استفاده از بعد فراکتالی برای بررسی اثر مقیاس بر حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین

روشنک افراخته[۱]، علی عسگریان[۲*] و علیرضا سفیانیان[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۴)

چکیده

حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس یکی از اصلی‌ترین چالش‌های پیش رو در مطالعات اکولوژی سیمای سرزمین و کمی‌سازی الگوهای مکانی به‌شمار می‌آید. مطالعه حاضر نیز در این راستا با استفاده از شاخص فراکتالی به بررسی اثر مقیاس بر حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین در بخش‌هایی از مناطق دشتی شمال کشور (پیرامون شهر ساری) پرداخته است. با پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده OLI)، نقشه طبقات کاربری/ پوشش زمین تهیه و با استفاده از روش سلول- مرکزی به نقشه‌هایی با مقیاس‌های مکانی ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ متر تبدیل شدند. سپس سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین برای کلیه نقشه‌ها محاسبه شد. در نهایت برای هر سنجه، معادلات رگرسیون خطی با تبدیل مقادیر سنجه‌ها به مقیاس لگاریتمی تشکیل و دو شاخص ضریب تعیین معادله و بعد فراکتال آنها محاسبه گردید. ضریب تعیین برای کلیه سنجه‌های تنوع برابر با مقدار صفر و برای سایر سنجه‌ها در دو دسته کلی حساسیت زیاد (R- افزایشی) و بدون حساسیت (N- بدون اثر) به‌دست آمد. تفسیر نتایج حاصل از این دو شاخص به‌خوبی توانست میزان حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس (ضریب تعیین معادله) و نیز جهت و شدت تغییر سنجه‌ها به عامل مقیاس (بعد فراکتال) را نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: ضریب تعیین، بعد فراکتال، سنجه‌های سیمای سرزمین، اثر مقیاس

۱. گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: asgarian.z@gmail.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

مقدمه

کمی‌سازی الگوهای مکانی، یکی از ارکان اصلی در شناسایی ارتباط بین ساختار و عملکردهای موجود در بستر سیمای سرزمین (۹) و پیش‌بینی اثرات متعاقب آن (۲۸) است. امروزه این رویکرد به یکی از تحلیل‌های معمول در شاخه‌های گوناگون علوم زمینی مانند هیدرولوژی و منابع آب (۷)، حفظ تنوع زیستی و زیستگاه‌های حیات وحش (۳، ۱۰ و ۱۲)، پایش (۱۷)، احیا (۱۸ و ۱۹) و مدیریت (۳۵) سیمای سرزمین تبدیل شده است.

الگوهای مکانی سیمای سرزمین دارای یک ساختار سلسله مراتبی شامل تکه (یک پهنه همگن زمینی از یک پدیده)، مجموعه‌ای از پدیده‌های همگن (کلاس) و ساختاری متشکل از انواع پدیده‌ها با یک پدیده غالب در بستر (سیمای سرزمین) هستند (۱۴ و ۲۱) که با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین به‌صورت کمی بیان می‌شوند (۲ و ۲۴). سنجه‌های سیمای سرزمین، الگوهای مکانی هر سطح را نیز از جنبه‌های ساختاری (مانند ارتباطات مکانی و پیچیدگی شکل پدیده‌ها) و ترکیب‌بندی (تنوع و فراوانی پدیده‌ها) مورد بررسی قرار می‌دهد (۱۴ و ۲۱) و بر این اساس در گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند (برای نمونه رجوع کنید به ۲۴).

وجود طیف بسیار متنوع نرم‌افزارهایی مانند Fragstats (۲۵)، V-Late (۲۰)، PA4 (۲۶) و IAN (http://landscape.forest.wisc.edu/projects/IAN) تنها به بخش کمی‌سازی الگوهای مکانی اشاره دارد، حال آنکه هدف، شناسایی ارتباط بین ساختار، فرآیندها و عملکرد است (۲۷). یکی از موارد اصلی در نیل به این هدف، شناسایی مقیاسی است که الگوهای مکانی (که به‌وسیله سنجه‌های سیمای سرزمین کمی شده‌اند) بتوانند عملکرد اکوسیستم را شناسایی و تفسیر کنند (۱۴). به‌عبارت دیگر سیستم‌های اکولوژیکی (و سیمای سرزمین به‌عنوان جزئی از آن) به‌صورت سیستم‌های چند مقیاسه هستند که عملکردهای گوناگون آن در یک ساختار سلسله مراتبی رخ می‌دهد (۱۴ و ۳۲)؛ بنابراین شناسایی عملکردی خاص در یک اکوسیستم مستلزم شناخت دقیق مقیاس آن است (۱۴). مقیاس می‌تواند در ارتباط با زمان (مانند زمان وقوع یک رخداد یا دگرگونی در یک کارکرد سیمای سرزمین) و مکان مطرح شود (۳۰). مقیاس مکانی، چنانچه در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نیز مطرح می‌شود، در سه بخش اندازه سلول (یا کوچکترین واحد نقشه در حالت برداری)، گستره و نوع سیستم طبقه‌بندی پدیده‌ها در نقشه‌های موضوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد (۱۳).

