



مقایسه و وضوح مکانی تصاویر اسپات و لندست در تعیین تکه تکه شدگی سیمای سرزمین

احسان رحیمی^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲، سید حامد میرکریمی^۳، حمیدرضا کامیاب^۴، ستار سلطانیان^۵

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴. دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵. مربی دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۸ فروردین ۱۳۹۴

پذیرش: ۲۳ مهر ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۱۰ فروردین ۱۳۹۵

واژه‌های کلیدی:

اثرات مقیاس

معیارهای سیمای سرزمین

تصاویر ماهواره‌ای اسپات و لندست

شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی

از زمان پیدایش بوم‌شناسی سیمای سرزمین، همبستگی میان الگوهای مکانی و فرآیندهای بوم‌شناختی همواره یکی از کلیدی‌ترین موضوعات این رشته بوده است. در این راستا، معیارهای سیمای سرزمین اطلاعات ارزشمندی در توصیف سیمای سرزمین ارائه می‌دهند. مشخص است که به منظور محاسبه و تفسیر صحیح معیارهای سیمای سرزمین، مقیاس داده‌های ورودی و مقیاس تجزیه و تحلیل باید با هم سازگار باشند. روشی عمده که به منظور بررسی اثرات مقیاس بر معیارهای سیمای سرزمین به کار گرفته می‌شود، تغییر اندازه دانه‌بندی یا اندازه پیکسل در تصاویر ماهواره‌ای است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای اسپات و لندست در سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۸۹ و نقشه‌های شبیه‌سازی شده مبتنی بر شبکه‌های خودکار و مارکوف در سال ۱۳۹۹ استفاده گردید. اثرات وضوح مکانی نقشه‌ها بر ۸ معیار در سطح کلاس و سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار فرگستیس (FRAGSTATS) بررسی گردید. نتایج نشان داد که تغییر در اندازه دانه‌بندی اثرات معنی‌داری بر معیارهای سیمای سرزمین و تغییرات آن‌ها در آینده دارد، به گونه‌ای که با افزایش اندازه دانه‌بندی مقادیر معیارهای تعداد لکه‌ها، تراکم لکه‌ها، معیار شکل سیمای سرزمین و پراکندگی کاهش یافتند. به طور کلی معیارها دو نوع رفتار نامنظم و افزایشی را با توجه به کاهش اندازه دانه‌بندی از خود نشان دادند، در این میان معیارهای تعداد و تراکم لکه نسبت به سایر معیارهای بررسی شده در این مطالعه بیش‌تر به تغییرات اندازه دانه‌بندی حساس هستند. لذا کاربرد این معیارها در مطالعات سیمای سرزمین دقت بیشتری را می‌طلبد.

* ehsanrahimi666@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

سیمای سرزمین به عنوان منطقه‌ای که از لحاظ مکانی حداقل در یک فاکتور ناهمگن است، تعریف می‌شود (۴۱). بوم‌شناسی سیمای سرزمین بر کمی‌سازی این ناهمگنی تمرکز می‌کند و دلایل و پیامدهای بوم‌شناسی آن را در مقیاس‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد (۴۳). از زمان پیدایش بوم‌شناسی سیمای سرزمین، همبستگی میان الگوهای مکانی و فرآیندهای بوم‌شناختی همواره یکی از کلیدی‌ترین موضوعات این رشته بوده است (۲۲ و ۴۷). برای ایجاد این ارتباط، اولین مرحله کمی‌سازی الگوهای سیمای سرزمین است (۱۶ و ۱۷)، که توجه فراوانی توسط بوم‌شناسان سیمای سرزمین به آن شده است (۲۷ و ۴۴). در مطالعات سیمای سرزمین، داده‌های اولیه عمدتاً نقشه‌های طبقه‌بندی شده هستند که ما را قادر به کمی‌سازی ویژگی‌هایی مانند ناهمگنی سیمای سرزمین (۴، ۷ و ۴۰)، پیوستگی سیمای سرزمین (۱۲ و ۱۹) و تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین (۵، ۱۳ و ۳۴) می‌سازند. بوم‌شناسی سیمای سرزمین تلاش می‌کند تا معیارهایی را توسعه دهد که به طور منظم الگوهای سیمای سرزمین را توصیف و اثرات تغییر الگوها را بر گونه‌های مختلف پیش‌بینی کند (۱۱، ۳۳ و ۴۵). در میان روش‌های انتخاب شده برای مطالعه الگوی سیمای سرزمین، معیارهای سیمای سرزمین مبتنی بر سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌های کاربری اراضی به عنوان ابزاری مؤثر و آزموده شده هستند که در حال حاضر به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. با وجود این، به دلیل پیچیدگی معیارهای سیمای سرزمین، انتخاب معیارهای مناسب که ویژگی‌هایی سیمای سرزمین را بازتاب کنند، به یک چالش تبدیل شده است (۲۴ و ۲۸)، به طوری که رفتار معیارهای سیمای سرزمین نسبت به تغییرات وضوح مکانی و موضوعی داده‌های موجود به موضوع مهمی در مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین در دهه‌های اخیر تبدیل شده است (۴، ۹، ۳۲، ۳۶ و ۵۰). روشی عمده که به منظور ارزیابی اثرات مقیاس بر الگوی سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرد، تغییر اندازه دانه‌بندی یا کوچک‌ترین واحد مورد استفاده برای تجزیه و

تحلیل مکانی است که در طیفی از مقیاس‌ها برای تجزیه و تحلیل پاسخ معیارهای سیمای سرزمین بکار گرفته می‌شود (۲۵ و ۳۲). بر اساس این روش، بیشتر مطالعات از یک منبع داده استفاده می‌کنند که این منبع از تصاویر سنجش از دور یا الگوهای سیمای سرزمین شبیه‌سازی شده به دست می‌آید (۱۴، ۲۱، ۲۳ و ۵۲). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که صحت معیارهای سیمای سرزمین قویاً با صحت طبقه‌بندی نقشه‌ها مرتبط هستند (۲۰).

لو و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات مقیاس بر معیارهای سیمای سرزمین پرداختند. آن‌ها نشان دادند که افزایش در اندازه دانه‌بندی موجب کاهش جزئیات برای کمی‌سازی الگوی مکانی سیمای سرزمین می‌شود، به گونه‌ای که با افزایش اندازه دانه‌بندی مقادیر معیارهای تجمع، شاخص شکل سیمای سرزمین، تراکم لکه و شاخص تقسیم سیمای سرزمین کاهش یافت.

وو (۵۰) نیز اثرات مقیاس بر تجزیه و تحلیل الگوی مکانی را مورد بررسی قرار داد، نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر در اندازه دانه‌بندی و وسعت منطقه اثرات معنی‌داری بر معیارها در سطح کلاس و سیمای سرزمین دارد، به گونه‌ای که با افزایش اندازه دانه‌بندی مقادیر معیارهای تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و ضریب تغییرات اندازه لکه کاهش یافتند، اما مقدار معیار میانگین اندازه لکه افزایش یافت.

