

کاربردهای درست و نادرست شاخص‌های سیمای سرزمین

نویسنده: Harbin Li and Jianguo Wu

مترجم: فاطمه جهانی شکیب*^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲

۱ استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

۲ استاد گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶)

چکیده

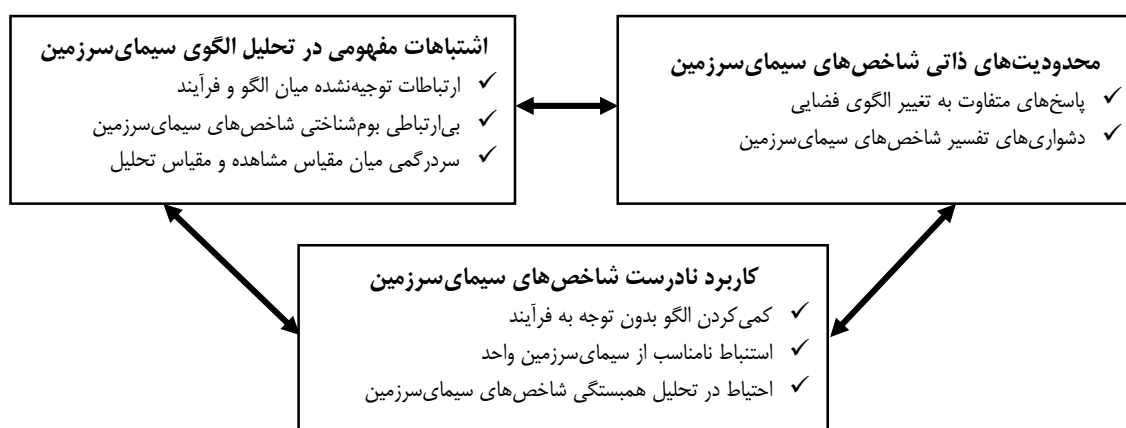
بوم‌شناسی سیمای سرزمین در دو دهه‌ی اخیر شاهد شور و هیجان زیادی بوده است. یکی از دلایل این شور وارد کردن تحلیل فضایی و مدل‌سازی در تحقیقات بوم‌شناختی است، اما هنوز انتظارات زیادی از تحلیل‌های سیمای سرزمین و افزایش درک و پیش‌بینی ما از فرآیندهای بوم‌شناختی برآورده نشده است. در پژوهش‌های تحلیل سیمای سرزمین تا کنون سه نوع مشکل اساسی شناسایی شده است: اشتباهات مفهومی در تحلیل الگوی سیمای سرزمین، محدودیت‌های ذاتی شاخص‌های سیمای سرزمین و کاربردهای نادرست این شاخص‌ها. به عنوان مثال؛ بسیاری از پژوهش‌های مربوط به تحلیل سیمای سرزمین با توصیف‌های کمی الگوی فضایی پایان می‌پذیرند، گویی الگوی فضایی خودبخود توضیح دهنده فرآیند است، که البته این طور نیست. علاوه بر این، شاخص‌های سیمای سرزمین و اطلاعات نقشه‌ای گاهی بدون آزمون معنای بوم‌شناختی آنها بکار برده می‌شوند که نه تنها باعث تفسیر اشتباه می‌شوند؛ بلکه منجر به نتیجه‌گیری بی‌معنا نیز می‌شوند. همچنین، به دو دلیل تحلیل همبستگی این شاخص‌ها دچار مشکل می‌شوند: کمبود داده ناشی از دشواری آزمایش‌های بزرگ مقیاس و رفتار پیچیده شاخص‌ها ناشی از واکنش متغیر آنها به تغییرات در مقیاس و الگوی مکانی. این مشکلات بیانگر چالش‌های بزرگی در تحلیل سیمای سرزمین، به ویژه درخصوص ارتباط الگو با فرآیند هستند. در این مقاله، به مشکلات مورد نظر پرداخته می‌شود و برخی راه‌حل‌های آن ارائه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: اشتباهات مفهومی، داده‌ی نقشه‌ای، تحلیل الگوی سیمای سرزمین، الگو و فرآیند، مقیاس

سرآغاز:

بوم‌شناسی سیمای سرزمین یکی از رشته‌های بوم‌شناسی است که بشدت در جهان از اواسط ۱۹۸۵ میلادی رشد کرده چراکه با فراهم ساختن امکان تحلیل فضایی و مدل‌سازی در تحقیقات بوم‌شناسی انتظارات زیادی را برآورده کرده است. با وجود اینکه بوم‌شناسی سیمای سرزمین بیش از نیم قرن پیش در اروپا ظهور نموده (Naveh and Lieberman, 1984)، اما در دو دهه گذشته به لحاظ نظری و عملی، توسعه بی‌سابقه‌ای داشته است (Wu and Hobbs, 2002). در این شرایط، بوم‌شناسی سیمای سرزمین با ایده‌ها، دیدگاه‌ها و رویکردهای مختلف ادامه یافته است و چارچوب‌های فکری نوینی در بوم‌شناسی بنا نهاده که بر ارتباط متقابل بین الگوهای فضایی و فرآیندهای بوم‌شناختی، مقیاس و سلسله مراتب تاکید می‌کند (Risser et al., 1984; Turner, 1989; Pickett and Cadenasso, 1995; Wu and Loucks, 1995; Brandt, 1998; Wu and Hobbs, 2002). اما بعد از دو دهه رشد چشم‌گیر این رشته، درک بوم‌شناسی حاصل شده از تحلیل الگوی فضایی کمتر از حد انتظار است. در شکل (۱) سه نوع از مشکلاتی که ممکن است باعث عدم رضایت شده باشد، شناسایی گردیده است: ۱. اشتباهات مفهومی در تحلیل الگوی

سیمای سرزمین، ۲. محدودیت‌های ذاتی شاخص‌های سیمای سرزمین، ۳. استفاده نامناسب از شاخص‌های سیمای سرزمین. این مشکلات در تحلیل سیمای سرزمین به اشکال مختلفی نمایان می‌شود، که هر یک از آنها می‌تواند در ارتباطات بین الگوی فضایی و فرآیندهای بوم‌شناختی اثرات نامطلوبی داشته باشد. اشتباهات مفهومی شامل ارتباطات توجیه‌نشده بین الگو و فرآیند، بی‌ارتباطی بوم‌شناختی شاخص‌های سیمای سرزمین و اشتباه در مقیاس مشاهده و مقیاس تحلیل است. دو نوع از محدودیت‌های ذاتی و رایج شاخص‌های سیمای سرزمین عبارتند از: واکنش‌های متغیر (و گاهی غیر قابل پیش‌بینی) به تغییرات خاص الگوی فضایی و دشواری‌های تفسیر شاخص‌های سیمای سرزمین. ناکارآمدی مربوط به هر یک از این اشتباهات و محدودیت‌ها ممکن است منجر به کاربرد نادرست شاخص‌های سیمای سرزمین شود. دو نمونه از کاربردهای نادرست که لازم است مورد توجه قرار گیرد؛ کمی‌سازی الگو بدون در نظر گرفتن فرآیند و عدم موفقیت تحلیل همبستگی شاخص‌های سیمای سرزمین است. با توجه به لزوم و اهمیت تحلیل الگوی فضایی، باید این مشکلات را به سرعت و به اندازه کافی مورد بررسی قرار داد.



شکل (۱): سه نوع از مشکلات تحلیل سیمای سرزمین در به کارگیری شاخص‌های الگوهای فضایی

این مشکلات اولین گام مهم رو به جلو است. همچنین، برخی از این مشکلات برای بسیاری از افراد شناخته شده است و برای برخی هم به خوبی شناخته شده نیست. از این رو باید با تحلیلی عمیق به درک بهتر این مشکلات کمک کرد و کاربرد تحلیل الگوی سیمای سرزمین را بهبود بخشید.