در مباحث مرتبط با بررسی اثر مقیاس در اکولوژی سیمای سرزمین، مطالعات متعددی به بررسی وجود حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس و در نتیجه طبقه‌بندی آنها به گروه‌های مختلفی از جمله سنجه‌های حساس و غیرحساس به عامل مقیاس پرداختند. به‌عنوان مثال عسگریان و جباریان (۴) در یک سیمای سرزمین کشاورزی در مناطق مرکزی ایران، یوما و همکاران (۳۱) در یک سیمای سرزمین غیرواقعی (شبیه‌سازی شده) و موارد بسیار دیگر، تنها به گزارش وجود و عدم وجود ارتباط سنجه‌های سیمای سرزمین با عامل مقیاس پرداختند (برای دسترسی جامع به این مطالعات رجوع کنید به (۳۰)). در سطوح بالاتر، این مطالعات به مدل‌سازی ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و عامل مقیاس پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال وو و همکاران (۳۲) نحوه پاسخ سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس را براساس انواع مدل‌های رگرسیونی کالیبره شده برای هر سنجه و نیز در سیماهای سرزمین مختلف بررسی کردند. آنها با تفسیر منحنی‌های تغییر مقیاس، سنجه‌های سیمای سرزمین را به سه گروه سنجه‌های قابل پیش‌بینی نسبت به عامل مقیاس تا بدون قابلیت پیش‌بینی طبقه‌بندی کردند. با این حال در این مطالعات، تنها خصوصیات درونی (ذاتی) مرتبط با عامل مقیاس مانند گستره مکانی و وسعت سیمای سرزمین مورد توجه بوده است؛ حال آنکه عدم توجه به خصوصیات بیرونی در آنها مورد انتقاد قرار گرفته است. به‌عنوان مثالی از بررسی خصوصیات بیرونی، لاستیگ و همکاران (۲۲) به بررسی دو عامل بیرونی مرتبط با

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

زیستگاه‌های حیات وحش شامل ۱) درصد زیستگاه مطلوب و ۲) خود همبستگی موجود در ساختار الگوهای مکانی (به‌عنوان شاخصی از تکه تکه شدگی سیمای سرزمین و تخریب زیستگاه) پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه گویای ارتباط قوی بین عوامل بیرونی ذکر شده و وابستگی سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس است.

در راستای مطالعات صورت گرفته، تحقیق پیش رو بر آن است تا به‌عنوان رویکردی جدید و با استفاده از روش‌های آماری به کمی کردن ابعاد فراکتال الگوهای مکانی در یک سیمای سرزمین متنوع از نظر نوع کاربری/ پوشش سرزمین در مناطق شمال کشور بپردازد. بر این اساس، علاوه بر بررسی اثر مقیاس بر سنجه‌های سیمای سرزمین، جهت و شدت حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس نیز در این مطالعه مشخص خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام این مطالعه به‌دلیل لزوم استفاده از یک منطقه با تنوع کاربری/ پوشش اراضی بالا، محدوده‌ای منطبق بر شهرستان ساری با استفاده از مرزهای اکولوژیکی (خط الراس کوه‌های منتهی به جلگه دشت مازندران) با وسعت ۹۵۰ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۵۲/۹۳ تا ۵۳/۳۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۴۴ تا ۳۶/۸۲ درجه شمالی به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید. این منطقه از شمال به دریای خزر و از سمت جنوب به ارتفاعات پوشیده از جنگل‌های هیرکانی منتهی می‌شود. طبقات کاربری/ پوشش سرزمین آن بسیار متنوع و از پراکندگی بسیار خوبی برخوردار است. بستر سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی و دربرگیرنده آب بندهای پراکنده و یک تکه بزرگ سکونتگاهی (شهر ساری با وسعت تقریبی ۲۰۰۰ هکتار) است. اراضی بدون پوشش شامل بستر رودخانه تجن در پیرامون شهر ساری است و اراضی جنگل در ارتفاعات جنوبی این منطقه دیده می‌شود. شکل ۱ نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه است.

داده‌های مورد استفاده

در مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، عموماً تصاویر ماهواره لندست به‌دلیل رایگان بودن و دسترسی بسیار راحت به‌عنوان اصلی‌ترین منبع برای تولید اطلاعات پایه (در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰) در مطالعات محیط زیست و منابع طبیعی به‌شمار می‌آیند. از اینرو از تصویر ماهوارهٔ لندست ۸ (نسل ۴، سنجنده OLI) در تاریخ ۲۳ مرداد ۱۳۹۴ به شماره ردیف و گذر ۱۶۳/۳۶ برای تولید و پردازش داده‌های اولیه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

