محیط‌زیست و توسعه، سال ۱٤، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱٤۰۲، از صفحه ۳ تا ۱۶

مقیاس در بوم‌شناسی سیمای سرزمین: مفاهیم، چالش‌ها و راهکارها

شیوا غریبی[۱]، مجید مخدوم فرخنده[۲]

۱. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. استاد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۰۸ تاریخ تصویب: ۱٤۰۲/۰۸/۱۰)

چکیده

مقیاس یک موضوع بسیار کلیدی در بوم‌شناسی سیمای سرزمین است. مقیاس یکی از عناصر اصلی در مطالعات محیط‌زیستی است و پاسخ‌های به‌دست آمده برای یک سوال اکولوژیکی خاص به شدت وابسته به مقیاس مطالعه است. مقیاس بر نتایج حاصل شده و امکان تعمیم آن‌ها به سایر مکان‌ها، زمان‌ها و دیگر مقیاس‌ها اثرگذار است. عدم استفاده از اصطلاحات مرتبط با مفهوم صحیح مقیاس منجر به ابهام در مطالعات شده است. مقیاس ابعاد مکانی و زمانی یک موضوع و یا یک فرآیند است و از سطوح سازمانی که برای شناسایی یک مکان در یک سلسله مراتب استفاده می‌شود، متمایز است. مقیاس با دو اصطلاح دانه‌بندی، کوچکترین واحد مکانی و زمانی در یک مجموعه داده، و گستره مکانی، اندازه کل منطقه مورد مطالعه یا بازه زمانی مورد مطالعه، تعیین می‌شود. به لحاظ علمی، مقدار عددی به‌دست آمده از یک اندازه‌گیری خاص تحت تاثیر مقیاس قرار می‌گیرد. مسائل مربوط به مقیاس به دلایل مختلفی مشکل‌ساز است. اولا، توصیف و درک الگوها و فرآیندها در مناطق وسیع‌تر دشوار است؛ زیرا مشاهدات صورت گرفته تحت تاثیر مقیاس مطالعه هستند و دوما، جمع‌آوری و مقایسه داده‌های حاصل از مقیاس‌های مختلف مطالعه پیچیده و زمان‌بر است؛ اما با وجود پیشرفت‌های قابل توجه، روش‌های برون‌یابی اطلاعات در مقیاس‌های مختلف هنوز وضع نشده است. به طور کلی، هیچ مقیاس صحیحی برای مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین وجود ندارد. به طوری که، مقیاس باید بر اساس سوال و یا هدف مطالعه انتخاب شود. با این حال، شناسایی مقیاس مناسب موضوع چالش برانگیزی است و توسعه روش‌های آن موضوع پژوهش‌های حال حاضر است.

کلید واژه‌ها: دانه‌بندی، گستره مکانی، سلسله مراتب، برون‌یابی، بوم شناسی سیمای سرزمین

* نویسنده مسئول: Email: Shiva.Gharibi@uok.ac.ir

DOI: 10.22034/EIAT.2025.217689

مقدمه مترجم: مقاله حاضر ترجمه یک بخش از کتاب Landscape Ecology in Theory and Practice از دکتر مونیکا ترنر و همکاران (۲۰۱۵) است که به بررسی مفهوم مقیاس در سیمای سرزمین پرداخته است. مسائل مطرح شده در این مقاله می‌تواند برای دانشجویان و پژوهشگران در حوزه سیمای سرزمین مفید واقع گردد و به سرعت مورد استقبال خوانندگان قرار گیرد.

سرآغاز

مقیاس یک مفهوم بسیار کلیدی در علوم فیزیک و منابع طبیعی و همچنین یکی از عناصر اصلی در مطالعات محیط‌زیستی است که ریشه در ماهیت سلسله مراتبی و پیچیده طبیعت و نحوه درک انسان از این پیچیدگی‌ها دارد (Chen et al., 2008). جهت درک چگونگی تغییر الگوهای سیمای سرزمین بر اساس مقیاس مطالعه، می‌بایست در ابتدا روش‌های کمی‌سازی الگوی این تغییرات در مقیاس زمان و مکان شناسایی شود (Levin, 1992) که امری بسیار پیچیده و دربرگیرنده علوم سنجش از دور، آمار مکانی و سایر روش‌های کمی‌سازی، هم در مقیاس وسیع و هم در مقیاس خرد، است. مقیاس یک موضوع حائز اهمیت و برجسته در بوم‌شناسی سیمای سرزمین است که در حقیقت بر نتایج به‌دست آمده توسط ناظر و این که آیا می‌توان این نتایج به‌دست آمده را به زمان‌ها یا مکان‌های دیگر تعمیم داد یا خیر، اثرگذار است. به طورکلی، در بوم‌شناسی و به طور خاص در بوم‌شناسی سیمای سرزمین، موضوع مقیاس به دلایل عملی و نظری متعددی، نقش بسیار مهمی به خود گرفته است. مسائل و مشکلات محیطی در مناطق وسیع‌تر آشکارتر هستند؛ به عنوان مثال، باران اسیدی، تغییرات اقلیمی، تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها و حفاظت از تنوع‌زیستی که این امر بوم‌شناسان را به چالش استفاده از داده‌ها و درک مقیاس خرد[۱] (به عنوان مثال، شبکه[۳] بر حسب مترمربع که در مطالعات میدانی بسیار رایج است) و سپس پیش‌بینی و تعمیم نتایج در یک مقیاس بزرگتر، کشیده است. اغلب نتایج به‌دست آمده از یک شبکه در یک مقیاس کوچکتر نمی‌تواند به سوال موردنظر در یک مقیاس وسیع‌تر پاسخ دهد. بنابراین، امروزه بحث برون‌یابی[۳] اطلاعات از مقیاس خرد به مقیاس وسیع به یک موضوع بسیار مهم تبدیل شده است؛ به طوری که دانشمندان جهت یافتن روشی رضایت‌بخش پیرامون این موضوع در تلاش هستند.

