

تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری بر اساس مؤلفه‌های طبیعی سرزمین ایران

فاطمه نعمت‌اللهی - پژوهشگر پسادکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
محمدحسین رامشت* - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۲

چکیده

ادراک و تحلیل فضایی سکونتگاه‌های پهنه سرزمینی ایران در ایجاد و توسعه کانون‌های جمعیتی مؤثر است. ولیکن می‌توان از آن در کشف روابط فضایی و تهیه سند آمایش بنیادین سرزمینی و نقشه چشم‌انداز ژئو-دموگرافیک ایران استفاده کرد. در این پژوهش با هدف ادراک الگوی چینش فضایی به بررسی و آنالیز فضایی سکونتگاه‌های شهری با روش کمی - تحلیلی و مدل‌سازی، با استفاده از محیط برنامه‌نویسی و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته شده است. تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری ایران در این پژوهش با نگاه به مؤلفه‌های طبیعی از جمله ارتفاع، شیب، سطوح محدب و مقعر (انحنای زمین)، دمای سطح زمین، بارش، رطوبت نسبی، و همچنین فضای دموگرافیک شهری مورد توجه قرار گرفته و با تلفیق این مؤلفه‌ها مدل داده‌های رستری و مفاهیم جدیدی ابداع و تبیین شده است. پس از آستانه‌گذاری و کدگذاری مدل داده‌های رستری و پردازش داده‌ها، سیستم‌های شکل‌زای ترکیبی پهنه سرزمینی ایران استخراج و سپس چینش فضایی سکونتگاه‌های شهری در هر یک از سیستم‌ها و زیرسیستم‌های شکل‌زا تحلیل و بررسی شده است. نتایج نشان داده است که الگوها، نگاره‌ها، و چینش فضایی سکونتگاه‌های شهری در ایران در تعامل با سیستم‌های شکل‌زا بوده و آنالیز فضایی سرزمینی می‌تواند راهبردهای کلان نظام سکونتی در ایران را بر اساس شالوده‌های آمایش بنیادین بیان کند.

کلیدواژه‌ها: آمایش بنیادین، تحلیل فضایی، سرزمین ایران، سکونتگاه شهری، مؤلفه‌های طبیعی.

مقدمه

ادراک و شناخت انسان از محیط بر اساس رابطه دوسویه وی با محیط شکل می‌گیرد. به تعبیری دیگر، ادراک محیطی فرایندی ذهنی و عینی است که با برقراری رابطه تعاملی با محیط حاصل می‌شود (نقی‌زاده و استادی، ۱۳۹۳: ۱۱). مشخصه‌های جغرافیایی هر سرزمین می‌توانند در نوع ادراک و نحوه شناخت انسان از محیط تأثیرگذار باشند و به تعبیری فضاهای سرزمینی می‌توانند نوع ادراکات متفاوتی برای ساکنان خود ارائه دهند. فضایی که دارای نشانه‌های فیزیکی برجسته‌ای باشد قابلیت بیشتری برای تبدیل شدن به مکان دارد. دره، دامنه کوه، ساحل رودخانه، یا دریاچه و دریا فضاهای دارای پتانسیل تبدیل شدن به مکان هستند و سکونتگاه‌های کهن نیز عموماً در چنین محیط‌هایی شکل گرفته‌اند. در حالی که اگر فضا را گستره‌ای باز و انتزاعی ببینیم، مکان بخشی از فضاست که به وسیله چیزی یا انسان اشغال شده و دارای بار معنایی و ارزش است. تحلیل مکان جدای از تحلیل وجود انسان ممکن نیست، لذا فرایند مکان‌سازی منوط به وجود آدمی است (پرتوی، ۱۳۹۴: ۷۲).

در ایران محققانی به مطالعه و بررسی نقش عوامل طبیعی بر نحوه توزیع و استقرار سکونتگاه‌های شهری و روستایی پرداخته‌اند و با گزینش معیارها و شاخص‌های طبیعی، به‌عنوان عوامل مؤثر در چینش فضایی سکونتگاه‌ها، به روابط معناداری بین عوامل محیطی و توزیع سکونتگاه‌های روستایی و شهری پی برده‌اند. نادری مایوان (۱۳۹۴) با تأکید بر نقش و کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی شهری، استقرار، پیدایش، و تکامل شهرها را بیش از هر چیز تابع شرایط طبیعی و موقعیت جغرافیایی آن‌ها می‌داند. تقی‌لو و موسوی (۱۳۹۱) بدین نتایج دست یافته‌اند که عامل ارتفاع به‌عنوان یکی از عوامل ژئومورفولوژیکی در پراکندگی جمعیت شهری، تعداد شهرها، و در آمایش سکونتگاه‌های شهری حوزه مطالعاتی نقش مهم و مؤثری داشته است. ابراهیم‌زاده (۱۳۹۳) بدین موضوع اشاره می‌کند که هرچند توزیع نامتوازن جمعیت در فضای سرزمینی تا حدود زیادی به استعدادها بالقوه طبیعی و شرایط آب و هوا و به‌طور کلی عوامل درونی مناطق و نواحی مختلف مربوط می‌شود، عوامل آزادی یا بیرونی نیز در صورت‌بندی فوق‌بی‌تأثیر نبوده است. به تعبیری دیگر، عدم تعادل‌های کلی در ساختار فضایی کشور عمدتاً ناشی از عدم تعادل در برخورداری مناطق از منابع طبیعی و وجود عوارض طبیعی است، لیکن عدم تعادل‌های درونی در ساختار فضایی مناطق مختلف بیشتر بیانگر تأثیر رفتارهای اقتصادی-اجتماعی بر شکل‌گیری ساختار فضایی سرزمین ایران است. عباسی (۱۳۸۶) عوامل ژئومورفولوژیک را در طراحی نظام فضایی و شکل‌گیری شهرها مؤثر دانسته است. از این رو، برای این مهم به مطالعه واحدهای ناهمواری و انواع شهرها پرداخته که بیانگر نقش عوامل ژئومورفولوژیک در سطوح آمایش شهری است. عقیفی (۱۳۹۶) به بررسی و ارزیابی استقرار سکونتگاه‌های شهری و روستایی در ارتباط با عوامل طبیعی همچون شیب، گسل، خاک، اقلیم، هیدرولوژی، و زمین‌شناسی پرداخته و با استفاده از مدل AHP نسبت به پهنه‌بندی محدوده مطالعاتی اقدام کرده است. نتایج تحقیق وی نشان داده که ۷۳ درصد سکونتگاه‌ها در پهنه‌های مناسبی استقرار یافته‌اند. رهنمایی (۱۳۹۳) برای دستیابی به رابطه نزدیک میان عامل ناهمواری و توسعه مراکز شهری در ایران اطلاعات پایه‌ای موجود از شرایط ارتفاعی شهرها و بعد جمعیتی آن‌ها در مقاطع آماری سال‌های ۱۳۳۵، ۱۳۴۵، ۱۳۵۵، و ۱۳۶۵ را بررسی کرده است. نتایج حاصل نشان داده است که میان عامل ارتفاع و توسعه مراکز شهری ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و در همه این دوره‌های آماری بیش از ۶۰ درصد شهرهای ایران در موقعیت ارتفاعی ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر واقع شده‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل موران، نحوه توزیع فضایی جمعیت و سکونتگاه‌های شهری استان آذربایجان غربی را نسبت به متغیرهای طبیعی بررسی کرده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده است که آب و هوا و دسترسی به منابع آب بیشترین تأثیر را در پراکندگی جمعیت شهری استان داشته‌اند.

همچنین، در زمینه پهنه‌بندی زمین‌ریختی- اقلیمی ایران بر اساس روش‌ها و دیدگاه‌های مختلف، پژوهشگران پهنه‌بندی‌های گوناگونی ارائه کرده‌اند. اما بیشتر این طبقه‌بندی‌ها تابع مرزهای اقلیمی ارتفاعی موجود کشور بوده و کمتر به نقش آستانه‌های فرم‌زایی اقلیمی در این پهنه‌بندی‌ها توجه شده است. در یکی از پهنه‌بندی‌های زمین‌ریختی- اقلیمی، بر اساس ویژگی‌های فرم‌شناختی و سیستم‌های ارضی، پهنه سرزمینی ایران به چهار سیستم شکل‌زای اقلیمی تقسیم شده است که عبارت است از سیستم شکل‌زای برودتی، سیستم شکل‌زای حرارتی، سیستم شکل‌زای رطوبتی- حرارتی، و سیستم شکل‌زای رطوبتی. به‌طور کلی، این طبقه‌بندی بر اساس دو عامل دما و رطوبت استوار شده است (عباسی، ۱۳۸۷: ۲۵).

واحدهای ژئومورفیک ایران بر اساس مطالعات فتوحی (۱۳۸۶) نیز به ۱۶ واحد یا منطقه شکل‌شناسی تحت عناوین سطوح مستوی شیب‌دار، سطوح مستوی پلکانی، سطوح مقعر آبرفتی، سطوح مقعر ریگی، سطوح نمکی مستوی، سطوح محدب منشور، سطوح محدب ناپایدار، سطوح مرتفع، سطوح مستوی تک‌شیب، سطوح مستوی خردشده، سطوح مستوی ریزبافت، سطوح آکاردئونی معکوس، سطوح آکاردئونی موافق، سطوح صفر، سطوح محدب فرسوده، و سطوح محدب مرتفع ناهموار تقسیم شده است.

اگر بخواهیم فراتر از نگاه‌های متداول به آمایش سرزمین بنگریم، بدون تردید ایده‌هایی بدیع و متفاوت از گذشته در این حوزه باید مطرح شود. بدیهی است با تغییر در حوزه معرفتی این دانش نیز باید انتظار این را داشت که هم در متدولوژی هم در مفاهیم و واژگان این تفاوت‌ها خود را نشان دهد. بنابراین، پژوهش حاضر به دنبال ادراک چینه‌های سکونتگاهی در ارتباط با مؤلفه‌های طبیعی است. از این رو، با اتکا به مفاهیمی بنیادین و نو، گام‌هایی در راستای کمی‌سازی، مدل‌سازی، و استفاده از ابزارها و الگوریتم‌ها برداشته شده است تا از نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات آمایش بنیادین استفاده شود.

