محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ١، بهار ١٣٩٤، صفحهٔ ٢١٨-٢٠١

بررسی مکانی- زمانی کیفیت محیط‌زیستی در اکوتون‌های کوهپایه‌ای فلات مرکزی ایران با کاربرد متریک‌های اکولوژیکی سرزمین

سیدمحمود هاشمی[1*]، احمدرضا یاوری[2]، حمیدرضا جعفری[3]

۱. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران ayavari@ut.ac.ir

۳. استاد گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران hr_jafari@yahoo.com

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/٤/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۲٤

چکیده

ایران سرزمینی کوهستانی است به گونه‌ای که بیش از نیمی از آن را ارتفاعات بلند تشکیل داده است. از سوی دیگر ایران سرزمینی خشک است و بیابان‌ها در پست‌ترین ارتفاعات آن واقع شده‌اند. عمدهٔ سکونتگاه‌های کلان‌شهری در ارتفاعات میانی (میان‌بندها) بین دو وادی کوه و کویر قرار گرفته‌اند. اکوتون‌های کوهپایه‌ای محدوده‌ای در حد فاصل کوه‌های بالادست و دشت‌های میان‌بند قرار دارند که در اثر تحولات اخیر دچار تغییرات گسترده‌ای شده‌اند. در این مقاله اکوتون‌های کوهپایه‌ای دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی تحت تأثیر منطقهٔ شهری تهران- کرج بررسی شده‌اند. اهداف ویژهٔ این تحقیق عبارت‌اند از: ۱. استفاده از مفاهیم اکولوژی سرزمین برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیستی در نواحی اکوتونی؛ ۲. بازیابی پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و در نظر گرفتن هر نوع پوشش به‌منزلهٔ یک لکه؛ ۳. محاسبه و اندازه‌گیری متریک‌های مکانی سرزمین و تجزیه و تحلیل ترکیب و توزیع فضایی لکه‌ها و ۴. پایش و ردیابی تغییرات سرزمین طی زمان با استفاده از متریک‌های اکولوژیکی سرزمین. برای مقایسهٔ روند تغییرات پوشش زمین و متریک‌ها از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۰ (Landsat 7 ETM+) و ۲۰۱۳ (Landsat 8 OLI/TIRS) استفاده شد. پوشش‌های زمین در چهار گروه عمده طبقه‌بندی شدند: پوشش گیاهی، فضای باز، ساخت و ساز و آب. محدودهٔ اکوتونی کوهپایه‌ها در چهار واحد طولی پهنه‌بندی شد: ۱. شمال تهران؛ ۲. حومهٔ تهران- کرج؛ ۳. شمال کرج و ۴. واحد حومهٔ غربی کرج. متریک‌های اکولوژیکی سرزمین شامل NP، MPS، CAP، MNND، PARA و TE برای تحلیل مکانی- زمانی سرزمین به کار گرفته شدند. نتایج نشان می‌دهد که در کل متریک‌های NP، AW-MPS، MNND، TE و PARA افزایش و متریک‌های CAP و MPS کاهش یافتند. این نتایج نشانه‌هایی از پیشرفت تکه‌شدگی و انقطاع در محدوده‌اند. در این تحقیق روند تغییرات اکوتون‌های کوهپایه‌ای به واسطهٔ رشد کلان‌شهرهای تهران و کرج تجزیه و تحلیل شده است.

کلیدواژه

اکولوژی سرزمین، سنجش از دور، سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، منطقهٔ شهری تهران- کرج

۱. سرآغاز

شکل‌گیری روش‌های جدید برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست طی چند دههٔ اخیر را می‌توان با تحولات زیر تشریح کرد (O'Neill et al., 1997; Burel and Buadry, 2003):

الف) تحولات نظری در رهیافت جدید مطالعهٔ سیستم‌های زیستی (طبیعی یا انسانی):

- فراگیری نگاه سیستمی: حضور پیچیدگی در ساختار، ناشی از اجزای زیاد و مهم‌تر از آن ارتباطات غیرخطی و

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۹۱۲۶۵۱۹۵۴۳ Email: hashemism@ut.ac.ir

بازخورهای فراوان بین اجزای ساختاری با تحولات طی زمان.

– حضور سازماندهی سلسله‌مراتبی تودرتو: ضرورت بررسی چندین مقیاسه.

ب) تحولات فناوری و گسترش توان جمع‌آوری، انباشت، نظم‌دهی و تحلیل داده:

– دستیابی به دورسنجی: مجموعهٔ انواع دادهٔ سینوپتیک روزآمد و سهل‌الوصول؛

– دسترسی به سامانه‌های اطلاعات رقومی و نرم‌افزارهای تجزیه و تحلیل آمار فضایی؛

– تحولات روش‌شناختی؛

– درک دینامیک از تحولات و خودنظمی در اکولوژی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست؛

– توسعهٔ تجزیه و تحلیل (سینتیک) اکولوژی کاربردی در مقیاس سرزمین و درک ارتباط ساختار و کارکرد یا شکل‌ها (الگوها) و فرایندها در سرزمین‌های طبیعی و مصنوع.

با دسترسی به دادهٔ سهل‌الوصول سینوپتیک از دورسنجی در مقیاس های مختلف بررسی مستمر یا مکرر و گسترش سطح مشاهدات نه تنها میسر که به صورتی مقرون به صرفه درآمده است. پایش، نظارت یا مشاهده است (همراه ثبت آن) با فرض یا دلیل خاصی برای جمع‌آوری داده و در سطوح و گستره‌های مختلف، اما همگن از نظر موضوع مورد پایش. گاه از پایش برای اطمینان از اعمال قوانین یا مصوبات و استانداردها یا رعایت ضوابط و قوانین و آیین‌نامه‌ها استفاده می‌شود. پایش می تواند نظارت سیستماتیک باشد روی پارامترهایی که در ارتباط با یک موضوع یا هدف مشاهده یا یک موضع تحت عنوان طرح مسئلهٔ خاص طراحی می‌شود و اطلاعات خاصی را برای بررسی و شناخت مشکل و تحولات آن طی زمان یا طی گرادیانتی در مکان پیگیری می‌کند. پایش‌ها تنها موضوع یا عامل را بررسی نمی‌کنند، بلکه به بررسی آثار و بازخورها و نتایج نیز می‌پردازند. ارزش پایش مکرر و در گستره و مقیاس چندگانهٔ آن است که از استانداردها در تدوین روش مشاهده، نوع داده‌ها و فواصل زمانی و مکانی مشاهدات ثبت‌شده به صورت مرتب و متواتر در پیگیری موضوع با اهداف و رویه‌های مکمل در تجزیه و تحلیل خصوصیات و شرایط بهره می گیرد و حتی پس از مقایسهٔ یافته‌ها با آستانه‌ها و نشانه و شاخص‌های مشخص اقدامات و اثرگذاری آنان نیز برای استمرار کار بهتر استفاده می‌شود (Spellerberg, 2005). چهار گروه اصلی از انواع پایش محیط‌زیست یا سرزمین و منطقه را به شرح زیر توصیف کرده‌اند:

- پایش ساده که شامل ثبت مقادیر و ارزش ها برای یک یا چند متغیر است که مشاهدات مربوط به آنان در یک مکان و زمان یا بدون تکرار به منظور یک هدف مشخص صورت می‌گیرد.
- پایش برای شناخت و صورت‌برداری که ثبت مقادیر و ارزش‌ها را برای تکمیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده در گذشته در محیط‌زیست یا سرزمین خاصی در خصوص موضوع کلی یا خاص برای شناخت و رفع فقدان دادهٔ شناخت پیگیری می‌کند.
- پایش جایگزین و انجام برآورد به جای انجام مطالعات تفصیلی یا پایش متغیرهای غیر قابل اندازه‌گیری با توجه به ارتباطات بین متغیرها و نیرو محرک‌ها بر اساس ثبت برخی مشاهدات که سعی در جبران اطلاعات و نسبت به یافته برای هدف اصلی استنتاج می‌کند. شرایط را در دو وضعیت (مثلاً متأثر از یک متغیر و بدون اثر آن) مشاهده و ثبت و از یافته‌ها در تعمیم کاستی استفاده می‌کند.
- پایش تلفیقی به منظور جمع‌آوری داده و اطلاعات تفصیلی که در راستای اهداف مختلفی استفاده خواهند شد انجام می‌شود. شاید بتوان گفت که این پایش به صورتی کل سطح سرزمین و مشاهدات را در خصوص اهداف مختلف صورت‌برداری می‌کند تا در اختیار بررسی‌های مختلف قرار گیرد.

پایش، ارزیابی و نظام مدیریتی مرتبط با بیان دقیق و شفاف سؤال‌های مطرح و با توجه به برآوردهای لازم در خصوص هدف آغاز می‌شود. باید اهمیت و جایگاه ترکیب و توزیع نشانه، عنصر یا شرایط فضایی در سطح سرزمین از قبل به خوبی بیان شده باشد و سطوح دارا یا فاقد چنین شرایطی با اندازه‌گیری‌ها و بیان آستانه‌های مرتبط برای اندازه‌ها طی بررسی مشاهدهٔ مکرر و ثبت شده باشند (Spellerberg, 2005). سپس، آستانه‌های معرف تحولات تعریف و برای تغییرات از اندازه‌گیری به صورت درصد یا نسبت حضور یا عدم حضور مشاهدهٔ شرایط (مثلاً رویشگاه) با ارتباطی که بین فرایند مبین حضور انسجام، دارابودن مقاومت، حضور تنوع زیستی (یا بر عکس) وجود دارد، مشاهدات اندازه‌گیری‌ها و تغییرات آنان محاسبه و تجزیه و تحلیل می‌شوند. برای نمونه‌ای از طرح مسئلهٔ خاص برای مشاهده، محاسبه و تجزیه و تحلیل لازم در پایش و تفکیک مکانی و زمانی بخش‌های سرزمین در ارزیابی‌ها به‌منزلهٔ واحد و برای بیان گسترهٔ محدودهٔ پایش بوده است. پیگیری ارزیابی در خصوص تحولات منابع اکولوژیک خاص می‌تواند در پی شناخت عوامل تخریب و فشار بر منابعی که دارای علاوه بر اهمیت اکولوژیک ارزش و اهمیت زیاد اقتصادی هم برای جامعه باشد انجام شود. سطح نسبی و توزیع فضایی اراضی دارای خصوصیات مورد توجه در پایش و ثبت تغییرات آنان طی زمان از نظر سطح و ماهیت توزیع در سطح سراسر محدوده یا بخشی از سرزمین ارزیابی می‌شود (Ingegnoli, 2002).

پایش در ارزیابی آثار شامل بررسی و ممیزی است، اما پایش اکولوژیک بررسی صحت نسبی ضوابط و ملاحظات را ارزیابی می‌کند. پایش به معنی ادامهٔ مشاهداتی است که برای بررسی اعمال ضوابط یا رعایت برخی اصول و انجام اقدامات معینی است، اما پایش به تازگی روشی برای شناختن هم محسوب می‌شود. برای درک سیستم باید آن را در مقیاس‌های مختلف و با مشاهدات طی زمان قبل (مولد حاضر) و حال (مولد آینده) و بعد برای انتخاب بین گزینه‌های ممکن و در سطح کل به صورتی که در استدلال از داده‌های متوسط و میانگین استفاده نشود و همهٔ عدم تجانس‌ها را دربر گیرد در مقیاس سرزمین پیگیری شود (Farina, 2010). البته پایش درشت‌مقیاس از شرایط ساختار سرزمین با توجه به ترکیب و توزیع منابع و روند تغییرات آن باید در سایهٔ آگاهی لازم و کافی ارتباط از شرایط و الگوهای فضایی با کارکرد باشد تا ارزیابی میسر باشد (Lausch and Herzog, 2002).

