پلی‌گون تیسن می‌توان آن را بدست آورد. از این رو محدوده فعالیت آبادی‌ها و شهرها از پلی‌گون تیسن استخراج شد. این پلی‌گون‌ها می‌توانند محدوده همگنی دور هر آبادی را در اختیار محقق قرار دهند. با تبدیل پلی‌گون‌های محدوده فعالیت به رستر، رستر ابتدایی جمعیت جهت محاسبات در الگوریتم جمعیت تولید شد. علت تولید رستر اولیه از جمعیت، محاسبه مقدار ضریب جمعیت^۲ یکسان برای کل یک تیسن می‌باشد.

لایه کاربری اراضی

به منظور بالا بردن دقت لایه کاربری اراضی از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. با استفاده از تصویر Sentinel-2 سال ۲۰۱۸ (یا ۱۳۹۶) با اعمال مراحل پیش‌پردازش از قبیل تصحیحات رادیومتریک و هندسی (sen2cor)، لایه کاربری اراضی استخراج گردید. با استفاده از سنجش از دور و تکنیک طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال، لایه کاربری اراضی با وضوح ۱۰ متری تهیه گردیده است (شکل ۳). دقت کلی و ضریب کاپا در این طبقه‌بندی به ترتیب به میزان ۸۹/۸ درصد و ۰/۸۵ می‌باشد. جدول ۱، تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی و صحت‌سنجی را ارائه می‌دهد. این لایه به عنوان لایه کمکی برای تخمین میزان توزیع جمعیت در سطح شهرستان استفاده شده است.

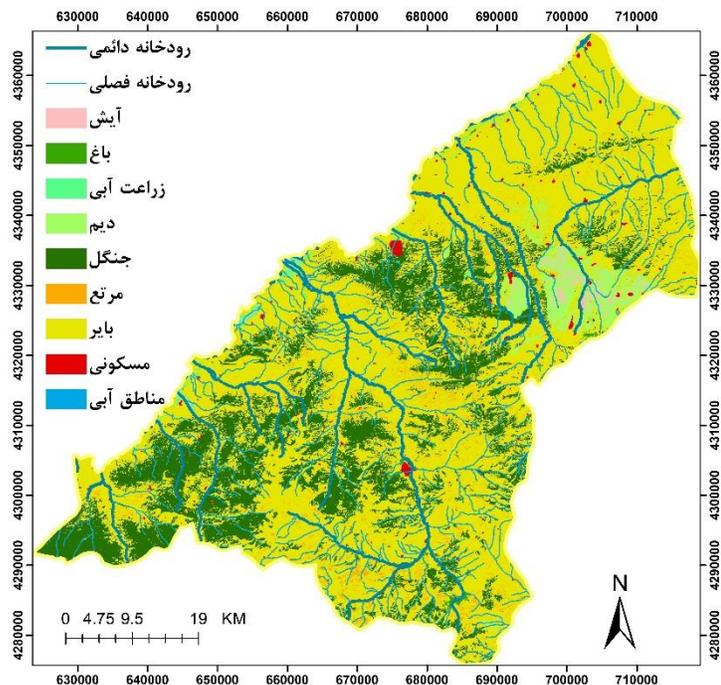
جدول ۱، تعداد نمونه‌های طبقه‌بندی و صحت‌سنجی (برحسب پیکسل)

Table 1. Number of samples of classification and validation (per pixel)

طبقات	آیش	باغ	زراعت آبی	دیم	جنگل	مرتع	بایر	مسکونی	مناطق آبی
نمونه طبقه‌بندی	۱۲۲۸	۵۵۰	۱۶۰۹	۱۴۸۶	۳۴۱۵	۱۲۹۶	۲۸۴۱	۱۴۵	۱۳۶
نمونه صحت‌سنجی	۶۳۷	۲۳۶	۶۸۹	۶۳۷	۱۴۶۳	۵۵۵	۱۲۱۷	۶۲	۵۸

^۱ به محدوده‌ای از اراضی مرتعی گفته می‌شود که از گذشته مورد بهره‌برداری تعداد مشخصی از خانوارهای عشایر و غیر عشایر و یا ترکیبی از این دو قرار گرفته و عرفاً دارای حق بهره‌برداری از آن می‌باشند (شاهنده، ۱۳۸۵).

^۲ Population coefficient



شکل ۳، کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Land use of study area

لایه فاصله از جاده

ارتباط بین برخی از داده‌ها و توزیع جمعیت در سطح جهانی ثابت نیست. جاده‌ها نقش مهمی را در سکونت انسان مستقل از نوع جاده ایفا می‌کنند. هر چند، چگالی جمعیت مسکونی در مجاورت جاده‌های اصلی در سرتاسر جهان متفاوت است (Bhaduri et al, 2004). لایه‌ی برداری جاده‌های منطقه از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استخراج گردید و از طریق داده‌های OSM^۱ بروزرسانی شد. با توجه به وجود سه نوع جاده در منطقه؛ اصلی، فرعی و خاکی؛ و عدم توزیع جمعیت به طور یکسان در انواع جاده‌ها؛ سه لایه جاده استخراج گردید. لایه فاصله از جاده برای انواع جاده از طریق تحلیل فاصله (بافر) با اندازه پیکسل ۱۰۰ متری تهیه گردیده است. توزیع جمعیت در منطقه به ترتیب براساس جاده اصلی، جاده فرعی و جاده خاکی می‌باشد. این لایه به عنوان لایه کمکی برای تخمین میزان توزیع جمعیت در سطح شهرستان استفاده شده است.

لایه فاصله از رودخانه

با استفاده از داده توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور در منطقه، لایه‌ی برداری رودخانه تهیه شد. لایه فاصله از رودخانه نیز از طریق تحلیل فاصله (بافر) با اندازه پیکسل ۱۰۰ متری تهیه گردید. انسان‌ها به طور طبیعی در اطراف

¹ Open street map

رودخانه بیشتر ساکن می‌شوند. افزایش فاصله از رودخانه در توزیع جمعیت تأثیر گذاشته و باعث کاهش جمعیت می‌شود. توزیع جمعیت در اطراف رودخانه‌های دائمی بیشتر از رودخانه‌های فصلی است، لذا وزن بیشتری به آن اختصاص یافت. در لایه فاصله از رودخانه با توجه به اینکه رودهای منطقه دارای عرضی تا حدود ۱۵ متر می‌باشند و اندازه پیکسل‌ها در این تحقیق ۱۰۰ متر می‌باشد و نیز از آنجائیکه بستر رودخانه‌ها فاقد جمعیت است، این محدوده (عرض ۱۵ متری رودخانه‌ها) قابل اغماض می‌باشد. این لایه به عنوان لایه کمکی برای تخمین میزان توزیع جمعیت در سطح شهرستان استفاده شده است.

لایه فاصله از سکونتگاه

از طریق تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و گوگل ارث، محدوده‌ی مناطق مسکونی استخراج شد. سپس لایه فاصله از سکونتگاه از طریق تحلیل فاصله (بافر) با اندازه پیکسل ۱۰۰ متری، تولید گردید. فاصله از سکونتگاه همانند فاصله از رودخانه تأثیر منفی در توزیع جمعیت دارد؛ یعنی با افزایش فاصله از سکونتگاه، میزان جمعیت کاهش می‌یابد. این لایه به عنوان لایه کمکی برای تخمین میزان توزیع جمعیت در سطح شهرستان استفاده شده است.