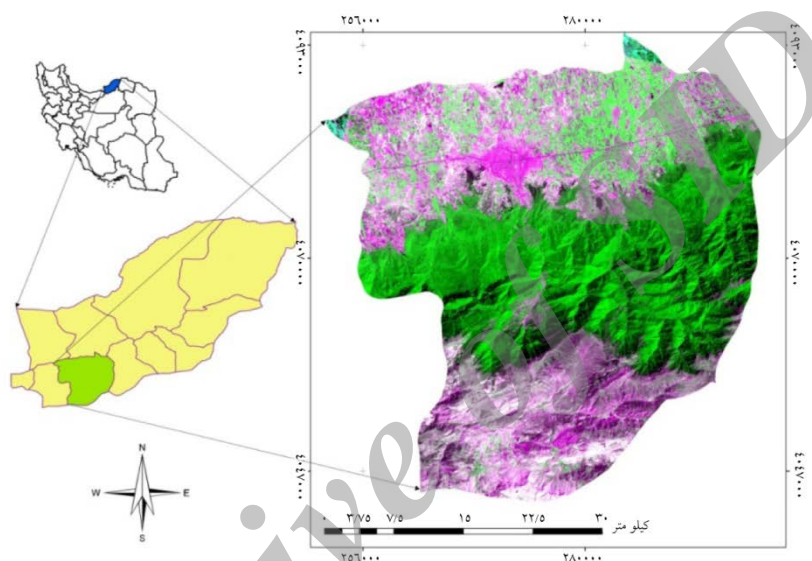
لئو و همکاران (۲۴) نیز در مطالعه‌ای به بررسی اثرات طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر معیارهای سیمای سرزمین پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تغییر در جزئیات سیستم طبقه‌بندی اثرات معنی‌داری بر معیارهای سیمای سرزمین در مقیاس‌های مختلف دارد، به گونه‌ای که با افزایش تعداد طبقات کاربری اراضی، مقادیر معیارهای تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین، میانگین چین‌خوردگی و شاخص تنوع سیمپسون افزایش یافتند اما مقادیر معیارهای شاخص بزرگ‌ترین لکه و شاخص شکل میانگین کاهش یافتند. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که مقیاس داده‌های مورد استفاده بر الگوهای سیمای سرزمین تأثیر می‌گذارد، بنابراین انتظار

جغرافیایی ۱۰' ۵۴° تا ۴۵' ۵۴° طول شرقی و ۴۴' ۳۶° تا ۵۸' ۳۶° عرض شمالی با مساحتی حدود ۱۳۱۶ کیلومتر مربع در استان گلستان قرار دارد (شکل ۱). بخش جنوبی گرگان مشرف به ارتفاعات پوشیده از جنگل است که در مجاورت جاده سراسری شمال قرار دارد. آب و هوای منطقه مورد مطالعه معتدله مرطوب و میانگین شیب در منطقه ۲۷٪ است.

می‌رود در کمی‌سازی الگوهای سیمای سرزمین به موضوع مقیاس داده‌ها توجه ویژه‌ای شود. هدف این تحقیق بررسی رفتار معیارهای سیمای سرزمین در مقیاس‌های مختلف با توجه به اختلاف وضوح مکانی میان تصاویر اسپات و لندست است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شهرستان گرگان در محدوده



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

خروجی می‌باشند (۸). به منظور تعیین طبقات از ترکیب‌های رنگی کاذب، نقشه‌ها و مدارک موجود، تفسیر چشمی تصاویر موجود در نرم‌افزار گوگل ارث و بازدیدهای میدانی، استفاده گردید. کاربری‌های عمده‌ای که در این مرحله از پژوهش شناسایی گردید، عبارتند از: کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، توسعه شهری، پهنه‌های آبی و مناطق بایر. برای هر کدام از این شش طبقه، متناسب با مساحت و الگوهای طیفی متفاوت آن‌ها، نمونه‌های تعلیمی تهیه گردید، سپس از آن‌ها به منظور تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی با روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال که بنابر نتایج تحقیقات پیشین از صحت و دقت بالاتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است (۱، ۲ و ۳) در نرم‌افزار *Envi*®5 استفاده شد. به منظور تعیین صحت طبقه‌بندی از نقاط کنترل زمینی استفاده

داده‌های مورد استفاده شامل نقشه‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۴، سنجنده TM (اردیبهشت ۱۳۶۵)، لندست ۷، سنجنده ETM^+ (اردیبهشت ۱۳۸۹) و ماهواره اسپات ۵ (اردیبهشت ۱۳۸۹)، جهت پایش روند تغییرات کاربری‌ها در یک بازه زمانی ۲۴ ساله و تصاویر دارای سیستم مختصات UTM و عاری از هرگونه خطای رادیومتریک و اتمسفری بودند. طبقه‌بندی و پردازش تصاویر به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر اسپات و لندست استفاده گردید. از آنجایی که این تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی متفاوتی هستند (جدول ۱)، نقشه‌های به دست آمده از این تصاویر نیز با یکدیگر تفاوت دارند. چهار مرحله اصلی در فرآیند طبقه‌بندی شامل تعیین طبقات، تعیین نمونه‌های تعلیمی و اصلاح آن‌ها، انجام طبقه‌بندی نهایی و تهیه

گردید. در این مرحله ۱۰۰ نقطه تصادفی برای تهیه ماتریس خطا و انجام مقایسه میان نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی و نقاط

جدول ۱. مقایسه قدرت تفکیک مکانی ماهواره‌های اسپات و لندست (متر)

ماهواره	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷	باند پانکروماتیک
لندست ۷	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۶۰	۷	۱۵
اسپات ۵	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	-	-	-	۵ یا ۲/۵

ب) ایجاد نقشه‌های تغییر بالقوه نقشه‌های تغییر بالقوه اساس شبیه‌سازی مدل Markov-CA هستند، این نقشه‌ها به منظور کنترل توزیع مکانی کاربری‌ها استفاده می‌گردند. در اولین مرحله، نقشه‌های تغییر بالقوه از ماتریس احتمال تغییر ایجاد می‌شوند که به وسیله زنجیره مارکوف محاسبه می‌شوند. این نقشه‌های تغییر بالقوه، احتمال تغییر لکه‌های هر کاربری به سایر کاربری‌ها را نشان می‌دهند. اخیراً چندین مطالعه تلاش کرده‌اند تا داده‌های طبیعی و اقتصادی - اجتماعی مانند شیب، ارتفاع، فاصله از جاده و تراکم جمعیت را با این مدل ترکیب کنند که این تلاش‌ها منجر به افزایش صحت شبیه‌سازی مدل Markov-CA شده است.