مهم‌ترین هدف این مقاله تحلیل ماهیت و جستجوی راه‌حل‌های ممکن برای مشکلات بکارگیری شاخص‌های سیمای سرزمین است. این سه نوع مشکل رابطه نزدیکی با هم دارند و گاه یکدیگر را پوشش می‌دهند؛ اما برای شفافیت و آزمون دیدگاه‌ها، به صورت جداگانه مورد بحث قرار گرفته‌اند. فرض بر این است که شناسایی

اشتباهات مفهومی در تحلیل الگوی سیمای سرزمین ارتباطات توجیه‌نشده بین الگو و فرآیند

بسیاری از مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین متمرکز بر توصیف و کمی‌سازی الگوهای فضایی است و کمتر درباره چگونگی تاثیر الگوها بر فرآیندها بحث کرده‌است (Flather and Sauer, 2001; Turner et al., 1996). موضوع اصلی بوم‌شناسی سیمای سرزمین یافتن ارتباط بین الگو و فرآیندی است که توضیح دهد چرا جهان این‌گونه بنظر می‌رسد و جهان چطور کار می‌کند (Cale et al., 1989). فرآیندهای بوم‌شناختی اغلب نه تنها تاثیر می‌گذارند، بلکه توسط الگوهای فضایی سیمای سرزمین نیز تاثیر می‌پذیرند (Turner, 1989; Pickett and Cadenasso, 1995). برای مثال، رژیم‌های اختلالی مانند آتش‌سوزی، سازوکار اولیه را برای تولید الگوی پوشش گیاهی فراهم می‌کند، از طرفی الگوی پوشش گیاهی نیز به‌نوبه خود بر رژیم اختلالات تاثیر می‌گذارد. ممکن است بوم‌شناسان سیمای سرزمین علاقه‌مند به بررسی چگونگی توزیع پوشش گیاهی (الگو) ایجاد شده توسط رژیم آتش‌سوزی (فرآیند) باشند و بررسی کنند تا چه اندازه گسترش آتش می‌تواند به توزیع پوشش گیاهی منجر شود. اینها سوالات مناسبی هستند. زیرا، الگوی پوشش گیاهی و فرآیند آتش‌سوزی دارای روابط متقابلی هستند. در اصل «الگو و فرآیند»، الگو و فرآیند متقابل فرض می‌شوند: فرآیندها، الگوها را ایجاد می‌کنند، تغییر می‌دهند و حفظ می‌کنند و در حالی که الگوها نیز فرآیندها را محدود می‌کنند، توسعه می‌دهند و خنثی می‌کنند. این اصل، شالوده و پایه‌ای برای تحلیل الگوهای فضایی فراهم می‌سازد.

به نظر می‌رسد این ارتباطات متقابل در بسیاری از مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین بدون بررسی دقیق، به یک پیش‌فرض پس‌زمینه تبدیل شده است. با این حال، این فرض ممکن است معتبر نباشد، مثلاً زمانی که در بوم‌شناسی سیمای سرزمین تاکید بر الگوی فضایی به معنی واژه «الگو» تغییر کند و از فرآیند جدا شود. به عبارت دیگر، الگوی فضایی به‌عنوان ساختار موزاییکی و توزیعی عناصر سیمای سرزمین لزوماً هیچ ارتباطی با فرآیندهای بوم‌شناختی مورد نظر ندارد. از طرفی نیز ناتوانی در تشخیص وجود ارتباطات غیرمتقابل می‌تواند باعث اشتباهات مفهومی در تحلیل سیمای سرزمین گردد. بنابراین، برای نشان دادن یا استنباط معتبر به نوعی از «برهان وجود»^(۱) رابطه متقابل یا رابطه یک‌طرفه بین

الگوی فضایی و فرآیند، نیاز است. به‌منظور درنظر گرفتن این رابطه ممکن است تحلیل ساده‌ای برای ایجاد شرایط لازم (اما نه کافی) برهان وجود به کار گرفته شود.

در بحث رابطه بین الگو و فضا چند حالت وجود دارد؛ اول این که، اگر فرآیند موردنظر الگوی فضایی خاصی را ایجاد نمی‌کند، این فرآیند هیچ رابطه ذاتی با الگوی فضایی ندارد و نباید ارتباطات متقابل نیز فرض گردد. ممکن است الگوی فضایی بر فرآیندهای بوم‌شناختی تاثیر یک‌طرفه‌ای داشته باشد، اما برای تایید آن اطلاعات بیشتری لازم است و شاید تفسیر متفاوتی باید بکار برده شود. نمونه‌ای از این روابط یک‌طرفه، الگوی پوشش گیاهان است که تاثیرگذار بر توزیع زیستگاه است ولی توسط پویایی جمعیت پرندگان تاثیر نمی‌پذیرد. دوم، اگر فرآیندی غیرفضایی باشد، بعید است اثرات الگوی فضایی بر آن فرآیند تاثیرگذار باشد زیرا الگوی فضایی عامل مهمی برای فرآیند غیرفضایی نیست. در عین حال، ارزش تحلیل الگوی فضایی و مدل‌سازی صریح فضایی احتمالاً کم می‌شود. یک نمونه از فرآیندهای غیرفضایی، تولید کل اولیه در اکوسیستم‌هاست. تولید اولیه ممکن است در مکان‌های مختلف سیمای سرزمین، تغییر کند. اگرچه این تغییر ممکن است بخودی خود ناشی از الگوی فضایی باشد، اما فقط بیانگر تغییرات توزیع عوامل مهم (مثل مواد مغذی خاک، رطوبت) است. سوم، اگر الگو و فرآیندی، با نرخ مشابه و در همان دامنه‌ی مقیاس فضایی، عمل نکنند نمی‌توان آنها را دارای یک رابطه تعاملی دانست (Wu, 1999). این نکته منطبق با اصل «تجزیه فضایی-زمانی»^(۲) است که لازمه نظریه سلسله مراتبی^(۳) است (Allen et al., 1984; O'Neill et al., 1986; Wu 1999). درک ناکافی از ارتباطات وابسته به مقیاس بین الگو و فرآیند می‌تواند باعث سردرگمی در بوم‌شناسی سیمای سرزمین شود. به‌عنوان مثال، گاهی تصور می‌شود الگوی دسته‌های علفزار در مقیاس سانتیمتری می‌تواند به همان نسبت مسیر عقاب‌ها را تغییر دهد؛ درحالی که این الگوهای ریزدانه بر حرکت سوسک‌ها تاثیرگذار هستند. اگر بوم‌شناسان بتوانند با درک بیوشیمی مکانیسم‌های تثبیت کربن در جهان را با پاسخ‌های زیست‌په‌ری ناشی از افزایش دی‌اکسیدکربن پیش‌بینی نمایند، کار آنها آسان‌تر خواهد شد. اما این قیاس از مولکول‌های آنزیمی تثبیت‌کننده به سیاره زمین، به دلیل تفاوت مقیاس در فضا و زمان، غیرواقعی است.

بی‌ارتباطی بوم‌شناختی شاخص‌های سیمای سرزمین

اگر شاخص‌های سیمای سرزمین از نظر بوم‌شناختی مرتبط و منعکس‌کننده ویژگی‌های مهم الگوی فضایی باشد، می‌توان آنها را از نظر عملکردی به پویایی فرآیندهای بوم‌شناختی در ساختار سیمای سرزمین پیوند داد (Wiens et al., 1993). با این حال، ارتباط بوم‌شناختی شاخص‌های سیمای سرزمین اغلب بیشتر از آنچه که تایید شده باشند، تنها با شواهد تجربی ناکافی در متون، فرض شده‌اند. در غیاب چنین شواهدی، شاخص‌های سیمای سرزمین، ساختارهای ریاضی هستند که هیچ معنا و ماهیت بوم‌شناختی ندارند. اگر شاخص‌ها بجای اینکه صرفاً با برنامه‌های کامپیوتری انتخاب شوند؛ براساس اهمیت بوم‌شناختی آنها انتخاب شوند، اعتبار تحلیل سیمای سرزمین افزایش خواهد یافت. در اینجا بوم‌شناسی مورد تاکید قرار گرفته است، در صورتی که باید به همان میزان که بوم‌شناسی مورد تاکید است، اصول دیگر مانند زمین‌شناسی، جامعه‌شناسی در شاخص‌های سیمای سرزمین مورد استفاده، به کار گرفته شوند.