مبانی نظری

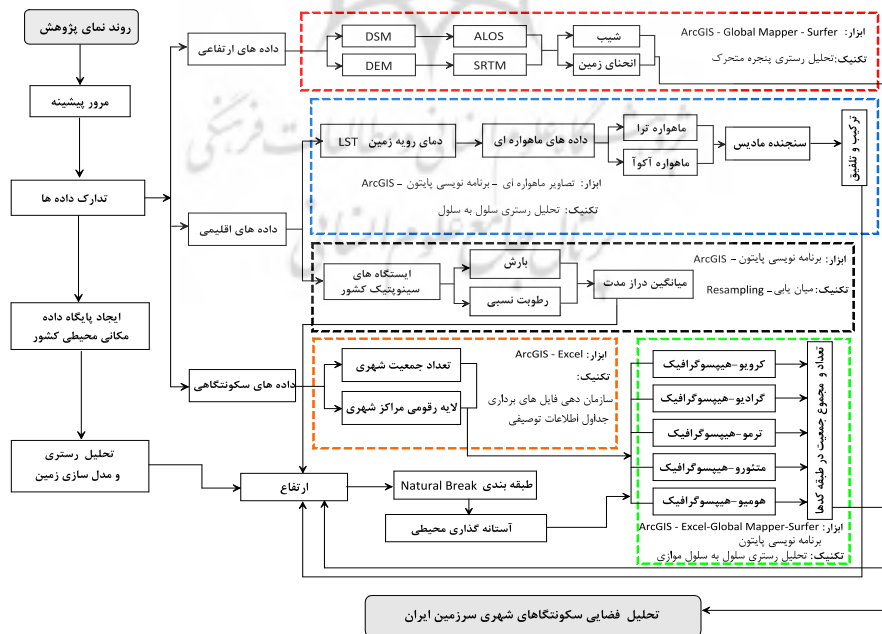
چیدمان فضا بنیان فهم پیکربندی و تحلیل سازمندی‌های محیطی است. چیدمان فضا مجموعه‌ای از روش‌ها و تئوری‌هایی است که به مطالعه پیکربندی فضا^۱ می‌پردازد (هیلیر و هانسن، ۱۹۸۴). اگر چشم‌اندازهای محیطی را یک متن تلقی کنیم، نحو فضا تلاشی است در بیان وضعیت پیکربندی یا ساختاری که عناصر یک چشم‌انداز را به هم پیوند می‌زند و مفهوم و معنایی اجتماعی یا فرهنگی را تجلی می‌دهد. به عبارت دیگر، هدف نحو فضا شرح چگونگی آرایش مکان‌ها و مفصل‌بندی و پیوستگی اجزای آن‌هاست (مونتلو، ۲۰۰۷: ۵). اصطلاح نحو یا چیدمان فضا مشتمل بر نظریه‌ها و روش‌هایی است که بیل هیلیر^۲ و جولیان هانسن^۳ در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی در لندن مطرح کردند. این مفهوم توسط افرادی چون پتر هاگت^۴، دیوید هاروی^۵، و تحقیقات جامعه‌شناسان مانند وبر^۶، لوفور^۷، و مانوئل کاستلز^۸ تبیین شده و در مورد تأثیرات متقابل فرم‌ها و فرایندها بیش از پیش موضوع رابطه میان فرایندها و فرم‌های فضایی مورد توجه قرار گرفته است. روش‌های تحلیل فضایی متنوعی ابداع شده است که یکی از آن‌ها تحلیل چیدمان فضا است. ایده کلی در این نظریه

1. Space Configuration
2. Bill Hillier
3. Julian Hansen
4. Peter Hagget
5. David Harvey
6. Max Weber
7. Henri Lefebvre
8. Manuel Castells

و روش عبارت است از امکان تجزیه فضا به عناصر تشکیل‌دهنده و تحلیل آن در شبکه‌ای از متن جغرافیایی که بیان‌کننده روابط و انسجام این فضاهاست. یکی از مبانی روش چیدمان فضا وجود رابطه‌ای دوطرفه میان فضا و الگوهای اجتماعی- فرهنگی است که این روش با کاربرد مفهوم ترکیب در فضاهای سکونتگاهی به دنبال کشف آن است. در این معنا چیدمان سکونتگاه‌ها را می‌توان تبلور عینی زمینه‌های تاریخ طبیعی یعنی هویت مکانی و هویت اجتماعی و فرهنگی و ... دانست. منطق چیدمان فضا^۱ برگرفته از بار مفهومی است که برای فضا و نحو آن قائل می‌شوند. به عبارت دیگر، بسیاری بر آن‌اند که چیدمان در فضا از قواعد و اصول نانوشته خاصی تبعیت می‌کند که دارای منطق قابل تعریف و شناسایی است. درست مانند دستور زبان که اگرچه هیچ مادری برای یاد دادن آن به فرزند خود ممکن است نه از قواعد دستوری آگاه باشد و نه هرگز آن را تعلیم دهد، بلکه چیدمان واژگان با کارکردهای مختلف کنار یکدیگر مفاهیم و ارتباط بین آن‌ها را شکل می‌دهد، اما یک ادیب با واکاو جملات منطق و اصول دستوری را کشف و قواعد آن را بازشناسی می‌کند. در فضا نیز چیدمان‌های خودساخته دارای منطق خاصی هستند که بازشناسی آن می‌تواند بسیاری از روابط بین انسان‌ها را در فضای غیرملموس برملا کند. اشغال فضا توسط انسان‌ها نیز از چنین منطقی برخوردار است و اگرچه بعضاً هرگز به آن فکر نشده، ولی رفتارها و تصمیمات ما در پیروی از چنین قواعدی سبب شکل‌گیری فضا شده است. هنر و مهارت کشف منطق چیدمان فضا این امکان را برای ما فراهم می‌آورد که بتوانیم فضاهایی با چیدمان فاخر تدارک کنیم. در این پژوهش با اتکا به تئوری چیدمان فضا و با هدف ادراک سرزمینی^۲ و کشف قاعده‌مندی‌هایی در شکل‌گیری سازماندهی‌های سکونتگاهی ایران به بررسی و آنالیز الگوی چیدمان فضایی سکونتگاه‌های شهری پرداخته شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش با طرح رویکرد آمایش بنیادین و روش کمی- تحلیلی، به تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری بر اساس مؤلفه‌های طبیعی مبادرت شده است. از این رو، به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق فرایند زیر طراحی شد (شکل ۱):



شکل ۱. روند نمای پژوهش

1. Space Syntax Logic
2. Land cognition

گام اول: تعیین و شناخت فضای گستره سرزمینی ایران و فهم موضوع.

گام دوم: مطالعه منابع کتابخانه‌ای، مطالعات و بررسی‌های اولیه از طریق کتاب‌شناسی موضوعی، بررسی منابع کتابخانه‌ای و مقالات، و بهره‌مندی از منابع اینترنتی انجام گرفته است.

گام سوم: تدارک پایگاه داده. گردآوری داده‌ها در چارچوب طرح پژوهش از منابع اطلاعاتی به شرح زیر انجام شده که در سه دسته قرار گرفته است: داده‌های ارتفاعی، داده‌های اقلیمی، و داده‌های سکونتگاهی و جمعیتی.

برای آماده‌سازی داده‌های ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی^۱ با قدرت تفکیک ۳۰ و ۹۰ متر و مدل رقومی سطح^۲ با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شده است. یک مدل رقومی ارتفاع بخش مهم و جدایی‌ناپذیر بسیاری از تحقیقات مکان‌محور است و پژوهشگران بسیاری از علوم همچون ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، مطالعات شهری، باستان‌شناسی و ... را قادر می‌سازند تا مطالعاتی در زمینه پایش محیط در سطح جهانی، منطقه‌ای، و محلی انجام دهند. مدل رقومی ارتفاعی SRTM^۳ فرآورده مشترک سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا^۴، آژانس ملی اطلاعات مکانی^۵، و مؤسسه فضانوردی آلمان و ایتالیا است و در مقیاس جهانی از ۵۶ درجه عرض جنوبی تا ۶۰ درجه عرض شمالی تهیه شده است (نیکلاکوپولوس و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۸۲۰). این داده‌ها با دو نوع قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و ۹۰ متری ارائه شده است و به‌صورت محصولی رایگان در دسترس قرار دارد^۶. ALOS^۷ نیز یک مدل رقومی سطح با قدرت تفکیک ۳۰ متر است که توسط آژانس اکتشافات فضایی ژاپن^۸ و در مقیاس جهانی از ۸۰ درجه عرض جنوبی تا ۸۰ درجه عرض شمالی تهیه شده (تادونو و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۵۷) و در دسترس عموم قرار گرفته است^۹. در شبکه‌بندی اصلی این مدل، سطح جهان در فریم‌های ۵×۵ درجه‌ای تقسیم و هر کدام از فریم‌های ۵×۵ نیز به تقسیمات کوچک‌تر ۱×۱ درجه‌ای تقسیم شده‌اند (مرکز تحقیقات رصد زمین^{۱۰} و آژانس اکتشافات فضایی ژاپن، ۲۰۱۸: ۲).

در این پژوهش از داده‌های یادشده برای تهیه لایه‌های ارتفاع، شیب، و انحنای زمین به‌عنوان مؤلفه‌های ژئومورفیک استفاده شده و تکنیک به‌کاررفته در آن‌ها تکنیک رستری پنجره متحرک است.

یکی از پارامترهایی که میزان واگرایی و همگرایی سطوح را در جهات مختلف تعیین می‌کند انحنای زمین است (صلحی و سیف، ۱۳۹۷: ۶۲۱). در این پژوهش از بین مدل‌های مختلف محاسبه انحنای پلان^{۱۱} (انحنای مسطحاتی) برای محاسبه انحنای زمین استفاده و تحدب و تقعر سطوح تعیین شده است. انحنای پلان از رابطه ۱ (هنگل و روتر، ۲۰۰۸: ۱۵۱) به‌دست آمده است:

$$\text{Plan C} = -\frac{q^2.r - 2p.q.s + p^2.t}{\sqrt{(1+p^2+q^2)^3}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیر q ، p ، t ، s ، r در ساختار پردازش رستری با پنجره متحرک در ابعاد ۳ در ۳ سطر و ستون (شکل ۲) (رانا، ۲۰۰۶:

۸۹۲) با رابطه‌های زیر به‌دست آمده است (رابطه ۲) (هنگل و روتر، ۲۰۰۸: ۱۴۶-۱۵۱).

1. Digital Elevation Model (DEM)
2. Digital Surface Model (DSM)
3. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
4. National Aeronautics and Space Administration (NASA)
5. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)
6. <https://earthexplorer.usgs.gov>
7. Advanced Land Observing Satellite
8. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
9. <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>
10. Earth Observation Research Center (EORC)
11. Plan Curvature

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

شکل ۲. پنجره متحرک پردازش رستری انحنای زمین با ابعاد ۳×۳

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad S = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$r = \frac{z_1 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9 - 2 \times (z_2 + z_5 + z_8)}{3 \cdot \Delta s^2}$$

$$s = \frac{z_3 + z_7 - z_1 - z_9}{4 \cdot \Delta s^2}$$

$$t = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2 \times (z_4 + z_5 + z_6)}{3 \cdot \Delta s^2}$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6 \cdot \Delta s}$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6 \cdot \Delta s}$$

روش‌های متعددی نیز برای محاسبه شیب و تهیه لایه رستری شیب وجود دارد. شکل ۳ یک پنجره ۳×۳ سطر و ستون را نشان می‌دهد. در این بخش برای برآورد مقدار شیب سلول مرکزی (سلول دارای ارتفاع Z_0) از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$Slope = \tan \alpha = \sqrt{Slope_{Row}^2 + Slope_{Col}^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول $Slope_{Row}$ و $Slope_{Col}$ به ترتیب مقادیر شیب در جهات سطر و ستون هستند. اگر سطر به صورت غرب به شرق باشد، طبیعتاً شیب غرب به شرق $Slope_{Row}$ در نظر گرفته می‌شود و به طور مشابه شیب شمال به جنوب هم به معنی $Slope_{Col}$ خواهد بود (لی و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۷۲).