دانش اکولوژیکی پیش‌نیازی ضروری در برنامه‌ریزی برای پایداری است. بعد مکانی پایداری شامل فرایندها و ارتباطات بین اکوسیستم‌ها و کاربری‌ها در مقیاس‌های مختلف و طی زمان است. متریک‌های متعددی در اکولوژی سرزمین وجود دارند که می‌توان از آن‌ها در تحلیل ساختار و الگوی فضایی استفاده کرد. این متریک‌ها ابزار اصلی برای توجه به بعد مکانی پایداری سرزمین‌ها به شمار می‌روند. Botequilha و Ahern در سال ۲۰۰۲ تدوین چارچوبی مفهومی برای تلفیق اکولوژی و برنامه‌ریزی و استفاده از متریک‌های سرزمین به‌منزلهٔ ابزاری اساسی برای برنامه‌ریزی را مورد توجه قرار داده‌اند. صدها متریک در اکولوژی سرزمین وجود دارند که بسیاری از آن‌ها قویاً با همدیگر همبسته‌اند و با یکدیگر همپوشانی دارند. از این رو تدوین مجموعه‌ای از متریک‌های مستقل ضرورتی برای برنامه‌ریزی اکولوژیکی سرزمین است. Botequilha و Ahern در سال ۲۰۰۲ متریک‌های زیر را به‌منزلهٔ مجموعه‌ای مناسب در همهٔ مراحل فرایند برنامه‌ریزی ارائه کردند:

متریک های ترکیب[۱]: ۱. غنای لکه ای[۲] (PR) و مساحت نسبی هر کلاس[۳] (CAP)؛ ۲. تعداد لکه‌ها[۴] (NP) و تراکم لکه‌ها[۵] (PD) و ۳. اندازهٔ لکه‌ها[۶] (MPS).

متریک های توزیع: ۴. شکل لکه: نسبت محیط به مساحت لکه[۷] (SHAPE)؛ ۵. تضاد لبه[۸]: (TECI)؛ ۶. فشردگی لکه ها[۹]: (PGYR)؛ ۷. فاصله با نزدیک ترین همسایه[۱۰]: (MNND)؛ ۸. MPI؛ ۹. نفوذ[۱۱] (CONTAG).

در پژوهشی که Laush و Herzog در سال ۲۰۰۲ انجام دادند قابلیت کاربرد متریک‌های سرزمین برای پایش محیط زیستی تغییرات کاربری/پوشش اراضی در شرق آلمان بررسی شد. نقشه های سری زمانی از ۱۹۱۲ تا ۲۰۲۰ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و سناریوهای مدل تغییرات به دست آمدند. متریک‌ها در سطح کل سرزمین، سطح کلاس طبقات و سطح لکه محاسبه شدند. متریک‌های سطح سرزمین در گروه‌های زیر انتخاب شدند: متریک‌های مساحت لکه: MPS، PD؛ لبه و شکل: MPFD، MSI؛ همسایگی: MNN، NNCV و توزیع[۱۲]: IJI.

در پژوهشی که Luck و Wu در سال ۲۰۰۲ انجام دادند محدودهٔ کلان‌شهری فونیکس، آریزونا، ایالات متحدهٔ امریکا با تجزیه و تحلیل گرادیانت همراه متریک‌های سرزمین با استفاده از تکنیک پنجره‌های متحرک بررسی شدند. در این مطالعه شش نوع کاربری در نظر گرفته شدند: کشاورزی، بیابانی، مسکونی، شهری، جاده‌ها و آب. کاربری‌ها به پیکسل‌های ۵۰ متری رستری تبدیل و متریک‌ها با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTAT در دو سطح کل سرزمین و سطح کلاس با استفاده از پنجره‌های متحرک ۳*۳ (پهنهٔ ۱۵ در ۱۵ کیلومتری) محاسبه شدند.

در مطالعه‌ای که Hahs و McDonnell در سال ۲۰۰۶ در منطقهٔ شهری ملبورن استرالیا انجام دادند ۱۷ معیار برای ارزیابی شهرنشینی استفاده شد که در سه گروه عمده جای می‌گیرند: الف) متغیرهای جمعیت‌شناختی مانند تراکم جمعیت یا سطح آموزش؛ ب) متغیرهای فیزیکی مانند تنوع جاده‌ها یا درصد پوشش شهری و ج) متریک‌های سرزمین مانند میانگین اندازهٔ لکه‌ها یا بعد فراکتالی. بر اساس مدل V-I-S[ii] که Ridd در سال ۱۹۹۵ برای تجزیه و تحلیل پوشش شهری با استفاده از سنجش دور ماهواره‌ای ارائه کرده است در این مطالعه پنج نوع پوشش در منطقهٔ شهری ملبورن انتخاب شدند: آب، سطوح نفوذناپذیر، خاک، درختان و پوشش علفی. برای تهیهٔ نقشهٔ پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 ETM+ با پردازش در نرم‌افزار ENVI 4.0 استفاده شده است. صحت نسبی طبقه‌بندی پوشش ارضی ۷۹/۶ درصد بود. منبع عمدهٔ خطاها در کلاس خاک مشاهده شد.

در مطالعه‌ای که Baskent و Kadiogullari در سال ۲۰۰۷ انجام دادند تغییرات کاربری/پوشش اراضی در جنگل‌های نیمه‌معتدل ترکیه در منطقهٔ Inegol بررسی شده است. محدودهٔ این تحقیق از ارتفاع ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ متری متغیر و شیب متوسط آن ۱۷ درصد است و گونه‌های درختی کاج، راش و بلوط غالب‌اند. برای تهیهٔ نقشهٔ پوشش از تصاویر لندست ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ با پردازش نرم‌افزار ERDAS استفاده شد. ۱۴۰ نمونهٔ تعلیمی برای هر تصویر (۱۰ نمونه برای هر کاربری/پوشش) از طریق طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر شباهت استفاده شدند. مناطق کوچک‌تر از ۰/۲۷ هکتار (سه پیکسل در یک پیکسل) در واحدهای بزرگ‌تر کناری ادغام شدند. ارزیابی صحت برای تصاویر انجام و میزان آن بیشتر از ۸۰ درصد محاسبه شد. متریک‌های زیر با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTAT محاسبه شدند: درصد کلاس سرزمین (LP)، تعداد لکه‌ها (NP)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین اندازهٔ لکه ها (MPS) و معیار میانگین وزنی شکل (AWMSI).

در مطالعهٔ Yavari و همکاران (۲۰۰۷)، محدودهٔ شهری تهران با استفاده از متریک‌های CAP، NP، MPS و MNND تحلیل شده است. یافته‌های این مطالعه بیان می‌کند که مناطق شمالی تهران به علت برخورداری از دانه‌بندی درشت‌تر فضاهای سبز و باز و حضور رودره‌ها از اولویت بالاتری برای بازسازی و ترمیم برخوردارند. اولویت دوم با مناطق جنوبی است که می‌توانند نقش جذب‌کنندهٔ آلاینده‌های آب و هوا را انجام دهند. در مناطق مرکزی تهران به علت ریزدانه‌بودن و ساخت و سازهای گسترده و متراکم، فعالیت‌های ترمیمی به سختی انجام می‌شوند. همچنین، آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که شبکهٔ حمایتی

رودره‌ها همراه فضاهای باز تپه‌های میانی مبنایی برای انجام اصلاحات ساختار سرزمین در جهت ارتقای کیفیت محیط‌زیستی قرار گیرند.

در پژوهش Uuemaa و همکاران (۲۰۰۹)، متریک‌ها و شاخص‌های متعدد سرزمین و قابلیت کاربرد آن‌ها در فرایندهای مختلف اکولوژیکی و سطوح متفاوت اکوسیستمی و سرزمین تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش بر این مسئله تأکید شده است که بسیاری از متریک‌ها با یکدیگر همبستگی بالایی دارند و استفاده از متریک‌های متعدد سبب ایجاد تکرار و حشو می‌شود.

۲. اکوتون‌ها

ورود انرژی به یک سیستم، مانند سرزمین، سبب ایجاد عدم تجانس به دو طریق می‌شود: اول، از طریق گرادیانت، که تفاوت‌های تدریجی در اجزا سبب ایجاد عدم تجانس می‌شود. دوم، از طریق موزاییک، که یک سیستم لکه‌هایی (یا کریدورهایی) را با ناپیوستگی یا مرزهای منقطع شکل می‌دهد (Forman, 1995). در این صورت مرز و گرادیانت الگوها یا مفاهیمی به شمار می‌روند که نمی‌توانند همزمان در یک نقطه حضور داشته باشند (وجود یکی از الگوها به معنای نفی حضور الگوی دیگر است). سه مکانیسم وجود دارد که سبب شکل‌گیری مرزها در سرزمین می‌شود (Forman and Collinge, 1997): ۱. وجود محیط فیزیکی به صورت لکه‌ای، مانند موزاییک انواع خاک یا لندفرم‌ها؛ ۲. اختلال طبیعی، مانند آتش‌سوزی یا طوفان و ۳. فعالیت‌های انسانی، مانند پاکتراشی جنگل و توسعهٔ ساخت مسکن. در موارد بسیاری اختلال‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی، مرزهای موجود را برجسته‌تر می‌کنند و کنتراست سرزمین را افزایش می‌دهند. اکوتون از لحاظ اکولوژیکی به فصل مشترک یا زون‌گذار بین دو جامعهٔ گیاهی یا جانوری اطلاق می‌شود. اکوتون در تضاد با گرادیانت است، زیرا مفهوم اکوتون بر تغییر شدید در توزیع گونه‌ها یا حدود توزیعی گونه‌ها تأکید می‌کند. گونه‌های موجود در یک اکوتون، تلفیقی از جوامع پیرامونی‌اند.

اکوتون‌ها به‌منزلهٔ گسست‌هایی در ساختار فیزیکی یا بیولوژیکی طی یک گرادیانت تعریف می‌شوند. طبق تئوری موزاییک، اکوتون‌ها نشان‌دهندهٔ حاشیهٔ گسترش یا کاهش هر لکه و محل انتقالی و زون‌گذار بین شرایط متفاوت‌اند. اکوتون‌ها را در هر جایی از سرزمین، بر اساس نوع موزاییک، می‌توان مشخص کرد. اکوتون‌ها در همهٔ مقیاس‌ها حضور دارند، از بیوم‌ها تا چندین سانتی‌متر و از بازهٔ بلندمدت هزاران ساله تا عمر کوتاه‌مدت یک آبگیر موقتی (Farina, 2010).

ویژگی‌های ساختاری اکوتون در خصوص ترکیب فیزیکی از این قرار است: اندازه، شکل، ساختار زیست‌شناختی، محدودیت‌های ساختاری، ناهمگونی داخلی، تراکم اکوتونی، بُعد فراکتالی لبه‌ها، تنوع لکه‌ها و بُعد لکه‌ها.