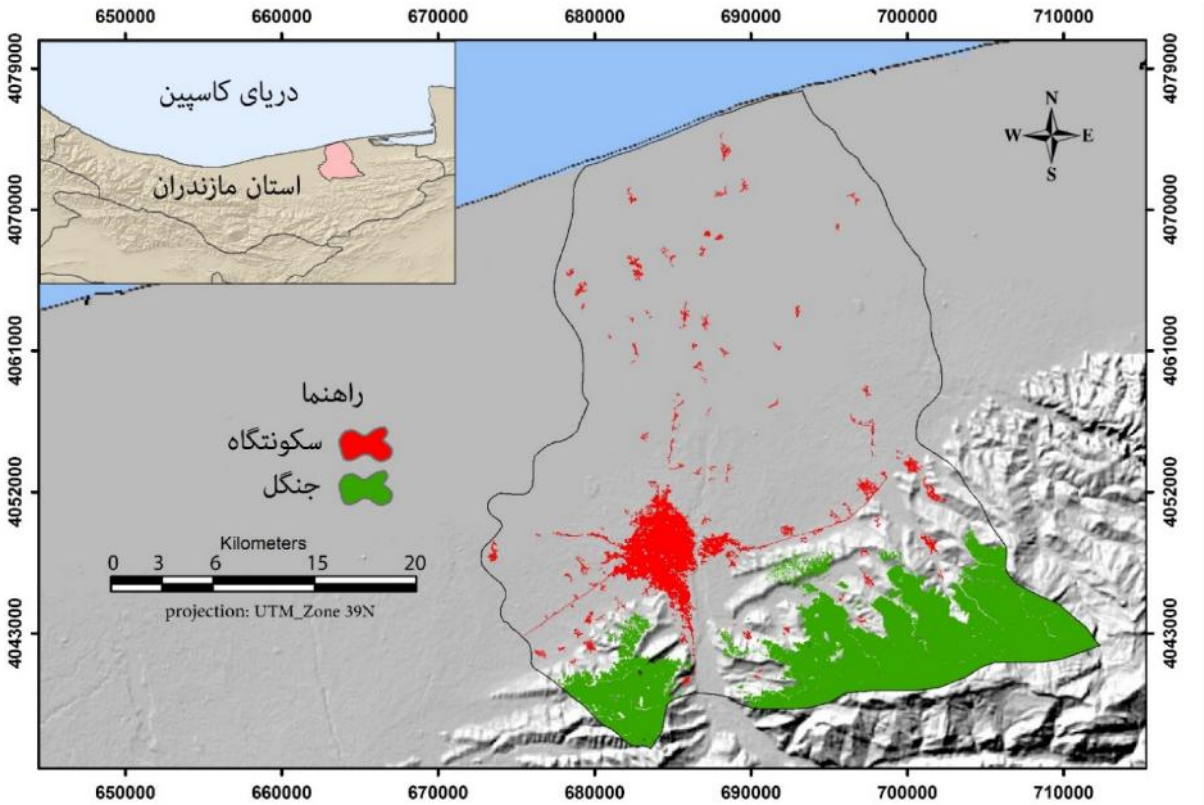
در گام اول، تصویر خام ماهواره لندست با انجام تصحیحات اتمسفری با استفاده از روش اصلاح شده سلول تاریک (۶) مستقیماً به مقادیر بازتاب تبدیل شدند. سپس با جداسازی منطقه مورد مطالعه از تصویر و با استناد به سطح اول سیستم طبقه‌بندی اندرسون و همکاران (۸)، عمل شناسایی انواع طبقات کاربری/ پوشش در منطقه مورد مطالعه منجربه شناسایی تعداد پنج طبقه شامل پوشش‌های آب، جنگل، بایر، کاربری سکونتگاهی و کشاورزی انجامید. جدول ۱ دربرگیرنده توضیحات مربوط به هر طبقه است.

برای پردازش تصاویر از یک روش سلسله مراتبی استفاده شد. در گام اول، پوشش آب با استفاده از شاخص توسعه یافته برای این منظور، NDWI، با دقت قابل قبول تهیه گردید (۲۳). کاربرد موفق این شاخص در مناطق شمالی کشور برای استخراج پوشش آب در مطالعات (۵) به اثبات رسیده است (رابطه ۱).

$$NDWI = X_{green} - X_{nir} / X_{green} + X_{nir} \qquad [۱]$$

در این معادله، X_{green}: مقادیر بازتاب باند سبز و X_{nir}: مقادیر بازتاب باند مادون قرمز نزدیک تصویر لندست است. هم‌چنین برای استخراج پوشش جنگل از شاخص NDVI (رابطه ۲) و تعیین حدود آستانه برای آن استفاده شد (۱). در این رابطه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. توصیف طبقات کاربری/ پوشش در منطقه مورد مطالعه

کاربری/ پوشش سرزمین	توضیحات
آب	آب بندها با عمق آب بیش از نیم متر
جنگل	پوشش متراکم درخت
بایر	خاک بدون پوشش گیاهی، شن‌زارهای ساحلی و بستر رودخانه
سکونتگاه	اراضی انسان ساخت شامل مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی
کشاورزی	اراضی زیر کشت و مناطق آیش

مقدار عددی بیش از ۰/۵۵ به‌عنوان پوشش جنگل درنظر گرفته شد (X_{red} : مقادیر بازتاب باند قرمز تصویر لندست است).

$$NDVI = X_{nir} - X_{red} / X_{nir} + X_{red} \quad [۲]$$

کاربری سکونتگاهی و بایر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) طبقه‌بندی شدند. این روش نسبت به تعداد نقاط تعلیمی حساس نیست (۳۳)؛ لذا بر این اساس تعداد ۲۶ نقطه برای پوشش بایر و ۹۵ نقطه برای کاربری سکونتگاهی تهیه و به‌روش ماشین بردار پشتیبان معرفی گردید. سرانجام مناطقی که در طبقه‌بندی‌های انجام شده جدا نشده بودند به‌عنوان اراضی کشاورزی درنظر گرفته شدند. برای حصول اطمینان از دقت پردازش تصویر به طبقات مذکور، ماتریس خطا با استفاده از نقاط با نوع کاربری معلوم تشکیل و آماره‌های صحت کلی، ضریب کاپا محاسبه گردید. نقاط با نوع کاربری معلوم برای نواحی در دسترس با استفاده از نقاط برداشت شده

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی در سال ۱۳۹۰ و برای مناطق کوهستانی و بدون دسترس (نقاط مرتفع و دور از راه‌های ارتباطی) با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالای google earth به‌دست آمد.

بررسی اثر مقیاس

در این بخش از تحقیق، از روش سلول- مرکزی برای تبدیل مقیاس تصویر پردازش شده استفاده شد. به‌طور مشابه با مطالعات انجام شده در این زمینه (۱۵ و ۲۲) مقیاس‌های مورد نظر برابر با ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ (حداکثر اندازه قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای منابع زمین) انتخاب گردید. در گام بعد، کلیه سنجه‌های سیمای سرزمین توسعه یافته در نرم‌افزار Fragstats (۲۵) در سطح سیمای سرزمین محاسبه شدند. در مطالعات متعددی، سنجه‌های تعبیه شده در این نرم‌افزار به‌عنوان اصلی‌ترین معیارهای کمی کردن الگوهای سیمای سرزمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۳۰). جدول ۲ نشان‌دهنده سنجه‌های مورد استفاده در این تحقیق است.