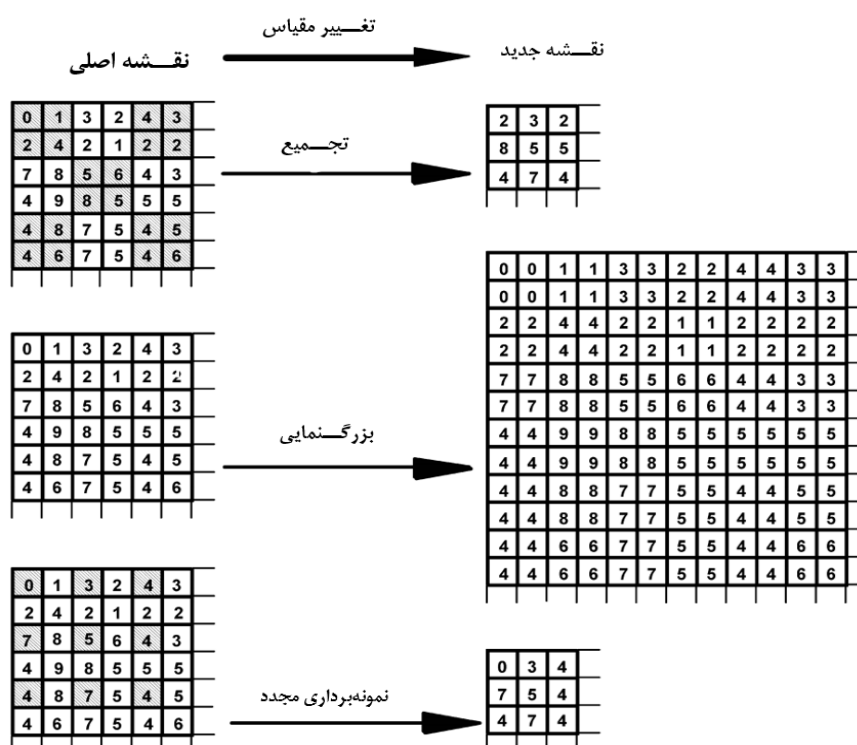
با وجود اهمیت شاخص‌ها در شناسایی الگوهای فضایی، استفاده بی‌رویه از این شاخص‌ها مانع از تلاش بیشتر برای برقراری ارتباط بین الگوی فضایی و فرآیند، به‌ویژه در تحلیل همبستگی می‌شود. تجزیه و تحلیل اکتشافی همیشه در علوم نقش مهمی دارد. اما هدف نهایی تجزیه و تحلیل اکتشافی، ایجاد توضیحات و فرضیه‌های علی است که توضیح دهد چرا سیمای سرزمین این‌گونه به نظر می‌رسد (Pickett et al., 1994). انجام چنین کاری مستلزم شناسایی و توسعه‌ی شاخص‌های مرتبط بوم‌شناختی است که ارتباط نزدیکی با فرآیندهای بوم‌شناختی دارد. برای مثال، ارزیابی زیستگاه‌های حیات وحش نیازمند توسعه شاخص‌هایی است که ارتباطی با غذا، پناه، تولید مثل و دیگر فرآیندهای جمعیتی (پراکندگی) داشته باشد. به‌منظور اطمینان از ارتباط بوم‌شناختی، متغیرهای نیازهای زیستگاهی باید در نقشه‌های بکار رفته در تحلیل الگوی فضایی لحاظ شده باشند (Li et al., 2000).

سردرگمی بین مقیاس مشاهده و مقیاس تحلیل

درک نقش مقیاس در تحلیل سیمای سرزمین نیازمند تشخیص درست مقیاس مشاهده و تحلیل است. در مقیاس مشاهده، جهان طبیعی به داده‌ها معنا می‌شود و در مقیاس تحلیل، الگوها از داده‌ها استخراج می‌گردند (Li and Reynolds, 1995). مقیاس

مشاهده از طریق ویژگی‌های سیستم مورد مطالعه، سولاتی که پرسیده می‌شود و پروتکل‌های جمع‌آوری داده (مانند انواع ماهواره ها و سنجنده‌های سنجش از دور، طرح‌های نمونه‌برداری میدانی) تعیین می‌شود. زمانی که داده‌ها جمع‌آوری می‌شوند، مقیاس مشاهده یک ویژگی ذاتی در مجموعه داده به شمار می‌رود، در حالی که مقیاس تحلیل آن چیزی است که می‌تواند تغییر یابد و یا اغلب تغییر یافته است و ارزش افزوده داده‌ها محسوب می‌شود. مقیاس تحلیل توسط مقیاس اصلی مشاهده و روش‌های انتقال داده نظیر تجمیع^(۴)، بزرگنمایی^(۵) و نمونه‌برداری مجدد^(۶) تعیین می‌شود. در مثال اول شکل (۲) تجمیع بر پایه قانون اکثریت، بزرگنمایی و نمونه‌برداری سیستماتیک مجدد از داده‌های طبقه‌بندی شده. در روش تجمیع، مقدار یک پیکسل در نقشه جدید توسط نوع لکه‌ای که بیشترین مقدار را در پنجره متحرک دارد تعیین می‌شود، همچنین از یک عدد تصادفی برای حل موارد مساوی استفاده می‌شود. بزرگنمایی روشی است که همان مقدار پیکسل را چندین بار تکرار می‌کند و به تعداد پیکسل‌ها در نقشه و نه محتوای اطلاعات می‌افزاید. نمونه‌برداری مجدد، روشی برای تولید نقشه جدید به کمک نمونه‌برداری سیستماتیک یا تصادفی از نقشه موجود است. به دلیل این که نمونه‌برداری مجدد در مواردی به طور موثر دانه‌بندی نقشه را افزایش می‌دهد، این نقشه می‌تواند به عنوان نوعی از تجمیع که از قانون اکثریت استفاده نمی‌کند، در نظر گرفته شود.

به‌منظور کمی‌سازی مناسب ناهمگنی فضایی و تشخیص مقیاس‌های متمایز سیمای سرزمین، باید شاخص‌ها در مقیاس‌های مختلف محاسبه گردند. اما دشواری جمع‌آوری داده در مقیاس‌های مختلف، باعث شده بیشتر مطالعات اثرات مقیاس به مقیاس تحلیل بپردازند. یک رویکرد رایج برای کسب داده در مقیاس مشاهده به طور مصنوعی، تغییر دانه‌بندی یا وسعت^(۷) داده‌های نقشه‌ای از طریق تغییر مقیاس و تحلیل و مدل‌سازی با آن داده‌های جدید چندمقیاسی تولید شده است (Gardner et al., 1987; Turner et al., 1989; Wu, 2000; Wu, 2003; Saura and Martinez-Millan, 2001; Wu et al., 2002). تغییر مقیاس از طریق دستکاری داده‌ها می‌تواند به مثابه شبه‌عاملی^(۸) برای مشاهده‌ی مستقیم سیمای سرزمین با دو یا چند سنجنده (یا طرح‌های نمونه‌برداری) از نتایج مختلف باشد. اما، اگر شبه‌عامل‌ها از اساس مغایر با مشاهده مستقیم باشند، تغییر مقیاس منجر به نمایش مصنوعی اطلاعات دستکاری شده می‌شود؛ در



شکل (۲): سه مثال از تبدیل داده در تحلیل سیمای سرزمین

چنین محدودیت‌هایی تفسیر نتایج و تحلیل همبستگی را دشوار می‌سازد، چون در بسیاری از مواقع این شاخص‌ها نمی‌توانند برخی تغییرات اساسی سیمای سرزمین را نشان دهند. بطور مثال سه نوع از محدودیت‌های شاخص‌های سیمای سرزمین در ادامه بیان می‌شود. شاخص‌های سیمای سرزمین قادر به تشخیص تفاوت بین سیماهای سرزمین با درجات مختلف کیفی نیستند. زیرا، به این درجات کیفی حساس نبوده و منحصر به فرد نیستند (Haines-Young and Chopping, 1996; Turner et al., 2001). تفسیر نتایج تحلیل سیمای سرزمین باید ماهیت تغییرات سیمای سرزمین را در نظر بگیرد. برای مثال؛ وقتی سیمای جنگلی به سیمای شهری تغییر می‌یابد، شاخص یکنواختی ثابت می‌ماند که در شکل ۳ (الف) و جدول ۱ نشان داده شده است. این موضوع جای تعجب ندارد، چرا که مقادیر یکنواختی از طریق نسبت‌ها محاسبه می‌شود. وقتی که شاخص یکنواختی در محاسبه تغییرات واضح فضایی دو نقشه نامناسب باشد، می‌توان از شاخص‌های سیمای سرزمین دیگر مانند پیوستگی^(۹) و بعد چین خوردگی^(۱۰) شکل لکه‌ها استفاده نمود. بنابراین باید انتظار نتایج ناموفق را