Z_5	Z_2	Z_6
Z_1	Z_0	Z_3
Z_8	Z_4	Z_7

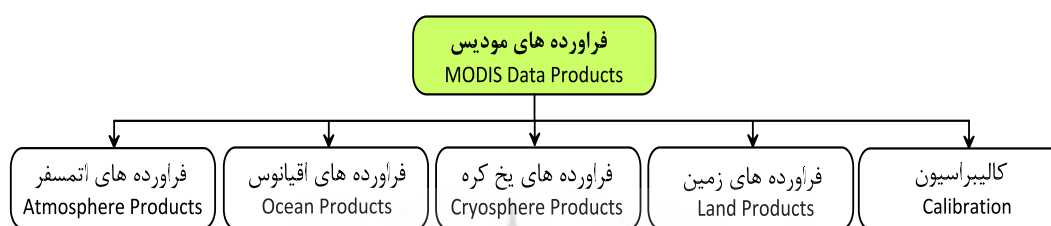
شکل ۳. پنجره متحرک پردازش رستری و محاسبه شیب با ابعاد ۳×۳

روش‌هایی برای محاسبه شیب در این دو جهت ارائه شده است؛ در این پژوهش از روش هورن استفاده شده است (رابطه‌های ۴ و ۵). متغیر d در این فرمول‌ها اندازه سلول یا پیکسل سائز است (هورن، ۱۹۸۱).

$$Slope_{we} = \frac{(z_7 + 2z_3 + z_6) - (z_8 + 2z_1 + z_5)}{8 \times d} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Slope_{sn} = \frac{(z_6 + 2z_2 + z_5) - (z_7 + 2z_4 + z_8)}{8 \times d} \quad \text{رابطه (۵)}$$

از بین عناصر متعدد اقلیمی، پارامتر دما، بارش، و رطوبت نسبی به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در این پژوهش استفاده شده‌اند. دمای هوا، که معمولاً در فاصله ۲ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود، یک متغیر کلیدی در مطالعات محیطی است. در تحقیقات بسیاری، از داده‌های دمای سطح زمین^۱ سنجنده مادیس^۲ برای تخمین دمای هوا استفاده می‌شود. سنجنده مادیس بر روی دو ماهواره تراس^۳ و آکوآ^۴ از سال ۱۹۹۹ وظیفه پایش زمین را برعهده دارد و در طی این سال‌ها فرآورده‌های مختلفی را تهیه کرده و در اختیار محققان قرار داده است. محصولات مادیس در یک شبکه سینوسی جهانی با قدرت تفکیک ۲۵۰ متری، ۵۰۰ متری، و ۱ کیلومتری تعریف شده‌اند (گیگلو و همکاران، ۲۰۱۶: ۶). سنجنده مادیس در پنج دسته داده برداشت می‌کند که شامل فرآورده‌های کالیبراسیون، داده‌های اتمسفری، داده‌های زمینی، داده‌های برف و یخ، و داده‌های اقیانوس است^۵ (شکل ۴).



شکل ۴. فرآورده‌های MODIS

محصولات کالیبراسیون شامل پیش‌پردازش اولیه برای سایر محصولات به‌منظور کالیبره و ژئولوکید^۶ کردن تصاویر است. محصولات اتمسفر پایش ضخامت آئروسول‌ها بر روی اقیانوس‌ها و کل قاره‌ها، تعیین خواص فیزیکی و تابشی ابر و ... را شامل می‌شود. محصولات زمین شامل برآورد انعکاس طیفی سطح برای هر باند، برآورد توان تشعشعی و درجه حرارت سطح زمین و محصولات اقیانوسی شامل توان انگستروم، ضخامت نوری آئروسول، کلروفیل، کربن ذرات معدنی، کربن ذرات آلی، کیفیت دمای سطح دریا، و ... است و درنهایت محصولات یخ کره شامل برآورد پوشش برف و پوشش یخ دریا است (سازمان فضایی ایران، ۲۰۱۶: ۷).

از بین محصولات ذکر شده یکی از مهم‌ترین فرآورده‌هایی که می‌توان در مطالعات محیطی از آن استفاده کرد فرآورده دمای سطح زمین است که در دسته اصلی فرآورده‌های زمین قرار دارد. این فرآورده با شناسه MOD11 برای ماهواره تراس و MYD11 برای ماهواره آکوآ از سایت Earth data – NASA^۸ قابل دسترسی است.

ماهواره آکوآ و تراداده‌های فرآورده دمای سطح زمین را به‌صورت روزانه، ماهانه، و میانگین ۸ روزه در پیکسل سایزهای مختلف در ۶ گروه قرار داده است. داده‌های مرتبط با این فرآورده به‌صورت پوشش جهانی با فرمت رستری Hdf در دسترس است و دارای مقادیر عددی برای هر یاخته یا سلول هستند. در این پژوهش از فرآورده ششم ماهواره تراس موسوم به MOD11C3 نسخه 006 و تفکیک فضایی ۰/۰۵ درجه و دوره زمانی ماهانه استفاده شده است^۹.

1. Land Surface Temperature (LST)
2. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
3. Terra
4. Aqua
5. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>
6. Geolocation
7. https://isa.ir/content/294-آرشیو-تصاویر-ماهواره-ای-294-AQUA-TERRA_YW_SLASH_MODIS
8. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>
9. MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006

این داده‌ها قابلیت استفاده و پردازش در نرم‌افزارهای سنجش از دور، ArcGIS و محیط‌های برنامه‌نویسی را دارند. در این بخش از پژوهش، برای تحلیل داده‌ها از تکنیک آنالیز رستری سلول به سلول در محیط برنامه‌نویسی استفاده و نقشه‌ها در محیط ArcMap تهیه شده است.

همچنین، در این پژوهش، از پایگاه داده اقلیمی شامل داده‌های بارش و رطوبت نسبی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور استفاده شده است. برای تحلیل مکانی وضعیت بارش و رطوبت نسبی در فضای سرزمینی ایران ایستگاه‌های سینوپتیک ایران واکاوی شده است. روش‌های میان‌یابی^۱ Kriging و IDW روش‌های انتخابی برای این تحلیل بودند. با توجه به اینکه مقیاس زمانی و مکانی پایگاه‌های داده با توان تفکیک متفاوت است، برای یکسان‌سازی تفکیک مکانی، ریزمقیاس کردن بهترین راهکار تشخیص داده شده و از تکنیک‌های مرسوم Resampling برای همسان‌سازی داده‌ها استفاده شده است.

از موارد تکمیل‌کننده پایگاه داده داده‌های رقومی مراکز شهری تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و داده‌های جمعیتی مرکز آمار ایران است. در این گام، از داده‌های آماری مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) و کامل‌ترین لیست شهرهای ایران به تفکیک استان‌ها^۲، مراکز شهری به‌عنوان مؤلفه‌های دموگرافیک استخراج و موقعیت مکانی و جمعیت آن‌ها معین شده است. در این راستا داده‌های توصیفی- جمعیتی به داده‌های مکانی متصل^۳ و مکانمند و اتصال فضایی^۴ برقرار شد. سازمان‌دهی این لایه‌ها در جدول اطلاعات توصیفی سامانه اطلاعات جغرافیایی و محیط نرم‌افزار Excel انجام گرفته است.

گام چهارم: تحلیل رستری، مدل‌سازی زمین، و طبقه‌بندی و آستانه‌گذاری محیطی

طبقه‌بندی یکی از مهم‌ترین مراحل فرایند پردازش تصاویر ماهواره‌ای و یا مدل داده‌های رستری است که برآیند آن تولید نقشه‌های موضوعی است. فرایندهای اصلی در طبقه‌بندی با هدف تشخیص و یافتن الگوهای معنی‌دار در داده‌هاست که می‌توان آن‌ها را از طریق عملیات طبقه‌بندی نرم‌افزاری تفکیک و استخراج کرد. تا به حال روش‌های طبقه‌بندی مختلفی در دنیای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی معرفی شده‌اند که هر کدام شیوه‌ای را برای طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج دقیق‌تر عوارض به‌کار گرفته‌اند. هر یک از این روش‌ها معمولاً یک منطق کلی و یک سری فرضیات اساسی و پایدار را در نظر گرفته و بر مبنای آن‌ها الگوریتم خود را توسعه داده‌اند. روش‌های طبقه‌بندی را به‌طور مرسوم به دو دسته طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده^۵ و نظارت‌نشده^۶ تقسیم کرده‌اند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹: ۱۹۳). در این پژوهش از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده استفاده شده است. طبقه‌بندی نظارت‌نشده یکی از انواع طبقه‌بندی‌های پیکسل پایه است. در این روش نخست ارزش‌های آماری طیفی مربوط به پیکسل‌های موجود در مدل داده رستری مشتق می‌شود. سپس، همه پیکسل‌ها بر اساس تعریف آستانه‌های مشخص و با استناد بر توابع ریاضی معین تفکیک و تحت کلاس‌های مختلف ذخیره می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷: ۱۷۴). الگوریتم‌های زیادی وجود دارند که گروه‌بندی طیفی را در مجموعه‌ای از داده‌ها انجام می‌دهند؛ در این گام برای آستانه‌گذاری محیطی از الگوریتم بهینه‌شده شکست‌های طبیعی^۷،

1. Interpolation Methods

2. <https://exceliran.com/iran-cities-database/>

3. join

4. اتصال داده‌های توصیفی (آماری) به داده‌های جغرافیایی (مکانی) Spatial Join.

5. Supervised Classification

6. Unsupervised Classification

7. Natural Breaks (Jenks)

که جنکز^۱ آن را ارائه کرده، استفاده شده است. این متد یکی از هفت روش طبقه‌بندی عوارض در سامانه اطلاعات جغرافیایی است که بر اساس توزیع نرمال داده‌ها انجام می‌شود و نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید. به تعبیر دیگر، حد آستانه هر کلاس یا طبقه تعیین‌کننده این حالت است که عوارض این گروه بیشترین شباهت را دارند و از طرفی کلاس‌ها نیز بیشترین تفاوت را با یکدیگر نشان می‌دهند. در واقع، این روش به دنبال این است که انحراف متوسط درون یک کلاس را پایین بیاورد، اما انحراف معیار بین کلاس‌ها را بالا ببرد^۲ (هاوارد و همکاران، ۲۰۰۸: ۷۲).