لایه شیب

ترجیح مردم برای سکونت در شیب‌های ملایم (یا مسطح) در مقابل شیب‌های تند، تابعی از فراوانی نواحی در دسترس با شیب ملایم است (Bhaduri et al, 2004). با استفاده از Arc GIS (تحلیل آنالیز سه‌بعدی) و با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ از قبیل منحنی‌میزان، رودخانه، نقاط ارتفاعی و محدوده منطقه، شبکه نامنظم مثلثی (TIN) و سپس مدل رقومی زمین (DEM) استخراج و نقشه شیب تولید شد. شیب در توزیع جمعیت تأثیر منفی دارد. این لایه به عنوان لایه کمکی برای تخمین میزان توزیع جمعیت در سطح شهرستان استفاده شده است.

کلاس‌بندی مجدد لایه‌های ورودی

پس از تولید لایه‌های ورودی، با در نظر گرفتن اولویتهایی براساس روش تجربی و محاسباتی، لایه‌های استاندارد شده جهت ورود به AHP ایجاد شده‌اند. با توجه به رفتار توزیعی جمعیت انسانی در هر نوع کاربری اراضی و همچنین دانش قبلی از منطقه، روش تجربی انجام شد. در تحقیق Mennis (2003) نیز برای وزن‌دهی به لایه ورودی به توزیع جمعیت از روش تجربی و دانش قبلی از منطقه بهره گرفتند. در سایر داده‌های کمکی از روش محاسباتی استفاده شد که در ادامه توضیح داده می‌شود. جهت اعمال این مراحل از Model builder در محیط Arc GIS استفاده شد.

محاسبه‌ی ضرایب

جهت برآورد مقادیر اولویت‌های هر لایه ورودی از روش‌های تجربی و محاسباتی؛ که در ادامه این مطالب توضیح داده خواهند شد؛ استفاده شده است. در اولویت‌های فوق‌الذکر از ضرایب a ، b استفاده می‌شود. مقدار a معادل با تراکم متوسط جمعیت در مناطق مسکونی و b معادل با تراکم حداقل جمعیت در منطقه می‌باشد. با محاسبه مقادیر مذکور و با در نظر گرفتن اولویت‌های تجربی و محاسباتی مطابق آنچه که در ادامه تشریح خواهد شد، هر لایه کلاس‌بندی مجدد شد.

$$a = \frac{\text{میزان جمعیت}}{\text{مجموع مساحت پل‌گونه‌های مسکونی در هکتار}}$$

رابطه ۱.

در مناطق مسکونی و میزان جمعیت در رابطه ۱، نواحی خالی از سکنه حذف شده‌اند.

$$b = \frac{\text{میزان جمعیت}}{\text{کل مساحت منطقه در هکتار}}$$

رابطه ۲.

در مورد لایه‌های فاصله از سکونتگاه، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده مقدار a و در لایه شیب نیز مقدار b مدنظر قرار گرفت. با توجه به در نظر گرفتن ابعاد پیکسل ۱۰۰ متری، هر پیکسل ۱۰۰۰۰ متر مربع معادل با یک هکتار می‌باشد، لذا این اعداد بیانگر نفر در هر هکتار می‌باشند.

تعیین بازه و محدوده زیرکلاس‌ها و اولویت‌های محاسباتی

تولید لایه‌های بهینه جهت تعیین بازه و محدوده زیر کلاس‌ها

در جاده اصلی، فرعی و خاکی و همچنین در رودخانه دائمی و فصلی، میزان توزیع جمعیت متفاوت می‌باشد. به منظور اختصاص اهمیت به انواع جاده و رودخانه در توزیع جمعیت اولویت‌هایی در نظر گرفته شدند. لایه‌های تولیدی از این مرحله مناسب برای کلاس‌بندی می‌باشند؛ به نحوی که اهمیت نوع جاده و رودخانه نیز در آن مستتر است.

شبیه‌سازی پتانسیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه... ۱۱

سه نوع جاده اصلی، فرعی و خاکی در منطقه موجود می‌باشد که توزیع جمعیت در هر یک از آنها متفاوت است. بر این اساس جهت تعیین دقیق‌تر ماکزیمم فاصله از جاده و نتیجتاً تعیین دقیق‌تر مرز بین کلاس‌های فاصله از جاده، روند زیر انجام شد. جهت تولید لایه فاصله از جاده به ترتیب زیر عمل شده است:

۱. تولید لایه فاصله از جاده به طور جداگانه از هر نوع جاده از طریق تحلیل فاصله.
۲. اعمال اولویت‌های جاده فرعی و خاکی به لایه‌های فاصله از جاده فرعی و خاکی به طور جداگانه از طریق تقسیم مقادیر فاصله بر اولویت‌های مورد نظر.
۳. با در نظر گرفتن مینیمم مقادیر فاصله از سه لایه فاصله از سه نوع جاده، لایه کلاس‌بندی یا به عبارتی لایه صحیح فاصله از جاده بدست آمد. این لایه برای کلاس‌بندی و تعیین مرز کلاس‌های فاصله از جاده استفاده شد. اولویت‌هایی از لحاظ اهمیت نوع جاده در توزیع جمعیت برای سه نوع جاده در نظر گرفته شده است. جدول ۲، میزان اولویت‌های مربوط به انواع جاده را ارائه می‌کند.

جدول ۲، میزان اولویت‌های استفاده شده جهت لایه‌ی فاصله از جاده

Table 2. The amount of priorities used for the distance from the road

اولویت	نوع جاده
برابر با جاده اصلی	اصلی
به مقادیر لایه‌ی فاصله‌ی آن $\frac{1}{6}$ اعمال ضرب	فرعی
به مقادیر لایه‌ی فاصله‌ی آن $\frac{1}{33}$ اعمال ضرب	خاکی

با تفکیک رودهای منطقه‌ی مورد مطالعه به رود دائمی و فصلی، لایه فاصله از رودخانه طبق روند تهیه لایه فاصله از جاده بدست آمده است. اولویت‌های در نظر گرفته شده در رودخانه به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳. **Error! No text of specified style in document.** میزان اولویت‌های استفاده شده جهت لایه‌ی

فاصله از رودخانه

Table 3. The amount of priorities used for the distance from the river

اولویت	نوع رودخانه
برابر با رود دائمی	دائمی
به مقادیر لایه‌ی فاصله‌ی آن $\frac{1}{33}$ اعمال ضرب	فصلی

یافتن بازه و محدوده زیر کلاس‌ها و اولویت‌های محاسباتی

در لایه‌های ورودی به توزیع جمعیت، بعد از تعریف کلاس اول به طور تجربی، از طریق روش زیر بازه و محدوده زیر کلاس‌ها و همچنین اولویت‌های محاسباتی برآورد شده است.

مرز بین کلاس دو و سه از طریق فرمول زیر بدست آمد:

$$\text{رابطه ۳.} \quad (\text{مرز کلاس اول} - \text{حداکثر مقدار لایه مورد نظر}) \times \frac{1}{3}$$

اولویت کلاس دوم و سوم به طریق زیر بدست آمد. بدلیل اینکه سطح با توان دوم فاصله ارتباط دارد، از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{رابطه ۴.} \quad \text{ضریب کلاس دوم نسبت به اول} = \left(\frac{\text{مقدار مرکز کلاس دوم}}{\text{مقدار مرکز کلاس اول}} \right)^2$$

$$\text{رابطه ۵.} \quad \text{اولویت کلاس اول} \times \frac{1}{\text{ضریب کلاس دوم نسبت به اول}} = \text{اولویت کلاس دوم}$$

و به همین ترتیب برای کلاس سوم نیز محاسبه شد.