بوم‌شناسان از مفهوم انتخاب صحیح مقیاس در پاسخ به فرضیه‌های مطرح شده در مطالعات خود آگاه هستند و به این نتیجه رسیده‌اند که پاسخ‌های به‌دست آمده برای یک سوال اکولوژیکی خاص به شدت وابسته به مقیاس مطالعه است. این بدین معنا است که اغلب تغییر در اندازه شبکه یا گستره مکانی، نتایج عددی یا الگوی متفاوتی به همراه خواهد داشت و ممکن است نتایج به ظاهر متفاوت به‌دست آمده در مطالعات مختلف به علت تفاوت در مقیاس مطالعه آن‌ها باشد. در حالی که در علم بوم‌شناسی، تغییر در الگوها در نتیجهٔ تغییر در مقیاس کاملا به رسمیت شناخته شده است (Greig-Smith, 1952) اما کاربرد گستردهٔ مفهوم مقیاس در تفسیر ارزیابی‌ها، مطالعات تطبیقی و آزمایشات کنترل شده موضوعی جدید و بسیار حائز اهمیت است (Schneider, 1994).

عدم استفاده از اصطلاحات مرتبط با مفهوم مقیاس منجر به ایجاد نوعی سردرگمی در متون علمی شده است (Allen & Hoekstra, 1992; Allen, 1998) و این عدم ابهام برای بوم‌شناسان سیمای سرزمین بسیار حائز اهمیت است. مقیاس به بعد مکانی[۴] یا زمانی[۵] یک هدف و یا یک فرآیند اشاره دارد و متمایز از سطح سازمانی[۶] است؛ به طوری که سطح سازمانی برای شناسایی یک موقعیت در یک سلسله مراتب[۷] زیستی استفاده می‌شود. برای مثال، یک توالی از سطوح سازمانی ممکن است به ترتیب شامل موجود زنده، دسته‌ای از موجودات[۸]، جمعیت، جامعه و بیوم باشد. هر سطح سازمان توسط مجموعه‌ای از فرآیندها که هر کدام دارای مقیاس مکانی و زمانی خاص خود هستند مشخص می‌شود. یک جمعیت از گونه‌های خاص محدوده مشخصی از فضا را اشغال می‌کنند، در طول مسیرهای مشخصی حرکت یا پراکنش می‌یابند و در دوره زمانی خاصی تولیدمثل می‌کنند. جمعیت‌های متعلق به یک گونه در مقیاس‌های مکانی و زمانی مشخص به همراه مجموعه‌ای دیگر از جمعیت‌ها، یک جامعه را تشکیل می‌دهند. اصطلاحات مربوط به مقیاس در جدول (۱) نمایش داده شده است.

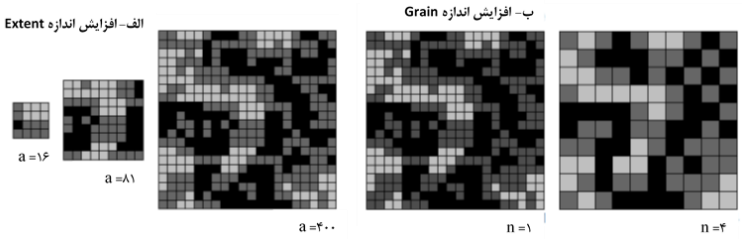
تعاریف متعددی برای مفهوم مقیاس معرفی شده است. به طوری که مقیاس عبارت است از فاصله بین دو نقطه بر روی نقشه به فاصله واقعی همان دو نقطه بر روی زمین (زبیری و دالکی، ۱۳۸۸)؛ مقیاس بعد زمانی و مکانی یک پدیده است (Wu and Li, 2006)، در تعریفی دیگر، مقیاس سطح خاصی از جزئیات ثبت شده است که در مواردی مانند زمان، مکان یا سطح سازمانی به کار برده می‌شود (Wiens, 2002). مقیاس با دو مفهوم دانه‌بندی[۹] و گستره[۱۰]، هم برای موضوعات مکانی و هم موضوعات زمانی، مشخص می‌شود (شکل ۱). دانه‌بندی مکانی، کوچکترین جزء قابل تفکیک مکانی در یک مجموعه داده است که در نقشه‌های رستری به اندازه سلول و در نقشه‌های وکتوری به کوچکترین پلی‌گون به عنوان واحد نقشه اطلاق می‌شود.گستره مکانی نیز به کل منطقه مورد مطالعه اشاره دارد. در حقیقت، گستره محدوده‌ای است که

کل مشاهدات را تحت پوشش قرار می‌دهد و بر اساس آن بزرگترین پدیدهٔ قابل مشاهده یا طولانی‌ترین فرآیند قابل ردیابی توصیف می‌شود (زبردست و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول (۱): تعاریف مربوط به اصطلاحات و مفاهیم مقیاس