یک لایه رستری با توجه به قدرت تفکیک آن از تعدادی پیکسل‌های یک اندازه تشکیل شده است که هر یک از آن‌ها دارای ارزش عددی مختص به خود هستند. از این رو، در این پژوهش برای لایه‌های رستری مؤلفه‌های ارتفاعی، شیب، انحنای زمین، دما، بارش، و رطوبت نسبی چهار کلاس تعریف شده است. پس از تعیین تعداد کلاس‌ها، نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم محاسباتی جنکز چهار آستانه تعیین کرد و در نهایت لایه‌های رستری ارتفاع، شیب، انحنای زمین، دما، بارش، و رطوبت نسبی استخراج شد. براساس تعداد طبقات و آستانه‌های تعیین‌شده، الگوهای نیز طراحی شد که محور X آن نشان‌دهنده ارتفاع و محور Y شیب، انحنای زمین، دما، بارش، و رطوبت نسبی است. سپس به هر سلول ارزشی اختصاص داده شد و در نهایت به هر ارزش نیز یک کد تعلق گرفت. شکل‌های ۵ تا ۹ راهنما و ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی بر مبنای مؤلفه‌های طبیعی را که در این پژوهش بررسی شد نمایش می‌دهند.

به دلیل اهمیت ارتفاع و نقش ناهمواری‌ها در استقرار و تکوین کانون‌های شهری در ایران، ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل در محور X و سایر مؤلفه‌ها به‌عنوان متغیرهای وابسته در محور Y قرار گرفتند.



شکل ۵ و ۶. ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی بر اساس مؤلفه‌های محیطی ارتفاع- انحنای زمین و ارتفاع- شیب

1. Jenks

2. http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Jenks_Natural_Breaks_Classification



شکل ۷ و ۸. ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی بر اساس مؤلفه‌های محیطی ارتفاع- دما و ارتفاع- بارش



شکل ۹. ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی بر اساس مؤلفه‌های محیطی ارتفاع- رطوبت نسبی

پس از آستانه‌گذاری و کدگذاری مدل داده‌های رستری، روابط فضایی بین لایه‌ها از طریق کدنویسی در زبان برنامه‌نویسی پایتون پردازش و سیستم‌های شکل‌زای ترکیبی^۱ پهنه سرزمینی ایران استخراج شده است.

گام پنجم: برآورد تعداد و مجموع جمعیت شهری در طبقه- کدها و ارائه مدل‌های نوین و الگوهای گرافیکی در زمینه تحلیل فضا و آنالیز الگوی چینش فضایی سکونتگاه‌های شهری سرزمین ایران.

بحث و یافته‌ها

فهم چینش فضایی سکونتگاه‌ها و قواعد حاکم بر آن و همچنین تبیین الگوی ساختار فضایی سرزمینی از جمله اهداف راهبردی این پژوهش تعریف شده است و برای آنکه چنین مقصودی حاصل شود، با شناسایی و تعیین شاخص‌های مؤثر در ادراک فضا، فضای ژئودموگرافیک سرزمینی ایران مفهوم‌سازی و مدل‌سازی شده است.

به منظور شناخت و تحلیل فضا، عناصر ژئومورفیک همچون ارتفاع، شیب، انحنای زمین و پارامترهای اقلیمی دما، بارش و رطوبت نسبی به عنوان مؤلفه‌های محیطی برگزیده و چینش فضایی سکونتگاه‌های شهری ایران در ارتباط با این عناصر تحلیل شده است.

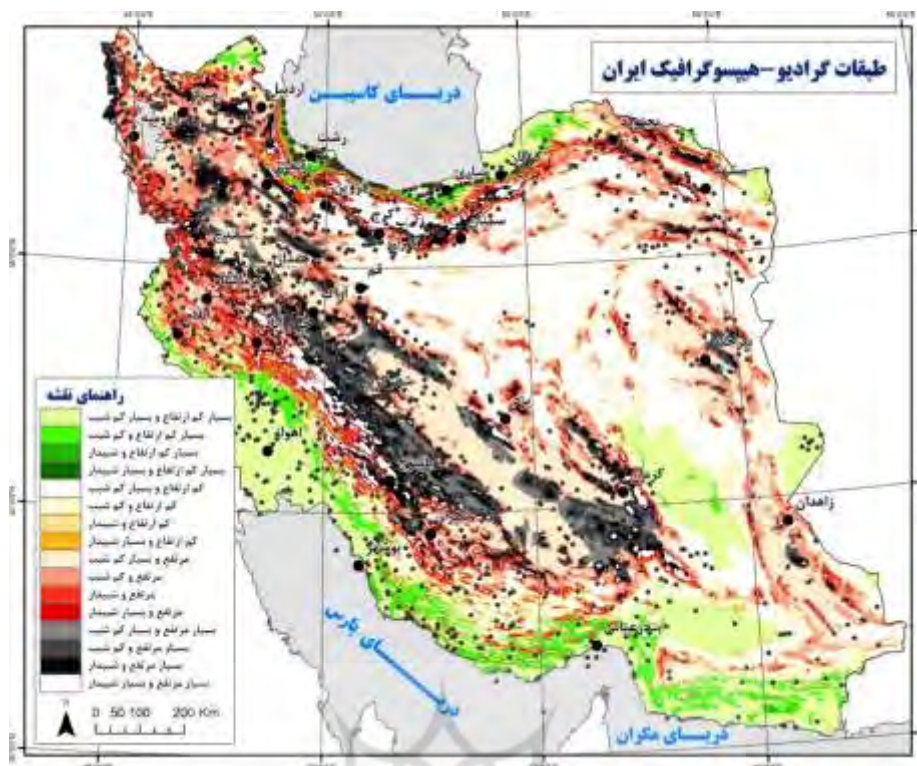
از نظر موقعیت مکانی و جغرافیایی، سرزمین ایران در جنوب منطقه معتدله نیمکره شمالی واقع شده که در حیطه گسترش بیابان‌های کره زمین جای گرفته و موقعیت جنب حاره‌ای را به خود اختصاص داده است. این گستره در جنوب غرب آسیا با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع در فاصله مختصاتی 25° تا 39° عرض شمالی و 44° تا 63° طول شرقی قرار گرفته است. پیکره سرزمینی ایران بخشی از سرزمین کوهستانی و مرتفعی است که فلات ایران نام دارد. ارتفاعات و چشم‌انداز کوهستانی و تفاوت‌های ارتفاعی این پیکره از بارزترین ویژگی‌های سرزمینی است که دامنه تأثیرگذاری آن نه تنها از لحاظ طبیعی بلکه از منظر فضای زیستی قابل توجه است و موجب تنوع و افتراق‌های محیطی متعددی شده است. از این رو، به دلیل اهمیت ارتفاع و تنوع ارتفاعی، که عامل اصلی ظهور و تکوین سیستم‌های بزرگ شکل‌زایی در سرزمین ایران است، در این پژوهش ارتفاع به عنوان متغیر مستقل و سایر مؤلفه‌ها (شیب، انحنای زمین، دما، بارش، و رطوبت نسبی) به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده و پهنه سرزمینی ایران بر اساس هر یک از این ویژگی‌های محیطی به چهار کلاس یا سیستم اصلی تقسیم شده است. همان‌گونه که در بخش روش پژوهش بدان پرداختیم، در این طبقه‌بندی، آستانه‌گذاری محیطی بر اساس الگوریتم بهینه‌شده شکست‌های طبیعی انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. آستانه‌ها بر مبنای روش شکست‌های طبیعی

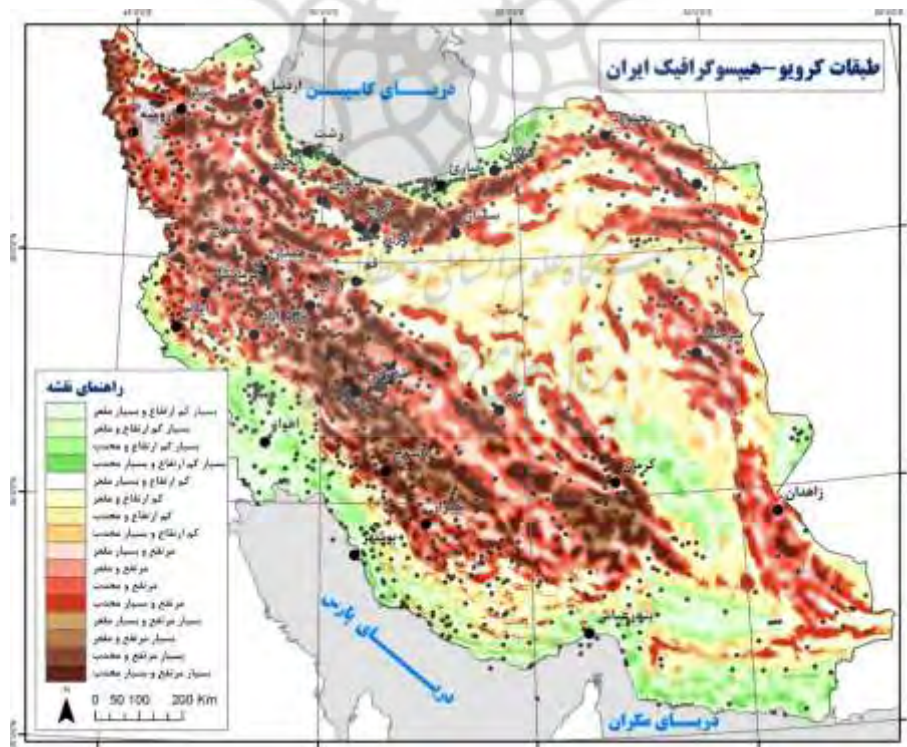
کلاس	ارتفاع (متر)	شیب (درجه)	انحنای زمین (بین 0 تا 100)	دما (درجه سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)
۱	۵۸۷ - ۲۷	۰ - ۲/۴۸	۰ - ۴۰/۰۳۶	-۱۴/۷۴ - ۱/۲۲	۳۱ - ۱۳۴	۲۵/۵ - ۳۹/۱
۲	۱۲۵۹ - ۵۸۸	۲/۴۸ - ۵/۹۵	۴۰/۰۳۶ - ۴۸/۳۳۹	۱۴/۷۴ - ۱۵/۱۵	۱۳۴ - ۲۵۱	۳۹/۱ - ۴۹/۴۲
۳	۱۹۷۳ - ۱۲۶۰	۵/۹۵ - ۱۰/۸۱	۴۸/۳۳۹ - ۵۶/۹۳۹	۱۵/۱۵ - ۱۵/۵۶	۲۵۱ - ۴۲۶	۴۹/۴۲ - ۶۱/۳۸
۴	۱۹۷۴ - ۵۶۱۰	۱۰/۸۱ - ۲۵/۳۱	۵۶/۹۳۹ - ۷۵/۶۲۱	۱۵/۵۶ - ۱۶/۱۸	۴۲۶ - ۹۰۸	۶۱/۳۸ - ۸۵/۰۶

