

رویکرد شبکه‌بندی هگزاگون در ارزیابی تخریب سیمای سرزمین (مورد مطالعه: شهرستان شمیرانات)

مهدی ایرانخواهی^۱، سید علی جوزی^{۲*}

۱. دکتری محیط زیست- ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲. دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵)

چکیده

در این مطالعه که بر روی سیمای سرزمین شهرستان شمیرانات انجام گرفت، برای اولین بار شبکه‌بندی هگزاگون برای دستیابی به واحدهای همگن در اجرای مدل تخریب به کار گرفته شد. در این راستا، با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه یک شبکه هگزاگون متشکل از ۳۶ واحد (سلول) ایجاد و هر سلول شبکه به عنوان یک زیرسیما در نظر گرفته شد. در ادامه، آسیب‌پذیری اکولوژیک، عوامل تخریب و شدت آن‌ها برای هر سلول با به کارگیری متریک‌های سیمای سرزمین محاسبه و براساس منطق فازی استانداردسازی و طبقه‌بندی شد. در پایان، بر مبنای ضرایب تخریب به دست آمده، تحلیل و پهنه‌بندی سیمای سرزمین انجام گرفت. در مجموع، ۷۳ درصد از مساحت شهرستان شمیرانات با وضعیت تخریب کم و مستعد توسعه شناسایی شد که با رعایت محدودیت‌های اکولوژیک و حریم‌های (رود دره‌ها، فاصله از گسل‌های اصلی و مناطق حفاظت‌شده) قابل توسعه است. همچنین، ۲۳ درصد نیازمند بازسازی و احیاء و ۴ درصد نیازمند اقدامات حفاظتی شناسایی شد. در صورت به کارگیری شبکه هگزاگون به عنوان مبنای ارزیابی تخریب سیمای سرزمین، ضمن محاسبه دقیق‌تر متریک‌ها و در نهایت، برآورد ضریب تخریب به تفکیک سلول‌های همگن، وضعیت کل سیمای سرزمین مورد مطالعه نیز از لحاظ میزان تخریب صورت گرفته و پتانسیل توسعه آتی مشخص خواهد شد.

کلیدواژگان

شبکه هگزاگون، شهرستان شمیرانات، متریک، مدل تخریب سیمای سرزمین، منطق فازی.

مقدمه

جهان در دهه‌های آینده با تغییرات عمیقی در اندازه و توزیع فضایی جمعیت روبه‌رو خواهد شد. شهرنشینی در سطح جهانی، از گذشته تا به حال روند صعودی داشته است. به‌طوری که در سال ۱۹۵۰، ۳۰ درصد و در سال ۲۰۱۴، ۵۴ درصد از جمعیت جهان در نواحی شهری ساکن بوده‌اند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ این میزان به ۶۶ درصد افزایش یابد (United Nations, 2014, p.5).

گسترش نواحی شهری از یک‌سو، باعث افزایش دسترسی مردم به امکانات مدرن و زیرساخت‌های شهری شده است، و از سوی دیگر، کیفیت زندگی ناشی از عدم تعادل و توازن اجتماعی در شهرهای بزرگ کاهش یافته است (Gavrilidis et al., 2016, p.155).

مهم‌ترین چالش توسعه شهری تکه‌تکه‌شدن و به‌اصطلاح پهروشدگی سیمای سرزمین است. توسعه شهری از جنبه اکولوژیکی، به‌دلیل تغییرات فیزیکی، آشفستگی‌های زیاد و غیرقابل پیش‌بینی در سیمای سرزمین به‌وجود می‌آورد. توسعه شهری باعث تکه‌تکه‌شدن، ایزوله‌شدن و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌شود، همچنین، ترکیب گونه‌ای را ساده و یکنواخت می‌کند و باعث تخریب سیستم هیدرولوژیکی می‌شود و جریان انرژی و چرخه مواد غذایی را تغییر می‌دهد (Alberti & Marzluff, 2004, p.12). در برخی شهرها، توسعه شهری برنامه‌ریزی نشده یا با مدیریت نامناسب باعث پراکندگی سریع، آلودگی و تخریب محیط‌زیست همراه با شکل‌گیری الگوهای ناپایدار تولید و مصرف می‌شود (United Nations, 2014, p.7).

توسعه شهری و پهروشدگی ناشی از رشد پراکنده شهری، به‌طور گسترده توسط محققان مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات نشان داده است الگوی سیمای سرزمین در پیرامون مراکز شهری و در امتداد نوارهای ساحلی که در آن‌ها شهرنشینی و فعالیت‌های اقتصادی بشر بیشتر متمرکز است، با انقطاع بیشتری همراه بوده است (Uuemma et al., 2009, p.11). علاوه بر این، بسیاری از مطالعات حاکی از آن است که توسعه زیرساخت‌ها به‌خصوص کریدورهای جاده‌ای در سیمای سرزمین شهری باعث افزایش پهروشدگی زیستگاه‌ها شده است (Saunders et al., 2002; Zhu et al., 2006; Hawbaker et al., 2006; Jaeger et al., 2007).

همچنین، شبکه‌های جاده‌ای باعث آثار نامطلوب مختلف مانند تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین، تداخل کاربری‌ها و آلودگی می‌شوند و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فرایندهای اکولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و با سرعت بخشیدن به تخریب اکوسیستم‌ها، در نهایت به افزایش ریسک‌های اکولوژیکی منطقه منجر می‌شوند (Mo et al., 2016, p.1001).

هر سیمای سرزمین سه خصوصیت عمده، یعنی ساختار، کارکرد و تغییر دارد. ساختار نشان‌دهنده نوع، فراوانی و آرایش اجزای سیمای سرزمین (بستر، لکه‌ها و کریدورها) است. کارکرد به بررسی کنش‌ها و ارتباطات بین اجزای سیمای سرزمین می‌پردازد. تغییر سیمای سرزمین در واقع، مجموعه تغییرات و جایگزینی ساختار و کارکرد موزاییک سیمای سرزمین در طول زمان است. این سه ویژگی سیمای سرزمین از هم تأثیر می‌پذیرند. ساختار فضایی سیمای سرزمین به عنوان موضوعی اصلی در اکولوژی سیمای سرزمین مطرح است، زیرا این ساختار قالب یا الگوی سیمای سرزمین را تعیین می‌کند و در حقیقت این الگوها ترکیبی از شرایط پیچیده محیط زیست و تغییرات آن در اثر فعالیت‌های انسانی هستند (Evelyn et al., 2011, p.18).

تغییرات ساختار سیمای سرزمین می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی و یا انسانی باشد. برای مثال احداث جاده، بوته‌کشی و قطع درختان، تخریب جنگل‌ها، افزایش تراکم ساخت‌وساز و توسعه صنعتی را می‌توان از جمله فعالیت‌های انسانی نام برد که ساختار سیمای سرزمین را تغییر می‌دهد و عملکرد آن را مختل می‌کند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۳۸).

از دهه ۱۹۹۰ تا به حال، همراه با پیشرفت‌های قابل توجه در اکولوژی سیمای سرزمین، متریک‌های سیمای سرزمین به ابزارهایی برای برنامه‌ریزی، ارزیابی و پایش الگوی سیمای سرزمین تبدیل شده است (Peng et al., 2010, p.3). متریک‌ها یا سنج‌های سیمای سرزمین الگوریتم‌هایی برای کمی کردن خصوصیات مکانی خاص لکه‌ها، کلاس‌ها یا موزاییک‌های کل سیمای سرزمین هستند که به عنوان ابزارهای مناسبی برای طراحی و یافتن ارتباط دقیق بین ساختار و کارکرد سیمای سرزمین به کار گرفته می‌شوند (McGarigal et al., 2002, p.17).