شاخص‌های عملکردی اکوتون با پایایی، بازگشت‌پذیری، محدودیت عملکردی و تخلخل سنجیده می‌شوند:

- پایایی، ظرفیت نگهداری از عملکرد و ساختار در برابر فشارهای یک متغیر است.
- بازگشت پذیری، ظرفیت یک اکوتون برای حفظ شاخصه های اصلی اش پس از بروز یک عامل اختلالی است.
- محدودیت عملکردی، تفاوت بین لکه‌های پیرامونی شکل‌دهندهٔ اکوتون است.
- تخلخل، ظرفیت یک اکوتون برای تغییردادن جریان انرژی، مواد و موجودات زنده است.

کمربندهای ارتفاعی در سرزمین خشک و کوهستانی ایران نمونهٔ بارزی از اکوتون‌ها به شمار می‌روند (Becker et al., 2007). تغییر رطوبت و دما با افزایش ارتفاع سبب شکل‌گیری کمربندهای ارتفاعی شده است که هر یک از نظر شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی و در نتیجه استعداد بهره برداری شرایط متفاوتی دارند و بسته به اینکه ما چه شیوهٔ برخوردی با این تنوع و تغییر داشته باشیم

می توانیم این شرایط را به یک مزیت نسبی یا محدودیت تبدیل کنیم (Körner, 2007). توزیع زمانی- مکانی همهٔ منابع طبیعی (آب، خاک مرغوب، شکل زمین، پوشش گیاهی) در این سیستم‌های همبستهٔ ارتفاعی- دشتی با گرادیانت تغییر ارتفاع یکسان نیست به گونه‌ای که منابع آب در کوه‌ها و ارتفاعات شکل می‌گیرند؛ اراضی هموار و حاصل‌خیز در دشت‌های دامنه‌ای پراکنده‌اند و پوشش گیاهی متراکم در اراضی میان‌بند گسترش دارند (Körner and Ohsawa, 2005). واکنش صحیح انسان مصرف‌کننده به این توزیع مکانی- زمانی تعیین‌کننده است. مشاهده، درک و تحلیل این پدیده ها، ارتباطات و این توزیع متغیر مکانی- زمانی تنها در مقیاس سرزمین امکان‌پذیر است. مدیریت سرزمین هم مشارکت کل سیستم همبسته یعنی مشارکت همهٔ اهالی را از بالادست تا پایین‌دست نیاز دارد. به عبارت دیگر، با گذر زمان امروزه این سیستم‌های همبسته علاوه بر منطقی تجربی در ابعاد اکولوژیک یک هویت مشخص و مستقل جغرافیایی و فرهنگی نیز دارند (یاوری و همکاران، ۱۳۹۱).

۳. محدودهٔ مطالعاتی

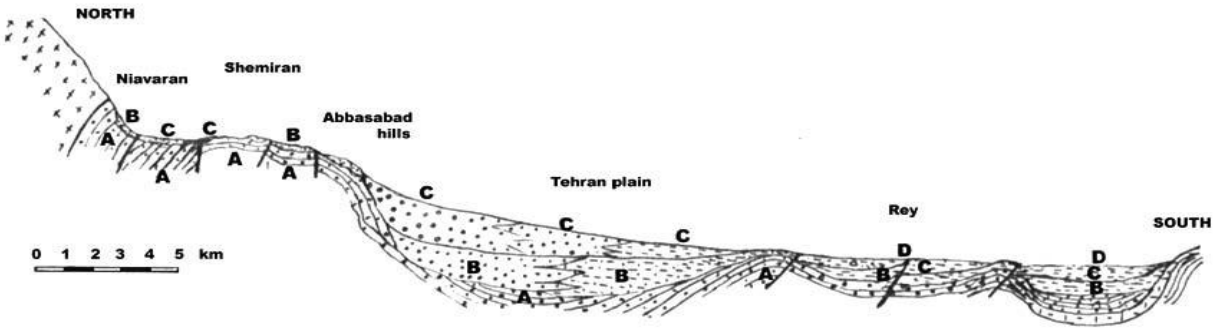
رشته‌کوه‌های البرز با ارتفاع متوسط ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متری به صورت قوس بزرگی با جهت تقریبی شرقی- غربی در شمال فلات ایران قرار دارند (حدیثی و جعفرپور، ۱۳۸۱). البرز دارای چندین گرادیانت است (Yavari et al., 2007): گرادیانت دما و رطوبت که از غرب به شرق و شمال به جنوب کم و از ارتفاعات کم به زیاد نیز دما، رطوبت و بارندگی زیاد می‌شود. رشته‌کوه‌های البرز در طول از طریق رودهای بزرگی که بر دامنه‌های شمالی و جنوبی آن جریان دارند به سه واحد جداگانهٔ غربی، مرکزی و شرقی تقسیم می‌شوند (شهیدی و نظری، ۱۳۹۱). واحد مرکزی در عرض رودهای هراز، جاجرود، چالوس و کرج به سه قسمت شمالی (دیوارهٔ شمالی)، مرکزی (دیوارهٔ میانی) و جنوبی (دیوارهٔ جنوبی) تقسیم می‌شود (محمودی، ۱۳۶۹). منطقهٔ تهران- کرج را به لحاظ ژئومورفولوژیکی می‌توان به سه واحد کلی و تعدادی زیر واحدهای کوچک‌تر تقسیم کرد (شهیدی و نظری، ۱۳۹۱):

۱. بخش کوهستانی البرز؛

۲. مخروط‌افکنه‌های پایکوهی: الف) لندفرم هزاردره در شمال (آبرفت‌های مرحلهٔ اول)؛ ب) تپه‌های کنگلومرایی نیمهٔ شمالی (آبرفت‌های مرحلهٔ دوم)؛ ج) مخروط‌های جدید (مرحلهٔ سوم)؛ د) آبرفت‌های جدید و بستر سیلابی رودها (مرحلهٔ چهارم).

۳. دشت‌های آبرفتی بخش جنوبی (شکل ۱).

تهران که جمعیت آن در سال ۱۲۶۲، ۱۰۶ هزار نفر بود در سال ۱۳۹۰ به ۸۰۷/۴۲۹/۸ میلیون نفر رسید که نشان‌دهندهٔ افزایش ۶۰ برابری جمعیت در این فاصلهٔ زمانی است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳). از سوی دیگر، رشد جمعیت موجب گسترش فیزیکی شهر شد و شهری که تا اوایل دههٔ ۱۳۰۰ درون حصاری به وسعت ۲۴ کیلومتر مربع قرار داشت امروزه به کلان شهری با هسته های متعدد مسکونی و صنعتی تبدیل شده است (سعیدنیا، ۱۳۶۸). کرج با ۱۶۲ کیلومتر مربع وسعت و جمعیت ۱/۳۷۷/۴۵۰ نفر پس از شهرهای تهران، مشهد، اصفهان و تبریز به‌منزلهٔ پنجمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌رود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳). کرج پس از تهران بزرگ‌ترین شهر مهاجرپذیر ایران است. رشد فزاینده و غیرقابل کنترل جمعیت شهرهای تهران و کرج و شهرک‌های اقماری آن‌ها، ایجاد تأسیسات شهری و استقرار تعداد زیادی از واحدهای صنعتی در این محدوده، همچنین واحدهای بزرگ کشاورزی در اراضی پیرامونی تهران و کرج مسائل متعدد محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی ایجاد کرده‌اند.



شکل ۱. مقطع شمالی- جنوبی منطقهٔ تهران در سیستم همبستهٔ بالادست- پایین‌دست در دامنه‌های البرز مرکزی (Jahani and Reyhani, 2006**)**

۴. اهداف

فلات ایران سرزمینی متنوع است که به لحاظ ژئومورفولوژیکی از توالی دو واحد شکلی بزرگ شامل کوه و بیابان به وجود آمده است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۱). بیش از نیمی از مساحت ایران را سرزمین‌های کوهستانی و ارتفاعات بالادست دربر گرفته (فیروز، ۱۳۵۳) و این ماتریس کوهستانی الزامات، شرایط، محدودیت‌ها و فرصت‌های خاصی را به وجود آورده است. سیستم همبستهٔ بالادست- پایین‌دست با حوزه‌های آبخیز بسته سبب شکل‌گیری الگوی خاصی از سرزمین‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک بخش‌های داخلی ایران شده است (یاوری و همکاران، ۱۳۹۱). اکثریت سکونتگاه‌های انسانی و کلان‌شهرهای بزرگ در دشت‌های همجوار با ارتفاعات استقرار یافته‌اند (رهنمایی، ۱۳۶۹). نرخ کنونی شهرنشینی بیش از ۷۵ درصد و رشد شهرنشینی در دورهٔ ده سالهٔ گذشته ۱/۵ درصد بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳). نواحی کوهپایه‌ای نقش اکوتونی بین کوه و دشت در سیستم بالادست- پایین‌دست را ایفا می‌کنند و بنابراین به لحاظ محیط‌زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. رشد شهرنشینی سبب گسترش سطوح شهری به سمت اکوتون‌های کوهپایه‌ای شده و ساختار- عملکرد این اکوتون‌ها را دچار تغییر کرده است. هدف اصلی این تحقیق بررسی نحوهٔ اتصال، ارتباطات و تغییرات اکوتون های کوهستانی- دشتی در منطقهٔ البرز جنوبی است. سؤال اصلی تحقیق این است: ساختار مکانی اکوتون‌های کوهپایه به‌منزلهٔ مفصل ارتباطی بین کوه در بالادست و دشت در پایین دست در اثر شهرنشینی چگونه تغییر کرده است؟ با مقایسهٔ اکوتون های طبیعی، نیمهٔ دست‌خورده و دست خورده طی زمان الگوی تغییرات را می‌توان به دست آورد. شناسایی این الگوها به برنامه ریزی در سطوح استراتژیک در تمامی مناطقی که دچار این مسئله‌اند کمک خواهد کرد.

برنامه‌ریزی نیازمند تصمیم‌گیری و انتخاب است و برای تصمیم‌گیری باید قضاوت کرد. قضاوت برای انتخاب و تصمیم‌گیری، نیازمند ارزیابی است و ارزیابی با معیار، شاخص و متریک صورت می‌گیرد. بنابراین، ارزیابی شالودهٔ برنامه‌ریزی است و کمّی‌کردن ساختار مکانی در این نواحی اکوتونی و تغییرات آن طی زمان با استفاده از متریک‌های سرزمین پیش‌نیازی برای پایش محیط‌زیستی محسوب می‌شود. پایش در مقیاس سرزمین زمینه را برای بهبود تصمیم‌گیری‌های کاربری زمین و آمایشی فراهم می‌کند. اهداف ویژهٔ این تحقیق عبارت‌اند از: ۱. استفاده از مفاهیم اکولوژی سرزمین برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیستی در نواحی اکوتونی؛ ۲. بازیابی پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و در نظر گرفتن هر نوع پوشش به‌منزلهٔ یک لکه؛ ۳. محاسبه و اندازه‌گیری متریک‌های مکانی سرزمین و تجزیه و تحلیل ترکیب و توزیع فضایی

لکه‌ها؛ و ۴. پایش و ردیابی تغییرات سرزمین طی زمان با استفاده از متریک‌های اکولوژیکی سرزمین.