نتیجه نمی‌تواند در استنباط روندهای ناشی از مقیاس مشاهده به کار گرفته شود. درک ما از اثرات «داده‌های به دست آمده از تغییر مقیاس» هنوز کامل نیست، با این که می‌توان آگاهی بیشتری از تجزیه و تحلیل مطالعات مختلف در جغرافیا و سنجش از دور به دست آورد (Openshaw, 1984; Justice et al., 1989; Jelinski and Wu, 1996; Bian and Butler, 1999; Wu, 2003). در عین حال، با توجه به چگونگی تغییر داده‌ها، هنوز اثرات و محدودیت‌های مقیاس مشاهده رفع نشده است. گاهی لازم است در تفسیر نتایج حاصل از داده‌های تغییر مقیاس یافته احتیاط شود و باید آگاه بود که الگوها و مقیاس‌های آشکار شده در چنین تحلیل‌هایی شاید با سیماهای سرزمین واقعی ارتباطی نداشته باشند و یا نتایج به دست آمده از مجموعه داده‌های مبتنی بر تغییر، صحیح نباشند.

محدودیت‌های ذاتی شاخص‌های سیمای سرزمین

پاسخ‌های متفاوت به تغییر الگوهای مکانی

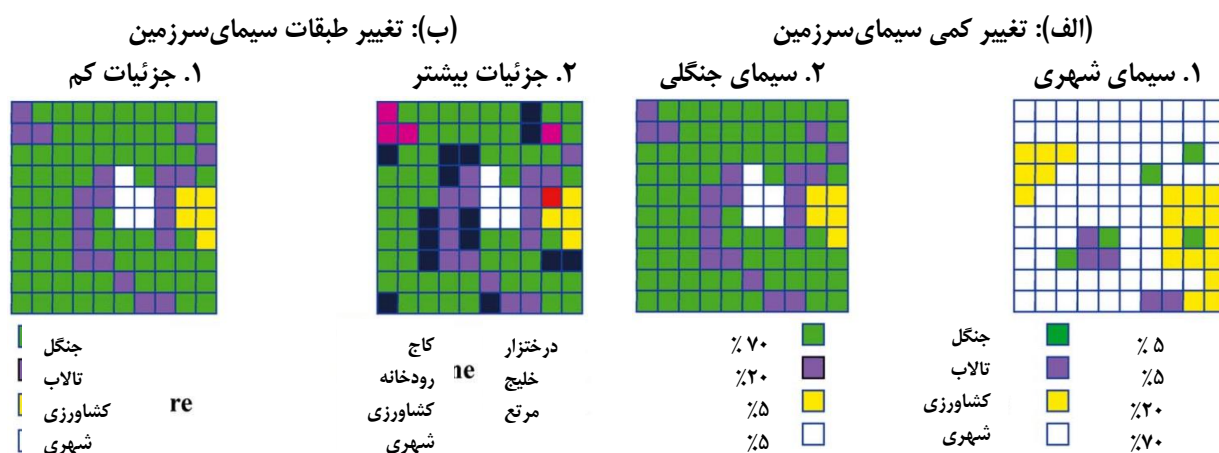
شاخص‌های سیمای سرزمین می‌توانند پاسخ‌های مختلفی به برخی تغییرات در الگوهای فضایی نشان دهند (Haines-Young and

نیازهای زیستگاهی منحصر به فردی دارند، کیفیت زیستگاه در یک سیمای سرزمین برای گونه‌های مختلف بسیار متفاوت است. بنابراین، کیفیت نباید با شاخص‌های سیمای سرزمین نشان داده شود مگر اینکه ویژگی‌های گونه‌ای صریحاً در داده‌های نقشه‌ای بیان شده باشند (Harris and Sanderson, 2000; Li et al., 2000). برای درک چگونگی اثر الگوی سیمای سرزمین بر پویایی جمعیت‌های دو گونه‌ای مختلف نیازمند تبدیل نقشه‌های پوشش گیاهی به نقشه‌های تناسب زیستگاهی هستیم تا تفاوت‌های کارکردی در تحلیل سیمای سرزمین اعمال گردد. لی و همکاران در سال ۲۰۰۰ دریافتند که نقشه‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی از سیمای جنگلی به همراه مرزهای طبیعی اغلب فاقد معنا و ارتباط بوم‌شناختی برای ارزیابی کیفیت زیستگاه هستند. زیرا، هیچ نقشه‌ای نمی‌تواند بیانگر نیازمندی‌های گوناگون زیستگاه بسیاری از گونه‌های حیات وحش باشد. برای تولید نقشه‌های سیمای سرزمینی که برای تحلیل فضایی کیفیت زیستگاه مناسب باشند، پیشنهاد می‌شود رویکردی به کار گرفته شود که سیمای سرزمین و ارزیابی زیستگاه گونه‌ها را با هم تلفیق نماید. این رویکرد شامل تهیه یک نقشه رتبه‌بندی شده زیستگاهی برای هر گونه هدف یا دسته‌ای از گونه‌ها از طریق تجمیع لکه‌های مجاور و سپس رتبه‌بندی هر لکه با عناوین بهینه، مناسب، حاشیه و غیرزیستگاهی است (Hamel, 1992; Li et al., 2000). به کارگیری نقشه‌های رتبه‌بندی شده زیستگاهی، بین اطلاعات خاص گونه‌ای و تحلیل سیمای سرزمین موازنه‌ای برقرار می‌سازد که تناسب سیمای سرزمین برای گونه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

داشت. زیرا، شاخص‌هایی مثل یکنواختی، پیوستگی و بعد چین خوردگی از طریق تجمیع نسبت‌های اندازه لکه و حاشیه محاسبه می‌شوند که نسبت‌های نوع لکه را در نظر نمی‌گیرند. همچنین، برای شاخص لکه‌شدگی^(۱)، مقدار بالای آن در سیمای شهری می‌تواند ناشی از مقادیر بالای عدم تجانس باشد که بیانگر حاشیه‌های بین لکه شهری و انواع دیگر لکه‌هاست.

ممکن است شاخص‌های سیمای سرزمین به سطح جزئیات در نقشه‌های طبقه‌بندی شده، حساس باشد که اغلب توسط معیارهای به کار رفته در طبقه‌بندی نقشه‌ها تعیین می‌شود شکل (۳) (ب)، جدول (۱) (Wickham et al., 1997; Turner et al., 2001). این موضوع ناشی از سهل و ممتنع بودن انواع لکه‌هایی است که تفاوت‌های خاصی در موزاییک سیمای سرزمین، مانند تعداد نوع لکه‌های قابل تشخیص، ایجاد می‌کند. بنابراین، وقتی در یک سیمای خاص، طبقه‌بندی متفاوتی بکار گرفته شود، شاخص‌ها نیز به نسبت، نمایش متفاوتی خواهند داشت. مشکل چنین دستکاری‌هایی در داده‌های نقشه‌ای این است که تغییراتی را گزارش می‌دهد که از نظر ساختاری و بوم‌شناختی رخ نداده است. راه‌حل این مسئله، کسب اطمینان از ارتباط بوم‌شناختی داده‌های نقشه از طریق تعیین سطح جزئیات است و اینکه چه مقیاسی باید مطابق با پدیده و اهداف مطالعه استفاده شود.