در نهایت، طبقه‌بندی‌ها بر اساس عوامل ارتفاع-شیب، ارتفاع-انحنای زمین، ارتفاع-دما، ارتفاع-بارش، و ارتفاع-رطوبت نسبی به طور ترکیبی هر کدام به ۱۶ زیرسیستم تقسیم شد. هر کدام از این ۱۶ زیرسیستم در هر طبقه‌بندی از نظر ساختار ژئومورفیک دارای تفاوت‌های آشکاری با یکدیگرند و هر یک وسعتی از فضای سرزمینی را به خود اختصاص داده‌اند. نتیجه نهایی این تحلیل فضایی تدارک سیستم‌ها و زیرسیستم‌های شکل‌زایی با ویژگی‌های ژئومورفیک مشخص، در پهنه سرزمینی ایران و تهیه نقشه‌ها و مدل‌های گرافیکی کروئو-هیپسوگرافیک^۱ (انحنای زمین-ارتفاع)، گرادئو-هیپسوگرافیک^۲ (شیب-ارتفاع)، ترمو-هیپسوگرافیک^۳ (دما-ارتفاع)، متئورو-هیپسوگرافیک^۴ (بارش-ارتفاع)، و هومیو-هیپسوگرافیک^۵ (رطوبت نسبی-ارتفاع) است. شکل‌های ۱۰ تا ۱۴ نشان می‌دهد که به ازای هر مؤلفه محیطی و ارتفاع ۱۶ زیرسیستم استخراج شده است. سازمان‌دهی و ارزش‌گذاری آن‌ها در راهنمای هر کدام از نقشه‌ها ذکر شده است.

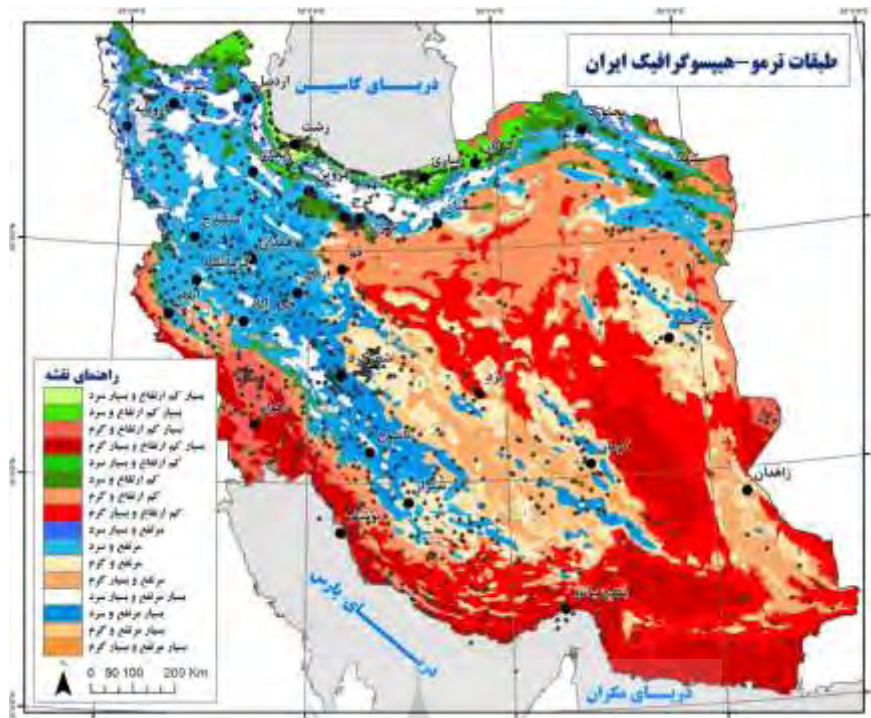
1. Gradio-Hypsographic
2. Curveo-Hypsographic
3. Thermo-Hypsographic
4. Meteoro-Hypsographic
5. Humio-Hypsographic



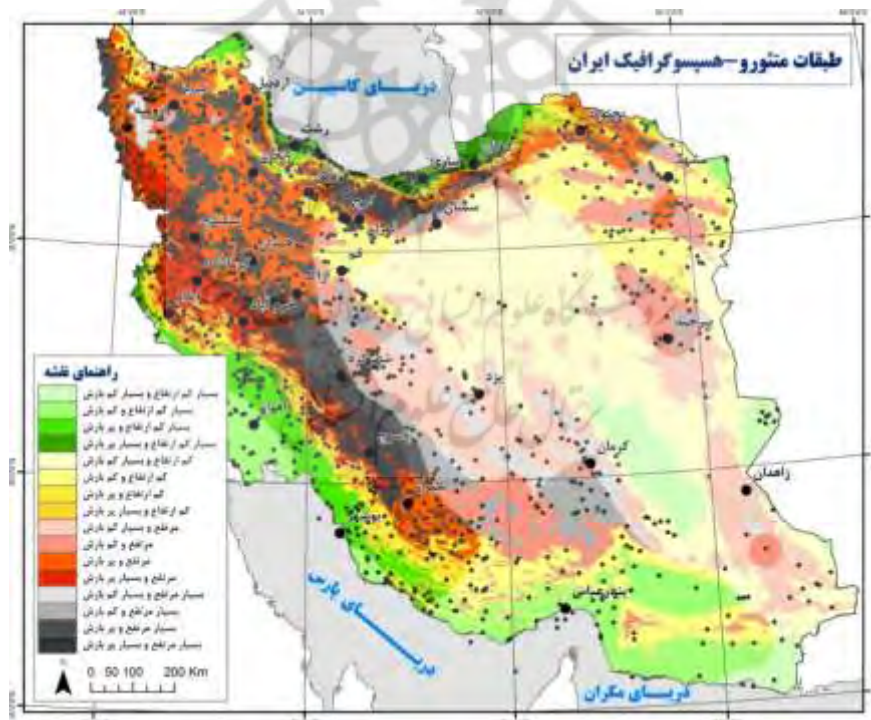
شکل ۱۰. نقشه سیستم‌های شکل‌زایی بر مبنای مؤلفه‌های ارتفاع - شیب



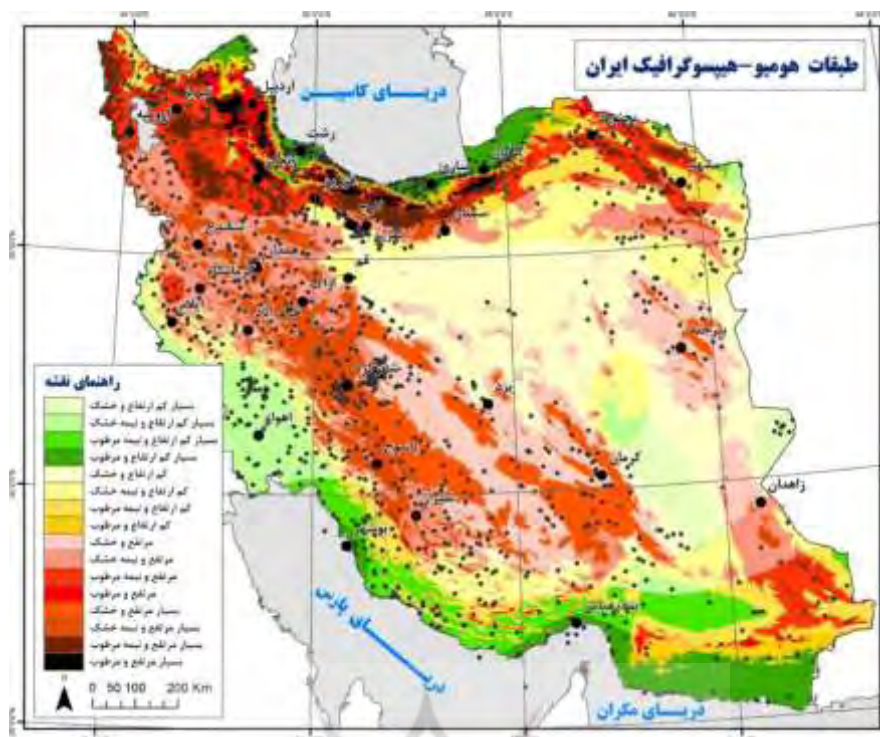
شکل ۱۱. نقشه سیستم‌های شکل‌زایی بر مبنای مؤلفه‌های ارتفاع - انحنای زمین



شکل ۱۲. نقشه سیستم‌های شکل‌زایی بر مبنای مؤلفه‌های ارتفاع-دما



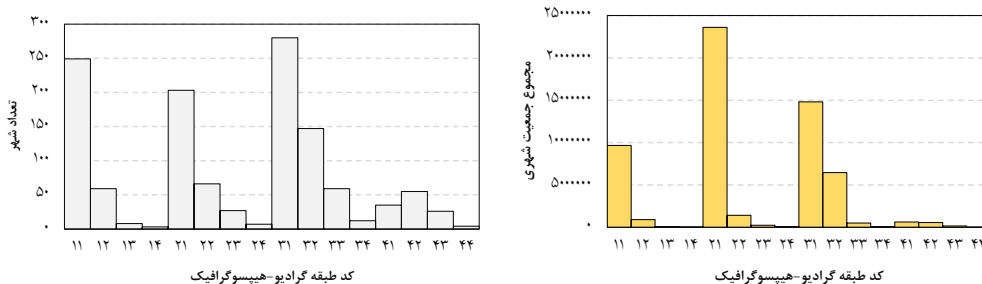
شکل ۱۳. نقشه سیستم‌های شکل‌زایی بر مبنای مؤلفه‌های ارتفاع-بارش



شکل ۱۴. نقشه سیستم‌های شکل‌زایی بر مبنای مؤلفه‌های ارتفاع-رطوبت نسبی

پس از تهیه نقشه سیستم‌های شکل‌زایی، گام‌هایی جهت تحلیل میزان مدنیت‌زایی در هر یک از زیرسیستم‌ها برداشته شده تا بدین نتایج دست یابیم که در هر یک از سیستم‌های محیطی کدام زیرسیستم‌ها مدنیت شهری بیشتری دارند یا به تعبیری توان شهرزایی هر یک از زیرسیستم‌ها چه میزان است. این تحلیل بر مبنای موقعیت مکانی، تعداد مراکز شهری، و مجموع جمعیت شهری در هر یک از زیرسیستم انجام شده است. بنابراین، از داده‌های مرکز آمار ایران نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ استفاده شد. بر اساس این آمار، جمعیت کل کشور ۷۹۹۲۶۲۷۰ اعلام شده است. از کل این جمعیت ۵۹۱۴۶۸۴۷ نفر (۷۴ درصد) جمعیت شهری است که در ۱۲۴۰ مرکز شهری سکونت یافته و ۲۰۷۳۰۶۲۵ نفر (۲۶ درصد) جمعیت روستایی نیز در ۶۲۲۸۴ آبادی سکنی گزیده‌اند. جمعیت غیرساکن نیز در جمعیت کل محاسبه شده است.