برای بررسی اثر مقیاس بر حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین از مدل رگرسیون خطی لگاریتم- لگاریتم (به‌صورت تبدیل اولیه داده‌ها به مقادیر لگاریتم آنها) استفاده شد که به‌صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۳):

$$\log M = a \times \log G + b \qquad [۳]$$

در این معادله، مؤلفه M، ارزش معیارهای سیمای سرزمین است که به‌وسیله سنجه‌ها تعیین می‌شود، G: اندازه سلول‌ها در نقشه کاربری زمین، a: مقدار شیب و b: عرض از مبدأ مدل رگرسیون خطی لگاریتم- لگاریتم است.

فنگ و همکاران (۱۵) با تبدیل شیب این معادله به یک تابع فراکتالی توانستند مقدار حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین را در گستره مشخصی بین دو عدد مشخص تعیین کنند. به بیان دیگر، اعداد به‌دست آمده از کمی کردن سنجه‌های سیمای سرزمین (در حالت تبدیل شده به مقیاس لگاریتمی) در محدودهٔ جدیدی از دو عدد که برمبنای (شیب) یک مدل رگرسیونی خطی استوار است قرار می‌گیرند؛ به‌صورتی که این محدوده به میزان تغییر مقدار عددی سنجه‌های سیمای سرزمین حساس خواهد بود. شاخص فراکتالی تعیین شده در این روش به‌صورت زیر است:

$$FD = \begin{cases} -1-a & a \geq 0 \\ 1-a & a < 0 \end{cases} \qquad [۴]$$

که در آن FD، بعد فرکتالی برپایه مقادیر کمی سنجه‌های سیمای سرزمین است که در اثر تغییر اندازه سلول نقشه‌ها به‌دست می‌آید و a: شیب مدل رگرسیون لگاریتم- لگاریتم است که مقدار عددی بین ۱ و ۱- را در برمی‌گیرد. با توجه به معادله ارائه شده در بالا، مقدار شاخص فراکتالی محدوده بین ۲ و ۲- را شامل می‌شود.

ابعاد فراکتالی منفی (زمانی که a>0) نشان‌دهنده افزایش مقدار عددی سنجه‌های سیمای سرزمین به‌دلیل افزایش اندازه سلول‌ها است؛ در حالی‌که مقدار مثبت بعد فراکتالی (زمانی که a<0) نشان‌دهنده کاهش مقدار عددی سنجه‌های سیمای سرزمین در نتیجه افزایش اندازه سلول‌ها است. ذکر این نکته لازم است که مقدار عددی بعد فراکتالی برابر با ۱، به معنی مقدار صفر در شیب خط مدل رگرسیونی است که در آن، مقدار عددی سنجه‌های سیمای سرزمین تحت تأثیر تغییرات مقیاس مکانی تغییر نمی‌کند.

ضریب تعیین (تشخیص) مدل رگرسیون خطی (در حالت لگاریتم- لگاریتم)، که با عنوان R^2 (مربع ضریب همبستگی) نیز شناخته می‌شود، درجه حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین نسبت به مقیاس‌های مختلف را مطابق مدل رگرسیونی لگاریتم- لگاریتم اندازه‌گیری می‌کند (رابطه ۵).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\log G - avg(\log G)\right)\times\left(\log M - avg(\log M)\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\log G - avg(\log G)\right)^2 \times \sum_{i=1}^{n}\left(\log M - avg(\log M)\right)^2}} \qquad [۵]$$

در این معادله، $avg(logG)$ و $avg(logM)$ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ میانگین ارزش لگاریتم G و لگاریتم M هستند. مقادیر نزدیک به یک این ضریب نشان‌دهندهٔ حساسیت زیاد سنجه‌ها به

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

جدول ۲. خصوصیات سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در سطح سیمای سرزمین

ویژگی سیما	نام سنجه	نام اختصاری	واحد	ویژگی سیما	نام سنجه	نام اختصاری	واحد
شکل و حاشیه	تعداد لکه	NP	بدون واحد	تجمع	شاخص تقسیم شدگی	DIVISION	بدون واحد
	تراکم لکه	PD	تعداد در ۱۰۰ هکتار		شاخص پیوستگی لکه	COHESION	بدون واحد
	تراکم حاشیه	ED	متر در هکتار		شاخص تفرق	SPLIT	بدون واحد
	شاخص بزرگترین لکه	LPI	درصد	شکل	فراکتال محیط به مساحت	PAFRAC	بدون واحد
	متوسط اندازه لکه	MPS	هکتار		شاخص شکل لکه	SHAPE	بدون واحد
	شاخص چرخش	GYRATE	بدون واحد		شاخص فراکتال	FRAC	بدون واحد
تجمع	شاخص سرایت	CONTAG	درصد		نسبت محیط به مساحت	PARA	بدون واحد
	یوغ جایی و پراکندگی	IJI	درصد		شاخص مجاورت	CONTIG	بدون واحد
	درصد تشابه در مجاورت	PLADJ	درصد	تنوع	غنای لکه	PR	بدون واحد
	شاخص انباشتگی	AI	درصد		شاخص تنوع شانون	SHDI	بدون واحد
	شاخص شکل سیما	LSI	بدون واحد		شاخص تنوع سیمپسون	SIDI	بدون واحد
	شاخص نزدیکترین فاصله	ENN	متر		تنوع سیمپسون اصلاح شده	MSIDI	بدون واحد
	شاخص شبکه مؤثر	MESH	هکتار		شاخص همگنی شانون	SHEI	بدون واحد

عامل مقیاس و مقادیر صفر عدم وجود حساسیت را نشان می‌دهد.