در هر صورت مبنای اصلی برای انجام‌دادن محاسبه‌های کمی‌ساز سطح سیمای سرزمین بر فرایند پژوهش‌دگی یا انقطاع قرار داده شده است که یکی از مهم‌ترین فرایندهای موجود در سیمای

سرزمین برای نشان دادن فعالیت‌های انسان در طبیعت و ایجاد اختلال در سطح ساختار و عملکرد سیمای سرزمین است (Ahern & Andre, 2003, p.19).

در این پژوهش، متریک‌های توصیف‌کننده شکل فضایی و ترکیب سیمای سرزمین در قالب مدل تخریب سیمای سرزمین به کار گرفته شده است. مدل تخریب نخستین بار در ایران در سال ۱۳۷۲ (۱۹۹۳م) توسط مخدوم معرفی شد و به عنوان ابزار کمی برای ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست استان آذربایجان شرقی به کار گرفته شد. این مدل، تنها روش ارزیابی پیامد فعالیت‌ها بر محیط زیست و شناسایی نواحی قابل توسعه و غیرقابل توسعه است که در سطح بین‌المللی نیز مطرح شده است (Makhdoum, 2002, p.5).

در این روش، عوامل تخریب به صورت کیفی و از طریق بررسی‌های میدانی شناسایی می‌شوند. از سال ۱۳۷۲ تا کنون این مدل به منظور ارزیابی آثار توسعه در مناطق مختلف کشور به کار گرفته شده است، که از آن جمله می‌توان به بررسی و شناخت اثرات توسعه بر محیط‌زیست در استان هرمزگان (مخدوم و منصوری، ۱۳۷۸)، حوضه آبخیز سد لتیان (جعفری، ۱۳۸۰)، استان همدان (چمنی و همکاران، ۱۳۸۴)، و شهر بندرعباس (جوزی و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد. در سال ۲۰۰۵ نسخه دیگری از مدل تخریب با عنوان مدل تخریب ژاپنی یا «مدل تخریب سیمای سرزمین» توسط آذری دهکردی در ژاپن ارائه شد. در این مدل، که در واقع، نسخه اصلاح‌شده مدل تخریب ایرانی است، متریک‌های سیمای سرزمین به منظور کمی‌سازی شدت تخریب فعالیت‌های انسان و همچنین، آسیب‌پذیری اکولوژیک به کار گرفته شده است (Khazei & Azari Dehkordi, 2008).

شایان ذکر است، در ایران مدل تخریب سیمای سرزمین (LDM)^۱ به عنوان ابزاری کمی برای ارزیابی آثار محیط‌زیستی (EIA)^۲ ناشی از فعالیت‌های توسعه به کار گرفته شده است. در این زمینه می‌توان به تحلیل تخریب سیمای سرزمین در حوضه آبخیز سفیدرود (خزاعی و آذری دهکردی،

1. Landscape Degradation Model
2. Environmental Impact Assessment

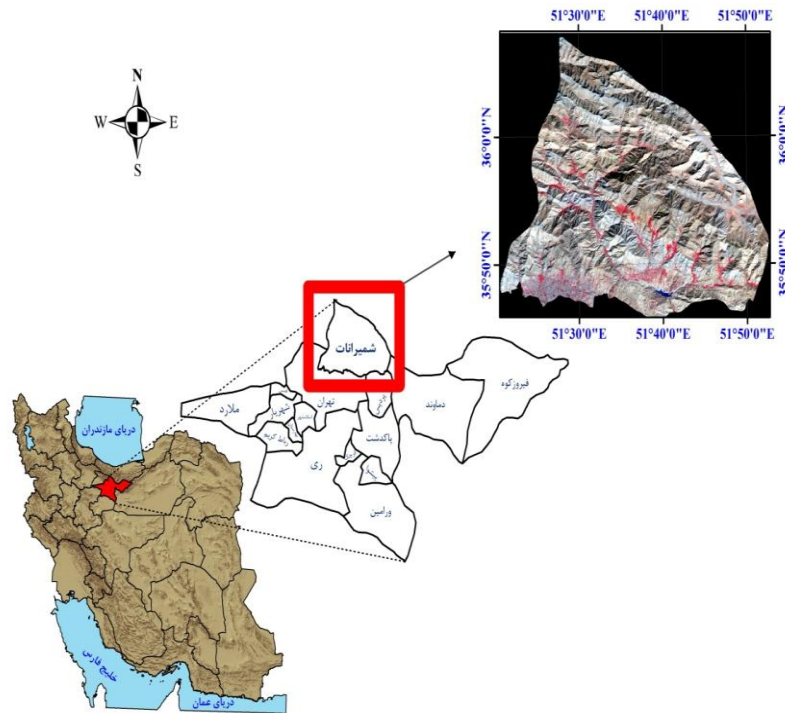
۱۳۸۷) و حوضه آبخیز سفارود (آذری دهکردی، ۱۳۸۸)، ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست حوزه کرگانرود (شیخ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱)، همچنین، بررسی آثار ناشی از فعالیت‌های انسان بر روی اکوسیستم‌های جنگلی و پیامدهای آن‌ها (Aghnoum et al., 2014) اشاره کرد. در تحقیق حاضر، با هدف ارزیابی تخریب سیمای سرزمین و تعیین پتانسیل توسعه آبی براساس میزان تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی در گستره شهرستان شمیرانات، از مدل تخریب سیمای سرزمین بهره گرفته شده است و برای اولین بار به‌منظور دستیابی به واحدهای همگن ارزیابی شبکه‌بندی هگزاگون به‌کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده و قلمرو مورد پژوهش

محدوده مورد مطالعه شهرستان شمیرانات است که با وسعتی حدود ۱۲۱۹ کیلومتر مربع در گستره جغرافیایی $35^{\circ} 45'$ تا $36^{\circ} 05'$ عرض شمالی، و $51^{\circ} 20'$ تا $51^{\circ} 58'$ طول شرقی در استان تهران واقع شده است. این شهرستان از شمال با شهرستان‌های نور و آمل (استان مازندران)، از شرق با شهرستان دماوند، از جنوب با شهرستان تهران و از غرب با بخش کن و شهرستان کرج (استان البرز) هم‌مرز است (شکل ۱).

حداقل ارتفاع این محدوده ۱۵۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۴۳۷۵ متر از سطح دریا است. متوسط درجه حرارت ۲۵ ساله شهرستان شمیرانات، ۱۲٫۷ درجه سلسیوس و میانگین بارش سالانه ۸۱۳ میلی‌متر است. بررسی وضعیت پوشش اراضی نشان‌دهنده ۴ کلاس شامل اراضی ساخته‌شده (شهری و راه‌های ارتباطی)، پوشش گیاهی (کشاورزی، باغ، مرتع، جنگل دست‌کاشت، پارک‌ها و فضاهای سبز)، پیکره‌های آبی (رودخانه و دریاچه مخزن سد) و اراضی بدون پوشش (اراضی کوهستانی و صخره‌ای) است. طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ جمعیت بخش شهرنشین بالغ بر ۴۸۳۵۲۸ نفر می‌باشد. در دهه‌های اخیر، رشد سریع جمعیت در سطح شهرستان شمیرانات و در پی آن گسترش راه‌های ارتباطی، تغییر کاربری اراضی و افزایش تراکم ساخت و ساز در نقاط مختلف، بدون در نظر گرفتن آسیب‌پذیری اکولوژیکی باعث ایجاد شرایط نامطلوب شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش کار

به منظور دستیابی به اهداف این پژوهش مدل تخریب سیمای سرزمین به کار گرفته شد. این مدل در سال ۲۰۰۵ به شرح رابطه ۱ توسط آذری دهکردی معرفی شده است (آذری دهکردی، ۱۳۸۸).

$$L_D = \sum KI / V_i \quad (1)$$

در این رابطه:

L_D : ضریب تخریب واحدهای اکولوژیکی یا بخش‌های مختلف سیمای سرزمین (واحدهای نشانزد)، $\sum KI$: شاخص شدت فعالیت‌های انسان در تخریب سیمای سرزمین در هر واحد نشانزد (I : متریک و K : شدت تخریب برای آن) و V_i : آسیب‌پذیری اکولوژیک در هر واحد نشانزد است.