شکل ۱۵ نمودار تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در زیرسیستم‌های شکل‌زای گراديو-هیپسوگرافیک را نمایش می‌دهد. در این طبقه‌بندی زیرسیستم مرتفع و بسیار کم‌شیب دارای کد ۳۱ با ۲۸۰ شهر بیشترین تعداد شهر را در خود جای داده است (از بین ۲۸۰ شهر، شهرهای شیراز با جمعیت ۱۵۶۵۵۷۲ نفر، تبریز دارای جمعیت ۱۵۶۵۵۷۲ نفر، کرمانشاه و ارومیه به ترتیب با جمعیت ۹۴۶۶۵۱ و ۷۳۶۲۲۴ نفر در این زیرسیستم در رتبه‌های یک تا چهار جمعیتی به‌شمار می‌آیند). همچنین، زیرسیستم بسیار کم‌ارتفاع و بسیار شیب‌دار با کد ۱۴ با ۳ شهر کمترین تعداد شهر را داراست (شامل شهرهای مرزن‌آباد، پل سفید و رودبار با جمعیت ۶۶۹۸، ۸۲۹۴ و ۱۰۵۰۴ نفر). مجموع جمعیت شهری زیرسیستم کم‌ارتفاع و بسیار کم‌شیب (کد ۲۱) ۲۳۶۰۴۴۴۰ نفر است که بیشترین جمعیت را به خود اختصاص داده است. تهران، مشهد، کرج، قم و یزد در این زیرسیستم دارای رتبه‌های یک تا پنج از لحاظ جمعیتی هستند. از بین ۱۶ زیرسیستم گراديو-هیپسوگرافیک، زیرسیستم بسیار مرتفع و بسیار شیب‌دار (کد ۴۴) کم‌جمعیت‌ترین آن‌هاست که تنها شامل چهار شهر بلده، رینه، ونک، و شمشک است که در مجموع جمعیتی بالغ بر ۷۰۴۰ نفر را داراست.



شکل ۱۵. تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در طبقه کدهای گراديو-هيپسوگرافيك

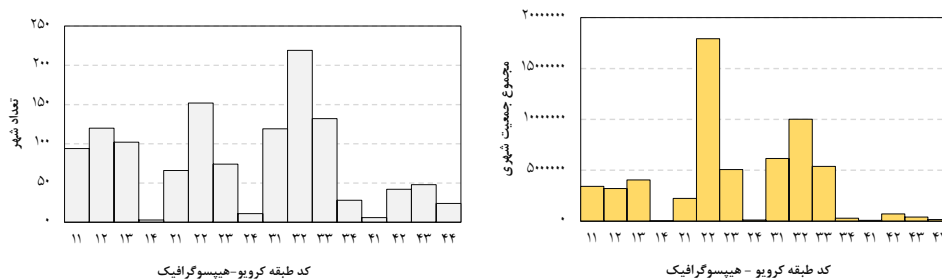
با استفاده از ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی، بر اساس مؤلفه‌های طبیعی که ذکر آن در بخش روش پژوهش گذشت، گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای گراديو-هيپسوگرافيك نیز تهیه شده است (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای گراديو-هيپسوگرافيك

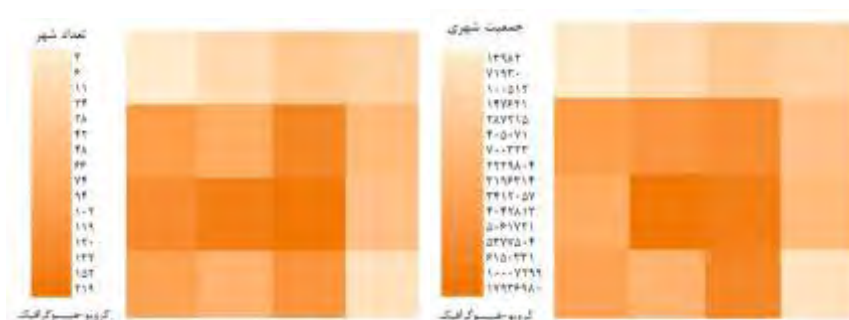
شکل ۱۷ نیز نمودار تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در زیرسیستم‌های کرويو-هيپسوگرافيك را نمایش می‌دهد. در این طبقه‌بندی زیرسیستم مرتفع و مقعر دارای کد ۳۲ با ۲۱۹ شهر بیشترین تعداد شهر را در خود جای داده است (از بین ۲۱۹ شهر، شهرهای تبریز، کرمانشاه، همدان و اردبیل با جمعیت ۱۵۵۸۶۹۳، ۹۴۶۶۵۱، ۵۵۴۴۰۶ و ۵۲۹۳۷۴ نفر در رتبه یک تا چهار قرار گرفته‌اند). همچنین، زیرسیستم بسیار کم‌ارتفاع و بسیار محدب با کد ۱۴ و ۳ شهر کمترین تعداد شهر را دارا هستند. شهرهای ریز با جمعیت ۳۲۸۲ نفر، انارستان با جمعیت ۳۴۰۰ نفر و بیرم دارای جمعیت ۷۳۰۰ نفر در این طبقه قرار گرفته‌اند.

مجموع جمعیت شهری کد ۲۲ یعنی زیرسیستم کم‌ارتفاع و مقعر بیشترین جمعیت برابر با ۱۷۹۳۶۹۸۰ نفر را به خود اختصاص داده است. شهرهای تهران، مشهد، یزد و اسلام‌شهر رتبه‌های اول این زیرسیستم را از نظر جمعیتی دارا هستند. کم‌جمعیت‌ترین زیرسیستم‌ها در این طبقه‌بندی زیرسیستم بسیار کم‌ارتفاع و بسیار محدب (کد ۱۴) با جمعیت شهری ۱۳۹۸۲ نفر است (شامل سه شهر ریز، انارستان و بیرم).



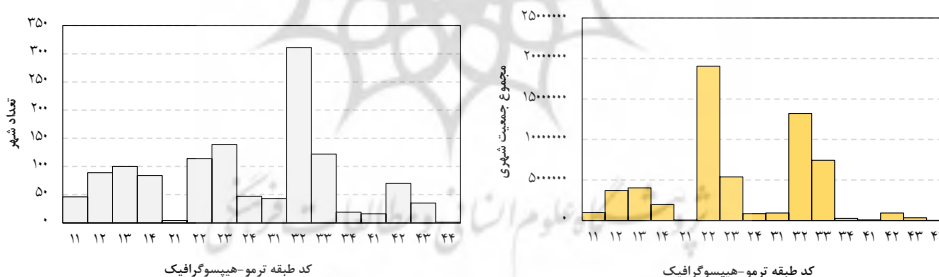
شکل ۱۷. تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در طبقه کدهای کرويو-هيپسوگرافيك

شکل ۱۸ نیز گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای کروبو- هیپسوگرافیک را نشان می‌دهد.



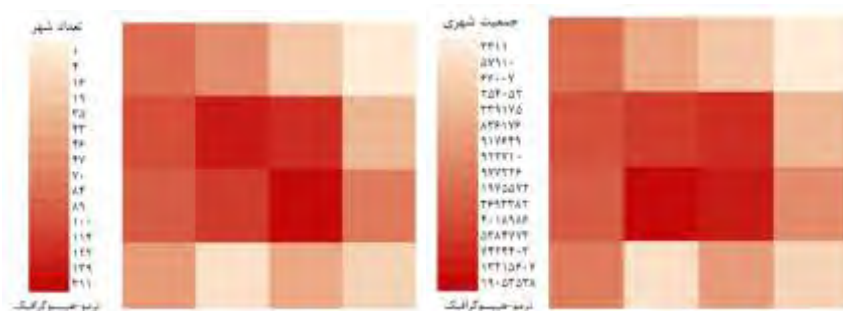
شکل ۱۸. گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای کروبو- هیپسوگرافیک

در شکل ۱۹ نمودار تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در زیرسیستم‌های ترمو- هیپسوگرافیک نمایش داده شده است. بیشترین تعداد شهر در زیرسیستم مرتفع و سرد (کد ۳۲) با تعداد ۳۱۱ شهر واقع شده‌اند (شهرهای تبریز، کرمانشاه، ارومیه، و همدان با جمعیت ۱۵۵۸۶۹۳، ۹۴۶۶۵۱، ۷۳۶۲۲۴، و ۵۵۴۴۰۶ نفر رتبه یک تا چهار را از نظر جمعیتی به خود اختصاص داده‌اند). همچنین، زیرسیستم بسیار مرتفع و بسیار گرم کمترین تعداد شهر را داراست. اما پرجمعیت‌ترین زیرسیستم زیرسیستم کم‌ارتفاع و سرد (کد ۲۲) با مجموع جمعیت ۱۹۰۵۳۵۲۸ نفر است (شهرهای تهران، مشهد، کرج، و اسلام‌شهر رتبه‌های یک تا چهار این زیرسیستم را در این طبقه‌بندی شامل می‌شوند). کم‌جمعیت‌ترین زیرسیستم‌ها در این طبقه‌بندی زیرسیستم بسیار مرتفع و بسیار گرم است که تنها شهر هماشهر با جمعیت ۳۳۱۱ نفر در آن واقع شده است.



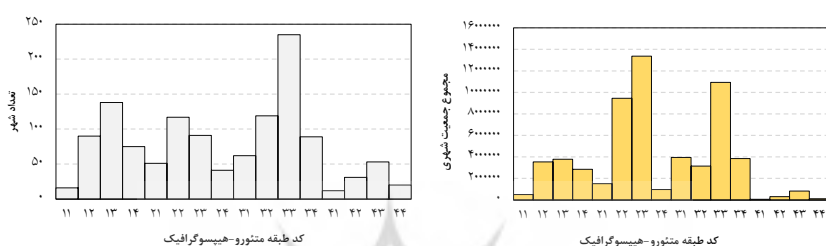
شکل ۱۹. تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در طبقه کدهای ترمو- هیپسوگرافیک

گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای ترمو- هیپسوگرافیک نیز در شکل ۲۰ نمایش داده شده است.