مجموعه‌ای از مدل‌های رگرسیون خطی لگاریتم- لگاریتم (معادله ۱) برای هر یک از سنجه‌های عنوان شده در جدول ۲ در محیط برنامه اکسل توسعه یافتند. لذا برای هر سنجه سیمای سرزمین یک مقدار شاخص فراکتال و یک مقدار ضریب تعیین مدل به‌دست آمد. براساس تقسیم بندی فنگ و همکاران (۱۵) و فروزری و کاتانی (۱۶) از چهار مقیاس اسمی شامل:

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

جدول ۳. مقیاس‌های مرتبط با توصیف ویژگی‌های فرکتال

ویژگی فراکتال	محدوده بعد فراکتال	درجه تأثیر ضریب تعیین	محدوده ضریب تعیین
قوی (S)	{۱/۳- تا ۲/۰-} و {۱/۳ تا ۲/۰}	افزایشی (R)	۰/۷ – ۱/۰
متوسط (M)	{۱/۱- تا ۱/۳-} و {۱/۱ تا ۱/۳}	متوسط (M)	۰/۵ – ۰/۷
ضعیف (W)	{۱/۰۵- تا ۱/۱-} و {۱/۰۵ تا ۱/۱}	ضعیف (W)	۰/۳ – ۰/۵
بدون اثر (N)	{۱/۰- تا ۱/۰۵-} و {۱/۰ تا ۱/۰۵}	بدون اثر (N)	۰/۱ – ۰/۳

قوی/ افزایشی (R-S)، متوسط (M)، ضعیف (W) و بدون اثر (N) برای توصیف ابعاد فرکتال سنجه‌های سیمای سرزمین (شاخص فراکتال و ضریب تعیین معادله) استفاده شد (جدول ۳) و نتایج به‌دست آمده از آنها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج

با استفاده از روش پردازش تصویر ارائه شده در قسمت مواد و روش‌ها، نقشهٔ کاربری پوشش منطقه مورد مطالعه با صحت کلی و ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ و ۰/۸۶ به‌دست آمد. براساس نقشه به‌دست آمده، کاربری کشاورزی با وسعت تقریبی ۷۵ هزار هکتار، بستر سیمای سرزمین را تشکیل می‌دهد. پوشش بایر نیز با وسعت ۲۰۰ هکتار کوچکترین طبقه کاربری/ پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه است. شکل ۲ و جدول ۴ به ترتیب بیانگر نقشه کاربری/ پوشش سرزمین استخراج شده از پردازش تصاویر و وسعت هر یک از طبقات کاربری/ پوشش زمین است.

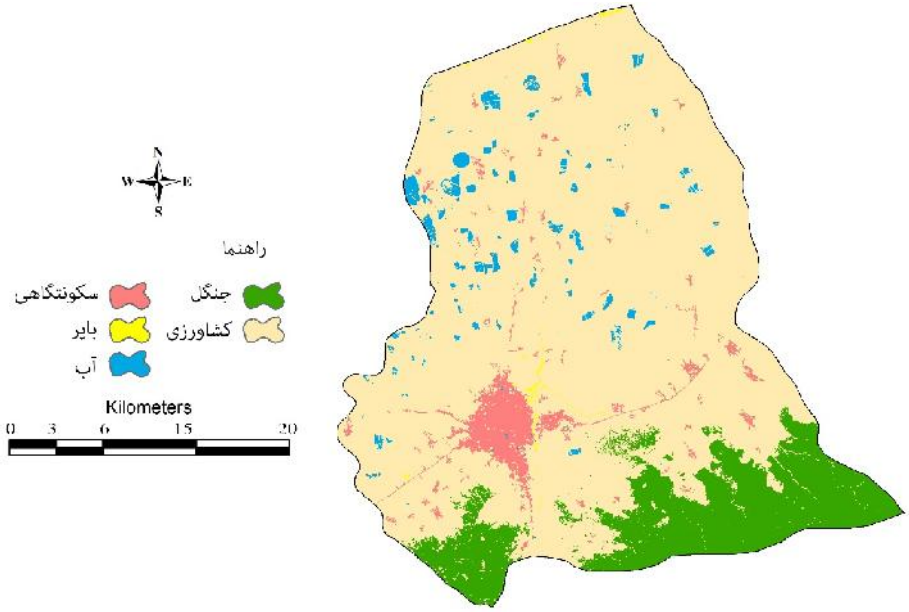
با کاربرد روش سلول- مرکزی برروی نقشه به‌دست آمده از پردازش تصاویر، نقشه مقیاس‌های مورد نظر تهیه (شکل ۳) و مقادیر الگوهای مکانی آنها در نرم‌افزار Fragstats محاسبه شدند. با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده از هر سنجه و جایگذاری آن در معادله رگرسیونی، مقادیر شاخص فراکتالی و ضریب تعیین مدل رگرسیونی برای هر سنجه سیمای سرزمین به‌دست آمد. جدول ۶ نشان‌دهنده مقادیر محاسبه شده در سطح سیمای سرزمین است.

بحث

براساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، ضریب تعیین اکثر سنجه‌های مورد استفاده در دو دسته کلی حساسیت زیاد (R- افزایشی) و بدون حساسیت (N- بدون اثر) طبقه‌بندی شدند. در مورد سنجه‌های معرف تنوع، ضریب تعیین کلیه سنجه‌ها برابر با مقدار صفر به‌دست آمد که نشان از عدم وابستگی سنجه‌های تنوع با عامل مقیاس است. هم‌چنین مقدار ویژگی فراکتال به‌دست آمده از آنها تأییدی بر این نتایج است. اگرچه مطالعاتی (۱۵) بر عدم وجود رابطه بین سنجه‌های تنوع با عامل مقیاس تأکید داشته‌اند ولی باید توجه داشت که این رابطه در بخش مقیاس مربوط به نقشه‌های موضوعی بسیار مشهود و تأثیرگذار است (۳۰). بر این اساس، مطالعات صورت گرفته برای بررسی یک فرایند مشخص در سیمای سرزمین (مانند تضاد بین کاربری‌ها در یک سیمای سرزمین شهری و کشاورزی و یا یک زیستگاه متنوع از نظر نوع پوشش زمین) می‌بایست در هنگام استفاده از سنجه‌های تنوع به نوع طبقات کاربری/ پوشش زمین (و یا برخی از خصوصیات درونی سیما) به‌عنوان عاملی از مقیاس توجه کنند.