در این تحقیق به کل پیکسل‌های داخل یک کلاس وزن یکسان داده شد. این روند برای لایه‌های فاصله از سکونتگاه و شیب هم اجرا شده است.

با توجه به تقسیم‌بندی غیر متعارف شیب، لازم است روند منطقی‌تری اعمال شود تا پشتوانه علمی تقسیم‌بندی غیر متعارف واضح‌تر بیان شود. تقسیم‌بندی متعارف سازمان نقشه‌برداری کشور برای طبقه‌بندی نوع زمین (دشت ۳-۰٪، تپه ماهور ۷-۳٪، کوهستان ۲۰-۷٪ و کوهستان سخت ۲۰٪ به بالا) می‌باشد (اکبری، ۱۳۸۸). طبقه‌بندی فوق برای توزیع جمعیت مناطق مانند منطقه کوهستانی کلیر مناسب نمی‌باشد. جدول ۴، میزان اولویت جمعیت بدست آمده از محاسبات و روش تجربی در لایه‌های ورودی به نقشه توزیع جمعیت را نشان می‌دهد.

نرمال سازی داده‌های کمکی

نرمال سازی داده‌های پیوسته (رستر) به دلایل مختلفی انجام می‌شود؛ برای مثال: (۱) برای تغییر مقادیر ثبت شده در یک لایه نقشه منفرد به رنج [0,1] یا [-1,1]، با استفاده از تابع انتقال:

$$\text{رابطه ۶.} \quad z' = \left(\frac{z - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \right) * \text{standardized Rnge}$$

و ۲) برای ترکیب دو یا تعداد بیشتر لایه رستری یا تصویر جهت ایجاد یک مقدار شاخص، منفرد یا استاندارد (Goodchild, 2006-2008). مقدار داخل پرانتز در فرمول ۶، نقشه را در بازه‌ی (۱،۰) قرار می‌دهد. محدوده‌ی استاندارد (*standardized Rnge*) می‌تواند مقادیر ۲۵۵، ۱۰۲۴ و ۸۱۹۲ را داشته باشد که جهت تغییر نقشه در محدوده‌ی ۲۵۵، ۱۰۲۴ و ۸۱۹۲ استفاده می‌شوند.

در این تحقیق، جهت نرمال‌سازی لایه‌های ورودی به لایه توزیع جمعیت از رابطه ۶ و از عدد ۸۱۹۲ استفاده شده است؛ چرا که محدوده‌های کوچکتر مانند ۲۵۵، ۵۱۲ و ۱۰۲۴ موجب متمرکز شدن برخی از فاکتورها در بخش بسیار کوچکی از دامنه آنها می‌شوند. اعداد فوق همچنین موجب عدم تفکیک برخی از کلاس‌ها مانند فاصله از رودخانه در دو کلاس ابتدایی می‌گردند، لذا در مقدار محدوده‌ی استاندارد ۸۱۹۲ مشکلات ذکر شده رفع گردید.

اعمال روش AHP و تعدیل اولویت‌ها

محاسبه اهمیت‌های نسبی عوامل جهت ورود به AHP، اوزان معیار و نسبت سازگاری

AHP یک روش جامع و منطقی و دارای چارچوب ساختاری است که فهم تصمیمات پیچیده را با تجزیه مسئله با کمک ساختار سلسله مراتبی، آسان‌تر می‌سازد (Eldin and Eldrandaly, 2004). این روش شامل مقایسه دوتایی به منظور ایجاد یک ماتریس نسبت می‌باشد؛ که یک ورودی بصورت مقایسه‌های زوجی دارد و وزن‌های نسبی را به عنوان خروجی تولید می‌نماید. در ایجاد ماتریس مقایسه دو تایی یک مقیاس اساسی را با مقادیری از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار بکار می‌گیرد (Saaty, 1980; Malczewski, 1999). در این روش، پس از تعیین اهمیت‌های نسبی، به محاسبه وزن‌های معیار و نسبت سازگاری^۱ (CR) پرداخته می‌شود. در مرحله تخمین نسبت سازگاری تعیین می‌شود که آیا مقایسه‌های انجام شده سازگار هستند یا نه؟ این نسبت بصورتی طراحی می‌شود که اگر $CR \leq 0.1$ باشد، سطح قابل قبول توافق را در مقایسه‌های دو تایی نشان دهد؛ اما اگر $CR \geq 0.1$ باشد، نشانگر قضاوت‌های ناسازگار می‌باشد. در چنین مواردی باید در مقادیر اصلی ماتریس مقایسه دو تایی تجدید نظر و اصلاح شود (Malczewski, 1999).

در این تحقیق، برای محاسبه اهمیت‌های نسبی لایه‌ها (یا مقایسات زوجی) در روش AHP، بجای استفاده از پرسشنامه و نظرات افراد که وابسته به نظرات شخصی است و ممکن است متغیر باشد، براساس ارزش داده‌ها از روش تقسیم اعداد کلاس وسط مستخرج از محاسبات و نرمال شده هر لایه کمکی به لایه دیگر استفاده شد. یعنی به طور مثال نسبت لایه فاصله از جاده به لایه فاصله از رودخانه تقسیم عدد ۹ به ۶ (مقدار کلاس وسط این دو لایه به ترتیب) یعنی ۱/۵ می‌شود. در مورد اهمیت کاربری اراضی نسبت به هر لایه دیگر از روش تجربی استفاده گردید. با استفاده از لایه‌های نرمال شده، اوزان معیار و نسبت سازگاری براساس روش AHP بدست آمد.

¹ Consistency Ratio

تعدیل اولویت‌های محاسباتی

تولید لایه‌ها با اولویت‌های محاسباتی ذکر شده دارای اشکالات زیر بود:

قرار نگرفتن کلاس اول پس از نرمال‌سازی در مقدار ۱، قرارگرفتن دو کلاس پس از نرمال‌سازی در یک مقدار، رعایت نمودن اهمیت بین لایه‌های مختلف نسبت به یکدیگر. همچنین پس از محاسبه اهمیت‌های نسبی لایه‌های مختلف نسبت به یکدیگر و ورود در مدل AHP، اعداد بین ۱ تا ۹ برآورد نشد و $CI < 0/1$ بدست نیامد. به همین دلیل اعداد اولویت‌ها تصحیح شدند. این روند مطابق شکل ۲، به صورت سیکل ادامه یافت تا تمام ایرادات وارد شده رفع گردند. یعنی به صورت پی در پی مراحل نرمال‌سازی و محاسبه اهمیت‌های نسبی، اوزان معیار و نسبت‌سازی در AHP انجام شد تا به مقادیر معقول دست یافته شود. در نتیجه پس از اعمال عوامل فوق‌الذکر، اعداد نهایی و تعدیل‌شده‌ی اولویت‌های لایه‌ها مطابق با جدول ۴ بدست آمده است.

جدول ۴، میزان اولویت لایه‌های ورودی جمعیت بدست آمده از محاسبات و تعدیل شده

Table 4. The amount of priorities the input layers of population after calculation and adjustment.