ج) شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA در مدل Markov-CA، CA یک چارچوب مکانی ارائه می‌دهد. تصمیم‌گیری در مورد دفعات تکرار، ترکیب ماتریس تغییر مساحت و نقشه‌های تغییر بالقوه به عنوان قانون تغییر محلی CA، شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی در آینده با استفاده از این مدل انجام می‌گیرد. قانون تغییر محلی مدل Markov-CA طبق رابطه ۳ انجام می‌گردد.

$$\text{if } S_j = \max(S_1, S_2, \dots, S_n) \text{ and } Area_{ij} < \frac{A_{ij}}{T} \text{ then } C_i \rightarrow C_j \quad [3]$$

در این رابطه؛ S_j پتانسیل تغییر یک لکه به j امین طبقه کاربری اراضی، $Area_{ij}$ مساحت کل از طبقه i تا طبقه j در تکرار فعلی، T دفعات تکرار و C_i ، i امین طبقه کاربری اراضی است. معیارهای سیمای سرزمین ساختار مکانی لکه‌ها، طبقات لکه‌ها و کل موزایک لکه یا سیمای سرزمین را توصیف و

پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی مدل خودکار - مارکوف (Markov-CA) نظریه‌های زنجیره مارکوف و شبکه‌های خودکار را ترکیب می‌کند و به طور معمول در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۵). CA توانایی‌های بالایی در شبیه‌سازی ویژگی‌های مکانی-زمانی سیستم‌های پیچیده دارد. اجرای مدل Markov-CA در سه مرحله صورت می‌گیرد (۵۱).

الف) محاسبه ماتریس تغییر مساحت با استفاده از زنجیره مارکوف زنجیره مارکوف به منظور پیش‌بینی تغییر مساحت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ابتدا باید ماتریس احتمال تغییر کاربری‌های اراضی از دو نقشه کاربری اراضی به دست آید. ماتریس احتمال تغییر برای شبیه‌سازی دوره‌های مورد نظر با توجه به رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$P(N) = P(N-1) \times P \quad [1]$$

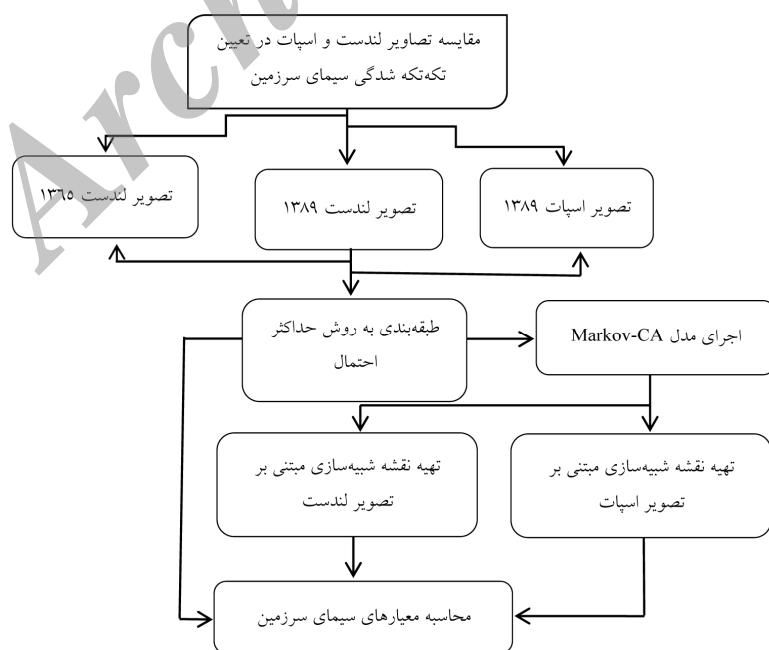
در این رابطه؛ $P(N)$ احتمال وضعیت در هر زمان، $P(N-1)$ احتمال وضعیت اولیه. با داشتن ماتریس احتمال تغییر، ماتریس تغییر مساحت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad [2]$$

در این رابطه؛ A_{ij} مجموع مساحت‌ها از i امین طبقه کاربری اراضی تا j امین طبقه در طول زمان از نقطه شروع تا دوره‌های زمانی مورد نظر و n تعداد تیپ‌های کاربری اراضی است.

همچنین ارزیابی میزان تأثیر انتخاب داده‌های اولیه بر معیارهای سیمای سرزمین در استفاده‌های بعدی از این معیارها از طریق شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی است. مراحل انجام این تحقیق در شکل ۲ شامل سه مرحله است؛ (۱) به دست آوردن نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر اسپات و لندست، (۲) اجرای مدل Markov-CA به منظور تهیه نقشه‌های شبیه‌سازی در آینده. در این مرحله نقشه‌های طبقه‌بندی شده از تصاویر لندست ۱۳۶۵ و ۱۳۸۹ به ترتیب به عنوان نقشه‌های اول و دوم به مدل اضافه می‌گردند تا نقشه پیش‌بینی کاربری‌ها در آینده تهیه گردد. به منظور اجرای صحیح مدل Markov-CA، نیاز است تا اندازه پیکسل‌های نقشه‌های ورودی یکسان باشد بنابراین، اندازه پیکسل‌های نقشه حاصل از تصویر لندست ۱۳۶۵ از ۳۰ متر به ۱۰ متر تبدیل گردید تا با اندازه پیکسل‌های نقشه حاصل از تصویر اسپات منطبق گردد. سپس مانند مرحله قبل نقشه مربوط به لندست ۱۳۶۵ به عنوان ورودی اول و نقشه اسپات به عنوان ورودی دوم به مدل اضافه گردید. (۳) محاسبه معیارهای سیمای سرزمین با استفاده از نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی و شبیه‌سازی تصاویر اسپات و لندست.

اندازه‌گیری می‌کنند. به طور کلی معیارهای سیمای سرزمین در دو دسته جای می‌گیرند؛ دسته اول آن‌هایی که ترکیب سیمای سرزمین را بدون توجه به ویژگی‌های مکانی ارزیابی می‌کنند و دسته دوم آن‌هایی که یکپارچگی مکانی ویژگی‌های سیمای سرزمین را ارزیابی می‌کنند و محاسبه آن‌ها نیازمند اطلاعات مکانی است. مورد اول به عنوان معیارهای ترکیب سیمای سرزمین و مورد دوم به عنوان معیارهای یکپارچگی سیمای سرزمین شناخته می‌شوند (۶). در این پژوهش از معیارهای ترکیب مانند درصد سیمای سرزمین، تعداد لکه‌ها، مساحت طبقات، معیار بزرگ‌ترین لکه و از معیارهای وضعیت سیمای سرزمین مانند معیار شکل سیمای سرزمین، معیار پراکندگی، تراکم لکه و اندازه مؤثر شبکه استفاده گردید. در میان معیارهای انتخاب شده، دو معیار شکل سیمای سرزمین و پراکندگی در سطح سیمای سرزمین و سایر معیارها در سطح کلاس بکار گرفته شدند. در مدل ارائه شده این معیارها با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTATS محاسبه گردیدند (۲۹). ترکیب معیارهای سیمای سرزمین و مدل Markov-CA هدف این مطالعه، بررسی رفتار معیارهای سیمای سرزمین با توجه به اختلاف بزرگنمایی مکانی میان تصاویر لندست و اسپات و