شکل ۲۰. گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای ترمو- هیپسوگرافیک

شکل ۲۱ تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در زیرسیستم‌های متئورو-هیپسوگرافیک را نشان می‌دهد. در این طبقه‌بندی، ۲۳۵ شهر در زیرسیستم مرتفع و پُربارش (کد ۳۳) واقع شده‌اند (شهرهای شیراز با جمعیت ۱۵۶۵۵۷۲، تبریز با جمعیت ۱۵۵۸۶۹۳، ارومیه دارای جمعیت ۷۳۶۲۲۴، و همدان با جمعیت ۵۵۴۴۰۶ نفر رتبه یک تا چهار از بین ۲۳۵ شهر در این زیرسیستم را به خود اختصاص داده‌اند). همچنین، زیرسیستم بسیار مرتفع و بسیار کم‌بارش (کد ۴۱) کمترین تعداد شهر (۱۲ شهر) را در خود جای داده است (شهرهای همدک، نیر، ندوشن و جوزم با مجموع ۸۵۳۴ نفر کم‌جمعیت‌ترین شهرها در این زیرسیستم هستند). از لحاظ جمعیت ساکن در شهر، زیرسیستم کم‌ارتفاع و پُربارش (کد ۲۳) با مجموع جمعیت ۱۳۳۶۵۱۰۳ نفر بیشترین جمعیت شهری را داراست (شهرهای تهران، کرج، قرچک، و پاکدشت در رتبه‌های یک تا چهار این زیرسیستم قرار دارند). کمترین میزان جمعیت شهری نیز مربوط به زیرسیستم بسیار مرتفع و بسیار کم‌بارش (کد ۴۱) با مجموع جمعیت ۶۰۴۷۳ است.



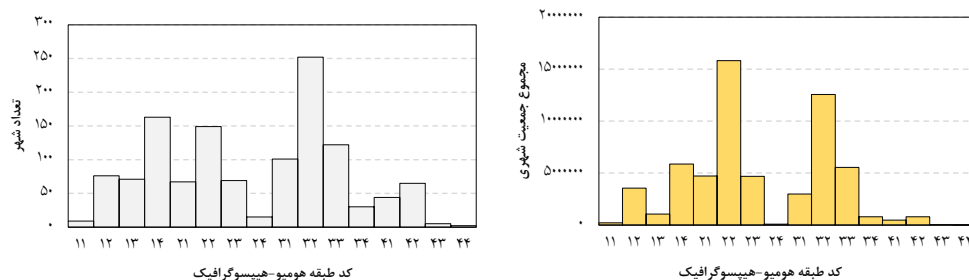
شکل ۲۱. تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در طبقه‌بندی کدهای متئورو-هیپسوگرافیک

با استفاده از ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی بر اساس مؤلفه‌های طبیعی در این بخش، گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای متئورو-هیپسوگرافیک نیز تهیه شد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲. گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای متئورو-هیپسوگرافیک

تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در زیرسیستم‌های هومیو-هیپسوگرافیک در شکل ۲۳ نشان داده شده است. در این طبقه‌بندی تعداد ۲۵۲ شهر در زیرسیستم مرتفع و نیمه‌خشک (کد ۳۲) واقع شده‌اند که بیشترین تعداد شهرها را به خود اختصاص داده‌اند (شهرهای اصفهان، شیراز، کرمانشاه، و همدان با جمعیت ۱۹۶۱۲۶۰، ۱۵۶۵۵۷۲، ۹۴۶۶۵۱، و ۵۵۴۴۰۶ نفر رتبه یک تا چهار در این زیرسیستم هستند). همچنین، زیرسیستم بسیار مرتفع و مرطوب (کد ۴۴) تنها با دو شهر کمترین تعداد شهر را در خود جای داده‌اند (شهرهای بلده با جمعیت ۹۷۰ نفر و اسلام‌آباد با جمعیت ۳۰۶۸ نفر). مجموع جمعیت شهری نیز در زیرسیستم کم‌ارتفاع و نیمه‌خشک (کد ۲۲) با جمعیت ۱۵۸۱۶۱۶۵ نفر بیش از سایر زیرسیستم‌ها در این طبقه‌بندی است (شهرهای تهران، کرج، قم و نیشابور به ترتیب رتبه یک تا چهار این زیرسیستم هستند) و زیرسیستم بسیار مرتفع و مرطوب (کد ۴۴) با دو بلده و اسلام‌آباد نیز کمترین مقدار جمعیت شهری را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۲۳. تعداد شهر و مجموع جمعیت شهری در طبقه کدهای هومیو-هیپسوگرافیک

با استفاده از ایندکس آنالیز فضایی مراکز سکونتگاهی، گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای هومیو-هیپسوگرافیک در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۴. گراف رستری چیدمان سکونتگاهی شهری در هر زیرسیستم شکل‌زای هومیو-هیپسوگرافیک

نتیجه‌گیری

در تکوین، توسعه و پیشرفت و استقرار کانون‌های جمعیتی عوامل متعددی همچون عوامل طبیعی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی، تاریخی، اقتصادی، و ... نقش مؤثری دارند. در این پژوهش از میان مؤلفه‌های طبیعی شش پارامتر واکاوی شد. به دلیل اهمیت ارتفاع و تنوع ارتفاعی، که عامل اصلی ظهور و تکوین سیستم‌های بزرگ شکل‌زایی و چشم‌اندازهای ژئومورفیک متفاوت در سرزمین ایران است، در این پژوهش ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل و سایر مؤلفه‌ها (شیب، انحنای زمین، دما، بارش، و رطوبت نسبی) به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده و سیستم‌ها و زیرسیستم‌های شکل‌زا استخراج شد. در طبقات گرادئو-هیپسوگرافیک تعداد شهر و جمعیت شهری در کلاس شیب بسیار کم در حداکثر قرار دارد؛ به طوری که عامل شیب، عامل محدودکننده توپوگرافیکی در توسعه مراکز سکونتگاه‌های شهری به‌شمار می‌آید. اراضی شیب‌دار به دلیل سنگلاخی بودن، نبود پوشش خاک با ضخامت مناسب برای کشاورزی و محدودیت در توسعه زیرساخت‌ها و ساخت‌وسازهای انسانی، توسعه سکونتگاه‌های شهری را به شدت محدود می‌کند. تعداد شهر و جمعیت شهری در دو محیط ارتفاعی شامل کلاس ارتفاعی مرتفع و کم‌ارتفاع دارای تراکم بالاست. در کلاس مرتفع و بسیار کم‌شیب مدنیت شهری مرتفع (فراز‌گزین) استقرار می‌یابد و در کلاس کم‌ارتفاع تا بسیار کم‌ارتفاع و بسیار کم‌شیب مدنیت شهری کم‌ارتفاع (فرود‌گزین) استقرار یافته است. از طرف دیگر، تعداد سکونتگاه‌های شهری و مجموع جمعیت شهری دافعه زیادی به نسبت اراضی بسیار شیب‌دار نشان می‌دهد که این الگو هم در اراضی بسیار کم‌ارتفاع هم بسیار مرتفع دیده می‌شود. از این موضوع چنین استنباط می‌شود که شیب‌دار بودن اراضی در همه طبقات ارتفاعی عامل محدودکننده قوی در چینش فضایی تعداد شهر و جمعیت شهری در سرزمین ایران است.

در طبقات کروئو- هیپسوگرافیک سرزمین ایران، تقعر پوسته زمین عامل جاذب جمعیت شهری و تحذب عامل دفع سکونتگاه‌های شهری است. در ارتفاعات بالا سطوح مقعر با هم‌گرایی شبکه زهکشی و آب‌های سطحی و ایجاد دریاچه‌های میان‌کوهی بستر استقرار مدنیت‌کاو^۱ مرتفع را ایجاد کرده، در مقابل در اراضی کم‌ارتفاع سطوح مقعر با هم‌گرایی شبکه زهکشی انتهایی در حوضه‌های انتهایی و با ایجاد دریاچه‌های بسته داخلی کم‌ارتفاع بستر مدنیت‌کاو کم‌ارتفاع را ایجاد کرده است. اما طبقات کروئو- هیپسوگرافیک محدب به دلیل واگرایی آب‌های سطحی، منطبق شدن با ارتفاعات، پهنه‌های کوهستانی، و تپه‌ماهوری قابلیت پذیرش سکونتگاه‌های شهری را نداشته‌اند و از پتانسیل کمتری در جذب مراکز سکونتگاهی شهری برخوردارند.

در طبقات ترمو- هیپسوگرافیک، بیشترین تعداد شهر در کلاس مرتفع و سرد قرار دارد و از لحاظ مجموع جمعیت شهری نیز مقادیر بالایی را به خود اختصاص داده‌اند. در فلات ایران به دلیل خشکی و درجه حرارت بالا در طول سال، جمعیت شهری گرایش بالایی به استقرار در این زیرسیستم نشان می‌دهد.

در طبقات متئرو- هیپسوگرافیک بیشترین تعداد مراکز سکونتگاهی در زیرسیستم مرتفع و پُربارش و بسیار کم‌ارتفاع و پُربارش توزیع شده است و از نظر جمعیت شهری در زیرسیستم‌های کم‌ارتفاع و پُربارش و مرتفع و پُربارش توزیع فضایی داشته است. این موضوع نشان‌دهنده گرایش جمعیت شهری و تعداد سکونتگاه‌های شهری به مناطق پُربارش چه کم‌ارتفاع و چه مرتفع است. در مقابل تعداد سکونتگاه‌های شهری دافعه مشخصی نسبت به ارتفاعات بسیار بالا و بسیار کم نشان می‌دهد و از لحاظ بارش تعداد شهر و جمعیت شهری دافعه مشخصی نسبت به پهنه‌های کم‌بارش دارد. نتیجه اینکه مناطق بسیار مرتفع به دلیل تشدید شرایط اقلیمی، نبود اراضی هموار و پوشش خاک مناسب محدودیت‌های زیادی در چینش سکونتگاه‌های شهری از لحاظ تعداد جمعیت و تعداد مراکز شهری اعمال می‌کنند.

طبقات هومیو- هیپسوگرافیک ایران در کلاس‌های بسیار مرتفع نیمه‌مرطوب تا مرطوب از نظر تعداد شهر و جمعیت شهری در حداقل قرار دارند. از دلایل اصلی آن می‌توان به محدودبودن مساحت این زیرسیستم اشاره کرد. در مقابل زیرسیستم کم‌ارتفاع تا مرتفع نیمه‌خشک بالاترین جذب تعداد شهر و جمعیت شهری را به خود اختصاص داده است که دلیل آن را می‌توان وسعت زیاد پهنه‌های نیمه‌خشک در ایران دانست.