نام لایه	تقسیمات لایه‌ای	اولویت جمعیت (محاسباتی)	اولویت جمعیت (تعدیل شده)
کاربری اراضی	مسکونی	a	a
	باغ و زراعت آبی	a/5	۵ a/
	دیم و جنگل	a/25	a/25
	آیش و بایر و مرتع	a/250	۲۵۰ a/
	آب	0	۰
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	a/10	۱۰ a/
(متر)	۱۰۰-۸۷۰۰	a/70000	۱۰۰۰۰ a/
	۸۷۰۰-۲۶۳۱۸	a/1239000	۷۰۰۰۰۰ a/
فاصله از سکونتگاه	۰	۰	۰
(متر)	۰-۵۰۰	a/5	۵ a/
	۵۰۰-۲۴۰۰	a/170	۴۵۰۰ a/
	۲۴۰۰-۷۶۲۲	a/2030	۱۵۰۰۰ a/
فاصله از رودخانه	۰-۱۰۰	a/50	۵۰ a/
(متر)	۱۰۰-۴۶۰۰	a/110450	a/۷۰۰۰۰
	۴۶۰۰-۱۴۰۳۸	a/1767200	a/۱۳۰۰۰۰۰
شیب	۰-۳	b/500	۵۰۰ b/
	۳-۴۰	b/102700	b/۶۰۰۰۰۰

شبهه‌سازی پتانسیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه... ۱۵.

b/۱۷۰۰۰۰۰	b/1363000	۴۰-۱۱۶	(درصد)
-----------	-----------	--------	--------

مقادیر نهایی روش AHP پس از تعدیل اولویت‌ها

در نهایت پس از تعدیل اولویت‌ها، مقادیر مناسب آنها بدست آمد. اعداد اهمیت نسبی و اوزان معیار در جدول ۵، پس از تعدیل اولویت‌ها و مقادیر نهایی AHP در نقشه توزیع جمعیت می‌باشند.

جدول. Error! No text of specified style in document. وزن‌دهی به معیارها در لایه توزیع جمعیت با استفاده از

روش AHP

Table 5. Weighting criteria in the population distribution layer using the AHP method

وزن معیار	شیب	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	فاصله از نواحی سکونتگاه	از کاربری اراضی
۰/۶۵۴۴	۹	۸	۷/۲	۷	۱
۰/۱۱۱۳	۲	۱/۶۷	۱/۱۱	۱	فاصله از نواحی سکونتگاه
۰/۱۰۱۵	۱/۸	۱/۵	۱	فاصله از جاده	
۰/۰۷۱۹	۱/۲	۱	فاصله از رودخانه		
۰/۰۶۰۸	۱	شیب			

با برآورد مقدار $cr = ۰/۰۰۵۱$ ، وزن‌های معیار قابل اطمینان می‌باشند؛ در نتیجه نیاز به تکرار مراحل وجود ندارد. بعد از یافتن وزن‌ها، در گام بعدی با استفاده از قابلیت اجرای وزن‌دهی همپوشانی وزندار^۱ در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه وزن ترکیبی جهت اجرای الگوریتم جمعیت تولید شده است.

¹ Weighted Overlay

تولید نقشه توزیع جمعیت

در این تحقیق، همانطور که قبلاً ذکر شد، محدوده تملک هر آبادی (سامان عرفی) به صورت پلی‌گون‌های تیسن در شهرستانهای کلبر و خداآفرین در نظر گرفته شده است. لذا در ادامه منظور از بلوک، پلی‌گون تیسن می‌باشد. مدل توزیع جمعیت برای هر پلی‌گون تیسن، یک ضریب شباهت برای هر پیکسل را محاسبه می‌کند، و این ضرایب را به مقادیر سرشماری اعمال می‌کند، که به عنوان مجموع کنترل برای این نواحی به کار می‌روند. پلی‌گون‌های تیسن به پیکسل‌های ۱۰۰ متری تقسیم می‌شوند و هر پیکسل بر مبنای لایه‌های داده ورودی ابتدایی موثر بر میزان شباهت آن پیکسل در تجمیع ارزیابی می‌شود. در این تحقیق لایه وزن مورد استفاده در مدل توزیع جمعیت براساس روش AHP تولید شد. لایه مقادیر جمعیت که پیشتر تولید شده در حقیقت رستر کل جمعیت سرشماری در هر بلوک است. در الگوریتم جمعیت با ترکیب لایه مقادیر جمعیت و لایه وزن مذکور، ضریب جمعیت و یا ضریب تشابه در هر بلوک مطابق با رابطه ۷ محاسبه می‌شود (Bhaduri et al., 2004; 2007).

$$PCBlock = \frac{\text{Total Population Block}}{\sum_1^n w_{ij}} \quad \text{رابطه ۷.}$$

در رابطه فوق PC ضریب جمعیت و n تعداد پیکسل‌های داخل هر پلی‌گون تیسن می‌باشند. سپس، جمعیت کل هر بلوک با تجمیع وزن‌دار بر اساس ضریب تشابه (ضریب جمعیت) طبق رابطه ۸ به هر پیکسل اختصاص داده می‌شود (Bhaduri et al., 2004; 2007):

$$\text{Population}_{ij} = PC_{Block} * W_{ij} \quad \text{رابطه ۸.}$$

جهت اجرای مراحل فوق از Model builder در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد.

بررسی و ارزیابی دقت

برای پشتیبانی تجزیه و تحلیل خطا در روش تحقیق حاضر، اختلاف بین داده جمعیت تخمینی و واقعی برای هر بلوک محاسبه شد. به این ترتیب که همانند محققین قبلی (Eicher and Brewer, 2001 و Mennis and Hultgren 2006)، از نقشه خطای محاسباتی (حاصل اختلاف بین مقادیر واقعی و تخمین زده شده) در کشف میزان خطا، استفاده شد. همچنین ارزیابی کمی خطا در تحقیق حاضر مشابه روش محققین سابق با استفاده از خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) به عنوان خلاصه‌ای از خطای درون هر منطقه مرجع اصلی انجام شد (Reibel and Agrawal, 2007; Mennis

(and Hultgren, 2006; Fisher and Langford, 1995; Gregory, 2002; Mrozinski and Cromley, 1999) در واقع

خطای RMS انحراف معیار توزیع خطا می‌باشد که در یک منطقه مدنظر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

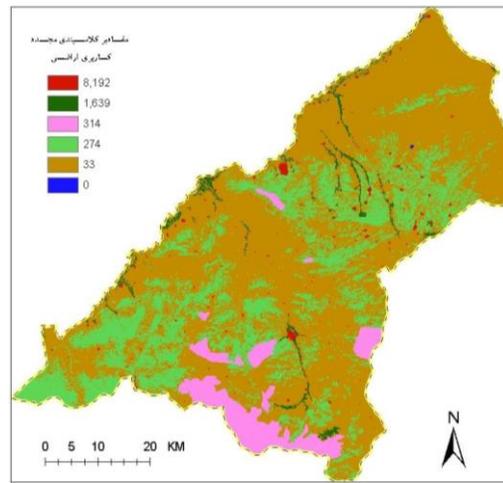
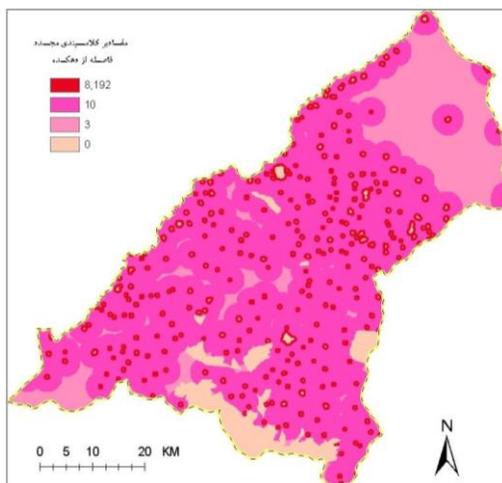
$$RMSES = \sqrt{\frac{\sum(pb - \hat{pb})^2}{N}} \quad \text{رابطه ۹.}$$

که در آن P_b جمعیت واقعی پلی‌گون تیسن و \hat{pb} جمعیت تخمینی آن می‌باشد و N تعداد پلی‌گون‌ها در محدوده مطالعاتی S می‌باشد.