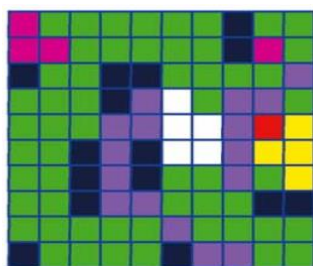
ممکن است شاخص‌های سیمای سرزمین به ویژگی‌های کارکردی سیمای سرزمین حساس نباشد (Wiens, 1989). نمونه‌ای از این ویژگی‌ها، تناسب زیستگاهی سیمای سرزمین نشان داده شده در شکل (۳) (ج) و جدول (۱) است. به دلیل اینکه گونه‌های مختلف



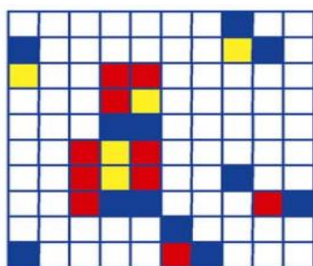
(ج): تفاوت کارکردی سیمای سرزمین

۱. نقشه پوشش گیاهی

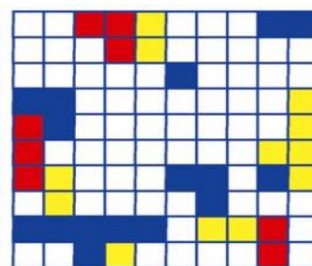
۲. نقشه‌های رتبه‌بندی زیستگاه



درختزار
ie
کاج
rood
ver
رودخانه
ops
کشاورزی
ban
شهری



زیستگاه گونه ۱



زیستگاه گونه ۲

rod
a Bay

بهینه
مطلوب
حاشیه
غیر زیستگاهی

al
le
ial
abitat

شکل (۳): نمونه‌هایی از شاخص‌های ناموفق در نمایش تغییرات سیمای سرزمین (جدول ۱)؛ الف. ممکن است در دو سیمای با تفاوت‌های کمی، مقدار برخی شاخص‌های سیمای سرزمین یکسان برآورد شود. در حالت فرضی، یک سیمای جنگلی (جنگل ۷۰٪، تالاب ۲۰٪، کشاورزی ۵٪ و شهری ۵٪) به سیمای شهری (جنگل ۵٪، تالاب ۵٪، کشاورزی ۲۰٪ و شهری ۷۰٪) تغییر پیدا می‌کند، ولی اطلاعات شاخص‌هایی (مانند تنوع، یکنواختی، غالبیت) هرگز نمی‌تواند چنین تغییراتی را بدست آورد؛ و شاخص‌های فضایی مانند پیوستگی و بعد چین خوردگی نیز در این مورد مناسب نیستند. ب. اگر دو سیستم طبقه‌بندی با سطوح مختلف جزئیات در یک سیمای سرزمین بکار گرفته شود، در نتیجه پیچیدگی‌های نقشه متفاوت و مقادیر مختلفی از شاخص‌های سیمای سرزمین خواهد بود، در صورتی که تغییر واقعی در سیمای وجود ندارد. با جزئیات کمتر، چهار نوع لکه تشخیص داده می‌شود: جنگل، تالاب، کشاورزی و شهری. در صورتیکه در جزئیات بیشتر احتمالاً شاخص تفاوت‌های معناداری را در یک نوع تشخیص می‌دهد که منتج به هفت نوع لکه‌ی جنگل سوزنی‌برگ، جنگل پهن‌برگ، تالاب‌های رودخانه‌ای و تالاب‌های جدا افتاده، مزارع کشاورزی، مراتع و شهری می‌شود. واضح است، زمانی که سیستم‌های طبقه‌بندی متفاوت باشند؛ شاخص‌های سیمای سرزمین مقادیر مختلفی بدست خواهند داد. ج. یک نقشه پوشش گیاهی نمی‌تواند برای توصیف تفاوت کارکردی سیمای سرزمین به کار رود، زیرا نقشه‌های اینچنینی اغلب ارتباط بوم‌شناختی با یک مطالعه خاص ندارند. هرچند نقشه پوشش گیاهی می‌تواند به نقشه رتبه‌بندی شده زیستگاهی برپایه نیازهای زیستگاهی دو گونه مختلف ۱ و ۲ تبدیل شود: گونه ۱ دارای آشیان درختی است و متولدین آنها به جنگل‌های مرطوب پهن‌برگ در نزدیکی رودخانه‌ها نیاز دارند و گونه ۲ به آشیان زمینی و جوانترهای آن به جنگل‌های سوزنی‌برگ نیاز دارد (Hamel 1992, Li et al., 2000). شاخص‌های محاسبه شده از نقشه‌های رتبه‌بندی شده زیستگاهی می‌تواند بیانگر کیفیت زیستگاه سیمای سرزمین برای گونه‌های مختلف حیات وحش باشند (Li and Wu, 2004).

جدول (۱): مقادیر شاخص‌های سیمای سرزمین محاسبه شده برای نقشه‌های شکل ۳ (Li and Wu, 2004).

نقشه	یکنواختی (Evenness)	پیوستگی (Contagion)	بعد چین خوردگی (Fractal)	لکه‌شدگی (Patchiness)
سیمای جنگلی (الف ۱)	۰/۶۲۸	۰/۲۸۹	۱/۴۹۴	۰/۳۰۹
سیمای شهری (الف ۲)	۰/۶۲۸	۰/۲۹۰	۱/۴۹۷	۰/۳۲۰
جزئیات کمتر (ب ۱)	۰/۶۲۸	۰/۲۸۹	۱/۴۹۴	۰/۳۰۹
جزئیات بیشتر (ب ۲)	۰/۶۹۹	۰/۳۸۲	۱/۵۷۸	۰/۵۷۳
نقشه پوشش گیاهی (ج ۱)	۰/۶۹۹	۰/۳۸۲	۱/۵۷۸	۰/۵۷۳
نقشه رتبه‌بندی زیستگاه گونه ۱ (ج ۲)	۰/۶۲۳	۰/۱۹۹	۱/۵۳۸	۰/۳۸۱
نقشه رتبه‌بندی زیستگاه گونه ۲ (ج ۲)	۰/۷۶۱	۰/۱۶۸	۱/۵۷۶	۰/۵۲۸

دشواری تفسیر شاخص‌ها

Gustafson, 1998; Hargis et al., 1998; Wu, 2000; Turner et al., 2001). آنچه که یک شاخص واقعاً اندازه‌گیری می‌کند دقیق است، حتی زمانی که ابعاد تحلیلی بسیاری از شاخص‌ها (نظیر شاخص‌های اطلاعاتی، بُعد چین خوردگی) کاملاً

بعد از دو دهه تحقیق گسترده، تفسیر شاخص‌ها همچنان دشوار است، چرا که ویژگی‌های معیارهای سیمای سرزمین هنوز به طور کامل درک نشده است (Li and Reynolds, 1994;).

دارای معانی شفاف بوم‌شناختی باشد، تفسیر مقادیر هر شاخص ساده‌تر می‌گردد. برای بیشتر معیارهای الگوی فضایی، راهنمایی در قالب عملیات استاندارد موجود است (Hurlbert, 1971). سوم، شایسته است معانی بوم‌شناختی بسیاری از شاخص‌های سیمای سرزمین بیشتر بررسی شود. لازم است بر شاخص‌هایی که مستقیماً فرآیندها را اندازه می‌گیرند و یا دارای روابط درونی با فرآیندهای بوم‌شناختی هستند تاکید شود (O'Neill et al., 1999; Ludwig et al., 2000).

کاربردهای نادرست شاخص‌های سیمای سرزمین کمی‌سازی الگو بدون توجه به فرآیند

کمی‌سازی الگوی فضایی، در تحقیقات بوم‌شناسی سیمای سرزمین به‌ویژه در آمریکای شمالی از اواسط دهه ۱۹۸۰ رونق یافته است (O'Neill et al., 1988; Turner and Gardner 1991). عمده‌تأ به دلیل این که شناخت الگو یکی از اصول علمی درک ماهیت آن است (Pickett et al., 1994). با این حال، اگر کمی‌سازی الگوی فضایی بجای درک فرآیندهای بوم‌شناختی هدف نهایی قرار گیرد؛ می‌توان گفت بوم‌شناسی سیمای سرزمین در وضعیت نابه‌سامانی قرار گرفته است. اگر از تحلیل الگوی فضایی برای بررسی تغییرات ساختاری در سیمای سرزمین و پیش‌بینی چگونگی تأثیر آنها بر فرآیندهای بوم‌شناختی استفاده نشود، این تحلیل‌ها ارزش ناچیزی خواهند داشت.