اصطلاح	تعریف
مقیاس مطلق	فاصله، جهت، شکل و هندسه واقعی
مقیاس کارتوگرافی	نسبت فاصله روی نقشه به همان فاصله روی زمین. در کارتوگرافی، بزرگ مقیاس به معنای وضوح بالا و کوچک مقیاس به معنای وضوح پایین است.
گستره مکانی	اندازه منطقه مورد مطالعه یا مدت زمان مورد مطالعه
برون‌یابی	برای پی بردن به مقادیر ناشناخته از طریق مقادیر شناخته شده؛ جهت برآورد یک مقدار از شرایط آرگومان که در فرآیند تخمین از آن استفاده نشده است؛ برای تبدیل اطلاعات: — از یک مقیاس به مقیاس دیگر (اندازه هر دو grain و extent) — از یک سیستم (یا مجموعه داده) به یک سیستم دیگر در همان مقیاس.
دانه‌بندی	کوچکترین سطح قابل تفکیک مکانی یا زمانی در یک مجموعه داده معین.
سلسله مراتب	سیستم ارتباطات متقابل یا سازمانی که در آن سطوح بالاتر، سطوح پایین‌تر را به درجات مختلفی بسته به محدودیت‌های زمانی کنترل و محدود می‌کنند.
هولون	معرف ماهیتی است که مانند یک دریچه دو طرفه، از طریق آن محیط بر اجزا و اجزا به عنوان واحدی از کل بر محیط تاثیر می‌گذارد.
سطح سازمانی	هر مرتبه یا سطحی درون یک سلسله مراتب (به عنوان مثال، موجود زنده، گروهی از موجودات، جمعیت)
مقیاس نسبی	فاصله، جهت یا ابعاد نسبی بر اساس برخی روابط
توان تفکیک	دقت اندازه‌گیری؛ مانند اندازه دانه بندی اگر توان تفکیک مکانی مد نظر باشد.
مقیاس	بعد مکانی یا زمانی یک موضوع یا فرآیند مشخص شده توسط دو پارامتر grain و extent.

کاربرد این دو مفهوم در تصاویر سنجش از دور کاملا مشخص است. سنجنده‌های ماهواره‌های مختلف اندازه سلول‌ها یا دانه‌بندی‌های متفاوتی دارند که در هرکدام از این تصاویر می‌توان جزئیات متفاوتی را به دلیل تفاوت در اندازه دانه‌بندی به‌دست آورد. اگرچه بین دانه‌بندی و گستره مکانی همبستگی وجود دارد اما گستره مکانی می‌تواند به صورت مستقل از دانه‌بندی نیز باشد؛ به عنوان مثال، یک گستره مکانی کوچک نیازمند دانه‌بندی با اندازه کوچک است. زمانی که یک الگو، فرآیند و یا یک پدیده وابسته به مقیاس بدین معنا است که این الگوها و فرآیندها بر اساس اندازه دانه‌بندی یا گستره مکانی تغییر می‌کنند. اشنایدر[۱۱] (۱۹۹۴)، فرآیندهای وابسته به مقیاس را به این صورت توصیف می‌کند که در آن اندازه فرآیندها با نرخ تقریبا مشخصی بر اساس قدرت تفکیک مکانی یا گستره مکانی تغییر می‌کنند. در حقیقت، مقیاس مورد مطالعه، ارتباط متقابل بین گستره و دانه‌بندی است که یکدیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهند (زبردست و همکاران، ۱۳۹۴) بوم‌شناسان و جغرافی‌دان‌ها تعاریف متضادی از مفاهیم کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس دارند. مقیاس کارتوگرافی[۱۲] معمولا به صورت نسبت یا کسر فاصله بر روی نقشه به همان فاصله بر روی سطح زمین است که بر روی نقشه‌ها یا عکس‌های هوایی نشان داده می‌شود (به عنوان مثال ۱:۱۰۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰۰۰). در حالی‌که واژه بزرگ مقیاس[۱۳] از دیدگاه جغرافی‌دان‌ها و نقشه‌نگارها به معنای توان تفکیک مکانی بسیار بالا است (به عنوان مثال ۱:۵۰۰) که در عمل به معنای یک نقشه بسیار بزرگ از یک گستره مکانی کوچک است. همچنین، به کار بردن واژه کوچک مقیاس[۱۴]، به معنای توان تفکیک بسیار پائین یا نقشه‌ها یی از مناطق وسیع که دربرگیرندهٔ جزئیات بسیار کمی است (به عنوان مثال، ۱:۲۵۰۰۰۰). به کار بردن اصطلاحات کوچک مقیاس یا بزرگ مقیاس توسط جغرافی‌دانان درست در مقابل آن چیزی است که بوم‌شناسان به کار می‌برند. به منظور جلوگیری از این سردرگمی، توصیه شده است که در مطالعات سیمای سرزمین برای مفهوم مقیاس از اصطلاحات خرد[۱۵] و وسیع[۱۶] استفاده شود، به طوری که مقیاس خرد به مناطق کوچک با توان تفکیک بالا و جزییات بیشتر اشاره دارد و مقیاس وسیع به مناطق بزرگ با توان تفکیک پایین‌تر و جزئیات کمتر اشاره دارد.



شکل (۱): دو جزء مقیاس مکانی؛ (الف) grain و (ب) Extent؛ تعداد سلول‌های تشکیل دهنده یک واحد داده جدید (به عنوان مثال، اندازه grain جدید) با n و کل منطقه مطالعاتی یا گستره مکانی با a نشان داده شده است.