یافته‌ها (تجزیه و تحلیل)

نقشه توزیع جمعیت به روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه

در این تحقیق، روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه برای شبیه‌سازی توزیع مکانی جمعیت به کار رفت که در حقیقت تلفیقی از روش دسی‌متریک و AHP می‌باشد. لذا با در نظر گرفتن اولویت‌های تجربی و محاسباتی، لایه‌های کمکی ورودی به توزیع مکانی جمعیت، کلاس‌بندی مجدد شدند (شکل‌های ۴ الی ۸). با استفاده از روش AHP اوزان معیار این لایه‌ها تعیین و با اعمال الگوریتم جمعیت، نقشه توزیع جمعیت تولید شد. شکل ۹، نقشه توزیع جمعیت تولید شده با استفاده از روش دسی‌متریک توسعه یافته داده پایه را نشان می‌دهد.

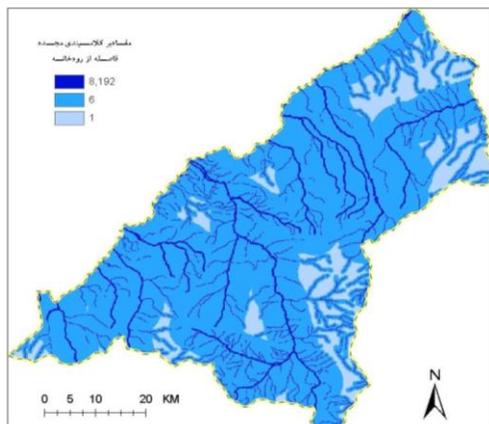


شکل ۴. Error! No text of specified style in document. لایه‌ی کلاس‌بندی مجدد کاربری اراضی

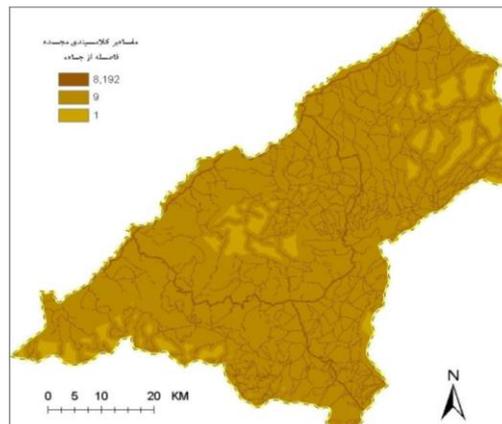
شکل ۵، لایه‌ی کلاس‌بندی مجدد فاصله از دهکده

Figure 5. Reclassify of distance from village

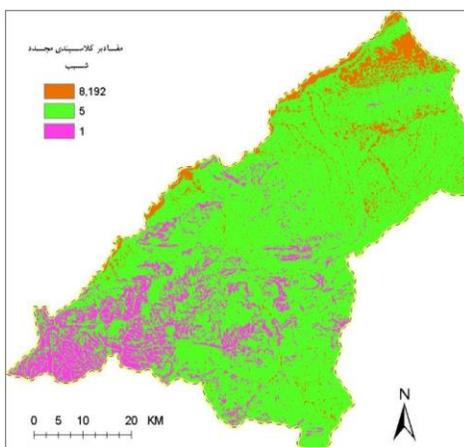
Figure 4. Reclassify of landuse



شکل ۷، لایه‌ی کلاس‌بندی مجدد فاصله از رودخانه
Figure 7. Reclassify of distance from river

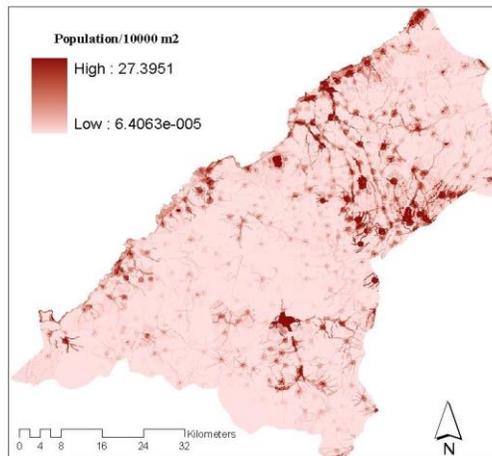


شکل ۶، لایه‌ی کلاس‌بندی مجدد فاصله از جاده
Figure 6. Reclassify of distance from road



شکل ۸، لایه‌ی کلاس‌بندی مجدد شیب
Figure 8. Reclassify of slope

شبیه‌سازی پتانسیل جمعیت‌پذیری به روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه... ۱۹.



شکل ۹- نقشه دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه توزیع جمعیت

Figure 9. map of data based developed dasymetric of population distribution

برای بررسی دقت روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه، داده سرشماری سال ۱۳۹۵ به عنوان داده مرجع در نظر گرفته شد تا بتوان میزان مطابقت جمعیت تخمین زده شده در هر پلی‌گون تیسن را با جمعیت مرجع بررسی نمود. به منظور انجام آنالیز خطا، اختلاف بین مقادیر جمعیت واقعی و تخمینی برای هر پلی‌گون تیسن بر مبنای تحقیقات گذشته محاسبه شد (Fisher and Langford, 1996; Eicher and Brewer, 2001; Reibel and Agrawal 2005, 2007; Mennis and Hultgren, 2006)، از نقشه‌های خطای محاسباتی نیز به منظور معتبرسازی و بررسی خطا استفاده شد؛ که خطای محاسباتی از تفاضل جمعیت تخمین زده از جمعیت واقعی در هر پلی‌گون تیسن محاسبه می‌شود. جدول ۶، اطلاعات آماری میزان خطا در روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه را بیان می‌کند.

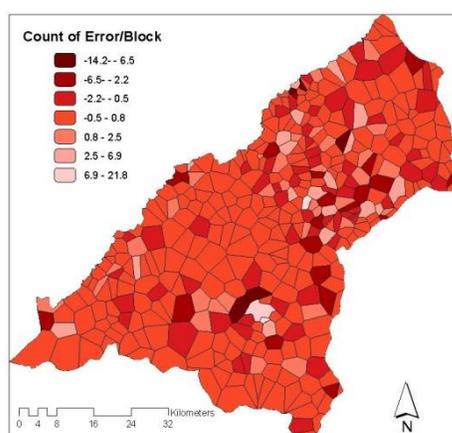
، تحلیل خطاها. Error! No text of specified style in document. جدول

Table 6. Error analysis

روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه	
N(obs)	405
min	-14.262
max	21.88
mean	-0.024013
Std.Dev	2.1631
skewness	1.6035
kurtosis	34.816

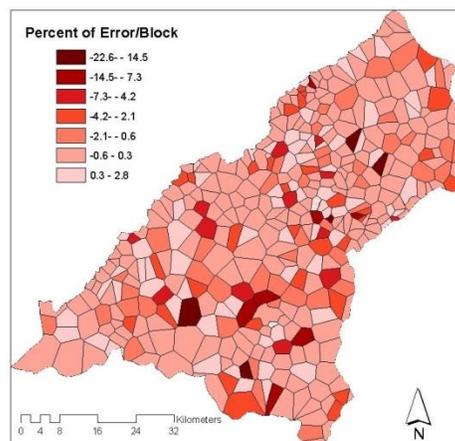
میانگین خطای محاسباتی ۰/۰۲۴۰۱۳ و انحراف معیار ۲/۱۶۰۴۶۵ می‌باشد. علاوه بر این، میزان کارایی نقشه تولید شده به روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه با ارزیابی از طریق RMSE بررسی (اختلاف مقادیر برآوردی جمعیت به روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه و مقادیر جمعیت واقعی) و با توجه به دستیابی به مقدار ۲/۱۶ نفر در کل شهرستان، قابل قبول شناسایی شد.