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

نتایج

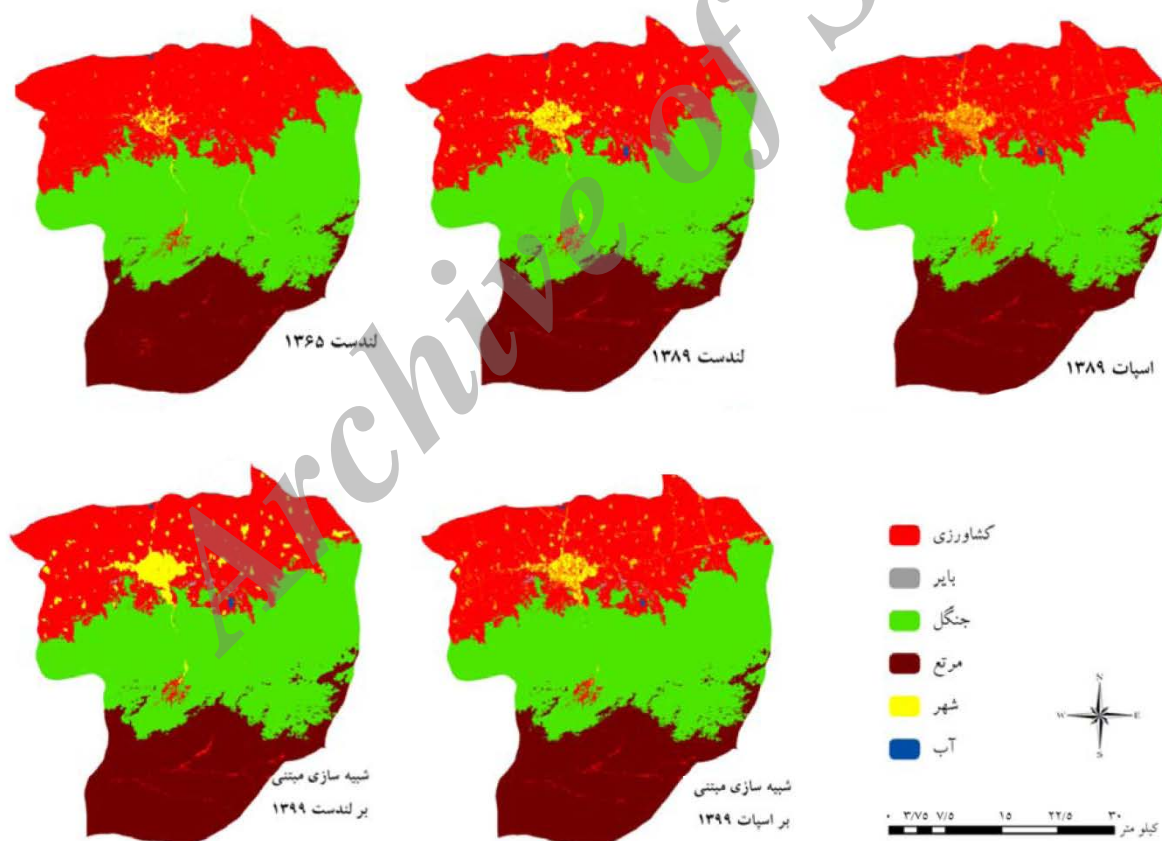
طبقه‌بندی تصاویر و صحت طبقه‌بندی

پس اعمال الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در شش طبقه به شرح زیر حاصل گردید. کاربری کشاورزی (زمین‌های تحت کشت اعم از مزارع دیم و فاریاب، باغات داخل و حاشیه شهر)، کاربری جنگل‌داری (جنگل‌های دست کاشت و طبیعی اعم از پهن برگ، سوزنی برگ، متراکم و نیمه متراکم)، کاربری توسعه

شهری (در برگرفته تمامی سطوح غیر قابل نفوذ از جمله شهر، روستاها، جاده‌های اصلی و فرعی آسفالت و فرودگاه)، کاربری مرتع (مراتع مشجر، مرغوب و فقیر)، مناطق بایر (زمین‌های تخریب شده مانند معادن روباز)، پهنه‌های آبی (تمامی سطوح آبی در منطقه اعم از طبیعی و مصنوعی). نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصاویر اسپات و لندست در شکل ۳ آورده شده است. نتایج حاصل از صحت‌سنجی این نقشه‌ها ضرایب کاپای قابل قبولی را ارائه می‌دهد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج حاصل از صحت‌سنجی تصاویر

اسپات ۱۳۸۹	لندست ۱۳۸۹	لندست ۱۳۶۵	ضریب کاپا
۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۸	



شکل ۳. نقشه‌های کاربری اراضی و شبیه‌سازی حاصل از تصاویر اسپات و لندست

معیارهای ترکیب سیمای سرزمین ترکیب سیمای سرزمین اشاره به تنوع و فراوانی انواع لکه‌ها بدون توجه به ویژگی و آرایش مکانی آنها دارد. اگرچه معیارهای ترکیب به طور

رفتار معیارهای سیمای سرزمین رفتار هر کدام از معیارهای ترکیب و وضعیت سیمای سرزمین در دو بخش جدا ارائه گردیده است.

مکانی صریح نیستند اما اثرات مکانی مهمی دارند (۱۵). در این مطالعه از چهار معیار به منظور بررسی ترکیب سیمای سرزمین استفاده گردید، نتایج حاصل از این معیارها در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۳. مقادیر محاسبه شده معیارهای سیمای سرزمین در سطح کلاس و سیمای سرزمین