در اجرای مدل تخریب، مبنای کار واحدهای نشانزد است که می‌توانند واحدهای طبیعی (حوضه‌های آبریز، آبخیز و زیرحوضه‌های آبخیز)، تقسیمات اداری-سیاسی یا شبکه‌های فرضی باشند (Khazaei & Azari Dehkordi, 2008; Chamani et al., 2005).

به‌منظور دستیابی به واحدهای همگن و مشابه برای ارزیابی باید کل سطح سیمای سرزمین مورد مطالعه شبکه‌بندی شود که بسته به شکل محدوده از شبکه‌بندی چهارضلعی (مربع) یا شش‌ضلعی (هگزاگون) استفاده می‌شود. هگزاگون‌ها نزدیکترین شکل هندسی منظم به دایره هستند که یک سطح را بدون هیچگونه همپوشانی در امتداد حاشیه‌ها پوشش می‌دهند. همچنین، یک هگزاگون محیط کمتری نسبت به مربعی با سطح برابر دارد، از این رو خطا را به دلیل آثار حاشیه‌ای کاهش می‌دهد (Birch et al., 2007).

در این تحقیق، با توجه به شکل و وسعت محدوده مورد مطالعه، شبکه‌ای متشکل از ۳۶ سلول هگزاگون ۵۰۰۰ هکتاری با به‌کارگیری ابزارهای موجود در افزونه Patch Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS_{10.1} ایجاد شد.

در مدل تخریب سیمای سرزمین، متریک‌های در نظر گرفته‌شده از مک‌گاریگال و مارکس (۱۹۹۵) به‌عنوان فعالیت‌های انسانی، به شرح زیر تعریف شده‌اند (Khazaei & Azari Dehkordi, 2008):

TE^۱، ED^۲، MPFD^۳ و MSI^۴ نشان‌دهنده ترکیب سیمای سرزمین و متریک‌های NumP^۵، MPS^۶، MedPS^۷ و SDI^۸ بر شکل فضایی (پیکربندی) سیمای سرزمین دلالت دارند.

تعریف‌ها، شرح جزئیات متریک‌ها و همچنین نحوه محاسبه آن‌ها در راهنمای Patch Analyst

1. Total Edge
2. Edge Density
3. Mean Patch Fractal Dimension
4. Mean Shape Index
5. Number of Patches
6. Mean Patch Size
7. Median Patch Size
8. Shannon's Diversity Index

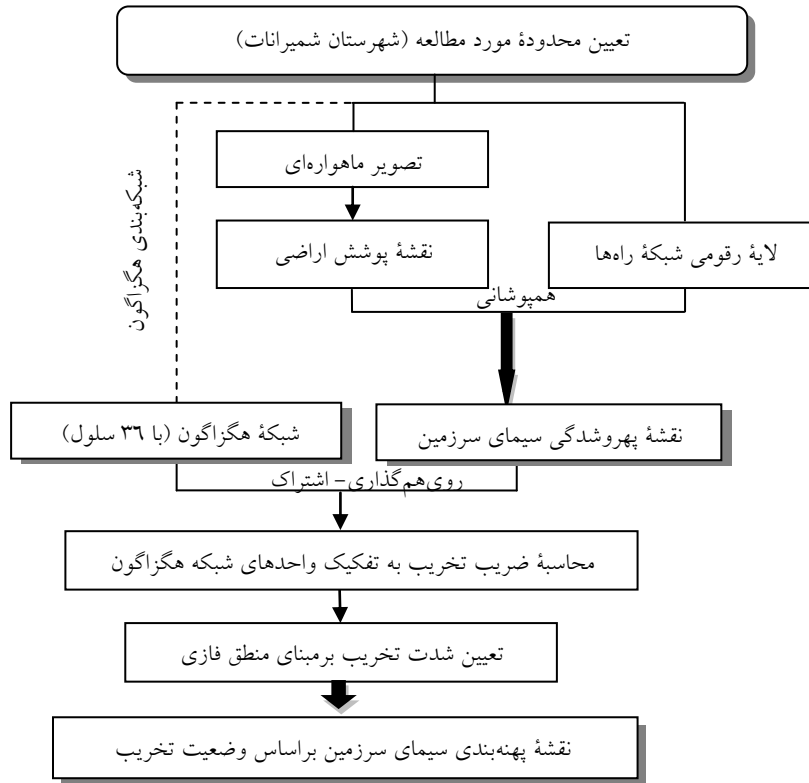
(Rempel et al., 2012) و همچنین، راهنمای FRAGSTATS4.2 (McGarigal, et al., 2012) قابل دسترسی است. در مطالعه حاضر، نرم افزارهای ArcGIS10.1، ENVI5.1 و افزونه Patch Analyst در مراحل مختلف (از آماده سازی لایه های اطلاعاتی تا محاسبه کمی متریک ها، تحلیل های فضایی و تولید نقشه) به کار گرفته شده است. در شکل ۲ مدل مفهومی مراحل اجرای پژوهش نشان داده شده است.

اولین گام برای اجرای مدل تخریب، کمی کردن متریک های سیمای سرزمین است که در این راستا، به تهیه نقشه پوشش اراضی از منطقه مورد مطالعه نیاز است. نقشه های کاربری / پوشش اراضی ایجاد شده از طریق سنجش از دور و GIS به ما فرصت کمی سازی ویژگی هایی از قبیل ناهمگنی، پیوستگی و از هم گسیختگی سیمای سرزمین را می دهند (Simova & Gdulova, 2012).

در این تحقیق، به منظور تولید نقشه پوشش اراضی تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به آگوست ۲۰۱۳ به کار گرفته شد. پس از انجام دادن پیش پردازش های لازم بر روی تصویر ماهواره ای محدوده مطالعاتی (از قبیل ترکیب باندها، تصحیحات هندسی و اتمسفری، و بهبود کنتراست) با طبقه بندی به روش نظارت شده - حداکثر احتمال، نقشه پوشش اراضی تولید شد.

برای به دست آوردن نقشه پهروشدگی سیمای سرزمین در محدوده مطالعاتی، لایه رقومی راه های ارتباطی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تهیه شده از سازمان نقشه برداری ایران، و لایه پوشش اراضی در محیط GIS همپوشانی شدند. در ادامه، به منظور بررسی وضعیت انقطاع و تخریب سیمای سرزمین به تفکیک واحدهای نشانزد (در این تحقیق سلول های شبکه هگزاگون) به رویهم گذاری (از نوع اشتراک) نقشه پهروشدگی سیمای سرزمین و لایه شبکه هگزاگون اقدام شد.

با به کارگیری ابزارهای آمار فضایی موجود در افزونه Patch Analyst کمی متریک های مورد بررسی در سلول های شبکه هگزاگون محاسبه شد. سپس، نسبت به برآورد اجزای رابطه مدل تخریب (شدت فعالیت ها: $\sum KI$ و درجه آسیب پذیری اکولوژیک: V_i) و در نهایت، محاسبه ضریب تخریب به شرح زیر اقدام شد.