۵. روش‌شناسی

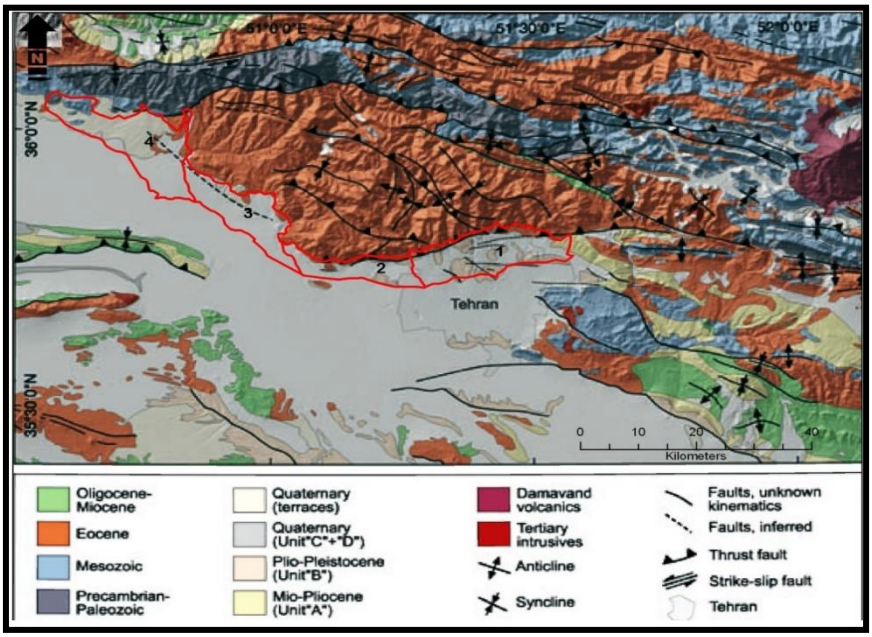
۱.۵. داده‌ها

اطلاعات پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به Landsat 7 ETM+ و Landsat 8 OLI_TIRS به دست آمد که از طریق سایت USGS با فرمت GeoTiff، تصحیح هندسی تا سطح 1G و سیستم مختصاتی UTM WGS 1984 Zone 39N تهیه شدند. علت انتخاب مقاطع زمانی، موجودبودن تصاویر و هدف تحقیق بوده است (جدول ۱).

اطلاعات سازندها، شکل زمین، ژئومورفولوژی، شیب، ارتفاع و جهت با استفاده از ASTER GDEM با فرمت GeoTIFF و توان تفکیک arc-second 1 با سیستم مختصاتی WGS84/EGM96 geoid از طریق سایت USGS؛ نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی؛ توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور و عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش استخراج شدند (شکل ۲).

جدول ۱. ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در این تحقیق

سنجنده	تاریخ أخذ تصویر	توان طیفی	ساعت تصویربرداری (به وقت محلی)	باندهای انعکاسی استفاده‌شده	توان تفکیک	زاویهٔ آزیموت خورشیدی	گذر و ردیف
ETM+	18 July 2000	۸ بیت	۱۰:۲۹:۳۱	۷-۵-۴-۳-۲-۱	۳۰ متر	۱۱۸/۳۱	۱۶۴ -۰۳۵
ETM+	25 July 2000	۸ بیت	۱۰:۳۵:۳۰	۷-۵-۴-۳-۲-۱	۳۰ متر	۱۲۰/۵۱	۱۶۵ -۰۳۵
OLI_TIRS	11 May 2013	۱۶ بیت	۱۰:۴۰:۰۱	۷-۶-۵-۴-۳-۲	۳۰ متر	۱۳۰/۹۱	۱۶۴ -۰۳۵
OLI_TIRS	19 June 2013	۱۶ بیت	۱۰:۳۶:۱۳	۷-۶-۵-۴-۳-۲	۳۰ متر	۱۱۹/۰۳	۱۶۵ -۰۳۵



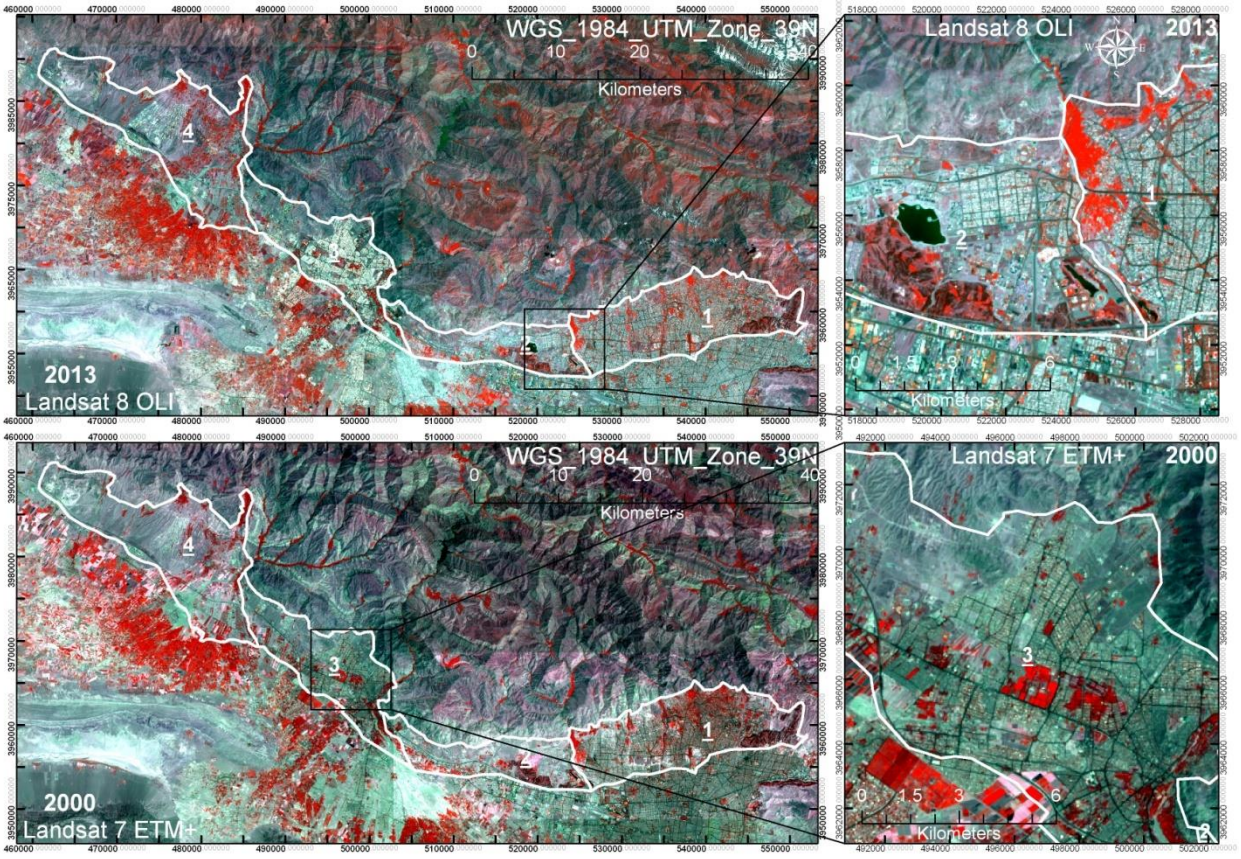
شکل ۲. زمین‌شناسی محدودهٔ مطالعاتی (Landgraf, et al., 2009)

۲.۵. آماده‌سازی داده‌ها و تصحیح هندسی

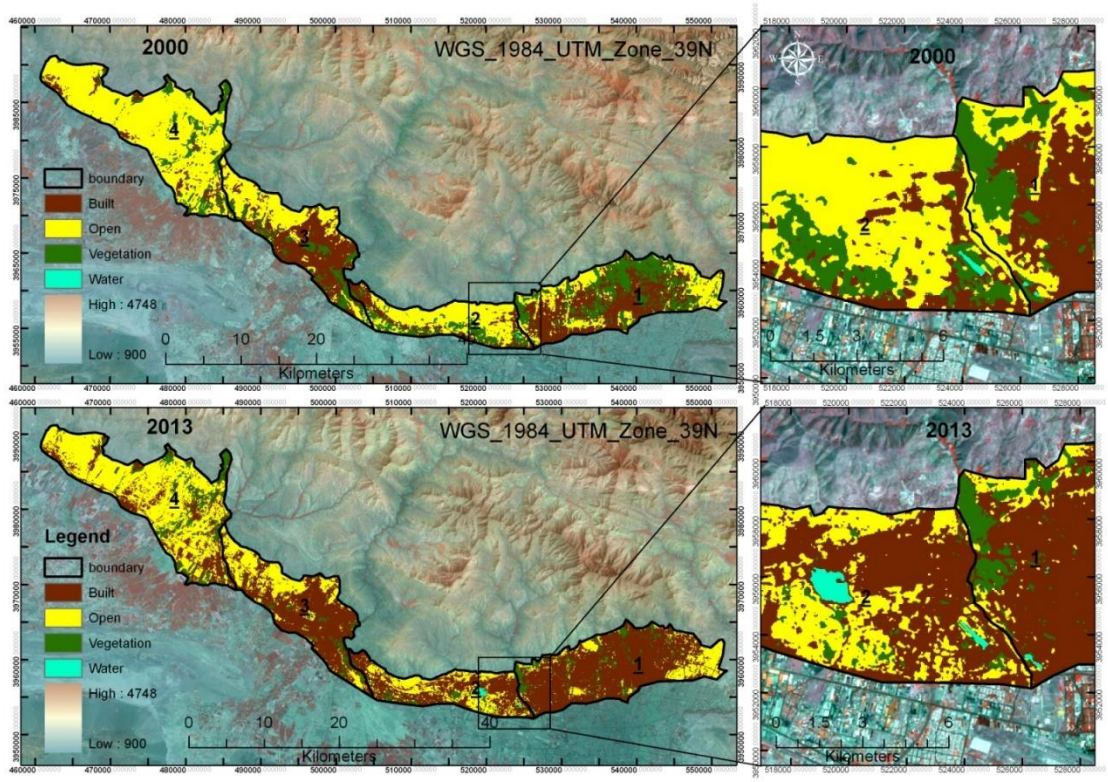
به دلیل جدابودن فایل‌های مربوط به باندهای انعکاسی (باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷) قبل از انجام تصحیح هندسی باندها به فرمت img تبدیل شدند و در یک فایل قرار گرفتند (عملیات Layer Stacking) و در محدودهٔ مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 8.3 برش داده شدند. تصحیح هندسیِ هر چهار تصویر ماهواره‌ای از طریق ارجاع و تطبیق با نقشهٔ توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری با استفاده از ۲۵ نقطه کنترل زمینی (GCP)[۱۴] اکثراً شامل تقاطع خیابان‌ها و جاده‌ها با پراکنش مناسب در سطح تصاویر، انجام شد (شکل ۴). در این مطالعه خطایِ RMS[۱۵] برای همهٔ تصاویر کمتر از نیم پیکسل بود. در ضمن سیستم مختصاتی استفاده‌شده برای تصاویر، UTM بیضوی WGS-84 زون ۳۹ شمالی است (شکل ۳).