بر اساس مطالعه زبردست و همکاران (۱۳۹۴)، مقیاس با ابعاد فیزیکی در ارتباط است. به طوری که مقیاس خرد به الگوهای یک ناحیه کوچک و مقیاس وسیع به الگوهای یک ناحیه وسیع ارتباط دارد. در مقیاس وسیع اغلب فرایندهای فیزیکی و در مقیاس کوچک اغلب فرایندهای بیولوژیکی بررسی می‌شود. مقیاس انتخاب شده برای انجام هر مطالعه، به عنوان مثال، اندازه شبکه، طول ترانسکت، وسعت منطقه سرشماری یا اندازه سلول‌های شبکه در داده‌های سنجش از دور، بر پاسخ عددی به‌دست آمده از آن مطالعه تاثیرگذار است. بوم‌شناسان در مطالعه غنای گونه‌ای یک جامعه به این نتیجه رسیدند که تعداد گونه‌های شناسایی شده به صورت مجانبی بر اساس اندازه منطقه افزایش می‌یابد. از این‌رو، جهت جلوگیری از استنباط‌های نادرست به دلیل عدم تطابق در مقیاس، قبل از تخمین غنای گونه‌ای منطقه باید اندازه منطقه مورد مطالعه از دو بعد مکانی و یا زمانی تعیین گردد. از دیگر ملاحظات جهت استفاده از اصطلاح مقیاس، تمایز بین مقیاس مطلق[۱۷] و مقیاس نسبی[۱۸] است. به طورکلی، مقیاس مطلق معادل با فاصله، زمان، مساحت واقعی و امثال آن است. از سوی دیگر، می‌توان فاصله را نسبت به مقدار انرژی مورد نیاز یک گونه برای جابه‌جایی بین نقاط مختلف یک سیمای سرزمین در نظر گرفت که معادل مقیاس نسبی است. به طور مثال، هنگام حرکت یک گونه بین دو نقطه نزدیک به هم، ممکن است نقاط بر اثر موانعی از جمله قله‌های مرتفع یا رودخانه‌ها از هم جدا شده باشند؛ که در این صورت گونه برای پیمایش بین آن دو نقطه نیازمند صرف انرژی بیشتری باشد. از طرفی دیگر، ممکن است این دو نقطه دورتر از هم واقع شده باشند اما مابین آن‌ها زمین‌های همواری باشد که در این حالت حرکت و انتقال گونه بسیار آسان‌تر خواهد بود و فاصله نسبی نزدیکتری خواهد داشت.

در مطالعات سیمای سرزمین سه موضوع ابعاد مقیاس، انواع مقیاس و اجزاء مقیاس باید مورد توجه قرار گیرد. مقیاس دارای سه بعد مکانی، زمانی و سازمانی است. زمان یک فاکتور بسیار کلیدی در درک فرآیندهای اکولوژیکی است به طوری که توجه به بعد زمانی مقیاس در کنار بعد مکانی و فضایی از نظر حضور منابع و گونه‌ها بسیار حاز اهمیت است. تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای انواع مقیاس‌ها وجود دارد به طوری که برخی از این تقسیم‌بندی‌ها عبارتند از: مقیاس ذاتی[۱۹]، مقیاس مشاهداتی[۲۰]، مقیاس آزمایشگاهی[۲۱]، مقیاس تحلیل[۲۲] و مقیاس سیاست‌گذاری[۲۳]. همچنین، برای مقیاس اجزاء و عناصری از جمله مقیاس نقشه، دانه‌بندی، گستره، پوشش و فاصله‌گذاری[۲۴] قابل تصور است (زبردست و همکاران، ۱۳۹۴).

برون‌یابی[۲۵]، به معنای تلاش درجهت تخمین مقادیر اندازه‌گیری نشده بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده داخل محدوده موردنظر است. بر اساس تعریفی دیگر، برون‌یابی اطلاعات از یک مقیاس به مقیاس دیگر است که ممکن است زمانی، مکانی و یا هر دو باشد (Wu & Li, 2006). همچنین برون‌یابی به انتقال اطلاعات از یک مقیاس به مقیاس دیگر (اعم از اندازه دانه‌بندی یا گستره) و یا از یک سیستم (یا مجموعه داده) به سیستم دیگر، در همان مقیاس گفته می‌شود. دستیابی به انواع روش‌ها و الگوریتم‌های انجام عمل برون‌یابی در مقیاس‌ها و یا در سیماهای سرزمین به یک موضوع تحقیقاتی بسیار مهم در حوزه بوم‌شناسی سیمای سرزمین تبدیل شده است. هدف از برون‌یابی، دستیابی محققان به تمام داده‌های مورد نیاز خود در تمامی مقیاس‌ها است. در برخی موارد ممکن است برون‌یابی به صورت خطی (رابطه خطی یک متغیر با تغییرات مقیاس) باشد. اگر رابطه غیرخطی و دارای آستانه‌های بحرانی باشد، به طوری که در آن یک تغییر ناگهانی در وضعیت وجود داشته باشد، عمل برون‌یابی با مشکل مواجه می‌شود.

مسائل و مشکلات مربوط به مقیاس

بوم‌شناسان سیمای سرزمین به دلایل مختلفی از جمله مشکلات بالقوه در درک یا پیش‌بینی ویژگی‌های اکولوژیکی یک منطقه وسیع، مسائل منطقی مربوط به نمونه‌برداری در مناطق وسیع و همچنین مشکلات آماری مربوط به موضوع مقیاس به عنوان مشکلات و یا چالش‌ها اشاره دارند (Hurlbert, 1984; Hargrove and Pickering, 1992). با این حال، مدت زمان مدیدی است که مسائل مربوط به مقیاس در علوم جغرافیا که بر روی توزیع مکانی پدیده‌های طبیعی و انسانی تمرکز دارد، به خوبی شناخته شده است. هاگت[۲۶] (۱۹۶۳) سه مشکل اصلی در ارتباط با مقیاس را در شرایطی که مقیاس به عنوان مانعی در تحقیقات جغرافیایی تلقی می‌شود شناسایی کرده است.