شکل ۲. مدل مفهومی مراحل اجرای تحقیق

تعیین شدت فعالیت‌ها ($\sum KI$)

پس از محاسبه کمیّت متریک‌های سیمای سرزمین، با توجه به متفاوت بودن واحد اندازه‌گیری آن‌ها و با هدف ایجاد مقیاسی کمی برای طبقه‌بندی شدت تخریب متریک‌ها، ارزش عددی آن‌ها بر اساس منطق فازی و طبق رابطه ۲ در بازه صفر تا ۱ نرمالیزه (استانداردسازی) شد.

$$Z_i = \frac{X_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

در این رابطه:

Z_i : ارزش نرمالیزه شده متریک در واحد نشانزد i

X_i : کمیت متریک در واحد نشانزد i

$\min(x)$: حداقل کمیت متریک بین همه واحدهای نشانزد (سلول‌های شبکه هگزاگون)،

$\max(x)$: حداکثر کمیت متریک بین همه واحدهای نشانزد.

در ادامه، با در نظر گرفتن تعریف کانتر (۱۹۹۶) و طبقه‌بندی کیفی مخدوم (۲۰۰۲)، شدت تخریب متریک‌ها بر اساس مقادیر نرمالیزه شده در چهار طبقه به شرح جدول ۱ ارائه شد.

جدول ۱. طبقات شدت تخریب بر حسب مقادیر نرمالیزه شده متریک‌های مورد بررسی

میزان شدت تخریب	دامنه تغییرات فازی	کد شدت تخریب (K)
ناچیز	۰ - ۰,۲۵	۱
متوسط	۰,۲۵ - ۰,۵	۲
شدید	۰,۵ - ۰,۷۵	۳
خیلی شدید	۰,۷۵ - ۱	۴

با مقایسه ارزش نرمالیزه شده هر متریک با جدول ۱، شدت تخریب متریک تعیین شده و سپس، مقدار $\sum KI$ برای هر سلول محاسبه گردید. شایان ذکر است، در صورت وجود فعالیت انسانی در سلول مورد بررسی، برای (I) مقدار عددی «۱» و در صورت عدم حضور انسان یا عدم فعالیت توسعه عدد «صفر» در نظر گرفته شده است.

تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیک

آسیب‌پذیری درجه‌ای است که یک سیستم، زیرسیستم یا اجزای سیستم بر اثر قرار گرفتن در برابر عوامل محرک (آشفتگی یا فشار) عملاً خسارت می‌بینند (Turner II et al., 2003).

یکی از راه‌های تعیین آسیب‌پذیری، کمی کردن سیمای سرزمین از طریق استخراج متریک‌های سیمای سرزمین است. بر مبنای اصول اکولوژی سیمای سرزمین، هر چه تعداد لکه‌های یک اکوسیستم (واحد اکولوژیکی) کمتر باشد، یا هر چه کاربری موجود در آن اکوسیستم یکنواخت‌تر باشد، آن اکوسیستم در معرض آسیب‌پذیری کمتری است (Gergel & Turner, 2002).

در مدل تخریب سیمای سرزمین، متریک تعداد لکه‌ها در سیمای سرزمین (NumP) برای تعیین

آسیب‌پذیری اکولوژیکی به کار گرفته شده است (Khazaei & Azari-Dehkordi, 2008). در این مطالعه، به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری در هر سلول شبکه هگزگون، ابتدا با به‌کارگیری رابطه ۲ کمیت‌های متریک NumP در بازه صفر تا ۱ نرمالیزه، و سپس، طبقات آسیب‌پذیری طبق جدول ۲ تعریف شد.

جدول ۲. طبقات آسیب‌پذیری اکولوژیک بر مبنای مقادیر نرمالیزه‌شده متریک NumP

میزان آسیب‌پذیری	دامنه تغییرات فازی	کد آسیب‌پذیری (V)
مقاوم	۰-۰,۲۵	۴
نیمه‌حساس	۰,۲۵-۰,۵	۳
حساس	۰,۵-۰,۷۵	۲
آسیب‌پذیر	۰,۷۵-۱	۱

محاسبه ضریب تخریب برای سلول‌های شبکه هگزگون (واحدهای نشانزد)

از آنجا که ضریب تخریب از تقسیم شدت فعالیت‌های انسان در تخریب سیمای سرزمین ($\sum KI$) بر آسیب‌پذیری در هر واحد نشانزد (V_i) به دست می‌آید، هر چه میزان آسیب‌پذیری در واحد مورد ارزیابی بیشتر باشد، در نتیجه ضریب تخریب بیشتر می‌شود و هر چه آسیب‌پذیری کمتر یا به عبارت دیگر، واحد مورد ارزیابی نسبت به فعالیت‌های توسعه مقاوم‌تر باشد، ضریب تخریب کمتر خواهد شد. در جدول ۳ وضعیت تخریب محیط زیست و پتانسیل توسعه آتی بر مبنای مقادیر نرمالیزه‌شده ضریب تخریب تشریح شده است.

جدول ۳. طبقات تخریب سیمای سرزمین و تناسب توسعه در هر طبقه

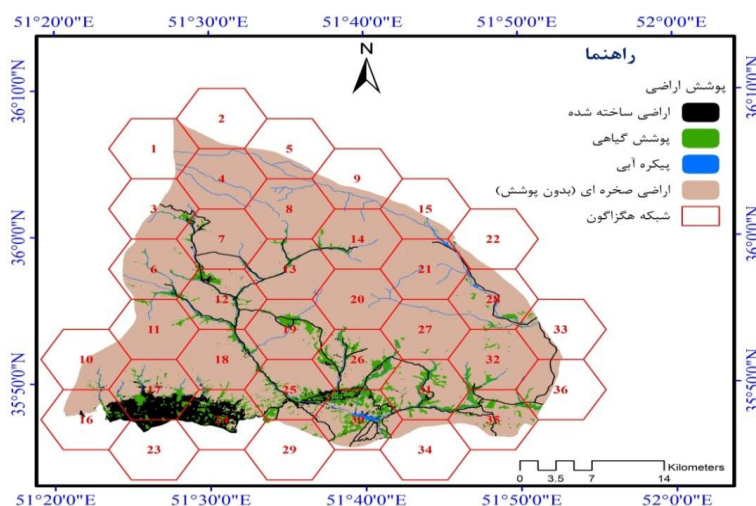
طبقه تخریب	دامنه تخریب فازی	وضعیت تخریب	تناسب توسعه
L _{D1}	۰-۰,۲۵	ناچیز	مستعد توسعه
L _{D2}	۰,۲۵-۰,۵	متوسط	نیازمند احیا و بازسازی
L _{D3}	۰,۵-۰,۷۵	شدید	قابل توسعه/ قابل حفاظت
L _{D4}	۰,۷۵-۱	خیلی شدید	نیازمند حفاظت

در ادامه، ضرایب تخریب به دست آمده بر اساس منطق فازی طبقه بندی شد، سپس، نقشه پهنه بندی تخریب سیمای سرزمین به منظور تعیین پتانسیل توسعه در سراسر سیمای سرزمین شهرستان شمیرانات تولید شد.

نتایج

نقشه پوشش اراضی شهرستان شمیرانات در چهار کلاس اصلی شامل اراضی ساخته شده، پوشش گیاهی (کشاورزی، باغ، مرتع، جنگل دست کاشت، پارک‌ها و فضاهای سبز)، پیکره های آبی (رودخانه و دریاچه مخزن سد)، و اراضی بدون پوشش (اراضی کوهستانی و صخره ای) تولید شد. سپس، ارزیابی صحت این نقشه با محاسبه شاخص های صحت کلی (۹۲٪) و ضریب کاپا (۸۹٪) با به کارگیری نقشه های موجود و پایگاه اطلاعاتی Google earth انجام گرفت.