معیار	نقشه	کشاورزی	جنگل	شهر	مرتع	بایر
درصد سیمای سرزمین	اسپات ۱۳۸۹	۳۳/۵۲	۳۹/۹۶	۱/۹۳	۲۴/۴۱	۰/۱۲
	شبیه‌سازی اسپات	۳۲/۷۱۴۲	۳۹/۹۴	۲/۴۲	۲۵/۶۵	۰/۲۱
	لندست ۱۳۸۹	۳۲/۹۶۷۳	۴۰/۱۸	۲/۲۳	۲۴/۴۰	۰/۱۳۲
	شبیه‌سازی لندست	۳۱/۹۸۹۶	۳۹/۵۸	۳/۲۶	۲۴/۹۳	۰/۱۵۵
تعداد لکه‌ها	اسپات ۱۳۸۹	۴۸۶۳	۸۲۹	۵۶۳۲	۴۲۲	۴۹۵
	شبیه‌سازی اسپات	۱۶۳۹	۶۸۰	۴۴۸۵	۳۸۳	۴۰۶
	لندست ۱۳۸۹	۸۸۲	۲۰۲	۳۷۸	۳۸۹	۶۸
	شبیه‌سازی لندست	۳۶۴	۱۵۷	۱۸۴	۲۷۶	۵۷
شاخص بزرگ‌ترین لکه	اسپات ۱۳۸۹	۳۲/۶۸۵۵	۳۹/۴۰	۰/۹۹	۲۳/۴۲	۰/۰۰۹۵
	شبیه‌سازی اسپات	۱۸/۱۲۶۴	۳۹/۳۸	۱/۳۶	۲۳/۴۸	۰/۰۱۹
	لندست ۱۳۸۹	۳۲/۱۴۱۳	۳۹/۶۰	۱/۳۴	۲۳/۴۲	۰/۰۱۹
	شبیه‌سازی لندست	۳۱/۲۹۵۲	۳۹/۰۸	۱/۸۱	۲۳/۶۱	۰/۰۲۵۲
مساحت طبقه	اسپات ۱۳۸۹	۵۲۸۸۳/۷۴	۶۳۰۵۱/۹۱	۳۰۵۲/۲۶	۳۸۵۱۳/۲۴	۲۰۰/۶۲
	شبیه‌سازی اسپات	۵۱۶۱۱/۹۹	۶۳۰۲۶/۳۱	۳۸۲۸/۷۲	۳۸۸۹۵/۲۸	۳۹۹/۴۷
	لندست ۱۳۸۹	۵۲۰۳/۴۳	۶۳۴۰۱/۴۹	۳۵۲۸	۳۸۵۱۰/۳۷	۲۰۸/۴۴
	شبیه‌سازی لندست	۵۰۴۷۱/۴۶	۶۲۴۵۳/۷	۵۱۴۴/۵۸	۳۹۳۴۷/۵۵	۲۴۴/۴۴
اندازه مؤثر شبکه	اسپات ۱۳۸۹	۱۶۸۵۵/۵۲	۲۴۴۸۹/۵۹	۱۵/۶۶۷۴	۸۶۶۳/۵۶	۰/۰۰۶۳
	شبیه‌سازی اسپات	۸۱۳۵/۰۲	۲۴۴۶۷/۶۱	۲۹/۶۰۳	۸۷۱۰/۷۲	۰/۰۲۹
	لندست ۱۳۸۹	۱۶۲۹۹/۷۳	۲۴۷۵۲/۸۹	۲۸/۷۷	۸۶۶۲/۹۶	۰/۰۱۴
	شبیه‌سازی لندست	۱۵۴۵۳/۱۱	۲۴۱۰۱/۸۳	۵۲/۷۰	۸۸۰۸/۹۲	۰/۰۲۶
تراکم لکه‌ها	اسپات ۱۳۸۹	۳/۰۸۲۴	۰/۵۲	۳/۵۷	۰/۲۶	۰/۳۱۳
	شبیه‌سازی اسپات	۱/۰۳۸۹	۰/۴۳	۲/۸۵	۰/۲۴	۰/۲۵۷
	لندست ۱۳۸۹	۰/۵۵۹	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۰۴۳
	شبیه‌سازی لندست	۰/۲۳۰۷	۰/۰۹۹	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۰۳۶

جدول ۴. مقادیر محاسبه شده معیارهای سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین

معیار	شکل سیمای سرزمین	پراکندگی
اسپات ۱۳۸۹	۳۳/۰۲۲	۶۵/۳۳
شبیه‌سازی اسپات	۲۳/۳۰۳۹	۶۵/۲۴
لندست ۱۳۸۹	۱۵/۷۹	۶۴/۰۴
شبیه‌سازی لندست	۱۱/۱۳	۶۳/۹۵

حالی که در طبقات جنگل و کشاورزی مقدار این معیار کاهش می‌یابد. با این حال مقدار این تغییرات متفاوت است، به گونه‌ای که در نقشه اسپات این کاهش در طبقه کشاورزی ۱۴/۵ هکتار است اما در نقشه لندست ۰/۸۴ هکتار است.

معیارهای وضعیت سیمای سرزمین معیار تراکم لکه‌ها، تعداد لکه‌ها در هر ۱۰۰ هکتار را نشان می‌دهد، معیار تراکم لکه تعداد لکه‌های یک منطقه را در واحد سطح بیان می‌کند و به خوبی تکه‌تکه شدگی سیمای سرزمین را توصیف می‌کند، با ثابت بودن مساحت یک طبقه یا کلاس، یک سیمای سرزمین با تراکم بالاتر از لکه‌های یک کاربری نسبت به یک سیمای سرزمین با تراکم پایین‌تر از لکه‌های آن کاربری، تکه‌تکه‌تر به نظر می‌رسد. یک لکه با تراکم لکه بالا از یک نوع کاربری در سیمای سرزمین ممکن است آسان‌تر به سایر کاربری‌ها تبدیل گردد. طبق این معیار در سال ۱۳۸۹ تراکم لکه‌های طبقات کشاورزی، جنگل، شهر و بایر در نقشه اسپات به ترتیب ۵/۵، ۴، ۱۴/۸ و ۷/۲ برابر تراکم لکه‌های این طبقات در نقشه لندست است، پس این کاربری در نقشه اسپات تکه‌تکه‌تر به نظر می‌رسد. طبق این معیار تراکم لکه‌ها در تمامی طبقات در سال ۱۳۹۹ کاهش می‌یابد. معیار اندازه مؤثر شبکه احتمال اینکه دو نقطه تصادفی انتخاب شده در منطقه مورد نظر، متصل باشند را بیان می‌کند. یعنی به وسیله موانعی مانند جاده، راه‌آهن و مناطق شهری جدا نشده‌اند (۱۸). مقدار پایین این معیار از هم گسیختگی و کاهش پیوستگی را نشان می‌دهد. اندازه مؤثر شبکه در طبقات کشاورزی و جنگل و بایر در نقشه اسپات ۱۳۸۹ بزرگ‌تر از نقشه لندست ۱۳۸۹ است اما این رابطه در طبقات جنگل، شهر و مرتع برعکس است. طبق این معیار، اندازه مؤثر شبکه در طبقه شهر در نقشه لندست ۱۳۸۹ تقریباً دو برابر این طبقه در نقشه اسپات ۱۳۸۹ است که بیانگر وجود تکه‌تکه شدگی بیشتر این طبقه در نقشه اسپات است. در نقشه‌های شبیه‌سازی شده نیز وضعیت این طبقه به همین شکل است. معیار پراکندگی، میزان تجمع و پراکندگی لکه‌ها را نشان می‌دهد. مقدار پایین این معیار بیانگر افزایش پراکندگی لکه‌ها و مقدار بالای آن تجمع لکه‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر این معیار