تحلیل بهتر الگوی فضایی می‌تواند نقش مفیدی در مباحث نظری و عملی تحقیقات بوم‌شناسی سیمای سرزمین بازی کند (O'Neill et al., 1988; O'Neill et al., 1999; Turner, 1990; Li and Reynolds, 1994; Gustafson, 1998; Turner et al., 2001)، مثلاً در: ۱. مقایسه سیستم‌های مختلف و یا یک سیستم در زمان‌های مختلف، ۲. پایش تغییرات بزرگ مقیاس جهت اطمینان و آگاهی به‌موقع از بزرگی و نرخ تغییرات حیاتی بوم‌شناختی، ۳. فراهم کردن جایگزین‌هایی که نقشه‌ها و داده‌های فضایی را به شکل‌های مفیدتر و قابل فهم‌تر تبدیل می‌کنند. با این حال، حتی در این کاربردها نیز فرض بر این است که توصیف کمی الگوهای فضایی، یکی از موضوع‌های با اهمیت بوم‌شناختی است؛ البته این فرض باید توسط بوم‌شناسان سیمای سرزمین با نمایش رابطه‌ی نزدیک بین الگوی فضایی و فرآیند بوم‌شناختی مورد بررسی قرار گیرد (Gustafson, 1998; Turner et al., 2001).

روشن نیست (Li and Reynolds, 1994). به‌عنوان مثال، تفسیر تغییر بُعد چین خوردگی دشوار است زیرا چندین عامل به‌طور همزمان بر مقدار آن تأثیر می‌گذارند و چندین فرمول برای محاسبه آن وجود دارد که نتایج زیادی تولید می‌کند (Lovejoy, 1982; Gardner et al., 1987; Krummel et al., 1987; Milne, 1991; Dale, 1999). علاوه بر این، حتی اگر معیارهای الگوهای فضایی تغییر کند می‌تواند تغییرات قابل توجهی در کارکرد سیمای سرزمین، یکپارچگی و آستانه‌های خاصی که به‌ندرت شناخته شده‌اند ایجاد نماید. در بررسی‌ها، روش‌های آماری که توانایی تعریف چنین آستانه‌هایی را دارند، باید مورد استفاده قرار گیرند. حل هر یک از مشکلات مذکور در این مقاله موجب سهولت تفسیر نتایج تحلیل سیمای سرزمین می‌شود. بهترین راه‌حل این است که بوم‌شناسان سیمای سرزمین نه تنها باید روش‌های تحلیل الگوی فضایی، بلکه مفاهیم آن روش‌ها را نیز درک نمایند (Dale, 1999).

رشته بوم‌شناسی سیمای سرزمین به شاخص‌های بهتر و موثرتر نیاز دارد تا ابعاد مختلف الگوهای فضایی بررسی و تفسیر آنها ساده‌تر شود. در این صورت لازم است در سه بخش فعالیت شود. اول، مطالعات بیشتری برای تعیین ترکیبی از شاخص‌ها نیاز است تا در یک وضعیت خاص مؤثر واقع شود (Li and Reynolds 1994; Riitters et al., 1995; Haines-Young and Chopping 1996; Hargis et al., 1998; O'Neill et al., 1999). شاخص‌ها بیش از یک جنبه از الگوی فضایی را نمایش می‌دهند، که به دشواری تفسیر نتایج آنها می‌افزاید. از طرفی بسیاری از مطالعات انجام شده، نشان می‌دهد بکارگیری تنها یک شاخص نیز، اطلاعات ناکافی در مورد الگوی فضایی فراهم می‌کند (Li and Reynolds, 1994; Riitters et al., 1995; O'Neill et al., 1999). لی و رینولدز (۱۹۹۴) مجموعه‌ای از شاخص‌ها را پیشنهاد کرده‌اند، که هر کدام از آنها برای اندازه‌گیری دقیقاً یک مولفه از الگوی فضایی طراحی شده است، از جمله شاخص‌های ترکیب^(۱۲) سیمای سرزمین، ترتیب فضایی^(۱۳) لکه‌ها، ناهمسانی^(۱۴) و پیوستگی. همچنین ریترز و همکاران (۱۹۹۵) شش گروه از معیارهای سیمای سرزمین را شناسایی کرده‌اند که بیانگر افزونگی^(۱۵) کمتر و توضیح بسیاری از تغییرات ساختاری سیمای سرزمین هنگام استفاده از آن مجموعه هستند. دوم، در صورتی که شاخص به کار رفته نسبی و دارای بازه‌ای بین صفر تا یک (یا ۱- تا ۱+) باشد و همچنین حداقل و حداکثر مقادیر آن

احتیاط‌های تحلیل همبستگی شاخص‌های سیمای سرزمین

تحلیل همبستگی ابزاری موثر است و بعد از برقراری ارتباط، باید به ارزیابی‌های بیشتر و آزمون‌های علی پرداخت (Pickett et al., 1994). با این وجود، اگر اشتباهات مفهومی و محدودیت‌های ذاتی مورد بحث در بخش‌های قبلی نادیده گرفته شود، تحلیل همبستگی شاخص‌های سیمای سرزمین می‌تواند مسئله‌دار باشد؛ مهمترین مسئله آنها، بی‌ارتباطی بوم‌شناختی شاخص‌های سیمای سرزمین یا داده‌های نقشه‌ای و پاسخ‌های متغیر شاخص‌ها به تغییر الگوهای سیمای سرزمین است. نتیجه‌ی نادیده گرفتن این اشتباهات و محدودیت‌ها این است که نتایج همبستگی آماری، احتمالاً هیچ معنای زیستی نخواهد داشت. تحلیل همبستگی به‌ویژه در شرایطی که شامل تغییر مقیاس‌ها، شاخص‌های پیچیده و مطالعه در سیمای سرزمین واحد باشد احتمالاً نادرست خواهد بود. مقیاس باید در تحلیل همبستگی در نظر گرفته شود، زیرا اکثر شاخص‌های سیمای سرزمین به تغییر دانه‌بندی و گستره حساس هستند (Turner et al., 1989; Wickham and Riitters, 1995; Wu, 2000; Wu, 2003). سیستم‌های بوم‌شناختی اغلب به‌صورت سلسله مراتبی با الگوها و فرآیندهای مختلفی، ساختار یافته‌اند (O'Neill et al., 1986; Urban et al., 1987; Wu, 1999) که در مقیاس‌های «مشخص» یا «آستانه» قرار می‌گیرند. اگر تحلیل سیمای سرزمین تنها در یک مقیاس انجام شود که با مقیاس مشخصی از پدیده مورد نظر تطابق ندارد، ممکن است در تشخیص الگوی سیمای سرزمین اشتباه رخ دهد ولو الگویی وجود داشته باشد و یا در جایی الگویی ساختگی تشخیص داده شود در حالی که هیچ الگویی وجود ندارد. از سوی دیگر، اگر تحلیل سیمای سرزمین به‌کمک داده‌های چند مقیاسی انجام شود، ممکن است خود مقیاس به صراحت به‌عنوان یک متغیر شناخته شود. به‌طور کلی، برای اندازه‌گیری موثر ناهمگنی فضایی و تشخیص مقیاس‌های مشخص سیمای سرزمین، باید شاخص‌های الگوی فضایی در مقیاس‌های مختلف محاسبه شود. روش‌های تحلیل چندمقیاسی (به‌عنوان مثال، بعد چین‌خوردگی، سمی‌واریوگرام^(۱۶)، فنون واریانس چارکی) ترجیح داده می‌شوند، اگرچه هیچ کدام از اینها برای یک سیمای سرزمین خاص موثر نیستند و نمی‌توان کارآمدی آنها را تضمین کرد (Li and Reynolds, 1994; Dale, 1999; Wu, 2000; Wu, 2003). بسیاری از