نقشه پیرودگی سیمای سرزمین شمیرانات که نتیجه همپوشانی نقشه های پوشش اراضی و راه های ارتباطی است، در شکل ۳ نمایش داده شده است. همچنین، در این شکل، شبکه هگزگون متشکل از ۳۶ سلول که به عنوان مبنای ارزیابی تخریب در سطح سیمای سرزمین شمیرانات تولید شده، نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه پیرودگی سیمای سرزمین شمیرانات

شایان ذکر است، به‌منظور ارزیابی تخریب در کل سیمای سرزمین، متریک‌های مورد بررسی در سلول‌های ۳۶گانه شبکه هگزگون محاسبه شده‌اند و هر سلول به‌عنوان یک زیرسیما در نظر گرفته شده است. نتایج در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴. کمیت متریک‌های سیمای سرزمین و طبقه‌بندی شدت تخریب آن‌ها براساس منطق فازی و به تفکیک سلول‌های شبکه هگزگون

متریک‌های ترکیب و پیکربندی																واحد نشانزد
MPFD		MSI		ED		TE		SDI		MedPS		MPS		NumP		(شماره سلول)
K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	
۲	۱,۳۶	۲	۲,۹۱	۱	۰,۲۷	۱	۳۳۴۴۰	۱	۰,۱۱	۱	۱۹,۹۴	۱	۳۳۳,۴۷	۱	۳	۱
۱	۱,۲۵	۱	۱,۹۸	۱	۰,۱۴	۱	۱۶۵۶۲	۱	۰	۴	۵۵۹,۰۶	۲	۵۵۹,۰۶	۱	۱	۲
۳	۱,۳۸	۲	۲,۸۴	۱	۰,۸۲	۱	۹۹۴۲۲	۲	۰,۳۵	۱	۷,۲۸	۱	۲۰۳,۳۴	۱	۱۲	۳
۳	۱,۴۲	۴	۶,۰۵	۱	۰,۹۴	۱	۱۱۴۸۶۰	۱	۰,۱۲	۱	۸۳,۶۲	۴	۱۶۶۶,۶۷	۱	۳	۴
۳	۱,۴۱	۲	۳,۴۲	۱	۰,۵۲	۱	۶۲۹۹۴	۱	۰,۱۸	۱	۳۰,۶۲	۱	۳۰۳,۳۸	۱	۵	۵
۳	۱,۳۹	۱	۲,۵	۲	۱,۷۹	۲	۲۱۷۷۷۸	۲	۰,۳۸	۱	۱,۸	۱	۱۱۲,۳۱	۱	۴۰	۶
۳	۱,۴	۱	۲,۱۸	۲	۱,۹۴	۲	۲۳۶۴۱۰	۲	۰,۳۷	۱	۱,۱	۱	۷۵,۸	۲	۶۶	۷
۴	۱,۵۱	۳	۴,۷۶	۱	۰,۹۱	۱	۱۱۰۸۰۵	۱	۰,۱۳	۱	۱,۳۹	۱	۲۷۷,۸۶	۱	۱۸	۸
۳	۱,۴	۲	۳,۵۱	۱	۰,۵۶	۱	۶۷۶۳۹	۱	۰,۱۸	۱	۲۴,۵۵	۱	۳۲۳,۹۵	۱	۵	۹
۳	۱,۳۸	۱	۱,۹۴	۱	۰,۶۷	۱	۸۱۴۰۰	۱	۰,۲۳	۱	۱,۱۴	۱	۶۵,۶۳	۱	۳۱	۱۰
۲	۱,۳۶	۱	۲,۰۱	۱	۰,۶۲	۱	۷۵۴۱۲	۱	۰,۱۶	۱	۱,۳۵	۱	۳۳۱,۸۵	۱	۱۳	۱۱
۳	۱,۴۲	۱	۲,۲	۳	۳,۷۲	۳	۴۵۲۷۳۱	۳	۰,۶۹	۱	۱,۰۵	۱	۳۴,۲۶	۳	۱۴۶	۱۲
۳	۱,۴۳	۱	۲,۴۲	۲	۱,۸۶	۲	۲۲۶۵۷۳	۲	۰,۳۵	۱	۰,۹۷	۱	۷۶,۹۳	۲	۶۵	۱۳
۲	۱,۳۸	۲	۲,۹۴	۱	۱,۱۵	۱	۱۳۹۵۶۴	۱	۰,۲۵	۱	۱,۸۹	۱	۴۱۶,۶۷	۱	۱۲	۱۴
۳	۱,۳۹	۱	۲,۲۸	۱	۰,۷۳	۱	۸۹۲۷۵	۱	۰,۲۵	۱	۰,۹۹	۱	۹۹,۷۵	۱	۱۹	۱۵
۲	۱,۳۷	۱	۱,۸۳	۱	۰,۸۸	۱	۱۰۷۷۰۸	۴	۰,۷۹	۱	۱,۳۵	۱	۳۱,۱۸	۱	۵۲	۱۶
۲	۱,۳۷	۱	۱,۸	۳	۳,۰۹	۳	۳۷۵۹۰۶	۴	۰,۹۹	۱	۱,۰۸	۱	۳۲,۶۷	۳	۱۵۳	۱۷
۳	۱,۳۸	۱	۱,۹۹	۲	۲,۲	۲	۲۶۷۵۵۰	۲	۰,۴	۱	۰,۹۹	۱	۵۱,۵۶	۲	۹۷	۱۸
۳	۱,۴	۱	۱,۹۹	۲	۲,۰۳	۲	۲۴۷۴۷۹	۲	۰,۴۸	۱	۰,۹	۱	۶۳,۳۱	۲	۷۹	۱۹
۲	۱,۳۶	۱	۱,۹۵	۱	۰,۶	۱	۷۳۶۷۱	۱	۰,۰۹	۱	۰,۸۱	۱	۳۸۴,۶۴	۱	۱۳	۲۰

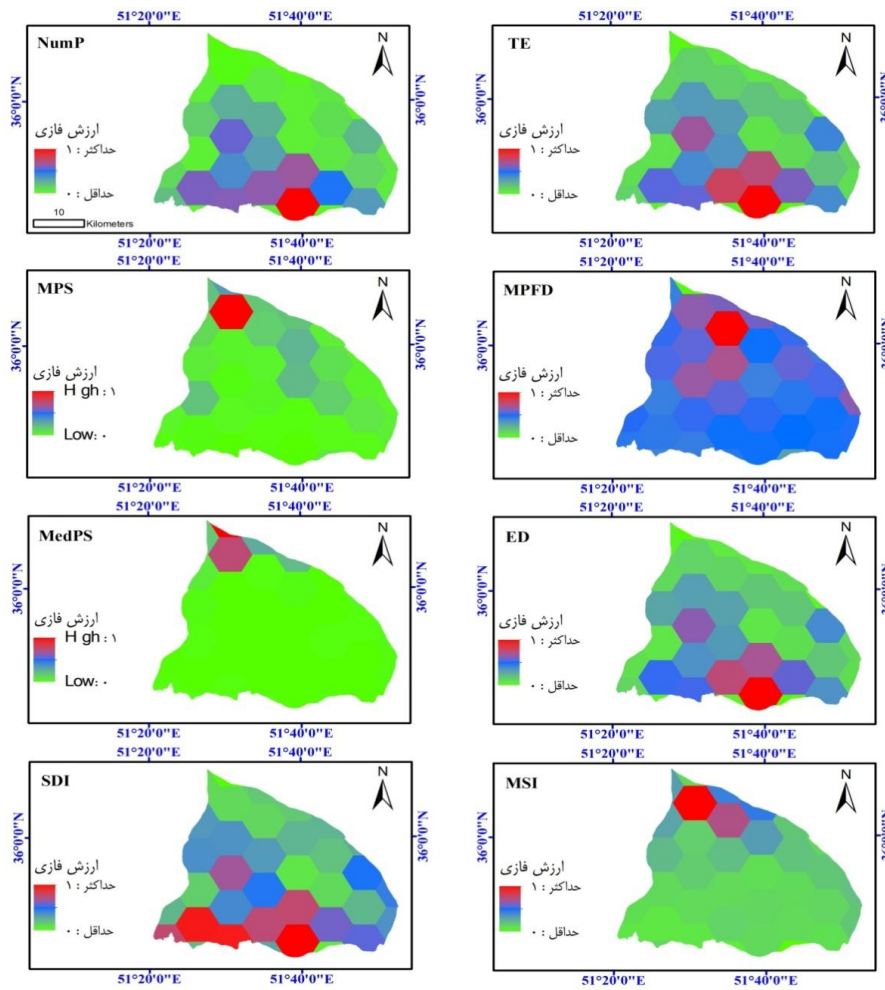
ادامه جدول ۴. کمیت متریک‌های سیمای سرزمین و طبقه‌بندی شدت تخریب آن‌ها براساس منطق فازی و به تفکیک سلول‌های شبکه هگزاگون