شکل ۱۰، توزیع جغرافیایی خطاهای دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه را در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ۱۱، نقشه درصد خطا نسبت به جمعیت آن بلوک را نشان می‌دهد. بلوک‌های تخمین حد بالا و حد پایین تعداد محدودی را به خود اختصاص داده‌اند و همچنین اکثریت بلوک‌ها با خطای ناچیز برآورد شده‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۱۱- نقشه درصد خطای روش دسی‌متریک

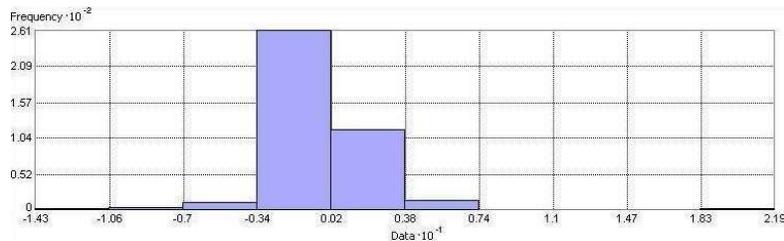
Figure 11. map of percent error of data



شکل ۱۰- نقشه خطای محاسباتی روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه توسعه‌یافته داده پایه

Figure 10. Map of error of data based developed dasymetric method based developed dasymetric method

بلوک‌های دارای خطای ۰/۵- الی ۰/۸ بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱۰). این دلیل بر دقت مناسب این روش می‌تواند باشد. شکل ۱۲، هیستوگرام خطاهای ناشی از اختلاف مقادیر برآوردی جمعیت به روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه و مقادیر جمعیت واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- هیستوگرام خطای محاسباتی روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه

Figure 12. Histogram of calculated error of data based developed dasymetric method

بحث و نتیجه‌گیری

آگاهی از توزیع جمعیت به عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین جمعیت در معرض خطر در لحظات وقوع اپیدمی، مدیریت بحران و همچنین در طراحی و مدیریت اراضی منطقه‌ای و شهری، ضروری می‌باشد. در مقایسه با داده توزیع جمعیت گسسته، استفاده از رستر برای نمایش گرید (شبکه) منظم جمعیت کارا می‌باشد. انسان‌ها به طور معمول در ارتفاعات بالا و یا در شیبهای تند مسکون نمی‌شوند. همچنین، استقرارشان به انواع کاربری اراضی، فواصل مختلف از جاده، رودخانه و سکونتگاه با توزیع‌های مختلفی، بستگی دارد. در این تحقیق به منظور بهبود دقت میان‌یابی با در نظر گرفتن لایه‌های کمکی کاربری اراضی، فاصله از جاده، سکونتگاه، رودخانه و شیب، نقشه توزیع جمعیت به روش دسی-متریک توسعه‌یافته داده پایه از طریق GIS و RS تولید گردید. این روش راهکار نوینی است که برای شبیه‌سازی توزیع مکانی جمعیت به کار می‌رود که تلفیقی از روش دسی‌متریک و AHP می‌باشد. با استفاده از روش AHP اوزان معیار این لایه‌ها تعیین و با اعمال الگوریتم جمعیت، نقشه توزیع جمعیت تولید شد. میزان کارایی این نقشه با ارزیابی از طریق RMSE مورد بررسی قرار گرفته و تایید شد.

روش حاضر نقشه توزیع جمعیت را در سطح آبادی‌های شهرستان به صورت پیکسل مبنا تولید نموده است. محاسبه اوزان عوامل تاثیرگذار بر توزیع جمعیت از طریق AHP و تعدیل نمودن اوزان، در نظر گرفتن کلاس‌های متعدد برای عوامل موثر بر توزیع جمعیت و همچنین تعداد عوامل بیشتر و امکان ارزیابی دقت، از مزایای روش دسی‌متریک توسعه‌یافته داده پایه در تحقیق حاضر می‌باشد.

روش ارائه شده در تحقیق حاضر، روش نوینی در بکارگیری داده‌های کمکی در تخمین توزیع جمعیت است. اما با بررسی تحقیقات پیشین مشخص می‌گردد که Moos و همکاران (۲۰۲۱) و Dhieb (۲۰۲۲) نیز به برتری روش دسی-متریک که با کمک داده‌های کمکی به تخمین توزیع جمعیت می‌پردازد، اشاره کرده‌اند. علاوه بر این، Haider et al., (2022) و Alghais & Algharib (2022) نیز پیشنهاد کرده‌اند که برای برآورد دقیق‌تر توزیع جمعیت بهتر است که داده‌های کمکی دقیق‌تر در روش انترپولاسیون ترکیب شوند.

پیشنهادات

نقشه توزیع جمعیت تولید شده جهت برنامه‌ریزی شهری، آنالیزهای مکانی، شبیه‌سازی رشد مناطق مسکونی، یافتن تعداد خاص جمعیت در فاصله‌ای خاص از مکانی مشخص، یافتن جمعیت در معرض خطر در مواقع بحرانی مانند وقوع زلزله، در طبقه‌بندی شهری، استفاده در علوم پزشکی مانند یافتن جمعیت در معرض خطر ابتلا به بیماری و غیره مفید می‌باشد. علی‌رغم محاسن مذکور و فاکتورهای در نظر گرفته شده، لایه توزیع جمعیت تولید شده‌ی حاضر، از محدوده‌ی تیسن آبادی تأثیرپذیری زیادی دارد، به نحوی که در نتایج حاصل شده، جمعیت در امتداد مرز دو روستا که جاده واصل نیز وجود دارد، از تیسن بیش از سایر فاکتورها تبعیت می‌کند. چگونگی بهبود دقت در پیاده‌سازی مدل توزیع جمعیت با استفاده از روش‌های شبکه عصبی و فازی نیازمند بررسی می‌باشد. همچنین افزایش اعتبار و دقت عوامل زیر به طور یقین در کلیه روش‌ها موجب افزایش دقت نهایی نقشه توزیع جمعیت خواهد شد:

- استفاده از نقشه‌های کاداستر اراضی بجای سامانه عرفی آبادی (محدوده تملک آبادی)،
- استفاده از تصویر ماهواره‌ای با وضوح بالاتر موجب بهبود دقت هندسی کاربری اراضی خواهد شد،