۳.۵. تعیین حدود اکوتون کوهپایه‌ها

مرز شمالی اکوتون کوهپایه‌ها همان خط کنیک قرار داده شد. خط کنیک مرز بین کوه و دشت‌سر یا پدیمنت است. مرز بین دشت‌سر و کوهستان را بر اساس شیب یا شاخص دامنهٔ تغییرات ارتفاعی (LER)[۱۶] می‌توان تشخیص داد. مرز جنوبی با استفاده از تلفیق واحد های ژئومورفولوژیک تپه ماهورها و خط تراز ارتفاعی ۱۳۰۰ متر تعیین شد. مرزهای شمالی و جنوبی با استفاده از عکس های هوایی، نقشه های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[۱۷] ترسیم شدند. مرز شرقی بر مرز اداری شهرداری تهران و مرز غربی بر مرز تقسیمات اداری استان البرز منطبق است. داده‌های تقسیمات اداری از مرکز سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهران (۱۳۸۵) و مطالعات طرح جامع تهران (۱۳۸۶) تهیه شدند. مجموعهٔ عملیات بر روی داده‌های وکتوری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 انجام شدند.



شکل ۳. تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳



شکل ۴. نقشه‌های طبقه‌بندی‌شدهٔ پوشش زمین در سال‌های ۲۰۰ و ۲۰۱۳

۴.۵. پهنه‌بندی طولی اکوتون

کل محدودهٔ مطالعاتی به لحاظ منابع اراضی و کاربری ها به چهار واحد تقسیم شد: ۱: واحد شمال تهران تا رود دره‌کن؛ ۲: رود دره‌کن تا رود کرج؛ ۳: رود کرج تا رود کردان و ۴: رود کردان تا آبیک. تحلیل‌های اطلاعات به تفکیک پهنه‌ها با استفاده از مجموعهٔ Spatial Analyst و Zonal در نرم‌افزار ArcGIS 9.2 انجام شدند.

۵.۵. طبقه‌بندی پوشش زمین و تهیهٔ موزاییک نقشه‌ها

پوشش زمین به چهار طبقه تقسیم شد: پوشش گیاهی، ساخت و ساز، فضای باز و آب. طبقه بندی به شکل نظارت‌شده با معرفی نمونه‌های تعلیمی[۱۸] و الگوریتم حداکثر شباهت[۱۹] با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 8.4 انجام شد. ۴۰ نمونهٔ تعلیمی برای هر تصویر (۱۰ نمونه برای هر پوشش) استفاده شدند. مناطق کوچک‌تر از ۰/۲۷ هکتار (سه پیکسل در یک پیکسل) در واحدهای بزرگ تر کناری ادغام شدند. ارزیابی صحت[۲۰] برای تصاویر انجام و میزان آن بیشتر از ۸۰ درصد محاسبه شد. پس از انجام طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش مربوط به هر مقطع زمانی در کنار یکدیگر موزاییک شدند (شکل ۴).

۶.۵. محاسبهٔ متریک‌های سرزمین

متریک‌های سرزمین سنجه‌هایی محسوب می‌شوند که از طریق آن ها می‌توان الگوهای فضایی را شناسایی کرد. متریک‌ها سه جنبه از تغییرات سرزمین شامل از بین رفتن، تخریب و تکه‌شدگی را نشان می‌دهند. الگوی ساختاری سرزمین را می‌توان در دو بعد اصلی یعنی ترکیب و توزیع اندازه‌گیری کرد. در بعد ترکیب تعداد، نوع و گسترهٔ عناصر اندازه گرفته می‌شود در حالی که در توزیع ویژگی‌های فضایی، آرایش و موقعیت عناصر سنجیده می‌شوند (Botequilha and Ahern, 2002). متریک‌های استفاده‌شده (جدول ۲) در دو سطح کلاس و سرزمین با استفاده از نرم‌افزارهای Fragstats 4.2 و ArcGIS 9.3 (Focal Statistics; Zonal Statistics; Service Area) محاسبه شدند.

جدول ۲. متریک‌های سرزمین و نحوهٔ محاسبهٔ آن‌ها

متریک	NP	CAP	MPS	AW-MPS	TE	PARA	MNND
فرمول	n_i	$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\left(\frac{1}{10000}\right)$	$\frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n_i}$	$\sum_{j=1}^{n}\left[x_{ij}\left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}\right)\right]$	$\sum_{k=1}^{n} e_{ik}$	$\left(\frac{p_{ij}}{a_{ij}}\right) \times 100$	h_{ij}
دامنه	NP ≥ 1, without limit.	CAP > 0, without limit.	MPS > 0, without limit.	AW-MPS > 0, without limit.	TE ≥ 0, without limit.	PARA > 0, without limit.	ENN > 0, without limit.
توصیف	تعداد لکه‌ها	وسعت هر کلاس (هکتار)	میانگین اندازهٔ لکه‌ها (متر مربع)	میانگین وزنی اندازهٔ لکه‌ها (متر مربع)	مجموع لبه‌ها (کیلومتر)	نسبت محیط به مساحت	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (متر)

۶. یافته‌های پژوهش

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد در بازهٔ زمانی ۱۳ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در محدودهٔ اکوتونی کوهپایه‌های دامنهٔ جنوبی البرز مرکزی پوشش گیاهی از ۱۲/۸ به ۸/۵۳ درصد، فضای باز از ۵۱/۴۳ به ۳۸/۵۵ درصد و عرصه‌های ساخته‌شده از ۲۸/۷۳ به ۵۲/۵۹ درصد تغییر کرده‌اند. وسعت نسبی پوشش گیاهی (CAP_Veg) در کل محدوده از ۱۲/۸ در سال ۲۰۰۰ به ۸/۵۳ درصد در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته که این روند کاهشی در همهٔ پهنه‌ها قابل مشاهده است. بیشترین تغییر پوشش گیاهی در پهنهٔ ۱ (شمال تهران) با ۲۲/۶۱ درصد و کمترین در پهنهٔ ۴ (حومهٔ غربی کرج) با ۱۴/۰۷ درصد اتفاق افتاده است. وسعت نسبی فضای باز (CAP_Opn) در کل از ۵۱/۴۳ به ۳۸/۵۵ درصد کاهش یافته که الگوی این روند در همهٔ پهنه‌ها قابل مشاهده است. از لحاظ وسعت نسبی فضای باز پهنهٔ ۲ (حومهٔ تهران- کرج) بیشترین تغییرات و پهنهٔ ۳ (شمال کرج) کمترین تغییرات را از خود نشان داده‌اند. از نظر وسعت فضای باز پهنه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۲۵/۶۷، ۵۹/۴۴، ۳۷/۶۱ و ۷۹/۲۱ درصد و در سال ۲۰۱۳ به ترتیب ۱۶/۴۹، ۳۴/۲۸، ۳۱/۲۰ و ۶۴/۴۲ درصد بوده اند. وسعت نسبی ساخت و سازها (CAP_Bui) در همهٔ پهنه‌ها روند افزایشی داشته به گونه‌ای که در کل محدوده از ۲۸/۷۳ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۵۲/۵۹ درصد در سال ۲۰۱۳ رسیده است. میزان ساخت و سازها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در پهنه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل ۳۱/۶۵، ۳۷/۹۹، ۱۴/۹۱ و ۱۶ درصد افزایش داشته است. بیشترین افزایش ساخت و سازها در پهنهٔ ۲ و کمترین افزایش در پهنهٔ ۳ اتفاق افتاده است. روند ۱۳ سالهٔ این تحقیق نشان می‌دهد که ۳۲/۹۳ درصد از عرصهٔ این اکوتون‌های کوهپایه‌ای دچار تغییرات شده‌اند که مبدأ تغییرات پوشش‌های گیاهی و فضاهای باز و مقصد تبدیلات عرصه‌های ساخته شده‌اند. پهنه‌های ساخت و ساز از ثبات بالایی برخوردارند و کمتر دچار تغییرات عمده می‌شوند.

در کل محدوده تعداد لکه‌ها (NP) از ۱۸۳۶ در ۲۰۰۰ به ۳۴۶۳ افزایش داشته که این موضوع نشان دهندهٔ روند کلی انقطاع و تکه‌شدگی در این منطقه است (جدول ۴). در سال ۲۰۰۰ پهنهٔ ۱ با تعداد ۷۳۲ و پهنهٔ ۲ با ۳۱۷ لکه به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را داشته اند در حالی که در سال ۲۰۱۳ پهنهٔ ۴ با ۱۳۶۵ و پهنهٔ ۳ با ۵۶۷ حداکثر و حداقل مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. در کل محدوده تعداد لکه‌های پوشش گیاهی (NP_Veg)، فضای باز (NP_Opn)، ساخت و ساز (NP_Bui) به ترتیب از ۷۶۵، ۴۳۲ و ۶۳۶ در سال ۲۰۰۰ به ۱۱۸۷، ۱۱۳ و ۱۱۵۵ در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته‌اند. تعداد لکه‌های سبز در پهنهٔ ۴ بیشترین و در پهنهٔ ۲ کمترین تغییرات را داشته‌اند. تعداد لکه‌های فضای باز به ترتیب کاهشی در سال ۲۰۰۰ شامل پهنهٔ ۱ (با مقدار ۱۸۶) > پهنهٔ ۲ (با مقدار ۱۰۱) > پهنهٔ ۳ (با مقدار ۹۳) > پهنهٔ ۴ (با مقدار ۵۵) بود که در سال ۲۰۱۳ به صورت ۱ (۳۳۹) > ۴ (۲۶۷) > ۲ (۲۵۷) > ۳

(۲۵۱) تبدیل شده است. تعداد کل لکه‌های ساخته‌شده طی این ۱۳ سال از ۶۳۶ به ۱۱۵۵ افزایش داشته است. نکتهٔ جالب آن است که تعداد لکه‌های ساخت و ساز (NP_Bui) در پهنهٔ ۱ از ۲۰۲ به ۱۴۰ کاهش یافته که حاکی از گسترده‌شدن عرصه‌های ساخت و ساز و به هم پیوستن آن‌هاست. تعداد لکه‌های ساخت و ساز در سایر پهنه‌ها افزایش داشته که بیشترین آن در پهنهٔ ۴ از ۲۱۲ به ۷۳۷ لکه است.