متریک‌های ترکیب و پیکربندی																واحد نشانزد (شماره سلول)
MPFD		MSI		ED		TE		SDI		MedPS		MPS		NumP		
K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	K	Q	
۳	۱٫۴	۱	۲٫۳۵	۱	۱٫۱۶	۱	۱۴۰۹۲۸	۱	۰٫۲	۱	۰٫۹۹	۱	۱۸۵٫۱۹	۱	۲۷	۲۱
۲	۱٫۳۶	۱	۲٫۰۲	۱	۰٫۲۴	۱	۲۹۱۹۷	۲	۰٫۲۷	۱	۳٫۳۵	۱	۵۸٫۱۴	۱	۸	۲۲
۲	۱٫۳۶	۱	۲٫۰۶	۱	۰٫۲۷	۱	۳۳۲۷۰	۱	۰٫۲۲	۱	۲٫۳۸	۱	۳۰٫۷۴	۱	۱۰	۲۳
۲	۱٫۳۶	۱	۱٫۸۲	۳	۳٫۱۵	۳	۳۸۳۶۴۷	۴	۰٫۹۸	۱	۱٫۵۳	۱	۱۸٫۵۷	۳	۱۵۷	۲۴
۲	۱٫۳۸	۱	۲٫۱۲	۳	۴٫۳۷	۳	۵۳۲۵۸۳	۴	۰٫۷۷	۱	۱٫۱۷	۱	۳۰٫۸۷	۳	۱۶۲	۲۵
۳	۱٫۳۸	۱	۲٫۰۴	۳	۴٫۰۶	۳	۴۹۴۲۳۹	۴	۰٫۷۸	۱	۱٫۱۷	۱	۲۹٫۶	۳	۱۶۹	۲۶
۲	۱٫۳۷	۱	۲	۱	۰٫۷۳	۱	۸۹۰۹۱	۱	۰٫۱۲	۱	۱٫۳۵	۱	۲۶۳٫۱۶	۱	۱۹	۲۷
۳	۱٫۳۹	۱	۲٫۳	۲	۲٫۳۴	۲	۲۸۵۱۷۹	۲	۰٫۴۹	۱	۱٫۵	۱	۷۳٫۰۴	۱	۵۹	۲۸
۲	۱٫۳۷	۱	۱٫۷	۱	۰٫۲۷	۱	۳۳۰۰۶	۲	۰٫۳	۱	۱٫۲۶	۱	۳۵٫۷۶	۱	۱۴	۲۹
۲	۱٫۳۸	۱	۲٫۰۱	۴	۵٫۷۹	۴	۷۰۵۶۲۶	۴	۱٫۰۳	۱	۱٫۱۵	۱	۱۸٫۴	۴	۲۵۲	۳۰
۳	۱٫۳۸	۱	۱٫۹۹	۳	۳٫۳۶	۳	۴۰۹۷۲۵	۳	۰٫۶۱	۱	۱٫۰۸	۱	۴۱٫۳۳	۲	۱۲۱	۳۱
۲	۱٫۳۸	۱	۲٫۰۶	۱	۱٫۱۵	۱	۱۴۰۴۲۵	۱	۰٫۲۴	۱	۱٫۰۸	۱	۱۴۲٫۸۶	۱	۳۵	۳۲
۳	۱٫۴۱	۱	۲٫۳۹	۱	۰٫۸۲	۱	۱۰۰۱۶۳	۲	۰٫۴۵	۱	۲٫۰۳	۱	۶۸٫۳۱	۱	۲۰	۳۳
۲	۱٫۳۳	۱	۱٫۴۶	۱	۰٫۱۵	۱	۱۷۸۶۴	۱	۰٫۰۵	۱	۱٫۴۴	۱	۱۲۱٫۶۳	۱	۵	۳۴
۲	۱٫۳۸	۱	۱٫۹۲	۲	۲٫۲	۲	۲۶۸۱۷۷	۳	۰٫۵۸	۱	۰٫۹	۱	۴۰٫۶۶	۲	۸۶	۳۵
۳	۱٫۳۸	۱	۲٫۳	۱	۰٫۷۲	۱	۸۷۲۲۶	۲	۰٫۳۸	۱	۱٫۸۳	۱	۹۵٫۸۹	۱	۱۸	۳۶

Q: کمیت متریک، K: شدت تخریب متریک

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، کمیت متریک‌ها به تفکیک سلول‌های شبکه هگزاگون محاسبه شده و شدت تخریب آن‌ها براساس منطق فازی تعیین شده است. در شکل ۴ نقشه‌های کمیت استاندارد شده متریک‌ها در بازه صفر تا ۱ نمایش داده شده است. شایان ذکر است طبقه‌بندی شدت تخریب متریک‌ها براساس ارزش فازی و مطابق با طبقه‌بندی بیان شده در جدول ۱ انجام گرفته است. در ادامه، جدول ۵ شدت فعالیت‌ها، آسیب‌پذیری اکولوژیک و ضریب

تخریب را در هر سلول نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، به‌منظور محاسبه شدت فعالیت‌ها در سلول‌های شبکه هگزگون، در صورت وجود فعالیت انسانی برای (I) مقدار عددی «۱» و در صورت عدم حضور انسان یا عدم فعالیت توسعه عدد «صفر» در نظر گرفته شده است. این اساس، در جدول ۵ حاصل $\sum KI$ برای سلول‌هایی که فاقد حضور انسان یا عدم فعالیت‌های توسعه بوده‌اند، برابر صفر است.