شاخص‌های سیمای سرزمین پیچیده هستند و یا فرمول‌های غیرخطی یا ورودی‌های چندگانه (مولفه‌ها) و یا (مانند یکنواختی، پیوستگی، بعد چین‌خوردگی) هر دو را دارند. در تحلیل همبستگی باید از این شاخص‌های پیچیده اجتناب شود، زیرا فرمول‌های غیرخطی و ورودی‌های چندگانه‌ی آنها، به احتمال زیاد باعث واکنش مخلوط به تغییر الگو، مقیاس و طبقه‌بندی می‌شود (O'Neill et al., 1988; Li and Reynolds, 1993; Li and Reynolds, 1994; Riitters et al., 1995; Wu 2000). رفتار پیچیده این شاخص‌ها موجب دشواری تفسیر می‌گردد که بدین ترتیب اثربخشی تحلیل همبستگی را تحت شعاع قرار می‌دهد. در عوض، معیارهای ساده‌ای مانند اندازه لکه، لبه، فاصله بین لکه و نسبت که بطور مستقیم از کارهای میدانی یا نقشه‌ها اندازه‌گیری شده باشند به احتمال زیاد نتایج معنادارتری را فراهم می‌کنند. بسیاری از مطالعات سیمای سرزمین تجربی، تحلیل الگوی فضایی را تنها در یک سیمای سرزمین به کار می‌گیرند اما چنین مطالعاتی تا زمانی مفید هستند که مسائل را در مقیاس‌های مرتبط قرار دهند (Carpenter, 1992; Carpenter, 1996; Oksanen, 2001). بنابراین، اعتبار انجام تحلیل همبستگی و استنتاج‌های آماری یا بوم‌شناختی در چنین شرایطی بطور جدی متأثر از مقیاس درست خواهد بود (Hurlbert, 1984). تکرار نمونه‌برداری^(۱۷) به‌عنوان مانعی برای آزمون و تحلیل در مقیاس کلان شناخته شده است (Hurlbert, 1984; Hargrove and Pickering, 1992; but see Oksanen, 2001). هنگامی که فقط یک سیمای سرزمین مدنظر قرار گرفته باشد، هیچ تحلیل همبستگی یا استنتاج آماری نمی‌تواند انجام شود، زیرا استفاده از الگوی فضایی سیمای سرزمین به‌عنوان یک متغیر تجزیه و تحلیل را به یک نقطه داده کاهش می‌دهد، که بدترین وضعیت است و تقریباً هیچ تکراری وجود ندارد. از این‌رو، تحقیقاتی که از سیمای سرزمین‌های مختلف استفاده می‌کند برای ایجاد روابط معتبر بین الگو و فرآیند در مقیاس سیمای سرزمین ضروری است. با این حال مشکلاتی در نمونه‌برداری تکراری و آزمون در مقیاس‌های کلان باقی خواهد ماند. اگرچه آزمون‌های شبیه‌سازی یک راه‌حل برای نمونه‌برداری تکراری نیست، اما می‌تواند زمانی که پویایی سیمای سرزمین با سناریوهای مختلف و تکرارهای کافی مطالعه می‌شود، بسیار ارزشمند باشد (Gardner et al., 1987; Li and Reynolds, 1994). بدیهی است، تحلیل همبستگی زمانی مفیدتر خواهد بود که توضیحات علی برای روابط (مانند محدودیت‌ها، تعاملات،

در عصر حاضر چالش اساسی در تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین، برقراری روابط صحیح بین الگوی فضایی و فرآیندهای بوم‌شناختی است (Wu and Hobbs, 2002). برای پاسخ به دو سوال مهم، نیاز به تلاش‌های زیادی است: ۱. چگونه از دانش ناهمگنی فضایی برای بهبود توضیحات و پیش‌بینی سیستم‌های بوم‌شناختی استفاده شود؟ ۲. چگونه می‌توان مدل‌ها و روابط را در میان مقیاس‌ها با کمک ارزیابی ناهمگنی فضایی در مقیاس‌های چندگانه افزایش داد؟ ناهمگنی فضایی، مقیاس و تغییر مقیاس مهم‌ترین مسائل بوم‌شناسی هستند، زیرا نقش مهمی در نمونه‌برداری، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی برای درک و پیش‌بینی کارکردهای اکوسیستمی و پویایی دارند (Wiens, 1989; Brandt, 1998; Turner et al., 2001; Wu, 2003). تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین پیشرفت نمی‌کند مگر اینکه دانش کمی‌کردن ناهمگنی فضایی به توان تبیین و پیش‌بینی کمک کند و به سولاتی مانند «چه می‌شود اگر یک سیمای سرزمین دارای ارزش پیوستگی ۱/۴۵ باشد؟» و یا هر شاخص و ارزش دیگری به‌طور مستقیم و موثر مدنظر قرار گیرد. پیچیدگی شدید و غیرخطی بودن سیمای سرزمین منجر به عدم قطعیت بالایی می‌شود و پویایی سیمای سرزمین نیز پیش‌بینی را دشوار می‌سازد. برای کاهش عدم قطعیت و افزایش قابلیت پیش‌بینی، پژوهش‌های آینده در تجزیه و تحلیل الگوی سیمای سرزمین باید فراتر از صرف اندازه‌گیری الگوی سیمای سرزمین پیش رود و بر روابط آن با فرآیندهای بوم‌شناختی تأکید نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از داوران محترم به‌دلیل نظرات سازنده‌ای که موجب بهبود مقاله شده است، قدردانی نمایند. همچنین لازم به ذکر است این ترجمه‌ای از مقاله ارزشمند Harbin Li و Jianguo Wu است، که در ژورنال Landscape ecology به چاپ رسیده است. نویسندگان به‌دلیل کاربردی بودن مباحث مطرح شده و مبتلا به در پژوهش‌های سیمای سرزمینی، علاقه‌مند به ترجمه کل مقاله بودند. حاصل کار بعد از بازبینی‌های مکرر جهت روان و سلیس شدن متن تهیه شده است و امید است نکات این مقاله مورد توجه و استفاده تمامی دانشجویان و محققان عزیز در کشور قرار گیرد.

سازوکارها) از قبل مشخص شده باشند. محاسبه شاخص‌های سیمای سرزمین متعدد برای تحلیل همبستگی بدون درک شفاف الگوها و فرآیندهای فضایی، سوال برانگیز است، زیرا روابط آماری بدون معانی بوم‌شناختی می‌تواند بی‌فایده و یا گمراه‌کننده باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سه گروه از مشکلات شامل مسائل مفهومی در تحلیل الگوی سیمای سرزمین، محدودیت‌های ذاتی شاخص‌های سیمای سرزمین و استفاده‌های نامناسب این شاخص‌ها شناسایی و بحث شدند که ممکن است سبب کاربردهای نادرست شوند و فایده شاخص‌های سیمای سرزمین را کاهش دهند و به‌شدت مانع از پیشرفت تجزیه و تحلیل الگوی سیمای سرزمین شوند. اگرچه فهرست این مشکلات جامع نیست، اما مهم‌ترین مواردی که در اینجا مورد بحث قرار گرفتند شامل هفت مورد: عدم ارتباط الگو با فرآیند، بی‌ارتباطی بوم‌شناختی شاخص‌های سیمای سرزمین و داده‌های نقشه‌ای، پاسخ متفاوت شاخص‌ها به تغییرات الگویی و کاربرد نادرست تحلیل همبستگی است. ما به‌شدت به استدلال استنتاجی اعتقاد داریم، هر چند که تجزیه و تحلیل تجربی می‌تواند به تقویت استدلال‌های ما کمک کند.

پیشنهاد می‌شود درباره «چرایی استفاده از تحلیل الگوی سیمای سرزمین» به‌طور اساسی بازبینی گردد تا یافتن راه‌حل‌های «چگونگی استفاده از تحلیل الگوی سیمای سرزمین» آسان‌تر گردد. بدون راهنمای نظری، بوم‌شناسان سیمای سرزمین اغلب با شاخص‌های متعدد و روش‌های آماری فضایی، همچنین با افزایش حجم داده‌های GIS و سنجش از دور درگیر و غوطه‌ور می‌شوند. هدف نهایی تحلیل الگوی سیمای سرزمین باید دستیابی به توضیحات بهتر و پیش‌بینی پدیده‌های بوم‌شناختی بر مبنای روابط موجود بین الگو و فرآیند باشد. تمام تلاش‌های دیگر تحقیق مانند تشخیص الگوی فضایی، اندازه‌گیری، مقایسه، همبستگی و پایش باید در صورتی انجام شود که تنها به این هدف کمک نماید. در رابطه با گفته لوین ۱۹۹۲ توافقی وجود دارد در اینکه تشخیص و توصیف الگوها باید قبل از کشف عوامل تعیین‌کننده الگو و سازوکارهای تولیدکننده و نگهدارنده آنها، باشد. با درک این سازوکارها، فرد یک ظرفیت پیش‌بینی دارد که صرفاً با همبستگی غیرممکن است. بنابراین ضروری است، چرخه کامل تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین تکمیل گردد.