با توجه به معیار مساحت طبقات، مساحت طبقه کشاورزی در نقشه حاصل از تصویر اسپات ۱۳۸۹ نسبت به مساحت طبقه کشاورزی حاصل تصویر لندست در همین سال، ۸۷۰ هکتار بیش‌تر است. طبق نقشه‌های شبیه‌سازی شده در سال ۱۳۹۹ مساحت این طبقه در نقشه‌های اسپات و لندست به ترتیب دارای کاهش ۲/۴ و ۲/۹ درصدی هستند. این اختلاف مساحت در سایر کاربری‌های نیز دیده می‌شود، به طوری که در طبقات شهر و جنگل در نقشه لندست این اختلاف در سال ۱۳۸۹ به ترتیب حدود ۴۷۵ و ۳۵۰ هکتار بیش‌تر از نقشه اسپات است. نقشه‌های شبیه‌سازی شده در سال ۱۳۹۹ نیز تغییرات زیادی را نشان می‌دهند. در نقشه شبیه‌سازی شده مبتنی بر تصویر اسپات رشد شهر در سال ۱۳۹۹ به ۳۸۲۸ هکتار می‌رسد. معیار درصد سیمای سرزمین که درصدی از سیمای سرزمین که توسط لکه‌های هر کاربری اشغال شده است را نشان می‌دهد، نیز میان نقشه‌های اسپات و لندست تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. این معیار اختلاف مساحت میان کاربری‌های نقشه‌های لندست و اسپات را به صورت درصد بیان می‌کند. طبق این معیار طبقات کشاورزی و مرتع در نقشه اسپات ۱۳۸۹ درصد سیمای سرزمین بیش‌تری را نسبت به نقشه لندست ۱۳۸۹ اشغال کرده‌اند، اما در سایر طبقات این موضوع برعکس است. معیار تعداد لکه‌ها در تمامی طبقات در نقشه اسپات بیش‌تر از نقشه لندست است، به طوری که تعداد لکه‌های طبقات کشاورزی، جنگل و شهری در سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۵/۵، ۴ و ۱۴/۸ برابر تعداد لکه‌های نقشه لندست در همین سال است. معیار بزرگ‌ترین لکه، درصدی از سیمای سرزمین که به وسیله بزرگ‌ترین لکه هر طبقه اشغال شده است را نشان می‌دهد. مقایسه این معیار میان نقشه‌های اسپات و لندست در سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که اندازه بزرگ‌ترین لکه در طبقات کشاورزی و مرتع در نقشه اسپات بزرگ‌تر از نقشه لندست است، درحالی که اندازه بزرگ‌ترین لکه در طبقات جنگل، شهر و بایر در نقشه لندست بزرگ‌تر از نقشه اسپات است. طبق این معیار اندازه بزرگ‌ترین لکه در طبقات شهر، بایر و مرتع در هر دو نقشه در سال ۱۳۹۹ افزایش می‌یابد. در

تغییر اندازه دانه‌بندی نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی است. رفتار معیارهای درصد سیمای سرزمین، بزرگ‌ترین لکه و اندازه مؤثر شبکه نیز با تغییر اندازه دانه‌بندی و نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی بود. به گونه‌ای که با کاهش اندازه دانه‌بندی مقادیر این معیارها تنها برای طبقات کشاورزی و مرتع افزایش یافت و در بقیه موارد کاهش این مقادیر را شاهد بودیم. بسیاری از نویسندگان رفتار معیار بزرگ‌ترین لکه را با توجه به افزایش اندازه دانه‌بندی افزایشی توصیف کردند (۲۵، ۳۶، ۳۸، ۴۹ و ۵۰)، در حالی که در این مطالعه رفتاری غیرقابل پیش‌بینی از خود نشان داد. در تمامی طبقات معیار تعداد لکه‌ها با کاهش اندازه دانه‌بندی افزایش یافت، سایر مطالعات نیز نشان دادند که تعداد لکه‌ها با کاهش اندازه دانه‌بندی افزایش می‌یابد (۴، ۹، ۲۵، ۳۶، ۳۸ و ۴۶). فراوانی تعداد لکه‌ها در نقشه اسپات نسبت به نقشه لندست به این دلیل است که هر پیکسل تصویر لندست دارای طول و عرضی ۳۰ متر است لذا در نقشه‌های حاصل از این تصویر، کوچک‌ترین حد قابل تشخیص بر روی سطح زمین ۹۰۰ مترمربع است، درحالی که این حد در تصویر اسپات ۱۰۰ مترمربع است. از اینرو در تصاویر لندست برخی از کاربری‌ها به خصوص مناطق ساختمانی به خوبی قابل تفکیک نیستند و در نتیجه در نقشه خروجی نیز این مناطق نسبت به تصاویر اسپات به صورت همگن‌تر و یکپارچه‌تر دیده می‌شوند. با کاهش اندازه دانه‌بندی معیار تراکم لکه افزایش چشمگیری داشت به طوریکه تراکم لکه‌ها چندین برابر شدند. سایر مطالعات نیز نشان دادند که با کاهش اندازه دانه‌بندی تراکم لکه‌ها افزایش می‌یابد (۴، ۹، ۳۶، ۳۸، ۴۹ و ۵۰). معیارهایی که در مباحث قبلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند صرفاً در سطح کلاس محاسبه شدند و تنها دو معیار شاخص شکل سیمای سرزمین و پراکندگی در سطح سیمای سرزمین بررسی گردیدند. با کاهش اندازه دانه‌بندی مقادیر معیار شکل سیمای سرزمین به صورت چشمگیری در سطح سیمای سرزمین افزایش یافت که با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد (۲۵، ۳۸ و ۵۰). مقادیر معیار پراکندگی با کاهش اندازه دانه‌بندی افزایش یافت، درحالی که اکثر محققان رفتار این معیار را

با معیار تراکم حاشیه فاصله معکوس دارد، هنگامی که تراکم حاشیه پایین باشد به عنوان مثال هنگامی که یک طبقه درصد بسیار بالایی را از سیمای سرزمین را دربر بگیرد، مقدار معیار پراکندگی بالا است و برعکس. مقادیر این معیار در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان پراکندگی لکه‌ها در نقشه‌های لندست ۱/۲ درصد بیشتر از نقشه‌های اسپات است. معیار شکل سیمای سرزمین در سطح کلاس نمایانگر درصد سیمای سرزمین اشغال شده به وسیله لکه‌ها است، یک لکه شاخص شکل سیمای سرزمین بالا از یک نوع کاربری اراضی در سیمای سرزمین، ممکن است سخت‌تر به سایر کاربری‌ها تبدیل شود. افزایش مقادیر این معیار نمایانگر افزایش بی‌نظمی در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه افزایش پیچیدگی بیشتر سیمای سرزمین می‌شود. مقادیر این معیار در سطح سیمای سرزمین نشان می‌دهد که در نقشه‌های اسپات اشکال لکه‌ها دارای بی‌نظمی و پیچیدگی بیشتری نسبت به نقشه‌های لندست هستند بطوری‌که این بی‌نظمی در نقشه‌های اسپات دو برابر نقشه‌های لندست است که می‌تواند به دلیل ازدیاد تعداد لکه‌ها در نقشه اسپات نسبت به نقشه لندست باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