مقادیر COD و FD برای سنجه‌های LPI (در بخش سنجه‌های شکل و حاشیه)، MESH و AI (در بخش سنجه‌های تجمیع) نیز مشابه با نتایج به‌دست آمده از سنجه‌های تنوع بود.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]



شکل ۲. نقشه پردازش شده تصویر لندست

(رنگی در نسخه الکترونیکی)

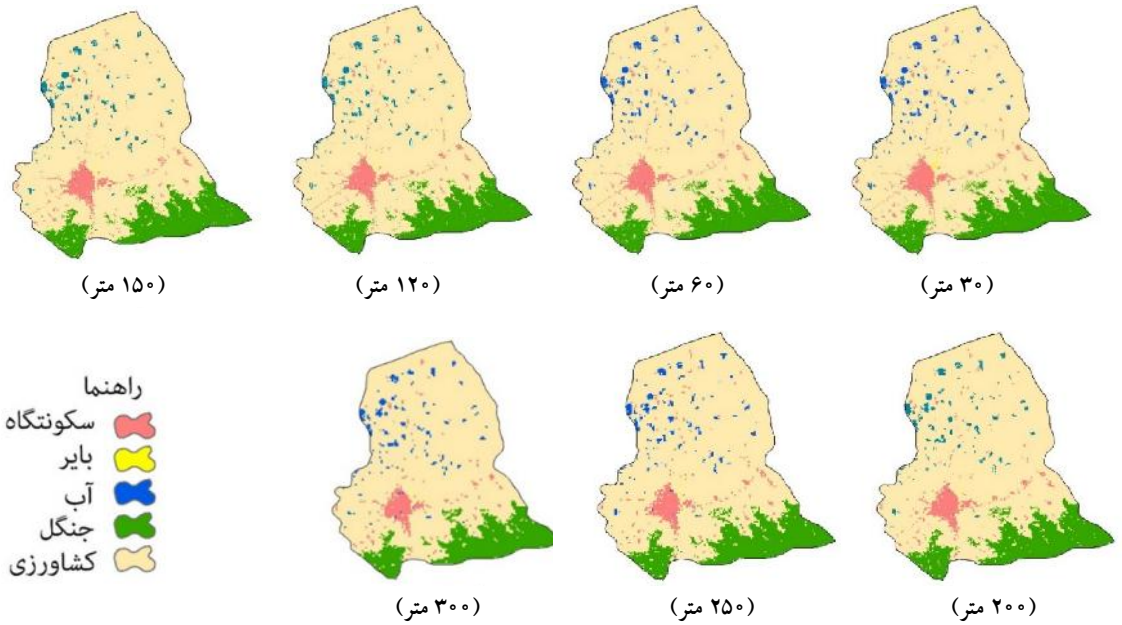
جدول ۴. وسعت طبقات کاربری/ پوشش زمین

	نوع کاربری/ پوشش				
	جنگل	کشاورزی	سکونتگاهی	بایر	آب
وسعت (هکتار)	۱۳۹۵۵	۷۵۳۲۷	۳۵۸۲	۱۹۷	۲۱۲۰

چنانچه به‌صورت بصری نیز از نقشه‌های تغییر مقیاس قابل مشاهده است (شکل ۳)، کاربری کشاورزی به‌عنوان بزرگترین لکه و بستر سیمای سرزمین مورد مطالعه، به‌صورت یک لکه منفرد بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه را به‌خود اختصاص داده است که سطح و حاشیه آن تحت تأثیر حذف سلول‌های منفرد و ساده‌سازی حاشیه‌ها به‌دلیل افزایش مقیاس تغییر چندانی نخواهد داشت. از اینرو مقدار ضریب تعیین و بعد فراکتالی آن مقادیر بدون حساسیت در برابر تغییر مقیاس را نشان دادند. سنجه‌های MESH و AI نیز به‌عنوان شاخصی از تکه تکه شدگی سیمای سرزمین (۲۴) حساسیتی نسبت به تغییر مقیاس از خود نشان ندادند؛ زیرا پراکندگی الگوهای کاربری/ پوشش زمین به‌صورت لکه‌های مجزا و عدم پراکندگی یکنواخت آن در منطقه باعث می‌شود تا احتمال حضور دو نقطه تصادفی در یک لکه، حتی با افزایش عامل مقیاس نیز تغییر چندانی نداشته باشد (شرایطی که در آن طبقات مختلف کاربری/ پوشش سرزمین به مناطق مشخصی محدود شده‌اند مانند پوشش جنگل که به‌صورت کامل در جنوب منطقه استقرار یافته است). البته لازم به‌ذکر است که مطالعه حساسیت سنجه MESH و AI در مقیاس‌های بزرگ به‌دلیل از بین رفتن عوامل اصلی تأثیرگذار بر تکه تکه شدگی سیمای سرزمین (به‌خصوص اثر جاده) قابل مشاهده نخواهد بود و بررسی میزان حساسیت آن در مقیاس‌های بسیار کوچک لازم و ضروری است.