یادداشت‌ها

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| 1. Proof of existence | 10. Fractal dimension |
| 2. Space-time decomposition principle | 11. Patchiness |
| 3. Hierarchy theory | 12. Composition |
| 4. Aggregation | 13. Spatial arrangement |
| 5. Magnification | 14. Anisotropy |
| 6. Resampling | 15. Redundancy |
| 7. Grain or Extent | 16. Semivariogram |
| 8. Surrogate | 17. Pseudoreplication |
| 9. Contagion | |

فهرست منابع

- Allen, R.F.H.; O'Neill, R.V. & Hoekstra, T.W. 1984. Interlevel relations in ecological research and management: Some working principles from hierarchy theory. USDA Forest Service General Tech Report RM-110, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Bian, L. & Butler, R. 1999. Comparing effects of aggregation methods on statistical and spatial properties of simulated spatial data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65: 73–84.
- Brandt, J. 1998. Key concepts and interdisciplinarity in landscape ecology: a summing-up and outlook. In: Dover, J.W. & Bunce, R.G.H. eds, *Key Concepts in Landscape Ecology*, pp. 421–434. UK Association of International Association for Landscape Ecology IALE-UK, Garstang, Great Britain.
- Cale, W.G.; Henebry, G.M. and Yeakley, J.A. 1989. Inferring process from pattern in natural communities. *BioScience* 39: 600–605.
- Carpenter, S.R. 1992. Replication & treatment strength in wholelake experiments. *Ecology* 73: 453–463.
- Carpenter, S.R. 1996. Microcosm experiments have limited relevance for community and ecosystem ecology. *Ecology* 77: 453–463.
- Dale, M.R.T. 1999. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Flather, C.H. & Sauer, J.R. 1996. Using landscape ecology to test hypotheses about large-scale abundance in migratory birds. *Ecology* 77: 28–35.
- Gardner, R.H.; Milne, B.T.; Turner, M.G. & O'Neill, R.V. 1987. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 19–28.
- Gustafson, E.J. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* 1: 143–156.
- Haines-Young, R. & Chopping, M. 1996. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes. *Progress in Physical Geography* 20: 418–445.
- Hamel, P.B. 1992. *The Land Manager's Guide to the Birds in the South*. The Nature Conservancy, Chapel Hill, North Carolina, USA.
- Hargis, C.D.; Bissonette, J.A. & David, J.L. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13: 167–186.
- Hargrove, W.W. & Pickering, J. 1992. Pseudoreplication: A sine qua non for regional ecology. *Landscape Ecology* 6: 251–258.
- Harris, L.D. & Sanderson, J. 2000. The re-membered landscape. In: Sanderson J. and Harris L.D. eds, *Landscape Ecology: A Top-Down Approach*, pp. 91–112. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
- Hurlbert, S.H. 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577–586.

- Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187–211.
- Jelinski, D.E. & Wu, J. 1996. The modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. *Landscape Ecology* 11: 129–140.
- Justice, C.O.; Markham, B.L.; Townshend, J.R.G. & Kennard, R.L. 1989. Spatial degradation of satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 10: 1539–1561.
- Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; O'Neill, R.V. & Coleman, P.R. 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48: 321–324.
- Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943–1967. Li H. and Reynolds J.F. 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* 8: 155–162.
- Li, H. & Reynolds, J. F. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos* 73: 280–284.
- Li, H. & Reynolds, J.F. 1994. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. *Ecology* 75: 2446–2455.
- Li, H.; Gartner, D.; Mou, P. & Trettin, C.C. 2000. A landscape model LEEMATH to evaluate effects of management impacts on timber and wildlife habitat. *Computers and Electronics in Agriculture* 27: 263–292.
- Lovejoy, S. 1982. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. *Science* 216: 185–187.
- Ludwig, J.A.; Wiens, J.A. & Tongway, D.J. 2000. A scaling rule for landscape patches and how it applies to conserving soil resources in Savannas. *Ecosystems* 3: 84–97.
- Milne, B.T. 1991. Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In: Turner M.G. and Gardner R.H. eds, *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, pp. 199–235. SpringerVerlag, New York, New York, USA.
- Naveh, Z. & Lieberman, A.S. 1984. *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- O'Neill, R.V., Riitters, K.H., Wickham, J.D. & Jones, K.B. 1999. Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem Health* 5: 225–233.
- O'Neill, R.V.; DeAngelis, D.L.; Waide, J.B. & Allen, T.F.H. 1986. *A Hierarchical Concept of Ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- O'Neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B.; DeAngelis, D. L.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; Zygmunt, B.; Christensen, S.W.; Dale, V.H. & Graham, R.L. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153–162.
- Oksanen, L. 2001. Logic of experiments in ecology: Is pseudoreplication a pseudoissue? *Oikos* 94: 27–38.
- Openshaw, S. 1984. *The Modifiable Areal Unit Problem*. Geo Books, Norwich, UK.
- Pickett, S.T.A. & Cadenasso, M.L. 1995. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science* 269: 331–334.
- Pickett, S.T.A., Kolasa, J. & Jones, C.G. 1994. *Ecological Understanding*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Riitters, K.H.; O'Neill, R.V.; Hunsaker, C.T.; Wickham, J.D.; Yankee, D.H.; Timmins, K.B.J. & Jackson, B.L. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10: 23–39.
- Risser, P.G., Karr, J.R. & Forman, R.T.T. 1984. *Landscape Ecology: Directions and Approaches*. Illinois Natural History Survey Special Publ. 2, Champaign, Illinois, USA.
- Saura, S. & Martinez-Millan, J. 2001. Sensitivity of landscape pattern metrics to map spatial extent. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67: 1027–1036.

- Turner, M.G. & Gardner, R.H. 1991. Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Turner, M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20: 171–197.
- Turner, M.G. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 4: 21–30.
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Turner, M.G.; O'Neill, R.V.; Gardner, R.H. & Milne, B.T. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology* 3: 153–162.
- Urban, D.L.; O'Neill, R.V. & Shugart, H.H. 1987. Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37: 119–127.
- Wickham, J.D. & Riitters, K.H. 1995. Sensitivity of landscape metrics to pixel size. *International Journal of Remote Sensing* 16: 3585–3595.
- Wickham, J.D.; O'Neill, R.V.; Riitters, K.H.; Wade, T.G. & Jones, K.B. 1997. Sensitivity of landscape metrics to land cover misclassification and differences in land cover composition. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63: 397–402.
- Wiens, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385–397.
- Wiens, J.A., Stenseth, N.C., Van Horne B. & Ims R.A. 1993. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos* 66: 369–380.
- Wu, J. & Loucks, O.L. 1995. From balance-of-nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *Quarter Review of Biology* 70: 439–466.
- Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: Extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing* 25:367–380.
- Wu, J. 2000. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Higher Education Press, Beijing, China.
- Wu, J. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. *Landscape Ecology* 19: 125–138. Wu J. & Hobbs R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology* 17: 355–365.
- Wu, J.; Shen, W.; Sun, W. & Tueller, P.T. 2002. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology* 17: 761–782.

Use and Misuse of Landscape Indices

Fatemeh Jahanishakib^{*1}, Abdolrassoul Salmanmahiny²

1 Department of Environmental Sciences, University of Birjand, Iran

2 Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

(Received: 2018/12/09 Accepted: 2021/12/27)

Abstract:

Landscape ecology has generated much excitement in the past two decades. One reason was that it brought spatial analysis and modeling to the forefront of ecological research. However, high expectations for landscape analysis to improve our understanding and prediction of ecological processes have largely been unfulfilled. We identified three kinds of critical issues: conceptual flaws in landscape pattern analysis, inherent limitations of landscape indices, and improper use of pattern indices. For example, many landscape analyses treat quantitative description of spatial pattern as an end itself and fail to explore relationships between pattern and process. Landscape indices and map data are sometimes used without testing their ecological relevance, which may not only confound interpretation of results, but also lead to meaningless results. In addition, correlation analysis with indices is impeded by the lack of data because of difficulties in large-scale experimentation and by complicated behavior of indices as a result of their varying responses to changes in scale and spatial pattern. These problems represent significant challenges to landscape pattern analysis, especially in terms of relating pattern to process. In this perspective paper, we examine the underlying problems of these challenges and offer some solutions.

Keywords: Conceptual flaws, GIS and map data, Landscape pattern analysis, Pattern and process, Scale

* Corresponding author:

Email: jahanishakib@birjand.ac.ir