جدول ۳. متریک‌های مختلف در کل پهنه‌ها در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳

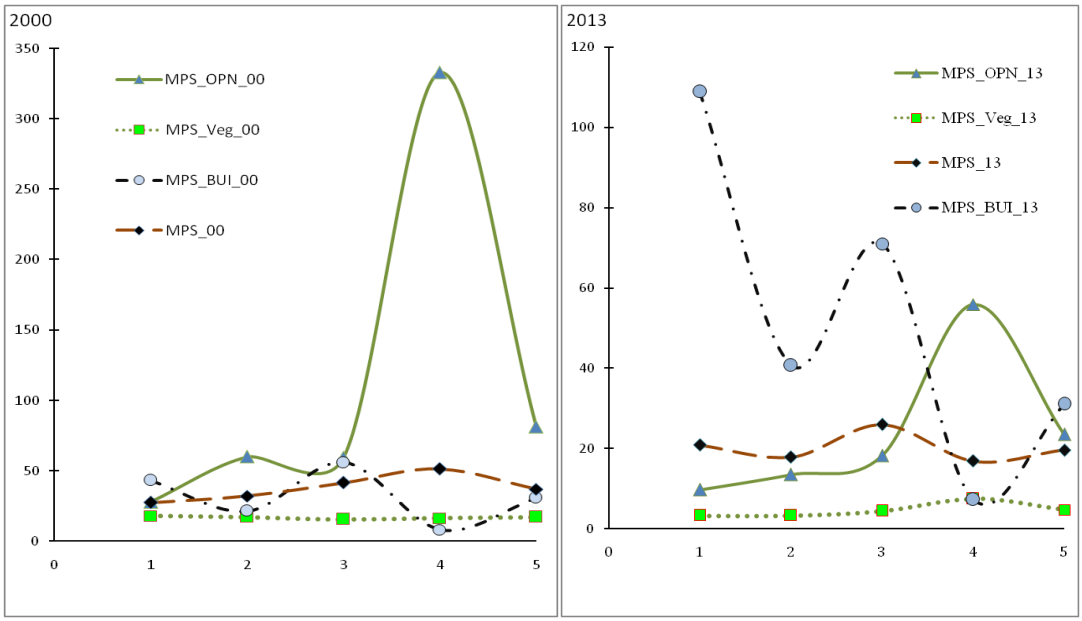
پهنه	مساحت (ha)	سال	CAP_Veg (%)	CAP_Opn (%)	CAP_Bui (%)	NP	MPS (ha)	AW-MPS (ha)	MNND (m)	TE (Km)	PARA
۱	۱۷۹۹۲۶۱۱	۲۰۰۰	۳۰/۹۲	۲۵/۶۷	۴۳/۱۲	۷۳۲	۲۷/۴۷	۳۵۶۱/۶۵	۱۷۳/۳۹	۱۶۱۱/۰۲	۳/۶۱
		۲۰۱۳	۸/۳۱	۱۶/۴۹	۷۴/۹۶	۹۶۶	۲۰/۸۵	۱۱۱۰۴/۰۰	۱۸۶/۵۵	۱۳۹۵/۷۱	۴/۷۰
۲	۹۱۰۷۲۳۵	۲۰۰۰	۱۹/۶۴	۵۹/۴۴	۲۰/۲۶	۳۱۷	۳۲/۱۷	۲۹۱۵/۷۱	۲۴۳/۳۰	۷۱۳/۸۴	۳/۶۰
		۲۰۱۳	۵/۵۷	۳۴/۲۸	۵۸/۵۹	۵۷۲	۱۷/۸۹	۳۴۷۶/۸۹	۱۸۰/۶۱	۱۰۴۹/۸۲	۴/۴۳
۳	۱۳۱۴۹۲۱۶	۲۰۰۰	۱۴/۱۹	۳۷/۶۱	۴۷/۸۶	۳۵۳	۴۱/۶۱	۳۵۱۸/۷۸	۲۳۶/۱۷	۸۷۶/۵۵	۳/۲۴
		۲۰۱۳	۵/۷۴	۳۱/۲۰	۶۳/۰۱	۵۶۷	۲۵/۹۴	۵۴۱۳/۸۶	۲۰۰/۳۵	۱۰۵۴/۷۷	۴/۲۹
۴	۲۰۵۹۶۷۶۱	۲۰۰۰	۱۲/۸۰	۷۹/۲۱	۷/۶۹	۴۴۷	۵۱/۴۸	۱۳۳۲۸/۰۹	۳۸۷/۰۲	۱۰۱۶/۵۴	۳/۵۸
		۲۰۱۳	۱۱/۸۲	۶۴/۴۲	۲۳/۷۴	۱۳۶۵	۱۶/۸۷	۷۹۵۴/۷۱	۲۳۱/۹۳	۲۲۵۷/۷۰	۴/۵۳
کل	۶۰۸۴۵۸۲۳	۲۰۰۰	۱۲/۸۰	۵۱/۴۳	۲۸/۷۳	۱۸۳۶	۳۶/۹۷	۸۹۹۸/۷۸	۲۶۹/۷۳	۴۱۳۹/۲۴	۳/۵۸
		۲۰۱۳	۸/۵۳	۳۸/۵۵	۵۲/۵۹	۳۴۶۳	۱۹/۶۲	۱۶۶۸۵/۱۳	۲۰۴/۰۱	۵۶۲۸/۱۴	۴/۵۳

میانگین اندازهٔ لکه ها (MPS) از طریق نسبت مساحت لکه‌ها به تعداد لکه‌ها به دست می‌آید. در کل میانگین اندازه از ۳۶/۹۷ در سال ۲۰۰۰ به ۱۹/۶۲ هکتار در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته که نشان‌دهندهٔ افزایش تعداد لکه‌ها و کوچک‌ترشدن مساحت ناشی از فرایند انقطاع و تکه‌شدگی است (شکل ۵). میانگین اندازه در پهنه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب از ۲۷/۴۷، ۳۲/۱۷، ۴۱/۶۱ و ۵۱/۴۸ در سال ۲۰۰۰ به ۲۰/۸۵، ۱۷/۸۹، ۲۵/۹۴ و ۱۶/۸۷ در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته است. طی دورهٔ ۱۳ ساله میانگین اندازهٔ پوشش گیاهی (MPS_Veg)، فضای باز (MPS_Opn) و ساخت و ساز (MPS_Bui) در کل محدوده به ترتیب از ۱۷/۲۵، ۸۱/۰۸ و ۳۰/۸۷ به ۴/۷۶، ۲۳/۵۶ و ۳۱/۱۰ تغییر کرده است. در همهٔ پهنه‌ها اندازهٔ پوشش گیاهی و فضای باز کاهش داشته است. این در حالی است که اندازهٔ ساخت و سازها به جز پهنهٔ ۴ در سایر پهنه‌ها روند افزایشی داشته است. میانگین اندازهٔ ساخت و ساز در پهنه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ طی این دوره به ترتیب از ۴۳/۲۲، ۲۱/۴۲، ۵۵/۸۷ و ۸/۲۶ به ۱۰۸/۸۵، ۴۰/۷۷، ۷۱/۰۵ و ۷/۳۱ تغییر کرده است. روند میانگین اندازهٔ فضای باز در سال ۲۰۰۰ به ترتیب پهنهٔ ۴ (۳۳۲/۸۲) > پهنهٔ ۲ (۶۰/۰۸) > پهنهٔ ۳ (۵۹/۹۰) > پهنهٔ ۱ (۲۷/۸۸) بوده که در سال ۲۰۱۳ به صورت پهنهٔ ۴ (۵۵/۹۲) > پهنهٔ ۳ (۱۸/۲۷) > پهنهٔ ۲ (۱۳/۵۳) > پهنهٔ ۱ (۹/۷۷) تغییر کرده است.

میانگین وزنی اندازهٔ لکه ها (AW-MPS) بر خلاف میانگین حسابی که وزن یکسانی برای همهٔ لکه‌ها در نظر می‌گیرد، وزن هر لکه را بر اساس نسبت مساحت لکه به مساحت کل در نظر می‌گیرد. هر جا دامنهٔ نوسانات مقادیر زیاد باشد استفاده از میانگین حسابی نمی‌تواند از شرایط توصیف واقعی ارائه کند، از این رو میانگین وزنی درک صحیح‌تری از موضوع ارائه خواهد داد. میانگین وزنی اندازه در سال ۲۰۰۰ در کل محدوده ۸۹۹۸/۸۷ هکتار بوده که در ۲۰۱۳ به ۱۶۶۸۵/۱۳ هکتار افزایش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار میانگین وزنی اندازه در ۲۰۰۰ به ترتیب در پهنه‌های ۴ (۱۳۳۲۸/۰۹ هکتار) و ۲ (۲۹۱۵/۷۱ هکتار) بوده‌اند، اما در سال ۲۰۱۳ پهنهٔ ۱ با ۱۱۱۰۴ هکتار بیشترین و پهنهٔ ۲ با ۳۴۷۶/۸۹ هکتار کمترین مقادیر را

داشتند. میانگین وزنی اندازهٔ پوشش گیاهی (AW_MPS_Veg)، فضای باز (AW_MPS_Opn) و ساخت و ساز (AW_MPS_Bui) در سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۴۹۳/۹۰، ۱۴۰۶۰/۵۹ و ۵۶۹۵/۷۶ هکتار بود که در سال ۲۰۱۳ به ۶۵/۸۱، ۷۰۶۳/۷۸ و ۲۶۳۹۴/۶۶ هکتار تغییر کرد. در پهنه‌های ۱، ۲ و ۳ میانگین اندازه روند کاهشی داشته، اما میانگین وزنی افزایش یافته است که این تفاوت روند تغییرات حاکی از حساسیت متفاوت بین این دو شاخص است. این در حالی است که در پهنهٔ ۴ میانگین حسابی و وزنی الگوی روند کاهشی را نشان می‌دهند.

میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (MNND) شاخصی از پیوستگی و نحوهٔ توزیع لکه‌ها در سرزمین است. هرچه مقدار این شاخص کم باشد اتصال و پیوستگی بین عناصر زیاد است و بالعکس. میانگین فاصله در سال ۲۰۰۰ از ۲۶۹/۷۳ به ۲۰۴/۰۱ متر در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته است (جدول ۵). میانگین فاصلهٔ پوشش‌های گیاهی (MNND_Veg) در همهٔ پهنه‌ها به جز پهنهٔ ۴ افزایش یافته است. در کل میانگین فاصلهٔ پوشش‌های گیاهی طی این دورهٔ ۱۳ ساله از ۳۵۰/۵۶ به ۳۹۰/۴۷ متر افزایش یافته که نشان‌دهندهٔ کاهش اندازهٔ لکه‌ها، افزایش جدایی لکه‌ها و انقطاع زیاد در سرزمین است. میانگین فاصلهٔ فضاهای باز (MNND_Opn) طی این دوره در همهٔ پهنه‌ها به جز پهنهٔ ۳ روند افزایشی داشته است. در سال ۲۰۰۰ بیشترین و کمترین مقدار میانگین فاصلهٔ فضاهای باز به ترتیب ۲۸۴/۴۴ (در پهنهٔ ۱) و ۲۴/۸۰ متر (در پهنهٔ ۴) بوده است که در سال ۲۰۱۳ با همان الگو به ترتیب ۳۰۹/۳۲ و ۳۴/۲۵ متر شده‌اند. میانگین فاصلهٔ ساخت و سازها (MNND_Bui) در همهٔ پهنه‌ها روند کاهشی طی کرده که نشان‌دهندهٔ افزایش اندازهٔ لکه‌های ساخت و ساز و پیوستگی بیشتر بین آن‌هاست. میانگین فاصلهٔ ساخت و سازها در سال ۲۰۰۰ دارای روند پهنهٔ ۱ (۱۱۲/۴۶) > پهنهٔ ۳ (۱۱۶/۹۹) > پهنهٔ ۲ (۳۷۸/۵۶) > پهنهٔ ۴ (۵۶۵/۸۶) بوده که در سال ۲۰۱۳ به صورت پهنهٔ ۱ (۲۳/۸۶) > پهنهٔ ۲ (۳۷/۵۹) > پهنهٔ ۳ (۵۰/۱۹) > پهنهٔ ۴ (۱۳۰/۳۶) تبدیل شده است. در سال ۲۰۰۰ کمترین میانگین فاصله بین لکه‌ها مربوط به فضاهای باز در پهنهٔ ۴ (۲۴/۸۰ متر) و بیشترین آن مربوط به پوشش گیاهی در پهنهٔ ۴ است. در سال ۲۰۱۳ کمترین فاصله مربوط به ساخت و سازها در پهنهٔ ۱ (۲۳/۸۶ متر) و بیشترین مربوط به پوشش گیاهی در پهنهٔ ۴ (۵۳۱/۱۹ متر) است.