در بخش سنجه‌های سطح و حاشیه (به‌جز LPI که در بالا به آن اشاره شد) ضریب تعیین معادله، مقادیر بسیار زیادی را به‌خود اختصاص داد. به‌طور کلی مطالعات صورت گرفته در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]



شکل ۳. نقشه‌های تبدیل مقیاس به‌روش سلول- مرکزی

(رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. مقادیر ابعاد فراکتالی و ضریب تعیین مدل رگرسیونی در سطح سیمای سرزمین

سنجه	COD		FD		سنجه	COD		FD	
	مقدار	تأثیر	مقدار	ویژگی		مقدار	تأثیر	مقدار	ویژگی
NP	۰/۹۶	R	۱/۱۴	M	DIVISION	۰/۷۸	R	۱/۱۸	M
PD	۰/۸۲	R	۱/۱۸	M	COHESION	۰/۸۹	R	۱/۲۳	M
ED	۰/۹۷	R	۱/۰۴	N	SPLIT	۰/۹۲	R	۱/۳۴	S
LPI	۰/۰۱	N	۱	N	PAFRAC	۰/۶۸	M	۱/۰۶	W
MPS	۰/۹۷	R	-۱/۹۳	S	SHAPE	۰/۹۱	R	۱/۱۶	M
GYRATE	۰/۸۱	R	-۱/۷۵	S	FRAC	۰/۸۹	R	۱/۰۱	N
CONTAG	۰/۹۶	R	۱/۲۲	M	PARA	۰/۶۸	M	۱/۸۳	S
IJI	۰/۹۷	R	-۱/۰۲	N	CONTIG	۰/۹۱	R	۱/۷۱	S
PLADJ	۰/۸۲	R	۱/۱۶	M	PR	۰	N	۱	N
AI	۰/۸۸	R	۱/۰۱	N	SHDI	۰	N	۱	N
LSI	۰/۷۸	R	۱/۰۹	W	SIDI	۰	N	-۱	N
ENN	۰/۹۳	R	۱/۵۸	S	MSIDI	۰	N	-۱	N
MESH	۰/۰۸	N	-۱	N	SHEI	۰	N	۱	N

این زمینه گویای وجود حساسیت بسیار بالای سنجه‌های سطح و حاشیه نسبت به عامل مقیاس است (۱۱ و ۲۹). در بین سنجه‌های این بخش، سنجه MPS بیشترین میزان حساسیت به عامل مقیاس را از خود نشان داد (ضریب تعیین برابر با ۰/۹۷، طبقه افزایشی) به‌طوری که با افزایش اندازه سلول در هر مقیاس، مقدار عددی این سنجه به‌صورت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

نزدیک به توانی و به‌صورت همسو با افزایش اندازه سلول افزایش پیدا می‌کند (مقدار FD برابر با ۱/۹۳-). ضریب تعیین برای سنجه ED نیز حاکی از حساسیت بالای این شاخص به عامل مقیاس است هر چند که براساس شاخص FD (مقدار برابر با ۱/۰۴، طبقه N) میزان کاهش عددی سنجه مذکور در برابر عامل مقیاس مقدار بالایی نخواهد بود (عدم پیروی از رابطه توانی).

در بخش سنجه‌های تجمع، ضریب تعیین به‌دست آمده برای اکثر سنجه‌های سیمای سرزمین (به‌جز سنجهٔ MESH) مقادیر افزایشی را نشان دادند که حاکی از حساسیت بالای سنجه‌های این بخش به عامل مقیاس است. با این حال، میزان تغییرات عددی سنجه‌ها به عامل مقیاس متنوع است. سنجه‌های LSI و PAFRAC به‌دلیل عدم پیچیدگی شکل تکه‌های سیمای سرزمین در نقشه اولیه تغییرات بسیار کمی در برابر تغییر عامل مقیاس داشتند (طبقه FD ضعیف W). حال آنکه سنجه SPLIT مقدار FD بسیار بالایی (۱/۳۴، طبقه S) را از خود نشان داد، زیرا با افزایش اندازه سلول‌های نقشه، تعداد سلول‌های منفرد به‌شدت کاهش پیدا می‌کند (۲۴). وجود سلول‌های منفرد در حاشیه پوشش جنگل و کاربری شهری که با افزایش اندازه سلول‌ها حذف شدند عامل اصلی در تغییرات بسیار شدید این شاخص در قبال افزایش اندازه سلول‌ها است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، استفاده همزمان دو شاخص ضریب تعیین و بعد فراکتال به‌خوبی توانست ویژگی‌ها و رفتار سنجه‌های سیمای سرزمین نسبت به عامل مقیاس را نشان دهد. ضریب تعیین معادله شاخصی از میزان حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس را به‌صورت کمی بیان می‌کند. هم‌چنین شاخص فراکتالی اطلاعات اساسی دیگر در مورد حساسیت به‌دست آمده از ضریب تعیین معادله شامل جهت (مقادیر مثبت و منفی) و میزان تغییر سنجه‌های سیمای سرزمین به عامل مقیاس (براساس طبقات چهارگانه FD) را نشان دهد.

کاربرد رویکردهای متعدد در زمینه بررسی اثر مقیاس بر حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین می‌تواند منجربه استحکام روش مورد استفاده و کاربرد نتایج آن در سطوح بالاتر مطالعات اکولوژی سیمای سرزمین شود (مانند بررسی فرآیندهای اکولوژیک مرتبط با عامل مقیاس). استفاده از محدودهٔ بسیار وسیعی از تغییرات عامل مقیاس، به مراتب نتایج دقیق‌تری به همراه خواهد داشت. هم‌چنین، استفاده از نقشه‌هایی که از منابع متفاوت (لزوماً با دقت یکسان) تهیه شده باشد، نتایج قابل استناد و بدون اریبی را ارائه خواهند داد. در انتها، پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات بعدی، تعامل کاربری‌های مختلف از نظر نوع، گستره و برخی از خصوصیات درونی مانند مجاورت نیز با استفاده از این روش مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. آرنوف، آ. ۱۳۹۱. سنجش از دور برای مدیران جی آی اس. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۳۲ ص.

۲. جعفری، ش.، ا. علیزاده. و ک. جعفری. ۱۳۹۲. بررسی اثر مقیاس برروی متریک‌های سیمای سرزمین، نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان، آبان ۱۳۹۲.