سیستم طبقه‌بندی ارائه‌شده در پژوهش حاضر، که با ترکیب مؤلفه ارتفاع با پنج مؤلفه محیطی سیستم‌های شکل‌زایی ترکیبی مختلفی ارائه کرده است، می‌تواند در بخش‌های مختلف علم ژئومورفولوژی و حتی سایر گرایش‌های جغرافیای طبیعی کاربرد گسترده‌ای داشته باشد. هر یک از سیستم‌های پنجگانه ارائه‌شده، که خود شامل ۱۶ زیرسیستم دیگر است، در ژئومورفولوژی محض کاربرد خواهد داشت. در بخش تشخیص و تفکیک و شناسایی لندفرم‌های زمین، با توجه به نوع سیستم‌های شکل‌زایی حاکم در هر محیط، نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند در سازمان‌دهی سلسله‌مراتبی کارهای پژوهش ژئومورفولوژیست‌ها در این حیطه استفاده‌شود. در بخش طبقه‌بندی‌ها و پهنه‌بندی‌های اقلیمی با نگاه ژئومورفولوژیکی، که کمتر مد نظر اقلیم‌شناسان بوده، نیز نتایج چنین کارهای پژوهشی می‌تواند مفید واقع شود. همچنین، در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی و نیز در طبقه‌بندی و تفکیک چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی سیستم‌های ارائه‌شده در این پژوهش قابلیت کاربرد و استفاده خواهند داشت. همچنین، نتایج ارائه‌شده در این پژوهش در زمینه‌های مربوط به جغرافیای انسانی، جغرافیای جمعیت، و آمایش بنیادین سرزمینی کاربرد گسترده دارد و در رشد و گسترش زمینه‌های نظری و کاربردی این علوم مؤثر خواهد بود.

۱. کانون‌های جمعیتی پیرامون چاله‌های بسته داخلی ایران. این چاله‌ها عمدتاً در واحد ایران مرکزی واقع شده‌اند. در اینجا اصطلاح مدنیت‌کاو (مقعر) یا Concave civilization برای این کانون‌های جمعیتی اطلاق شده است.

منابع

۱. ابراهیم‌زاده، عیسی، ۱۳۹۳، *آمایش سرزمین و نقش آن در تبیین الگوی اسلامی- ایرانی پیشرفت*، سلسله تک‌نگاشت‌های الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت، نشر الگوی پیشرفت.
۲. پرتوی، پروین، ۱۳۹۴، *پدیده‌ارشناسی مکان*، چ ۳، تهران: نشر متن، فرهنگستان هنر.
۳. تقی‌لو، علی‌اکبر و موسوی، میرنجف، ۱۳۹۱، نقش عوامل ژئومورفولوژیکی (ارتفاع) در آمایش سرزمین سکونتگاه‌های شهری استان آذربایجان غربی، *همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی*، دوره ۱.
۴. رسولی، علی‌اکبر، ۱۳۸۷، مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات دانشگاه تبریز.
۵. رهنمایی، محمدتقی، ۱۳۹۳، *ایران توان‌های محیطی و طبیعی آن*، تهران: انتشارات مهکامه.
۶. سازمان فضایی ایران، ۲۰۱۶، تصاویر ماهواره‌ای MODIS، <https://isa.ir>
۷. صلحی، سینا و سیف، عبدالله، ۱۳۹۷، مورفولوژی نوری و کاربرد آن در ژئومورفولوژی، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۵۰، شماره ۴، صص ۶۱۱-۶۳۸.
۸. عباسی، داوود، ۱۳۸۶، بررسی نقش عوامل ژئومورفولوژیک در آمایش شهری، *همایش ملی جغرافیا و آمایش سرزمین*، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
۹. عباسی، علیرضا، ۱۳۸۷، *ویژگی‌ها و پراکندگی فضایی مخروط‌افکنه‌های ایران و رابطه آن با سیستم‌های شکل‌زای اقلیمی*، رساله دکتری، جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، استاد راهنما دکتر محمدحسین رامشت، دانشگاه اصفهان.
۱۰. غیفی، محمدابراهیم، ۱۳۹۶، راهبردهای علمی نقش عوامل طبیعی در استقرار سکونتگاه‌های شهری و روستایی با استفاده از GIS، مطالعه موردی بخش جویم لارستان، *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، سال ۹، شماره ۳، صص ۱۲۵-۱۴۴.
۱۱. فاطمی، سیدباقر و رضایی، یوسف، ۱۳۸۹، *مبانی سنجش از دور*، چ ۲، تهران: انتشارات آزاده.
۱۲. فتوحی، صمد، ۱۳۸۶، *تأثیر فرم‌ها و فرایندهای ژئومورفیک بر مبنای آب زیرزمینی (مطالعه موردی پلایای داراب)*، رساله دکتری، جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، استادان راهنما دکتر محمدحسین رامشت، دکتر ایران غازی، دکتر مسعود معیری، دانشگاه اصفهان.
۱۳. مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵، سال‌نامه آماری ایران، <https://www.amar.org.ir/>
۱۴. موسوی، میرنجف؛ نظم‌فر، حسین و آفتاب، احمد، ۱۳۹۲، بررسی نقش عوامل طبیعی در توزیع جغرافیایی جمعیت و سکونتگاه‌های شهری با استفاده از GIS و Geoda مطالعه موردی استان آذربایجان غربی، *جغرافیا و مطالعات محیطی*، سال ۲، شماره ۵، صص ۸۰-۹۸.
۱۵. نادری مایوان، رمضان‌علی، ۱۳۹۴، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی شهری، *اولین همایش علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی*، معماری و شهرسازی ایران، تهران: انجمن علمی توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.
۱۶. نقی‌زاده، محمد و استادی، مریم، ۱۳۹۳، مقایسه تطبیقی مفهوم ادراک و فرایند آن در فلسفه و روان‌شناسی محیط و کاربرد آن در طراحی شهری، *پژوهش‌های معماری اسلامی*، دوره ۱، شماره ۳، صص ۳-۱۴.
17. Abbasi, A. R., 2000, *Characteristics and spatial distribution of major alluvial fans in Iran and their relations with formative process*, Ph.D. Thesis natural geography (Geomorphology), Supervisor Massoud Moayeri, Mohammad Hossein Ramasht, University of Esfahan.
18. Abbasi, D., 2008, Study role Geomorphological factors in urban planning, *National Conference on Geography and Land use planning*, Hamedan, Islamic Azad University of Hamadan.
19. Afifi, M. E., 2017, Scientific strategies the role of natural factors in the establishment of urban and rural settlements Using GIS (Case Study: Juyom Section Larestan), *New approaches in human geography*, Ninth year, No. 3, pp. 125-144.
20. Earth Observation Research Center (EORC), and Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2018, ALOS Global Digital Surface Model (DSM) ALOS World 3D-30m (AW3D30) Version 2.1 Product Description.
21. Ebrahimzadeh, I., 2015, Land use planning and its role in explaining the Islamic - Iranian model of progress, *A series of monographs on the Iranian Islamic model of progress*, Publication of the progress model.
22. Fatemi, S. B. and Rezaii, Y., 2011, *Principles of Remote Sensing*, second edition, Tehran: Azadeh Publications.

23. Fotihi, S., 2007, *Influence of geomorphic forms and processes based on groundwater Case study: Darab Playa*, Ph.D. Thesis natural geography (Geomorphology), Supervisors Mohammad Hossein Ramasht, Iran Ghazi, Massoud Moayeri, University of Esfahan.
24. Giglio, Louis; Luigi Boschetti, David Roy, Anja A. Hoffmann and Michael Humber, 2016, Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide, Version 1.0, pp. 26.
25. Hengl, T. and Reuter, H. I. (Eds.), 2008, *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Newnes.
26. Hillier, B. and Hanson, J., 1984, *The Social Logic of Space*, Cambridge: Cambridge University Press.
27. Horn, B.K.P., 1981, Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of IEEE*, 69(1), 14-47.
28. Howard, H. H.; McMaster, R. B.; Slocum, T. A. and Kessler, F. C., 2008, *Thematic cartography and geo visualization*.
29. http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Jenks_Natural_Breaks_Classification#cite_note-McMaster-3
30. http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Jenks_Natural_Breaks_Classification
31. <https://earthexplorer.usgs.gov>
32. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>
33. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>
34. <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>
35. Iranian Space Agency, 2016, MODIS satellite images, <https://isa.ir>
36. Li, Z.; Zhu, C. and Gold, C., 2004, *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.
37. Montello, Daniel R., 2007, The Contribution of Space Syntax to a Comprehensive Theory of Environmental Psychology. *6th International Space Syntax Symposium*, İstanbul. (P. iv 1-12).
38. Mousavi, M. N.; Nazmafah, H. and Aftab, A., 2013, Study the role of natural factors in the geographical distribution of the population and urban settlements using GIS and Geoda, a case study of West Azerbaijan Province, *Geography and Environmental Studies*, Second year, No. 5, pp. 80-98.
39. Naderi Mayvan, R., 2015, Application of Geomorphology in Urban Planning, *The first scientific research conference new Horizons in Geography and Planning*, Iranian Architecture and Urban Planning, Tehran, Scientific Association for the Development and Promotion of Fundamental Science and Technology.
40. Naqizadeh, M. and Ostadi, M., 2014, Comparative comparison the concept of perception and its process in environmental philosophy and psychology and its application in urban design, *Research in Islamic Architecture*, Vol. 1, No. 3, pp. 3-14.
41. Nikolakopoulos, K. G.; Kamaratakis, E. K. and Chrysoulakis, N., 2006, SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece, *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 27, No. 21, pp. 4819-4838.
42. Partovi, P., 2015, *Phenomenology of place*, Third edition, Text publishing, Tehran: Academy of Art.
43. Rahneimai, M. T., 2015, *Iran, The spatial and natural potential*, Tehran: Mahkameh Publications.
44. Rana, S., 2006, Use of Plan Curvature Variations for the Identification of Ridges and Channels on DEM, in: *Progress in Spatial Data Handling*, edited by: A. Riedl, W. Kainz, and G. Elmes, SpringerVerlag, Heidelberg, Germany, 789-804.
45. Rasouli, A. A., 2008, *Principles of Applied Remote Sensing with an emphasis on satellite image processing*, Publishers Tabriz University.
46. Solhi, S. and Seif, A., 2019, Optical Morphology and its Application in Geomorphology, *Physical Geography Research*, Vol. 50, No. 4, pp. 611-638.
47. Statistical Center of Iran, 2016, Iran Statistical Yearbook, <https://www.amar.org.ir/>
48. Tadono, T.; Nagai, H.; Ishida, H.; Oda, F.; Naito, S.; Minakawa, K. and Iwamoto, H., 2016, Generation of the 30 M-Mesh Global Digital Surface Model by ALOS PRISM, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS*, Vol. XLI-B4, pp.157-162.
49. Taghilo, A. A. and Mosavi, M., 2013, The role of geomorphological factors (height) in Land use planning Urban settlements of West Azerbaijan province, Vol. 1, *National Conference of the Iranian Geomorphological Association*.