شکل ۵. نمودار متریک میانگین اندازهٔ لکه‌ها (MPS) در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳

جدول ۴. متریک تعداد لکه‌ها به تفکیک کلاس‌های پوشش زمین

پهنه	سال	NP	NP_Veg	NP_Opn	NP_Bui	NP_Wat
۱	۲۰۰۰	۷۳۲	۳۴۲	۱۸۶	۲۰۲	۲
	۲۰۱۳	۹۶۶	۴۸۲	۳۳۹	۱۴۰	۵
۲	۲۰۰۰	۳۱۷	۱۱۶	۱۰۱	۹۹	۱
	۲۰۱۳	۵۷۲	۱۶۳	۲۵۷	۱۴۹	۳
۳	۲۰۰۰	۳۵۳	۱۳۴	۹۳	۱۲۶	۰
	۲۰۱۳	۵۶۷	۱۸۵	۲۵۱	۱۳۱	۰
۴	۲۰۰۰	۴۴۷	۱۸۰	۵۵	۲۱۲	۰
	۲۰۱۳	۱۳۶۵	۳۶۱	۲۶۷	۷۳۷	۰
کل	۲۰۰۰	۱۸۳۶	۷۶۵	۴۳۲	۶۳۶	۳
	۲۰۱۳	۳۴۶۳	۱۱۸۷	۱۱۱۳	۱۱۵۵	۸

جدول ۵. متریک میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (MNND)

پهنه	MNND		MNND_Veg		MNND_Opn		MNND_Bui	
	۲۰۰۰	۲۰۱۳	۲۰۰۰	۲۰۱۳	۲۰۰۰	۲۰۱۳	۲۰۰۰	۲۰۱۳
۱	۱۷۳/۳۹	۱۸۶/۵۵	۱۲۳/۲۷	۲۲۶/۴۸	۲۸۴/۴۴	۳۰۹/۳۲	۱۱۲/۴۶	۲۳/۸۶
۲	۲۴۳/۳۰	۱۸۰/۶۱	۲۹۲/۴۴	۴۱۳/۹۶	۵۸/۸۹	۹۰/۲۹	۳۷۸/۵۶	۳۷/۵۹
۳	۲۳۶/۱۷	۲۰۰/۳۵	۳۵۷/۴۸	۳۷۸/۱۴	۲۳۴/۰۵	۱۷۲/۷۲	۱۱۶/۹۹	۵۰/۱۹
۴	۳۸۷/۰۲	۲۳۱/۹۳	۵۷۰/۳۹	۵۳۱/۱۹	۲۴/۸۰	۳۴/۲۵	۵۶۵/۸۶	۱۳۰/۳۶
کل	۲۶۹/۷۳	۲۰۴/۰۱	۳۵۰/۵۶	۳۹۰/۴۷	۱۵۱/۹۰	۱۵۳/۸۹	۳۰۶/۷۵	۶۷/۶۶

مجموع لبه‌ها (TE) از طریق اندازه‌گیری مجموع مرزها در سرزمین اندازه‌گیری می‌شود. هرچه میزان مرزها در یک پهنه زیادتر باشد، دانه‌بندی ریزتر و در نتیجه مقاومت محیطی در برابر فرایندها نیز بیشتر می‌شود. شاخص مجموع لبه‌ها به نوعی نشان‌دهندهٔ میزان انقطاع و گسیختگی سرزمین است. در کل محدودهٔ مطالعاتی طی دورهٔ ۱۳ ساله مجموع لبه‌ها از ۴۱۳۹/۲۴ به ۵۶۲۸/۱۴ کیلومتر افزایش یافته که نشان‌دهندهٔ خردشدن و تکه‌شدگی لکه‌ها و افزایش مرزهاست. بیشترین لبه‌ها در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ به ترتیب مربوط به پهنهٔ ۱ (۱۶۱۱/۰۲ کیلومتر) و پهنهٔ ۴ (۲۲۵۷/۷۰ کیلومتر) و کمترین لبه‌ها مربوط به پهنهٔ ۲ با ۷۱۳/۸۴ (در ۲۰۰۰) و ۱۰۴۹/۸۲ کیلومتر (در ۲۰۱۳) است.

نسبت محیط به مساحت (PAR) از شاخص‌های شکلی سرزمین است که نشان‌دهندهٔ میزان اثر لبه و محدودهٔ درونی لکه‌هاست. هرچه میزان این شاخص افزایش یابد شکل لکه‌ها باریک، کشیده و گوشه‌دار و بیشتر تحت تأثیر عوامل بیرونی است، اما هرچه کاهش یابد شکل لکه‌ها به دایره شبیه‌تر می‌شود و آثار بیرونی کمتر است و بخش درونی افزایش می یابد. در کل میانگین نسبت محیط به مساحت از سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۳ به ترتیب از ۳/۵۸ به ۴/۵۳ افزایش یافته که نشان از پیچیده ترشدن شکل لکه ها (گوشه‌دارشدن، تحدب و تعقر لکه‌ها)، افزایش لبه‌ها و کاهش مساحت است. کمترین مقدار این شاخص در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ مربوط به پهنهٔ ۳ و به ترتیب ۳/۲۴ و ۴/۲۹ است که نشان دهندهٔ تنوع شکلی کمتر در این پهنه است. بیشترین مقدار این شاخص در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ مربوط به پهنهٔ ۱ است که به ترتیب ۳/۶۱ و ۴/۷۰

است که حاکی از پیچیدگی شکلی و تنوع فرم لکه‌ها در این پهنه است.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

متریک‌های اکولوژیکی سرزمین، شاخص‌های متنوعی برای تحلیل تغییرات مکانی- زمانی ساختار فراهم می‌کنند. در اکثر مطالعات پیشین فقط معیار مساحت و تغییرات آن در تحلیل ساختار سرزمین استفاده و بسیاری از ابعاد هندسی، توزیعی و آثار آن در فرایندهای اکولوژیکی نادیده گرفته می شد. در این تحقیق تغییرات در تعداد، اندازه، محیط و لبه، فاصله و توزیع پوشش‌های زمین بررسی و تحلیل شدند. انقطاع و تکه‌شدگی فرایندی است که طی آن لکه‌های بزرگ و یکپارچه به واحدهای کوچک‌تری تبدیل می‌شوند. نشانه‌های این فرایند افزایش در تعداد لکه‌ها، میزان لبه‌ها و کاهش اندازهٔ لکه‌هاست. روند افزایش در متریک‌های NP و TE و کاهش در MPS و CAP شواهدی برای فرایند تکه‌شدگی و قطعه‌قطعه‌شدن در محدودهٔ مطالعاتی این تحقیق‌اند.

تغییرات محیط‌زیستی در مقیاس‌های متعددی (از مقیاس محلی، سرزمین و منطقه‌ای تا قاره‌ای و جهانی) روی می‌دهند. برخی از مهم‌ترین تغییرات محیط‌زیستی در مقیاس سرزمین روی می‌دهند که می‌توان به این موارد اشاره کرد: شهرسازی و توسعهٔ شهرنشینی، جنگل‌زدایی، خشک‌شدن تالاب‌ها، تغییرات کاربری و پوشش اراضی. مقیاس سرزمین از اهمیت بسزایی در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های کالبدی- فضایی برخوردار است. تغییرات در مقیاس سرزمین مستقیماً فرایندهای اکولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. الگوی مکانی عناصر در مقیاس سرزمین در جابه‌جایی گونه‌ها، استفاده از منابع، شبکهٔ ارتباطات گونه‌ها و سایر فرایندهای اکولوژیکی تأثیرگذار است. پایش بزرگ‌مقیاس از طریق تصاویر ماهواره‌ای باید با پایش تغییرات محلی مرتبط شود تا شبکه‌ای از پایش محیط‌زیست در مقیاس‌های مختلف شکل گیرد. پایش شرایط سرزمین و تغییرات آن طی زمان پیش‌نیازی برای تصمیم‌گیری بهتر در آمایش سرزمین است. تغییرات محلی هنگامی می‌توانند به خوبی ادراک شوند که در بستر جغرافیایی کلان مدنظر قرار گیرند و ارتباط آن‌ها با ماتریس پیرامونی بررسی شود. تعیین وضعیت و روندهای تغییر در الگوی عناصر در مقیاس سرزمین، ضرورتی برای ادراک بهتر شرایط منابع اکولوژیکی است. قابلیت‌های کنونی در فناوری شامل سنجش از دور ماهواره‌ای (RS) و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) همراه دانش اکولوژی سرزمین زمینهٔ مناسبی برای پایش کیفیت محیط‌زیستی در مقیاس سرزمین فراهم می‌کنند. کمّی‌سازی الگوی سرزمین و تغییرات آن طی زمان، ضرورتی برای پایش و ارزیابی آثار اکولوژیکی شهرنشینی است. در این تحقیق پایش در مقیاس سرزمین با استفاده از شاخص های مکانی به شکل کمّی صورت گرفته است تا زمینه‌ای برای شکل‌گیری و تدوین نظام پایش سرزمین را فراهم کند.

مفاهیم اکولوژی (سیمای) سرزمین به علت تأکید بر ابعاد کالبدی- مکانی و ارتباط الگوهای ساختاری سرزمین با فرایندهای اکولوژیکی- فرهنگی، بستری مناسب برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی و پایش محیط‌زیست مهیا می کنند. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی قابلیت کاربرد مفاهیم و متریک های اکولوژیکی سرزمین در ارزیابی و پایش کیفیت محیط های اکوتونی کوهپایه‌ای طی زمان بود که با توجه به نتایج اندازه‌گیری متریک‌ها، جامعیت رویکرد اکولوژی سرزمین در مهیاکردن بستری برای سنجش و ایجاد چارچوبی برای ارزیابی مشخص شد. مفهوم «لکه» و تعریف حدود آن، از پیش‌نیازهای اصلی در ارزیابی و تحلیل و پایش محیط‌زیست با رویکرد اکولوژی سرزمین است که با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی در زمینهٔ سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، باید تلفیقی مابین این مفهوم و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای ایجاد کرد. در این تحقیق پیش‌فرض بر این قرار گرفت که هر «پوشش زمین» به‌منزلهٔ هم ارز یک لکه قرار