معیارهای سیمای سرزمین نقش مهمی را در کمی‌سازی الگوهای سیمای سرزمین ایفا می‌کنند. با این وجود، فاکتورهای زیادی وجود دارد که بر صحت و کاربرد آن‌ها تأثیر می‌گذارد، از جمله این موارد می‌توان به صحت منبع داده، اثر مقیاس، تفسیر بوم‌شناسی و سیستم طبقه‌بندی کاربری اراضی اشاره کرد (۲۴). در این مطالعه با توجه به اهمیت ارتباط میان مقیاس و الگو که از دیرباز موضوعی مهم در بوم‌شناسی و جغرافیا بوده است (۲۶، ۳۰، ۳۹ و ۴۸)، به بررسی اثر مقیاس بر معیارهای سیمای سرزمین پرداخته شد. با کاهش اندازه دانه‌بندی مساحت طبقات کشاورزی و مرتع افزایش یافت اما مساحت طبقات جنگل، شهر و بایر کاهش یافت. این تفاوت مساحت در میان کاربری‌ها نشان می‌دهد که رفتار این معیار غیرقابل پیش‌بینی است، و (۵۰) نیز نشان داد که رفتار معیار مساحت طبقات با

بسیاری بر کاربردهای بعدی این معیارها به خصوص معیارهای تعداد و تراکم لکه‌ها دارد.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ب.، ا. قربانی، ط. صفرراد و ب. سبحانی. ۱۳۹۴. بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۶۱-۷۷.
۲. سنجر، ص. و ن. برومند. ۱۳۹۲. پایش تغییرات کاربری/پوشش اراضی در سه دهه گذشته با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه زرنند کرمان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۴(۱): ۵۷-۶۷.
۳. فاضلی فارسانی، ا.، ر. قضاوی و م. ح. فرزانه. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد الگوریتم‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های ادغام تصاویر (مطالعه موردی: زیرحوزه بهشت-آباد). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۶(۱): ۹۱-۱۰۵.
4. Baldwin DJ, Weaver K, Schneckenger F, Perera AH. 2004. Sensitivity of landscape pattern indices to input data characteristics on real landscapes: implications for their use in natural disturbance emulation. *Landscape Ecology*, 19(3): 255-271.
5. Benedek Z, Nagy A, Rácz IA, Jordán F, Varga Z. 2011. Landscape metrics as indicators: quantifying habitat network changes of a bush-cricket *Pholidoptera transsylvanica* in Hungary. *Ecological Indicators*, 11(3): 930-933.
6. Botequilha Leitão A, Miller J, Ahern J, McGarigal K. 2006. *Measuring landscapes: a planner's handbook*. Island Press. 272 pp.
7. Buyantuyev A, Wu J. 2007. Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis. *Landscape Ecology*, 22(1): 7-13.
8. Darvishsefat AA. 2007. GIS and Remote Sensing concepts. Part 2 and 3 (Book of Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System). 2nd edition. Tehran University Press. 25-122.
9. Delcourt HR, Delcourt PA. 1996. Presettlement landscape heterogeneity: evaluating grain of resolution using General Land Office Survey data. *Landscape Ecology*,

نامنظم توصیف کردند (۳۸، ۴۲، ۴۶ و ۴۹) و برخی دیگر پاسخی منفی را در افزایش اندازه دانه‌بندی نشان دادند (۴) و حتی یک نمونه نشان داد که پراکندگی به اندازه دانه‌بندی غیرحساس است (۳۱). با توجه به مطالعه ترنر (۴۲) مقادیر پراکندگی به وسیله تعداد تیپ‌های کاربری اراضی موجود تحت تأثیر قرار می‌گیرند، بطوری‌که اگر یک تیپ کاربری اراضی حذف شود مقادیر پراکندگی به طور چشم‌گیری تغییر می‌کند. نتایج این مطالعه و سایر مطالعات نشان می‌دهد که افزایش در اندازه دانه‌بندی موجب کاهش جزئیات برای کمی‌سازی الگوی مکانی سیمای سرزمین و کاهش مقدار اکثر معیارها می‌شود (۴، ۱۰، ۲۵، ۳۶، ۳۸، ۴۲، ۴۶، ۴۹ و ۵۰) زیرا لکه‌های کوچک‌تر ناپدید می‌شوند و مرزها ساده‌تر می‌شوند.

معیارهای سیمای سرزمین بطور گسترده‌ای در مطالعات بوم‌شناسی و جغرافیایی استفاده گردیده‌اند و بینشی ارزشمند از ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین پیچیده ارائه داده‌اند. اما عدم آگاهی از حساس بودن این معیارها به مقیاس تفسیر و سودمندی آن‌ها را بطور جدی کاهش می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر در اندازه دانه‌بندی اثرات معنی‌داری بر معیارهای سطح کلاس و سیمای سرزمین دارد. این اثرات بر معیارهای ترکیب و وضعیت سیمای سرزمین متفاوت است بطوری‌که در این مطالعه رفتار معیارهای ترکیب نسبت به معیارهای وضعیت منظم‌تر و قابل پیش‌بینی‌تر بود. در این مطالعه معیارها دو نوع رفتار نامنظم و افزایشی را با توجه به کاهش اندازه دانه‌بندی از خود نشان دادند. برخی از معیارها مانند تعداد و تراکم لکه‌ها و برخی از کاربری‌ها مانند شهر و کشاورزی نسبت به سایر معیارها و کاربری‌ها حساسیت بیشتری به تغییرات اندازه دانه‌بندی از خود نشان دادند، بنابراین بکارگیری این معیارها در مطالعات سیمای سرزمین دقت بیشتری را می‌طلبد. با توجه به اینکه در سایر مطالعات توجه کمتری به معیار اندازه مؤثر شبکه شده بود، رفتار این معیار نیز بررسی گردید تا درک بهتری از این معیار حاصل گردد. مقادیر محاسبه شده معیارهای سیمای سرزمین در نقشه‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که مقیاس داده‌های اولیه اثرات