منابع

- استاندارداری آذربایجان شرقی. (۱۳۹۶). سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی سال ۱۳۹۵. تبریز. معاونت برنامه‌ریزی. دفتر آمار و اطلاعات.
- اکبری، الهه. (۱۳۸۸). استخراج رفتار مکانی پدیده‌های وابسته به عوامل جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی بیماری انگلی لیشمانیوز احشایی در منطقه‌ی کلیبر). پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی سنجش از دور و GIS. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. گروه جغرافیای طبیعی. دانشگاه تبریز.
- اکبری، الهه. فاخری، معصومه. پورغلامحسن، غفت واکبری، زهرا. (۱۳۹۴). پهنه بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی (مطالعه موردی: شهر مشهد). نشریه محیط زیست طبیعی. (۴) ۶۱۱-۵۴۷-۵۳۳. doi: 10.22059/jne.2015.56927
- اکبری، الهه. (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل نقاط تمرکز بیماری لیشمانیوز احشایی و بررسی ارتباط آن با دمای هوا در GIS. نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی. (۹) ۱۵۰-۱۳۲. doi: 10.22034/rsgi.2024.61958.1078
- انتظاری، علیرضا. الهه اکبری و فاطمه میوانه، (۱۳۹۲). بررسی کیفیت آب شرب استحصالی از منابع زیرزمینی بر بیماری‌های انسانی دهه اخیر در دشت مشهد، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۳۱) ۱۳-۱۷۲-۱۵۷.
- حیبی، حسن و صدیقه مسائلی، (۱۳۷۸)، سرانه‌های فضاهای شهری، تهران: سازمان ملی زمین و مسکن.
- شاهنده، رضا. (۱۳۸۵). تأثیر فاکتورهای جمعیتی بر روند تخریب منابع طبیعی (مطالعه موردی طالقان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- کلانتری، محسن، یزدان پناه، کیومرث و نوری، سمیه. (۱۳۹۴). تحلیل توزیع فضایی جمعیت استان زنجان طی سال‌های ۹۰-۱۳۶۵ و پیش‌بینی جمعیت تا سال ۱۴۰۴. فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. (۴) ۷-۲۸-۴۴.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵. جداول منتخب. جمعیت و خانوار. جمعیت تا سطح آبادی‌ها برحسب سواد. استان آذربایجان شرقی.

میوانه، فاطمه. اکبری، الهه و باعقیده، محمد. (۱۳۹۳). ارتباط بین شاخص‌های آسایش حرارتی و مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی. *مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد*. ۵۷(۸): ۹۴۲-۹۳۲. doi: 10.22038/mjms.2015.3701

ولیداد، محمدحسین. میوانه، فاطمه. انتظاری، علیرضا. صابرمدقم، علی‌اکبر. باعقیده، محمد و اکبری، الهه. (۱۳۹۲). بررسی ارتباط عناصر آب و هوایی با بیماری ناخنک چشم (مطالعه‌ی مقایسه‌ای شهرهای مشهد و زاهدان). *مجله دانشکده پزشکی اصفهان*، ۳۱(۲۵۷): ۱۷۰۲-۱۶۹۰.

References

- Adams, A., Li, W., Zhang, C., & Chen, X. (2020). The disguised pandemic: The importance of data normalization in COVID-19 web mapping. *Public Health*, 183, 36.
- Akbari, E., (2010). Extracting Spatial Behavior of Phenomenon Infected by Geographic Elements (case study: VL diseases in Kalaybar Region). *Msc. Thesis degree in Remote Sensing & GIS*. Faculty of Humanities & Social Sciences. University of Tabriz. (In persian).
- Akbari, E., Fakheri, M., Pourgholamhasan, E., & Akbari, Z. (2015). Monthly Zoning of the Air Pollution and Surveying its Relationship with Climatic Factors (Case Study: Mashhad City). *Journal of Natural Environment*, 68(4), 533-547. doi: 10.22059/jne.2015.56927. (In persian).
- Akbari, E. (2024). Hot Spot Analysis of Visceral Leishmaniasis Disease and Evaluation of its Relation with Air Temperature in GIS. *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 3(9), 150-132. doi: 10.22034/rsgi.2024.61958.1078. (In persian).
- Alghais, N., & Algharib, S. (2022). GIS-based Spatial Analysis of Population Density in Kuwait, 1957 to 2020. *Geographical Bulletin*, 69(3).
- Bhaduri, B, Bright, E, Coleman, P, Urban, M.L. (2007). LandScanUSA: a high-resolution geospatial and temporal modeling approach for population distribution and dynamics, *GeoJournal*, 69, 103-117.
- Bhaduri, B, Bright, E., Coleman, P. (2004). Development of High Resolution Population Distribution Data to Enhance Cancer Prevention and Control Research, *Geographic Information Science & Technology. Oak Ridge National Laboratory. Report*.
- Cartagena-Colón, M., Mattei, H., & Wang, C. (2022). Dasymetric Mapping of Population Using Land Cover Data in JBNERR, Puerto Rico during 1990-2010. *Land*, 11(12), 2301.
- Comber, A., & Zeng, W. (2019). Spatial interpolation using areal features: A review of methods and opportunities using new forms of data with coded illustrations. *Geography Compass*, 13(10), e12465.
- Dhieb, M. (2022). A Bivariate Dasymetric Population Map of Saudi Arabia. *Current Urban Studies*, 10(4), 673-696.
- Dobson, J. E., E. A. Bright, P.R. Coleman, R.C. Durfee, B.A. Worley. (2000). LandScan: A global population database for estimating populations at risk. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 66, 849-57.
- Dorling, D., (1993), Map design for census mapping, *The Cartographic Journal*. 30, 167-83.
- Eicher, C. and Brewer, C., (2001), Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, (28), 125-138.
- Eldin, N.N. and Eldrandaly, K.A., (2004), A Computer- Aided System for Site Selection of Major Capital Investments, *ASCAAD International Conference, E-Design in Architecture Dhahran*.
- Entezari, A., Akbari, E., & Mayvaneh, F. (2014). Investigation of Drinking Water Quality Obtained From Groundwater on ON Human Diseases in Decade in Mashhad Plain. *Journal of Geographical Sciences*, 13(31), 157-172. SID. <https://sid.ir/paper/102239/en>. (In persian).
- Fisher, P. and Langford, M., (1996), Modeling sensitivity to accuracy in classified imagery. *Professional Geographer*, (48), 299-309.
- Fisher, P. F., and Langford, M. (1995). Modelling the errors in areal interpolation between zonal systems by Monte Carlo simulation. *Environment and Planning A*. 27, 211-24.