۱. مشکل پوشش‌دهی مقیاس[۲۷]: پوشش، شدت نمونه‌برداری در زمان و مکان را نشان می‌دهد؛ این مشکل به عنوان اولین مشکل مربوط به مقیاس توسط یونانیان باستان شناخته شده است. سطح زمین به قدری وسیع است که این وسعت به خودی خود یک مشکل بزرگی در نقشه‌سازی و درک تغییرات مکانی به‌شمار می‌رود. اگر هدف از علم جغرافیا «ارائه توصیف و تفسیر دقیق، منظم و منطقی از ویژگی‌های متغیر سطح زمین» باشد، بنابراین اهمیت این مشکل دوچندان خواهد شد.

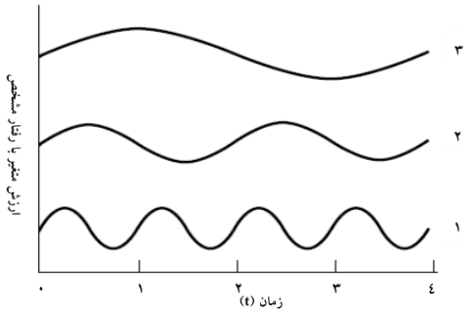
۲. مشکل تعمیم مقیاس[۲۸]: پیامد مستقیم مشکل تعمیم مقیاس و یا مقیاس دهی این است که اغلب کار میدانی محدود به مناطق نسبتا کوچک است که منجر به ایجاد نوعی مشکل در تعمیم داده‌ها از جمله مقیاس خرد به مقیاس مکانی وسیع‌تر می‌گردد. مک‌کارتی[۲۹] و همکاران (۱۹۵۶) عنوان کردند که «در پژوهش‌های جغرافیایی، نباید انتظار داشت که نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده در یک مقیاس خاص برای حل مسائل در مقیاسی دیگر به کار گرفته شود. هرگونه تغییر در مقیاس مشکل جدیدی را به همراه خواهد داشت و هیچ مبنایی در اثبات این فرضیه وجود ندارد که روابط شناسایی شده در یک مقیاس، در مقیاس دیگری هم وجود داشته باشد». این موضوع به خوبی توصیف‌کننده مشکل کاربردی مقایسه داده‌های حاصل از مقیاس‌های متفاوت است.

۳. مشکل استانداردسازی مقیاس: قابلیت مقایسه مکان‌های مختلف، برون‌یابی از یک مکان به مکان دیگر و یا جمع‌آوری انواع مختلف داده‌ها برای یک مکان خاص تحت تاثیر چگونگی جمع‌آوری داده‌ها و شیوه گزارش‌دهی است. هر بوم‌شناس سیمای سرزمینی که با مجموعه پایگاه‌های داده سامانه اطلاعات جغرافیایی کار کرده باشد، به احتمال زیاد به این نوع از مشکلات آگاه است. هاگت (۱۹۶۳) بیان کرد که در مطالعات صورت گرفته توسط جغرافی‌دان‌ها، بیشتر داده‌های اجتماعی برای مناطق گزارش شده‌اند تا نقاط (برای مثال، واحدهای سرشماری، شهرستان‌ها، استان‌ها، کشورها) و این که این مناطق از نظر اندازه و شکل هم در داخل و هم در بین کشورها بسیار متفاوت هستند. مساله در نظر گرفتن مرزهای سیاسی که بر واحدهای اکولوژیکی مانند آبخیزها منطبق نیستند، برای بوم‌شناسان بسیار حائز اهمیت است. امروزه توسعه روش‌هایی برای ترکیب انواع مختلف داده‌ها (به عنوان مثال، اندازه‌های مربوط به نقطه یا پهنه) به عنوان یک موضوع کاربردی در حوزه‌های پژوهشی در نظر گرفته شده است.

مقیاس و نظریه سلسله مراتبی

مفاهیم مقیاس و سلسله مراتب[۳۰] به صورت جدایی‌ناپذیری با هم مرتبط هستند. در ادبیات بوم‌شناسی، اصطلاح سلسله مراتب با مفهوم سطوح سازمانی شناخته می‌شود (O'Neill et al., 1986). در ساده‌ترین سری (سلول، موجود زنده، جمعیت، جامعه) هر سطح از سطوح پایین‌تر تشکیل شده است و خود این سطح نیز جزئی از سطح بالاتر است. سطوح سازمانی در واقع ساختار سلسله مراتبی را نشان می‌دهند (Rowe, 1961) اما تنها این دیدگاه ساده از سلسله مراتب برای توصیف کامل طیف وسیعی از فرآیندها و مقیاس‌ها در علم بوم‌شناسی کافی نیست. بین مقیاس و سطوح سازمانی تمایز وجود دارد اما در بوم‌شناسی، نظریه سلسله مراتب توجه قابل ملاحظه‌تری به موضوع مقیاس دارد. سلسله مراتب به عنوان سیستمی از ارتباطات متقابل تعریف می‌شود که در آن سطوح بالاتر دربرگیرنده سطوح پایین‌تر هستند. مفهوم سلسله مراتب سابقه‌ای طولانی دارد اما کتاب کوستلر[۳۱] (۱۹۶۷) با عنوان «شبحی در ماشین[۳۲]» باعث ایجاد نقطه عطفی در این زمینه شده است. در هر سطحی از سلسله مراتب عناصر و بخش‌ها یی تحت عنوان «هولون[۳۳]» وجود دارند که هم کل و هم جز به شمار می‌روند. برای مثال، یک موجود زنده، به عنوان یک هولون، می‌تواند با دیگر موجودات زنده ارتباط برقرار کند، زیرا هر دو در یک مقیاس زمانی و مکانی عمل می‌کنند؛ اما یک موجود زنده نمی‌تواند با یک بیوم در تعامل باشد زیرا دامنه مقیاس آن‌ها متفاوت