گیرد. با توجه به وسعت تحت پوشش تصاویر ماهواره‌ای و در دسترس‌بودن آن‌ها در زمان‌های مختلف، امکان بررسی و ارزیابی کلان‌مقیاس تحولات و دینامیک محیط اکوتونی در مقیاس سرزمین به خوبی انجام شد. در انتخاب تصاویر سعی بر آن شد تا تصاویر ماهواره‌ای در فصل بهار در ماه های اردیبهشت و خرداد باشند که امکان بهتری برای بررسی نوسانات پوشش‌های گیاهی فراهم می‌کرد. متریک‌های اکولوژی سرزمین، شاخص‌هایی برای توصیف و تبیین ویژگی‌های مکانی- فضایی اعم از هندسی، توپولوژیکی، کورولوژیکی و مورفولوژیکی فراهم می‌کنند. دو بعد اصلی در تحلیل ساختار هر سرزمین شامل ترکیب و توزیع می‌شود. ترکیب ویژگی‌های کلی و میانگین را بیان می‌کند، در حالی که متریک‌های توزیعی با ویژگی‌های شکل و فرم و چیدمان و آرایش عناصر را بررسی می‌کنند. از بین متریک‌های استفاده‌شده در این تحقیق NP، CAP و MPS تحت لوای ترکیب قرار داشتند و متریک‌های TE، PARA و MNND جزئی از متریک‌های توزیع محسوب می‌شوند. در زمینهٔ انتخاب متریک‌ها برای ارزیابی مطالعات زیادی شکل گرفته است که در این تحقیق از نتایج مطالعات Botequilha، Ahern، Lausch و Herzog در سال ۲۰۰۲ استفاده شد تا مجموعهٔ مناسبی از شاخص‌ها برای ارزیابی و پایش تدوین شود. با توجه به اینکه تصاویر در دو مقطع زمانی استفاده شدند، این فرصت به دست آمد تا نحوهٔ تعاملات و تحولات سرزمین (پویایی و دینامیسم) پایش و ردیابی شوند. در اکثر مطالعاتی که تحت عنوان بررسی تغییرات کاربری/ پوشش زمین منتشر شده‌اند، تحولات سرزمین فقط از جهت یک متریک (وسعت نسبی پوشش یا CAP) تحلیل و سنجش شده‌اند، اما در این تحقیق از ۷ متریک و شاخص برای بررسی و پایش تغییرات سرزمین استفاده شده است. تغییرات در توزیع و چیدمان سرزمین اطلاعات فراوانی از روندها و نیرو محرکه‌ها به دست می‌دهند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

فرایندهای تغییرات در یک محیط طبیعی از دیدگاه Forman در سال ۱۹۹۵ به پنج مرحله تقسیم می‌شوند که از ابتدا تا انتها به این قرار است: ۱. سوراخ شدگی سرزمین؛ ۲. انقطاع؛ ۳. تکه‌تکه‌شدن سرزمین؛ ۴. کوچک‌ترشدن اندازهٔ لکه‌های طبیعی؛ و ۵. از بین رفتن لکه‌های طبیعی. با توجه به روند تغییرات در هر یک از پهنه‌ها می‌توان به صورت کلی این‌گونه تفسیر کرد: پهنهٔ ۱ (شمال تهران) و ۳ (شمال کرج) در مراحل پایانی توالی تغییرات‌اند که کوچک‌تر و ناپدیدشدن لکه‌های طبیعی (سبز و باز) و افزایش لکه‌های انسانی (ساخت و سازها) شواهد آن محسوب می‌شوند. پهنهٔ ۲ (حومهٔ تهران و کرج) و ۴ (حومهٔ کرج و قزوین) در مراحل میانی این توالی واقع شده‌اند که تکه‌شدگی فضاهای باز و سبز و افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش اندازهٔ لکه‌ها نشانه‌های آن به شمار می‌روند.

در سیستم‌های همبستهٔ بالادست- پایین‌دست، ویژگی های طبیعی و فرهنگی به صورت کمربندهای مشخص ارتفاعی قابل مشاهده‌اند (یاوری و همکاران، ۱۳۹۱). کمربند اکوتونی کوهپایه، در میانهٔ این گرادیانت ارتفاعی واقع شده است؛ درست در جایی که کوهستان و شیب‌های تند ناگهان به دشت‌هایی کم‌شیب تبدیل می‌شوند. رودخانه‌ها بار فرسایشی خود را رسوب می‌دهند و مخروط‌افکنه‌ها شکل می‌گیرند. به دلیل خاک حاصل‌خیز و آب، باغات فراوانی در این محدوده قرار گرفته‌اند. اولین حلقهٔ چاه‌ها در رشته‌های قنات (مادر چاه‌ها) در این محدوده‌اند. به دلیل کاهش سرعت رودخانه، این اکوتون‌ها محل تغذیهٔ آبخوان‌ها از طریق نفوذ آب‌اند.

روند کلی تغییرات در این کمربند اکوتونی به این صورت بوده است که فضاهای باز و سبز کاهش یافته و عرصه‌های ساخت و ساز افزایش داشته‌اند. این تغییرات سبب کاهش نفوذپذیری و در نتیجه آفت آب‌های زیرزمینی، خشک‌شدن چاه‌ها و قنات‌ها در محدوده‌های پایین‌دستی شده است (Paul and Mayer, 2001). همچنین، با توجه به این ویژگی اقلیمی که ۴۰ درصد کل بارش سالیانه در ۱۰ درصد روزهای بارش می‌بارد

(Alijani et al., 2008) سیلاب‌های فراوان ناشی از تولید رواناب تشدید شده و خسارات اقتصادی- اجتماعی فراوانی به بار آورده‌اند.

اکوتون‌های کوهپایه‌ای فرصت مناسبی برای تفرج گسترده توأم با حفاظت است. حضور باغات، روددره‌ها، آب و هوای مطبوع و ویژگی‌های زیبایی‌شناختی زمینهٔ مناسبی برای برنامه‌ریزی پایدار کاربری زمین و به کار بستن ایده‌های محیطزیستی در این کمربندهای استراتژیک فراهم می‌کند. با توجه به اینکه بیش از نیمی از سرزمین ایران کوهستانی است و اکثر شهرهای بزرگ در میان‌بندها قرار گرفته‌اند، بنابراین اکوتون‌های کوهپایه‌ای نقش استراتژیکی در ساختار و عملکرد منطقه‌ای دارند. تخریب اکوتون‌های کوهپایه‌ای در منطقهٔ شهری تهران و کرج، هشداری برای توجهات بیشتر به این کمربندهای اکوتونی در سایر نقاط کشور است. پیشگیری از درمان بهتر است.

یادداشت‌ها

1. Composition
2. Patch Richness
3. Class Area Proportion
4. Patch Number
5. Patch Density
6. Mean Patch Size
7. Perimeter to Area Ratio
8. Edge Contrast
9. Patch Gyration
10. Mean Nearest Neighbor Distance
11. Contagion
12. Configuration
13. Vegetation- Impervious Surface- Soil
14. Ground Control Point
15. Root Mean Square Error
16. Local Elevation Range
17. Digital Elevation Model
18. Training Sample
19. Maximum Likelihood
20. Accuracy Assessment

منابع

حدیثی، ط.، جعفرپور، ا. ۱۳۸۱. مشخصات طبیعی جبههٔ جنوبی البرز مرکزی با تأکید بر شرایط اقلیمی، چاپ اول، انتشارات قلمستان، تهران.

رهنمایی، م. ۱۳۶۹. توسعهٔ تهران و دگرگونی در ساختارهای نواحی روستایی اطراف، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، سال ۵، شمارهٔ ۱، شمارهٔ مسلسل ۱۶. صص ۳۴- ۴۵.

سعیدنیا، ا. ۱۳۶۸. مکان شهر تهران، مجلهٔ محیطشناسی، شمارهٔ ۱۵، صص ۱- ۱۰.

شهیدی، ع. و نظری، ح. ۱۳۹۱. زمین ساخت البرز، انتشارات جوان امروز، تهران.

فیروز، ا. ۱۳۵۳. محیطزیست در ایران، ترجمهٔ ا. کریمی، انتشارات انجمن ملی حفاظت منابع طبیعی و محیط انسانی، تهران.

محمودی، ف. ۱۳۶۹. سیمای طبیعی شهر تهران، مؤسسهٔ جغرافیای دانشگاه تهران، مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۲۶، صص ۱۲۳- ۱۳۵.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۳. از طریق اینترنت به آدرس زیر: http://www.amar.org.ir/Default.aspx?tabid=1604..

مرکز سیستم اطلاعات جغرافیایی شهر تهران (TGIS). ۱۳۸۵. لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی شهر تهران، شهرداری تهران، مرکز اطلاعات و پردازش شهر تهران، تهران.

مطالعات طرح جامع شهر تهران. ۱۳۸۶. وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی، دفتر برنامه‌ریزی و طراحی، تهران.

یاوری، ا. ر.، دارایی، ل.، هاشمی، س. م.، زبردست، ل. ۱۳۹۱. سرزمین ایران: سرزمینی حاصل از آمیزش کوه و کویر، چاپ اول، نشر یاران مهر، تهران.

Alijani, B., O'Brien, J., and Yarnal, B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. Theoretical and Applied Climatology, 94:107–124.

Baskent, E. Z., and Kadiogullari, A. I. 2007. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: a case study in Inegöl. Landscape and Urban Planning, 81(4), 316-327.

Becker, A., Körner, C., Brun, J. J., Guisan, A., and Tappeiner, U. 2007. Ecological and land use studies along elevational gradients. Mountain Research and Development, 27(1), 58-65.

Botequilha, A., and Ahern, J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning.Landscape and urban planning, 59(2), 65-93.

Burel, F., and Baudry, J. 2003. Landscape ecology: concepts, methods, and applications. Science Publishers.

Farina, A. 2010. Ecology, cognition and landscape: linking natural and social systems. Springer. pp. 169.

Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge, England, 632 pp.

Forman, R. T.T., and Collinge, S. K. 1997. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. Landscape and Urban Planning, 37(1), 129-135.

Hahs, A. K., and McDonnell, M. J. 2006. Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban–rural gradient. Landscape and Urban Planning, 78(4), 435-448.

Ingegnoli, V. 2002. Landscape ecology: a widening foundation. Springer.

Jahani, H.R. and Reyhani, M. 2006: Role of groundwater in Tehran water crisis mitigation. International Workshop on Groundwater for Emergency Situations. Tehran: Regional Center on Urban Water Management/UNESCO-IHP, 2006. 6.

Körner, C. 2007. The use of 'altitude'in ecological research.Trends in Ecology and Evolution, 22(11), 569-574.

Körner, C., Ohsawa, M., and Spehn, E. 2006. Mountain Systems. Chapter 24 in Hassan R, Scholes R, Ash N, editors Millennium Ecosystem Assessment. Current State and Trends: Ecosystems and Human Well-being, vol. 1. Washington, DC: Island Press, pp 681–716.

Landgraf, A., Ballato, P., Strecker, M. R., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H., and Shahpasandzadeh, M. 2009. Fault-kinematic and geomorphic observations along the North Tehran Thrust and Mosha Fasham Fault, Elburz mountains Iran: Implications for fault-system evolution and interaction in a changing tectonic regime. Geophysical Journal International, 177(2), 676-690.

Lausch, A., and Herzog, F. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. Ecological indicators, 2(1), 3-15.

Luck, M., and Wu, J. 2002. A gradient analysis of urban landscape pattern:a case study from the Phoenix metropolitan region of USA.Landscape Ecol. 17, 327–339.

O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Jones, K. B., Riitters, K. H., Wickham, J. D., Schwartz, P. M., and Baillargeon, W. S. 1997. Monitoring environmental quality at the landscape scale. BioScience, 47(8), 513-519.

Paul, M. J. and Meyer, J. L. 2001. Streams in Urban Landscape. Annu. Rev. Ecol. Syst. 32: 333-65.

Ridd, M.K. 1995. Exploring a V–I–S (vegetation–impervious surface–soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: Comparative anatomy for cities. International Journal of Remote Sensing, 16(12), 2165−2185.

Spellerberg, I. F. 2005. Monitoring ecological change. Cambridge University Press.

Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., and Mander, U. 2009. Landscape Metrics: An Overview of Their Use in Landscape Research. Living Rev. Landscape Res. 3:1-28.

Yavari, A. R., Sotoudeh, A., and Parivar, P. 2007. Urban Environmental Quality and Landscape Structure in Arid Mountain Environment. Int. J. Environ. Res, 1(4), 325-340.