شکل ۸. نقشه‌های کمیّت استانداردشده متریک‌ها در شبکه هگزگون

جدول ۵. شدت فعالیت‌ها، آسیب‌پذیری اکولوژیک و ضریب تخریب به تفکیک سلول‌های شبکه هگزاگون

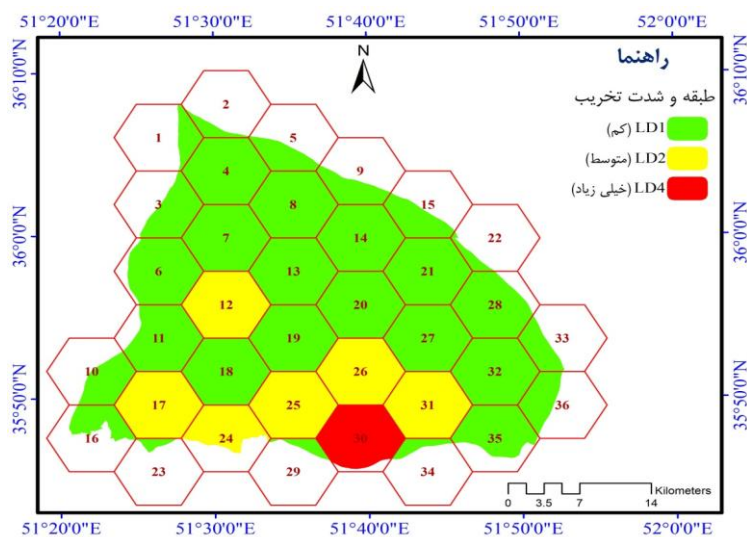
واحد نشانزد (شماره سلول)	شدت فعالیت ($\sum KI$)	آسیب‌پذیری اکولوژیک (V)	ضریب تخریب (L _D)
۱	۰	۴	۰
۲	۰	۴	۰
۳	۱۲	۴	۳
۴	۰	۴	۰
۵	۰	۴	۰
۶	۱۳	۴	۳,۲۵
۷	۱۴	۳	۴,۶۷
۸	۱۳	۴	۳,۲۵
۹	۰	۴	۰
۱۰	۱۰	۴	۲,۵
۱۱	۹	۴	۲,۲۵
۱۲	۱۸	۲	۹
۱۳	۱۴	۳	۴,۶۷
۱۴	۱۰	۴	۲,۵
۱۵	۰	۴	۰
۱۶	۱۲	۴	۳
۱۷	۱۸	۲	۹
۱۸	۱۴	۳	۴,۶۷
۱۹	۱۴	۳	۴,۶۷
۲۰	۹	۴	۲,۲۵
۲۱	۱۰	۴	۲,۵
۲۲	۱۰	۴	۲,۵
۲۳	۹	۴	۲,۲۵
۲۴	۱۸	۲	۹
۲۵	۱۸	۲	۹
۲۶	۱۹	۲	۹,۵
۲۷	۹	۴	۲,۲۵
۲۸	۱۳	۴	۳,۲۵
۲۹	۱۰	۴	۲,۵
۳۰	۲۱	۱	۲۱
۳۱	۱۷	۳	۵,۶۷
۳۲	۹	۴	۲,۲۵
۳۳	۱۱	۴	۲,۷۵
۳۴	۹	۴	۲,۲۵
۳۵	۱۴	۳	۴,۶۷
۳۶	۱۱	۴	۲,۷۵

براساس نتایج، ضریب تخریب در سلول‌های (۱، ۲، ۴، ۵، ۹ و ۱۵) صفر است که ناشی از عدم حضور انسان و فعالیت‌های انسانی است. شایان ذکر است اکثر این سلول‌ها از نظر دسترسی صعب‌العبور هستند. در ادامه، ضرایب تخریب به دست آمده بر مبنای منطق فازی در بازه صفر تا ۱ استانداردسازی شده و براساس طبقات شدت تخریب ارائه شده توسط مخدوم (۲۰۰۲) به درجاتی از توسعه و حفاظت (باتوجه به میزان تخریب) طبقه‌بندی شد. جدول ۶ میزان تناسب توسعه و حفاظت را بر مبنای دامنه تخریب فازی نشان می‌دهد.

جدول ۶. میزان تناسب توسعه و حفاظت در سیمای سرزمین شمیرانات برحسب طبقه تخریب

طبقه تخریب	دامنه تخریب فازی	تناسب توسعه / حفاظت	مساحت (هکتار)	درصد
LD ₁	۰-۰٫۲۵	قابل توسعه	۸۹۳۲۳	۷۳
LD ₂	۰٫۲۵-۰٫۵	نیازمند احیا و بازسازی	۲۷۹۱۸	۲۳
LD ₃	۰٫۵-۰٫۷۵	قابل توسعه یا حفاظت	-	-
LD ₄	۰٫۷۵-۱	نیازمند حفاظت	۴۶۳۸	۴

در ادامه، نقشه پهنه‌بندی تخریب سیمای سرزمین شمیرانات در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی تخریب سیمای سرزمین شمیرانات

بحث و نتیجه

ارزیابی تخریب سیمای سرزمین ابزاری است که می‌تواند در تدوین راهبردها و طرح‌های توسعه شهری مؤثر باشد. توسعه پایدار شهری با در نظر گرفتن توان و ظرفیت محدود بستر اکولوژیک شهرها و با توجه به ویژگی‌های محلی و محیطی در همین قالب و با رعایت اصول اساسی توسعه پایدار امکان‌پذیر خواهد بود.

در این پژوهش به منظور ارزیابی تخریب سیمای سرزمین و تعیین پتانسیل توسعه آتی در گستره سیمای سرزمین شمیرانات، مدل تخریب سیمای سرزمین به کار گرفته شد. این مدل به عنوان نسخه جدیدی از مدل تخریب ایرانی، در سال ۲۰۰۵ توسط آذری دهکردی ارائه شد. مبنای ارزیابی در این مدل واحدهای نشانزد است که می‌توانند واحدهای طبیعی یا شبکه‌های فرضی باشند. در مطالعه حاضر برای اولین بار شبکه‌بندی هگزاگون به منظور دستیابی به واحدهای همگن در اجرای مدل تخریب به کار گرفته شد. سپس، در بررسی وضعیت پهن‌شدگی و تخریب سیمای سرزمین هر سلول شبکه هگزاگون به عنوان یک زیرسیما در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که ۷۳ درصد از کل سیمای سرزمین مورد مطالعه با مساحتی معادل ۸۹۳۲۳ هکتار در وضعیت تخریب کم بوده و از این رو مستعد توسعه بیشتر است. شایان ذکر است، دلیل پایین بودن میزان تخریب در این نواحی، کوهستانی و صعب‌العبور بودن آن بوده که در نتیجه به میزان کمتری تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. بنابراین، پس از اعمال محدودیت‌های توسعه شهری (از قبیل رعایت حریم گسل‌های اصلی و رود دره‌ها، نواحی کوهستانی حساس به فرسایش، اراضی با پتانسیل ریزش و لغزش و مناطق تحت حفاظت محیط زیست) نواحی متناسب برای توسعه بیشتر، شناسایی خواهند شد. همچنین، ۲۳ درصد معادل ۲۷۹۱۸ هکتار نیازمند احیا و بازسازی است و فقط ۴ درصد از کل سیمای سرزمین معادل ۴۶۳۸ هکتار در وضعیت تخریب خیلی زیاد و نیازمند حفاظت قرار گرفته است. شایان ذکر است وضعیت توسعه آتی برای نواحی که در طبقه ۳ تخریب (LD3) باشند، با توجه به حضور مؤثر انسان و وجود زیرساخت‌های توسعه (مانند راه‌های دسترسی، آب، برق و گاز)، در صورت عدم

محدودیت‌های اکولوژیکی، قابلیت توسعه دارند و در صورت وجود محدودیت، مورد حفاظت قرار خواهند گرفت. براساس نتایج، در محدوده مطالعاتی هیچ ناحیه‌ای در این طبقه از تخریب قرار نداشته است.