است. برای موجود زنده، بیوم یک پس‌زمینه نسبتا ثابت یا زمینه‌ای است که عملکرد خود گونه در آن اتفاق می‌افتد. بنابراین، مقیاس زمانی به عنوان معیار مهمی در شناسایی سطوح یک سلسله مراتب عمل می‌کند و مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلفی برای کنترل عملکرد گونه وجود دارند. در یک سیستم سلسله مراتبی، سطوح بر اساس تفاوت در نرخ یا فراوانی فرآیندهای مشخص در آن‌ها از هم تشخیص داده می‌شوند (شکل ۲).



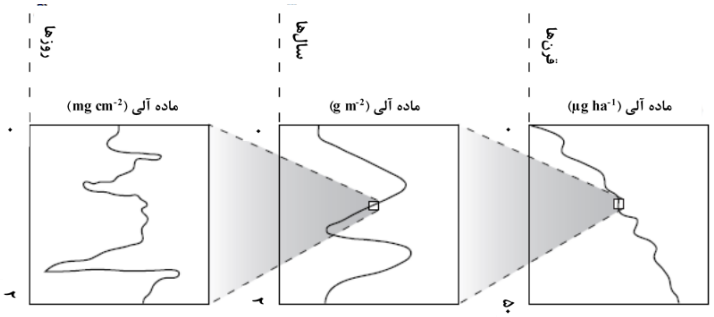
شکل (۲): ارزش متغیرهای مربوط به یک سطح از سلسله مراتب بوم‌شناختی که بر اساس زمان تغییر می‌کنند. خط ۳ یک متغیر آهسته است که به عنوان محدودیت برای سطوح پایین‌تر عمل خواهد کرد؛ این متغیر ممکن است آنقدر به آهستگی تغییر کند که به عنوان یک متغیر ثابت توسط ناظر درک شود. خط ۲ ممکن است مقیاسی باشد که در آن ناظر بتواند تغییرات را در سیستم اندازه‌گیری کند. خط ۱، متغیر سریعی است که ممکن است تغییرات آن بسیار سریع باشد به طوری که به عنوان یک متغیر ثابت درک شود.

بر اساس نظریه سلسله مراتبی، در هر مطالعه‌ای در نظر گرفتن حداقل سه سطح از سلسله مراتب یک مفهوم بسیار کاربردی و حائز اهمیت است. سطح کانونی یا سطح مورد مطالعه تابعی از سوال یا هدف مطالعه است. برای مثال، در پاسخ به سوال «تاثیر گیاه‌خواری حشره بر روی نرخ رشد درخت چیست؟» نیازمند تمرکز بر روی درختان منفرد است. در حالی که، سوال «تاثیر گیاه‌خواری حشره بر روی توزیع درختان زنده و مرده در یک سیمای سرزمین چیست؟» نیازمند تمرکز بر روی جنگل به عنوان یک کل است. بنابراین دو سطح دیگر نیز باید در نظر گرفته شوند. سطح بالاتر از سطح کانونی سطوح پایین‌تر را کنترل و محدود می‌کند و زمینه را برای سطح کانونی فراهم می‌کند. در مقابل، سطح پایین‌تر از سطح کانونی، جزییات مورد نیاز برای توضیح رفتارهای مشاهده شده در سطح کانونی را فراهم می‌کند.

از دیگر موضوعات مهم این است که اگرچه ممکن است متغیرهای اثرگذار بر یک فرایند خاص با تغییر در مقیاس تغییر کنند یا خیر، اما با تغییر مقیاس زمانی و مکانی، اهمیت متغیرها یا جهت رابطه آن‌ها نیز تغییر می‌کند. به عنوان مثال، پیش‌بینی نرخ تجزیه مواد آلی در مقیاس محلی نیازمند اطلاعات دقیقی از میکروکلیما، تغییرپذیری محیطی و خصوصیات لاشبرگ مانند محتوای لیگنین آن‌ها است. با این حال، پیش‌بینی سرعت تجزیه در مقیاس منطقه‌ای تا مقیاس جهانی می‌تواند صرفا بر اساس اطلاعات دما و بارش انجام شود (Meentemeyer, 1984). مطالعات مربوط به مرگ و میر نهال‌های بلوط در مقیاس‌های محلی در غرب ایالت متحده نشان داد که مرگ و میر با افزایش بارش کاهش می‌یابد. در حالی که مطالعات صورت گرفته در مقیاس منطقه‌ای نشان داد که مرگ و میر در عرض‌های جغرافیایی خشک کاهش یافته است (Neilson & Wullstein, 1983). کارپنتر و کیچل[۳۴] (۱۹۸۷)، با استفاده از یک مدل اکوسیستم آبی، همبستگی میان اجزاء اکوسیستم را مورد مطالعه قرار دادند. با بررسی ارتباط میان تولیدات جلبک و زی‌توده زئوپلانکتون در یک فاصله زمانی سه روزه، همبستگی منفی مشاهده شد. اما با در نظر گرفتن یک بازه زمانی شش روزه، پویایی فصلی مواد مغذی حائز اهمیت و ارتباط میان تولید جلبک و بیوماس زئوپلانکتون نتیجه همبستگی مثبت شد. این نتایج به ظاهر متناقض در نتیجه‌ی بررسی روابط موردنظر در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت نشان می‌دهد که تغییر در مقیاس منجر به تغییر در فرایندهای مهم می‌شود. از این‌رو، گسترش چارچوب زمانی مشاهده یک سیستم ممکن است منجر به مشاهدات و نتایج متفاوتی از عملکرد سیستم گردد (Sollins et al., 1983; Magnuson, 1990). نتایج حاصل از فرآیندهای مختلف در مقیاس‌های زمانی متفاوت آشکار می‌شود و ممکن است که نتیجه‌گیری در مورد تغییر جهت از لحاظ کیفی با افزایش بازه زمانی مشاهدات تغییر کند (شکل ۳).