- spatial expansion and its impacts on island ecosystem services and landscape pattern: a case study of the island city of Xiamen, Southeast China. *Ocean & Coastal Management*, 81: 90-96.
23. Lin Y-P, Wu P-J, Hong N-M. 2008. The effects of changing the resolution of land-use modeling on simulations of land-use patterns and hydrology for a watershed land-use planning assessment in Wu-Tu, Taiwan. *Landscape and Urban Planning*, 87(1): 54-66.
 24. Liu D, Hao S, Liu X, Li B, He S, Warrington D. 2013. Effects of land use classification on landscape metrics based on remote sensing and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 68(8): 2229-2237.
 25. Lü Y, Feng X, Chen L, Fu B. 2013. Scaling effects of landscape metrics: a comparison of two methods. *Physical Geography*, 34(1): 40-49.
 26. MacArthur RH. 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 288 pp.
 27. Macedo RD, de Almeida CM, dos Santos JR, Rudorff BFT. 2013. Modeling of land cover Spatial dynamic and land use change associated with the sugarcane expansion. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19: 313-337.
 28. Marja R, Uuemaa E, Mander Ü, Elts J, Truu J. 2013. Landscape pattern and census area as determinants of the diversity of farmland avifauna in Estonia. *Regional Environmental Change*, 13(5): 1013-1020.
 29. McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
 30. Meentemeyer V. 1989. Geographical perspectives of space, time, and scale. *Landscape Ecology*, 3(3-4): 163-173.
 31. Millington AC, Velez-Liendo XM, Bradley AV. 2003. Scale dependence in multitemporal mapping of forest fragmentation in Bolivia: implications for explaining temporal trends in landscape ecology and applications to biodiversity conservation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 11(6): 363-381.
 10. Ewers RM, Didham RK, Pearse WD, Lefebvre V, Rosa I, Carreiras J, Lucas RM, Reuman DC. 2013. Using landscape history to predict biodiversity patterns in fragmented landscapes. *Ecology letters*, 16(10): 1221-1233.
 11. Farina A. 2006. *Principles and Methods in Landscape Ecology: Towards a Science of Landscape*. Springer, Dordrecht. 412 pp.
 12. Ferrari JR, Lookingbill TR, Neel MC. 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area and configuration. *Landscape Ecology*, 22(9): 1315-1323.
 13. Gao J, Li S. 2011. Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 31(1): 292-302.
 14. Gong J, Liu Y, Xia B. 2009. Spatial heterogeneity of urban land-cover landscape in Guangzhou from 1990 to 2005. *Journal of Geographical Sciences*, 19(2): 213-224.
 15. Gustafson EJ. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1(2): 143-156.
 16. Hargis CD, Bissonette JA, David JL. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*, 13(3): 167-186.
 17. Hulshoff RM. 1995. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 10(2): 101-111.
 18. Jaeger JA. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15(2): 115-130.
 19. Kelly M, Tuxen KA, Stralberg D. 2011. Mapping changes to vegetation pattern in a restoring wetland: Finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological Indicators*, 11(2): 263-273.
 20. Li H, Wu J. 2004. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19(4): 389-399.
 21. Li X, He HS, Bu R, Wen Q, Chang Y, Hu Y, Li Y. 2005. The adequacy of different landscape metrics for various landscape patterns. *Pattern Recognition*, 38(12): 2626-2638.
 22. Lin T, Xue X, Shi L, Gao L. 2013. Urban

- York, U.S.A. 406 pp.
42. Turner MG, O'Neill RV, Gardner RH, Milne BT. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3(3-4): 153-162.
 43. Turner MG. 2005. Landscape ecology in North America: past, present, and future. *Ecology*, 86(8): 1967-1974.
 44. Turner MG. 2005. Landscape ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic*, 36: 319-344.
 45. Turner SJ. 2003. Landscape Ecology Concepts, Methods, and Applications. *Landscape Ecology*, 20(8): 1031-1033.
 46. Uuemaa E, Roosaare J, Mander Ü. 2005. Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments. *Ecological Indicators*, 5(4): 350-369.
 47. Wu J, Hobbs R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 17(4): 355-365.
 48. Wu J, Loucks OL. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 70: 439-466.
 49. Wu J, Shen W, Sun W, Tueller PT. 2002. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology*, 17(8): 761-782.
 50. Wu J. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 19(2): 125-138.
 51. Yang X, Zheng X-Q, Chen R. 2014. A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, 283: 1-7.
 52. Zheng D, Heath LS, Ducey MJ. 2008. Modeling grain-size dependent bias in estimating forest area: a regional application. *Landscape ecology*, 23(9): 1119-1132.
 - 289-299.
 32. Pascual-Hortal L, Saura S. 2007. Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning*, 83(2): 176-186.
 33. Riitters Riitters KH, O'Neill R, Hunsaker C, Wickham JD, Yankee D, Timmins S, Jones K, Jackson B. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 10(1): 23-39.
 34. Rutledge D. 2003. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: Can pattern reflect process? In *Doc Science Internal Series*, Vol. 98 Wellington: Department of Conservation. 26 pp.
 35. Sang L, Zhang C, Yang J, Zhu D, Yun W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3): 938-943.
 36. Saura S, Castro S. 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(3): 201-216.
 37. Shao G, Liu D, Zhao G. 2001. Relationships of image classification accuracy and variation of landscape statistics. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(1): 33-43.
 38. Shen W, Darrel Jenerette G, Wu J, H Gardner R. 2004. Evaluating empirical scaling relations of pattern metrics with simulated landscapes. *Ecography*, 27(4): 459-469.
 39. Simon AL. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73(6): 1943-1967.
 40. Sklenicka P, Pixová K. 2004. Importance of spatial heterogeneity to landscape planning and management. *Ekologia (Bratislava)/ Ecology (Bratislava)*, 23: 310-319.
 41. Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer Verlag, New



Comparison of spatial resolution of LandSat and SPOT satellite images in measuring landscape fragmentation

E. Rahimi ^{1*}, A. R. Salman Mahini ², S. H. Mir Karimi ³, H. R. Kamyab ⁴, S. Soltanian ⁵

1 MSc. Graduated of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2. Assoc. Prof. College of Fisheries and Environmental Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3. Assis. Prof. College of Fisheries and Environmental Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4. PhD. Student of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

5. Lecturer, College of Natural Resources and Environment, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 April 2015

Accepted 15 October 2015

Available online 29 March 2016

Keywords:

Scale effects

Landscape metrics

SPOT and landSat satellite images

Land use change simulation

ABSTRACT

Since the foundation of landscape ecology, the correlation between spatial patterns and ecological processes has always been regarded as one of key topics in this discipline. In this context, landscape metrics provide valuable information for the interpretation of landscape patterns. It is clear that the scale of input data and the scale of analysis must be coherent in order to calculate and interpret landscape metrics correctly. One main method that is often used to assess the scaling effects on landscape pattern is to manipulate the grain size or pixel size in satellite images. In this study, The SPOT and LandSat satellite images of 1986 and 2010 and simulations and maps of Markov-cellular automata models of 2020 were used. The effects of spatial resolution on 8 metrics were evaluated using the software FRAGSTATS in class and landscape levels. The results showed that the changes in grain size have significant effects on landscape metrics and their changes in the future so that the increased grain size will lead to the decreased number of patches (NP), patch density (PD), LSI and CONAG. In general, metrics showed two types of irregular and increase behaviors according to the reduced grain size; in this study, the changes in grain size are more sensitive than the other metrics. So, the application of these metrics in landscape studies should be considerably paid attention.

* Corresponding author e-mail address: ehsanrahimi666@gmail.com