به عنوان نتیجه نهایی شایان ذکر است، در صورتی که برای ارزیابی تخریب یک سیمای سرزمین، واحدهای طبیعی مانند زیرحوضه‌های آبریز موجود در آن به عنوان واحدهای نشانزد به کار گرفته شود، ضریب تخریب به دست آمده تعیین کننده پتانسیل توسعه یا عدم توسعه برای کل زیرحوضه مربوطه خواهد بود. با توجه به اینکه زیرحوضه‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیوگرافی مانند شکل، محیط، مساحت و ... شرایط متفاوتی دارند، بنابراین، پیشنهاد می‌شود تا واحدهای همگن برای ارزیابی در سراسر سیمای سرزمین به کار گرفته شود. این مسئله زمانی که شبکه‌های فرضی به خصوص شبکه هگزاگون به کار گرفته شود، به خوبی در نظر گرفته خواهد شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در صورت به کارگیری واحدهای هگزاگون که نزدیک‌ترین شکل هندسی منظم به دایره است و از این رو خطا را به دلیل آثار حاشیه‌ای کاهش می‌دهد، باعث افزایش دقت در محاسبه متریک‌های سیمای سرزمین و ضریب تخریب خواهد شد. در صورت لزوم می‌توان با روی هم گذاری لایه رقومی مرزهای زیرحوضه‌های آبریز و نقشه پهنه‌بندی تخریب سیمای سرزمین وضعیت تخریب را در نقاط مختلف زیرحوضه‌های مورد نظر تحلیل کرد.

منابع و مأخذ

۱. آذری دهکردی، فرود (۱۳۸۸). سامانه پشته‌توانه تصمیم‌گیری سریع برای ارزیابی پیامد فعالیت‌ها در تخریب سیمای سرزمین حوزه آبخیز شفارود. *مجله محیط‌شناسی*، سال ۳۵، شماره ۵۱، صفحات ۸۰-۶۹.
۲. جعفری، حمیدرضا (۱۳۸۰). کاربرد سیستماتیک مدل تخریب در ارزیابی اثرات توسعه بر حوضه آبخیز سد لتیان. *فصل‌نامه محیط‌شناسی*، شماره ۲۷، صفحات ۱۲۰-۱۰۹.
۳. جوزی، سید علی، رضایان، سحر، ایرانخواهی، مهدی و دبیری، فرحناز (۱۳۹۲). بررسی اثرات محیط‌زیستی توسعه شهری و خدماتی در شهر بندرعباس با استفاده از مدل تخریب و ارائه راهکارهای مدیریتی. *فصل‌نامه آمایش سرزمین*، دوره ۵، شماره ۲، صفحات ۳۳۴-۳۱۷.
۴. چمنی، عاطفه، مخدوم، مجید، جعفری، محمد، خراسانی، نعمت‌ا... و چراغی، مهرداد (۱۳۸۴). ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست استان همدان با کاربرد مدل تخریب. *فصل‌نامه محیط‌شناسی*، شماره ۳۷، صفحات ۴۴-۳۵.
۵. شیخ‌گودرزی، مهدی، علیزاده شعبانی، افشین، سلمان ماهینی، عبدالرسول و فقهی، جهانگیر (۱۳۹۱). ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست حوزه کرگانرود با کاربرد مدل تخریب سیمای سرزمین. *نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران*، دوره ۶۵، شماره ۲، صفحات ۲۳۴-۲۲۳.
۶. خزاعی، نوشین و آذری دهکردی، فرود (۱۳۸۷). تحلیل توأم تخریب سیمای سرزمین در حوزه آبخیز سفیدرود با استفاده از متریک‌های اکولوژیکی سیمای سرزمین. *فصل‌نامه علوم محیطی*، سال ۶، شماره ۲، صفحات ۶۴-۵۵.
۷. مخدوم، مجید و منصوری، سید مصطفی (۱۳۸۷). بررسی و شناخت اثرات توسعه بر محیط زیست استان هرمزگان با مدل تخریب. *فصل‌نامه محیط‌شناسی*، دوره ۲۵، شماره ۲۳، صفحات ۵۶-۴۹.

۸. میرزائی، محسن، ریاحی بختیاری، علیرضا، سلمان ماهینی، عبدالرسول و غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۲). بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۶۳. *اکولوژی کاربردی*، سال ۲، شماره ۱۴، صفحات ۵۴-۳۷.

9. Aghnoum1, M., Feghhi J., Makhdoum, M. & Jabbarian Amiri, B. (2014). Assessing the environmental impacts of forest management plan based on Matrix and Landscape Degradation Model. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 16, 841-850.
10. Aguilera, F., Valenzuela, L.M. & Botequilha-Leito, A. (2011). Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99, 226-238.
11. Ahern, J. & Andre, L. (2003). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93.
12. Alberti, M. & Marzluff, J. (2004). Resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7, 241-265.
13. Evelyn, S., Roosaaere, J., Oja, T. & Mander, U. (2011). Analyzing the spatial structure of the Estonian landscapes: which landscape metrics are the most suitable for comparing different landscapes. *Estonian Journal of Ecology*, 66, 70-80.
14. Gavrilidis, A.A., Ciocăneaa, C.M., Nițăa, M.R., Onosea, D.A. & Năstase I. (2016). Urban Landscape Quality Index – planning tool for evaluating urban landscapes and improving the quality of life. International Conference – Environment at a Crossroads: SMART approaches for a sustainable future. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 155 – 167.
15. Hawbaker, T.J., Radeloff, V.C., Clayton, M.K., Hammer, R.B. & Gonzales-Abraham, C.E. (2006). road development, housing growth, and landscape fragmentation in Northern Wisconsin: 1937-1999. *Ecological Applications*, 16(3), 1222-1237.
16. Herold, M., Scepan, J. & Clarke, K.C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and Planning*, 34(8), 1443-1458.
17. Jaeger, J.A.G., Schwarz-von Raumer, H.-G., Esswein, H., Müller, M. & Schmidt-Lüttmann, M. (2007). Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: a case study from Baden-Württemberg, Germany. *Ecology and Society*, 12(1), 22. URL (cited on 26 February 2009): <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art22/>.
18. Khazaei, N. & Azari Dehkordi, F. (2008). Forest Landscape Degradation Assessment in Dokeh watershed, Iran. *Journal of International Environmental Application & Science*, 3(2), 91-100.
19. Makhdoum, M.F. (2002). Degradation model: A quantitative EIA instrument Acting as a Decision Support System (DSS) for environmental management. *Environmental Management*, 30, 151-156.
20. McGarigal, K. & Cushman, S.A. (2002). The Gradient Concept of Landscape Structure:

- Or, Why are there so Many Patches. Available at: <http://www.umass.edu/landeco/pubs/pubs.html>.
21. Mo, W., Wang, Y., Zhang, Y. & Zhuang, D. (2016). Impacts of road network expansion on landscape ecological risk in a megacity, China: A case study of Beijing. *Science of the Total Environment*, 574, 1000- 1011.
 22. Peng, J., Wang, Y., Zhang, Y., Wu, J., Li, W. & Li, Y. (2010). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 10, 217-223.
 23. Rempel, R.S., Kaukinen, D. & Carr, A.P. (2012). Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
 24. Saunders, S.C., Mislivets, M.R., Chen, J.Q. & Cleland, D.T. (2002). Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. *Biological Conservation*, 103(2), 209-225.
 25. Simova, P. & Gdulova, K. (2012). Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Applied Geography*, 34, 385-394.
 26. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).
 27. Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R. & Mander, U. (2009). Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. Living Reviews in Landscape Research. Article's online version at <http://www.livingreviews.org/lrlr-2009-1>.
 28. Yang, X.J. & Liu, Z. (2005). Quantifying landscape pattern and its change in an estuarine watershed using satellite imagery and landscape metrics. *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), 5297-5323.
 29. Zhu, M., Xu, J.G., Jiang, N., Li, J.L. & Fan, Y.M. (2006). Impacts of road corridors on urban landscape pattern: a gradient analysis with changing grain size in Shanghai, China. *Landscape Ecology*, 21(5), 723-734.