نظریه سلسله مراتب نیز نشان می‌دهد که در یک سیمای‌سرزمین به‌دلیل وجود مقیاس‌های چندگانه، فرآیندها و الگوهای مختلف نیز وجود دارند. در یک سیمای جنگلی، آن دسته از فرآیندهایی که باعث ایجاد الگو می‌شوند را در نظر بگیرد. در مقیاس‌های مکانی یا زمانی وسیع، فرآیندهای ژئومورفولوژی منجر به توزیع بستر زمین و خاک می‌شوند که خود این مساله بر توزیع گونه‌های درختی متفاوت در موقعیت‌های متفاوت اثرگذار خواهد بود. در یک جنگل در حال تکامل، الگو و فراوانی اختلالات بزرگی مانند آتش‌سوزی و یا عامل بیماری‌زا، ممکن است در یک سیمای سرزمین منجر به ایجاد یک نوع الگوی درشت دانه از مراحل

مختلف توالی گردد. ممکن است فرآیندهای محلی مرگ درختان منفرد در نتیجه شکاف‌های کوچک موجود در تاج پوشش درختان در یک سیمای جنگلی باشد. در مجموع، ممکن است که الگوی مکانی جوامع جنگلی در هر زمان مشخص در یک سیمای سرزمین منعکس‌کننده این سه فرآیند ذکر شده در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف باشد. تجزیه‌وتحلیل الگوی مکانی جوامع جنگلی در یک سیمای سرزمین می‌تواند به خوبی آشکارکننده مقیاس‌های چندگانه از الگوها باشد (Kuuluvainen et al., 1998).



شکل (۳): تغییرات پویایی مواد آلی خاک با تغییر در مقیاس زمانی مشاهده. پنجره مشاهدات روزانه (چپ) نوسانات سریعی را در بستر خود به دلیل باد و فعالیت بندپایان نشان می‌دهد. در طول مقیاس زمانی سالانه (پنجره میانی)، الگوهای فصلی تجزیه آشکار است. در مقیاس زمانی قرن (راست)، انباشت مواد آلی با نوسانات مربوط به توالی مشاهده می‌شود.

بر اساس نظریه سلسله مراتبی، باید در ابتدا هدف مطالعه تعیین و سپس به طور مستقیم بر روی مقیاس مناسب آن هدف متمرکز شد؛ زیرا هیچ مقیاس واحدی برای مطالعه سیمای سرزمین یا هر سیستم اکولوژیکی دیگری وجود ندارد و با تغییر مقیاس، فرایندهای مربوطه و یا حتی جهت روابط نیز ممکن است تغییر کند. در نهایت، می‌بایست مقیاس مدنظر بر اساس هدف یا پدیده‌های مورد مطالعه مشخص شود.

به طورکلی، هدف از طبقه‌بندی واحدهای جغرافیایی برای بوم‌شناسان سیمای سرزمین، سازماندهی سرزمین در سلسله مراتبی است که کاربرد آن‌ها را در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری آسان و هموار می‌سازد. بنابراین، واحد جغرافیایی در این مکتب بر طبق اهداف برنامه‌ریزی راهبردی و عملیاتی نامگذاری شده است و بر همین اساس نام‌هایی مانند زمین، اکولوژی، منطقه/ ناحیه، بیوفیزیک، سیستم زمین، اشکال زمین، واحدهای تشکیل‌دهنده زمین، واحدهای محیطی، جغرافیایی، گیاهی و زمین‌شناسی، اکوسیستم و حتی سیمای سرزمین، یا واحدهای سیمای سرزمین نام گرفتند. جدول (۲) سلسله مراتب واحدهای نقشه در مطالعات سیمای سرزمین و جدول (۳) واحدهای مختلف نقشه با مقیاس مربوط را نشان می‌دهد (حسینی و رستمی، ۱۳۹۶).

جدول (۲): سلسله مراتبی از واحدهای نقشه مرتبط با اکولوژی سیمای سرزمین

واحد نقشه	سطوح	مقیاس
Ecoregion, Ecozone Sub zone	جهانی	>۱۰۱۲
Macro region Meso region Micro region	منطقه‌ای	۱۰۸-۱۰۱۲
Macrochore (main landscape) Mesochore (land system) Microchore (land facet) Nano chore Ecotope (site)	ناحیه‌ای	۱۰۴-۱۰۸
Patch, matrix, corridor (discrete spatial connection) Mosaic pattern (sequence, process and change) Connectivity and fragmentation (spatial processes)	توپولوژیکی	۱۰۲-۱۰۴

جدول (۳): واحدهای نقشه

واحدهای نقشه	مقیاس
Ecoregion	1:1/000/000-1:3/000/000
Ecodistrict	1:125/000-1:500/000
Ecosection	1:50/000-1:250/000
Ecosite	1:10/000-1:50/000
Ecoelement	1:10/000-1:25/000