۳. عبدالهی، ص و ع. ر. سلمان ماهینی. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر مقیاس بر مدل‌سازی زیستگاه پلنگ در پارک ملی گلستان. *پژوهش‌های محیط زیست* ۶(۱۱): ۱۷۹-۱۰۸.

۴. عسگریان، ع. و ب. جباریان. ۱۳۹۴. بررسی اثر مقیاس بر حساسیت سنجه‌های سیمای سرزمین. *مجله محیط زیست طبیعی* ۶۸(۳):

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

۴۳۱-۴۴۱.

۵. عسگریان، ع.، ب. جباریان امیری، ا. علیزاده و ج. فقهی. ۱۳۹۴. بررسی الگوهای توسعه در شهر ساری با استفاده از رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین. *مجله محیط زیست طبیعی* ۶۸(۱): ۱۰۷-۹۵.

6. Agapiou, A., G. Diofantos, C. Hadjimitsis, D. Papoutsa, A. Alexakis and G. Papadavid. 2011. The importance of accounting for atmospheric effects in the application of NDVI and interpretation of satellite imagery supporting archaeological research. *Remote Sensing* 3(12): 2605-2629.
7. Amiri, B. J. and K. Nakane. 2009. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the hugoku District of Japan. *Water Resources Management* 23(5): 931-956.
8. Anderson, J. R., E. Hardey, J. Roach and R. Witmer. 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use. US Geological survey Press, 28 p.
9. Asgarian, A., B. J. Amiri and Y. Sakieh. 2014. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystems* 18(1): 209-222.
10. Bailey, D., F. Herzog, I. Augenstein, S. Aviron, R. Billeter and E. Szerencsits. 2007. Thematic resolution matters: indicators of landscape pattern for European agro-ecosystems. *Ecological Indicators* 7: 692-709.
11. Baldwin, D., K. Weaver, F. Schnekenburger and A. H. Perera. 2004. Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: implications for their use in natural disturbance emulation. *Landscape Ecology* 19: 255-271.
12. Benedek, Z., A. Nagy, I. A. Rácz, F. Jordán and Z. Varga. 2011. Landscape metrics as indicators: quantifying habitat network changes of a bush-cricket Pholidoptera transsylvanica in Hungary. *Ecological Indicators* 11: 930-933.
13. Buyantuyev, A., J. Wu and C. Gries. 2010. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning* 94: 206-217.
14. Farina, A. 2006. Principles and Methods in Landscape Ecology. Dordrecht: Springer, 412 p.
15. Feng, Y., Y. Liu, Q. Zhou and Z. Han. 2013. A fractal based quantification analysis of spatial grain characteristics and its variation in landscape fragmentation of Shanghai. *Ecology and Environmental Science* 22(3): 443-450.
16. Forzieri, G and F. Catani. 2011. Scale-dependent relations in land cover biophysical dynamics. *Ecological Modeling* 222: 3285-3290.
17. Griffitha, S., T. Stehmanb, S. Sohl and T. Loveland. 2003. Detecting trends in landscape pattern metrics over a 20-year period using a sampling-based monitoring programme. *International Journal of Remote Sensing* 24: 175-181.
18. Herzog, F., A. Lausch, E. Muller, H. Thukle, T. Steinhart and S. Lehman. 2001. Landscape Metrics for Assessment of Landscape Destruction and Rehabilitation. *Environmental Management* 27(1): 91-107.
19. Kelly, M., K. A. Tuxen and D. Stralberg. 2011. Mapping changes to vegetation pattern in a restoring wetland: finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological Indicators* 11: 263-273.
20. Lang, S. and D. Tiede. 2003. vLATE extension für ArcGIS e vektorbasiertes tool zur quantitativen lands chafts struktur analyse. In: ESRI Anwenderkonferenz Innsbruck.
21. Leitão, A., J. Miller, J. Ahern and K. McGarigal. 2012. Measuring Landscapes: A planner's handbook. Island press, 438 p.
22. Lustiga, L., D. Audrey, B. Stouffer, R. Mariona and P. Wornera. 2015. Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scales. *Ecological Indicators* 57: 11-21.
23. McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Remote Sensing Letters* 17(7): 1425-1432.
24. McGarigal, K. and B. Marks. 1995. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure Gen Tech Rep PNW-GTR-351 US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
25. McGarigal, K., S, Cushman, M. Neel and E. Ene. 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts, Amherst Press, 229 p.
26. Rempel, R. S. 2008. Patch Analyst 4-History. URL. http://flash.lakeheadu.ca/rrempel/ patch/whats_new.html.
27. Rutledge, D. T. 2003. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?
28. Sakieh, Y., A. Salmanmahiny and J. Jafarnezhad. 2015. Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. *Land Use Policy* 48: 534-551.
29. Saura, S. and S. Castro. 2007. Scaling functions for landscape pattern metrics derived from remotely sensed data: are their subpixel estimates really accurate? *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62: 201-216.
30. Simova, P. and K. Gdulova. 2012. Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Applied Geography* 34: 385-394.
31. Uuemaa, E., J. Roosaare and Ü. Mander. 2005. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]

nutrient and organic matter losses from catchments. *Ecological Indicators* 5: 350-369.
32. Wu, J. E., D. Jelinski, L. Matt and P. T. Tueller. 2009. Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. *Geographic Information Sciences* 6(1): 6-19.
33. Yu, L., E. J. Porwal, C. Holden and M. C. Dentith. 2012. Towards automatic lithological classification from remote sensing data using support vector machines. *Computers and Geosciences* 45:229-239.
34. Zhang, H. and A. Wang. 2006. Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis. *Landscape and Urban Planning* 78: 449-456.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.16.7.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.16.85]