- Goodchild, M. F., and Lam, N.S. (1980). Areal interpolation: A variant of the traditional spatial problem. *Geoprocessing*, 1, 297-312.
- Goodchild, S., (2006-2008), Ratios, indices, normalisation and standardisation, *Geospatial Analysis - a comprehensive guide*. 2nd edition.
- Governorate of East Azerbaijan. (2017) Statistical Yearbook of East Azarbaijan Province, 2016. Tabriz. Vice President of Planning. Bureau of Statistics and Information. (In persian).
- Gregory, I. N. (2002). The accuracy of areal interpolation techniques: standardizing 19th and 20th century census data to allow long-term comparisons. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 293-314.
- Habibi, H. and Sediqeh M., (1999), Per capita urban spaces, Tehran: National Land and Housing Organization. (In persian).
- Haider, M. S., Salih, S. K., Hassan, S., Taniwall, N. J., Moazzam, M. F. U., & Lee, B. G. (2022). Spatial distribution and mapping of COVID-19 pandemic in Afghanistan using GIS technique. *SN Social Sciences*, 2(5), 59.
- Kalantari, M., Yazdanpanah, Q., and Nori, S. (2015). Analysis of the spatial distribution of population Zanjan during 1365-1390 and projected population by the year 1404, *Quarterly Journal of New Attitude in Human Geography*, 7(4), 28-44. magiran.com/p1455978. (In persian).
- Liao, Y., Wang, J., Meng, B. and Li, X., (2010), Integration of GP and GA for mapping population distribution, *International Journal of Geographical Information Science*, 24(1), 47-67.
- Liu, X., & Martinez, A. (2019). Areal interpolation using parcel and census data in highly developed urban environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 302.
- Lu, W., & Weng, Q. (2024). An ANN-based method C population Dasymetric mapping to avoid the scale heterogeneity: A case study in Hong Kong, 2016–2021. *Computers, Environment and Urban Systems*, 108, 102072.
- Malczewski, J., (1999), GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Inc.
- Mayvaneh, F., Akbari, E., & Baaghdeh, M. (2015). The Relationship between Thermal Comfort Indices and Mortality from Heart Disease. *medical journal of mashhad university of medical sciences*, 57(8), 932-942. doi: 10.22038/mjms.2015.3701. (In persian).
- Mennis, J. and Hultgren, T., (2006), Intelligent Dasymetric Mapping and Its Application to Areal Interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(3), 179-194
- Mennis, J., (2003), Generating surface models of population using dasymetric mapping. *The Professional Geographer*, 55(1), 31-42.
- Mileu, N., Queirós, M., & Morgado, P. (2022). Mapping population distribution from open address data: application to mainland Portugal. *Journal of Maps*, 18(3), 585-593.
- Moos, N., Juergens, C., & Redecker, A. P. (2021). Geo-spatial analysis of population density and annual income to identify large-scale socio-demographic disparities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7), 432.
- Mossoux, S., Kervyn, M., Soulé, H., & Canters, F. (2018). Mapping population distribution from high resolution remotely sensed imagery in a data poor setting. *Remote Sensing*, 10(9), 1409.
- Mrozinski, R. D., Jr., and Cromley, R.G. (1999). Singly and doubly constrained methods of areal interpolation for vector-based GIS. *Transactions in GIS*, 3, 285-301.
- Pirowski, T., & Szypuła, B. (2024). Dasymetric Population Mapping Using Building Data. *Annals of the American Association of Geographers*, 1-19.
- Reibel, M. and Agrawal, A., (2007), Areal Interpolation of Population Counts Using Pre-classified Land Cover Data, *Population Research and Policy Review*, 26, 619–633, DOI 10.1007/s11113-007-9050-9
- Reibel, M., and Agrawal, A., (2005), Land use weighted areal interpolation. *Proceedings of the GIS Planet 2005 International Conference*, Estoril, Portugal.

- Saaty, T.L., (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Shahandeh, R. (2006). The effect of demographic factors on the process of destruction of natural resources (case study of Taleghan). Master's thesis. Department of Dry and mountainous areas revitalization. Faculty of Natural Resources. University of Tehran. (In persian).
- Silva, F. B., & Poelman, H. (2016). Mapping population density in functional urban areas. *In JRC Technical Reports*. European Commission.
- Sleeter, R. and Gould, M., (2007), *Geographic Information System Software to Remodel Population Data Using Dasymetric Mapping Methods*, USGS science for a changing world, 15 p.
- Slocum, T., McMaster, R., Kessler, F., Howard, H., (2009), *Thematic Cartography and Geovisualization*, Third Edn, pp. 85-86, Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Statistical Center of Iran. (2016). The results of the general population and housing census 2016. Selected tables. Population and household. Population to the level of settlements according to literacy. East Azerbaijan Province. (In persian).
- Validad, M. H., Mayvaneh, F., Entezari, A., Sabermoghaddam, A., Baaghideh, M., & Akbari, E. (2013). The Relationship of Climate Factors and Pterygium Disease; Comparative Study of the Cities of Mashhad and Zahedan, Iran. *Journal of Isfahan Medical School*, 31(257), 1690-1702. (In persian).
- Xiong, H., (2008), *Encyclopedia of GIS*, Springer, p 880.
- Xuegang, C., Zhaoping, Y., Xiaolei, Z., (2007), study on simulating spatial distribution and varying patterns of urumqi,s population, *Chinese journal of population, Resources and Environment*. 5(3), 31-36.
- Yang, K., Li, Y., Liu, Y. (2021). Spatial simulation of population in Shandong Province based on night-time imagery and land cover data. *In E3S Web of Conferences* (293, p. 02015). EDP Sciences.
- Zelinsky, W., (1970), *A Prologue to Population Geography*, Prentice-Hall.
- Zhao, G., & Yang, M. (2020). Urban Population Distribution Mapping with Multisource Geospatial Data Based on Zonal Strategy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), 654.

Simulating Potential Population Distribution by the Data Based Developed Dasymetric Method using Remote Sensing and GIS

Elahe Akbari¹ 

Department of Remote sensing and Geographic Information System, Faculty of Geography and Environmental sciences, Hakim sabzevari University, Sabzevar, Iran.

Abstract

Introduction: A clear understanding of population density and how members of a population are distributed across a specific region can help further approaches towards planning, spacing, and location for public services (health centers, police stations), as well as attaining a fit model for regional management that accounts for specific categories such as unforeseen incidents, planning and managing urban lands, traffic, among others. The distribution of population hence plays a major role in regional as well as local procedures of planning. In this regard, the Crouplet and Dasymetric approaches proposes the use of large polygons to represent homogenous clusters of population at the scale of local divisions. The approach also localizes in terms of using land-use/cover layers, i.e., land covers are represented separately and evaluated with identical weights. As so, the accuracy of final maps obtained via these methods somewhat diminishes at larger scales.

Materials and Methods: This study identifies five main factors influencing population distribution, including: land-use, distance from residencies, distance from rivers, distance from roads, and slope. These factors were incorporated into a model to work out the population distribution using data-based developed dasymetric method based on a combination of dasymetric and analytic hierarchy process (AHP) methods. Implementing the proposed model involved accounting for impacts (coefficients) of each of the five mentioned factors, in addition to empirical and computative priorities in terms of how populations were distributed in each auxiliary layer, rendered as raster maps with normalized values in each cell. Here, empirical priorities were employed based on previous knowledge of the study area in order to assign weights to each normalized layer using AHP, with the final result represented as population density maps obtained via implementing the population algorithm. Data used for these purposes were obtained for the cities of Kalybar and Khoda-Afarin counties located in Eastern Azerbaijan Province, northwestern Iran. The data included Sentinel-2 images of the study area, used for land-use mapping based on maximum likelihood classification for remote sensing images.

Results and Discussion: As indicated by an RMSE of 2.16, the obtained population distribution maps using data-based developed dasymetric method with realistic demographic data showed acceptable performance and a low error rate. Moreover, estimated populations presented in each Thiessen polygon were compared with reference data in order to find the difference between actual and estimated values. The computative error chart shows an average value of 0.024013 and a standard deviation of 2.160465. The most frequent ranges of error were from -0.5 to 0.8, pointing to an appropriate accuracy for the proposed model.

Conclusion: A main aspect of regional and urban management and design involves the use of population density as a key factor for identifying populations exposed to dangers in times of an epidemic or a crisis. Herein raster maps can be an alternative to discrete distributions of population that represent populations as ordered grids. As so, the method proposed in this study combines the Dasymetric and the AHP approaches as a novel approach for estimating population distributions that can be used for simulating spatial distribution of populations. Incorporating AHP allows for properly weighting each identified layer and obtaining the population distribution map for a given area. The obtained maps were evaluated and validated

in terms of RMSE. Features included in this study were more realistic in terms of representing the population density, thereby increasing the accuracy of obtained maps for the study region. The final distribution produced can be advantageous to procedures of urban planning, spatial analysis, growth-monitoring of residential regions, locating populations at specific distances, studies on environmental disasters, and finally, medicinal sciences.

Keywords: Population distribution map, Data-based developed dasymetric method, GIS, RS, Kalybar and Khoda-Afarin.

* (Corresponding Author) : e.akbari@hsu.ac.ir.