شناسایی مقیاس صحیح

این که هیچ مقیاس صحیح[۳۵] و یا سطح توصیف کننده سیستم وجود ندارد، به این معنا نیست که تمام مقیاس‌ها به یک اندازه خوب عمل می‌کنند و یا این که هیچ قوانینی برای مقیاس‌بندی وجود ندارد (Levin, 1992). در حال حاضر، توسعه قوانینی برای شناسایی یک مقیاس صحیح برای پاسخ به یک سوال خاص به یک موضوع مهم پژوهشی تبدیل شده است. توسعه آمار فضایی منجر به ارائه‌ی تکنیک‌های مختلفی در جهت شناسایی مقیاس می‌گردد. تکنیک‌های آمار فضایی می‌توانند در جهت شناسایی مقیاس‌های مکانی که در آن نقاط نمونه‌برداری دارای همبستگی هستند استفاده شوند. داده‌های مقایسه شده در مقیاس‌ها یی که همبستگی آن‌ها نزدیک به صفر است می‌توانند به عنوان مستقل آماری در نظر گرفته شوند که یک فرضیه بسیار مهم برای بسیاری از آزمون‌های آماری است.

مفاهیمی همانند همسایگی اکولوژیکی[۳۶] (Addicott et al., 1987) از توزیع فراوانی برای مولفه‌های زمانی و مکانی رفتار موجودات زنده جهت تعیین مقیاس صحیح تجزیه و تحلیل‌ها استفاده می‌کند. به طور مثال، در ابتدا فرآیندی مانند غذایابی یا تولید مثل انتخاب و بر فعالیت آن موجود زنده جهت تعیین مقیاس مکانی مربوط به آن فرآیند خاص نظارت می‌شود. گستره مکانی که بیشترین فعالیت موجود زنده مربوط به آن فرآیند خاص را دربر می‌گیرد، مناسب‌ترین مقیاس برای مطالعه‌ی این فرایند خاص است. از رگرسیون چندگانه نیز می‌توان برای کمی‌سازی قدرت توضیحی[۳۷] مجموعه‌ای از متغیرها در مقیاس‌های متفاوت استفاده کرد (Pearson, 1993; Pearson et al., 1995; Gergel et al., 1999). این رویکرد در ابتدا توسط پیرسون[۳۸] (۱۹۹۳) جهت بررسی رابطه میان حضور و فراوانی پرندگان زمستان‌گذر در گرجستان، ایالت متحده و شمال‌غرب ایتالیا استفاده شد (Rescia et al., 1997; Sisk et al., 1997; Elliot et al., 1999; Estades and Temple, 1999). بر اساس این رویکرد، هیچ مقیاس واحدی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های بوم‌شناسان وجود ندارد. در نهایت، شناسایی مجموعه‌ای از مقیاس‌های مناسب و یا تجزیه‌وتحلیل چند مقیاسی می‌بایست به عنوان علم شناخت و تفسیر مقیاس همچنان به رشد خود ادامه دهد.

مقیاس‌پذیری عمودی- مقیاس‌پذیری به سمت بالا

کاربرد مقیاس در درصد بالایی از مقالات پژوهشی در حوزه علوم فیزیک و مهندسی مشاهده می‌شود. همچنین، مسائل مربوط به مقیاس برای زیست‌شناسان که به طور معمول از مقیاس‌گذاری آللومتریک شکل و عملکرد نسبت به اندازه بدن استفاده می‌کنند، آشنا است. در واقع، بیشتر بوم‌شناسان با روابط بین ویژگی‌های تاریخچه زندگی مانند طول عمر، طول نسل، باروری و اندازه بدن در حیوانات آشنا هستند. اشنایدر (۱۹۹۴) اظهار داشت که «مهمترین ویژگی تحلیل ریاضی، کمیت مقیاس‌گذاری شده است که از طریق اندازه‌گیری یا محاسبات حاصل از اندازه‌گیری‌ها به‌دست می‌آید». در مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین نیز مسائل برون‌یابی به مقیاس‌های زمانی و مکانی وسیع‌تر و یا مقیاس‌پذیری عمودی[۳۹] همچنان موضوعی پیشرو است. بوم‌شناسان از این جهت که بیشتر اندازه‌گیری‌ها در مقیاس‌های نسبتا خرد انجام می‌شوند و نیازمند پیش‌بینی در مقیاس‌های وسیع‌تر هستند، ابراز نگرانی دارند؛ به طوری که چالش‌های مقیاس‌پذیری به سمت بالا در دو حالت زیر است (King, 1991).

- تعریف صحیح ناهمگنی مکانی و زمانی اطلاعات در مقیاس خرد،
- ادغام یا تجمیع صحیح این ناهمگنی به مقیاس‌های وسیع‌تر .

ساده‌ترین رویکرد جهت انجام مقیاس‌گذاری در مکان، ضرب اندازه‌گیری های انجام شده در مقیاس (به عنوان مثال در واحد سطح) جهت پیش‌بینی در یک مقیاس وسیع‌تر است. برای مثال، مقدار زیستوده سرپا برای یک جنگل ۱۰۰۰۰ هکتاری از طریق ضرب مقدار زیستوده اندازه‌گیری شده در یک محدوده یک هکتاری در عدد ۱۰۰۰۰ تخمین زده می‌شود. این رویکرد توسط کینگ[۴۰](۱۹۹۱) تحت عنوان «گروه‌سازی، ادغام، یا توده‌سازی[۴۱]» نام گرفته است. در این رویکرد فرض بر این است که ویژگی‌های سیستم با تغییر مقیاس تغییر نمی‌کند و سیستم در مقیاس وسیع‌تر رفتاری مانند میانگین سیستم خرد مقیاس دارد. از دیدگاه مدل‌سازی، این فرض تنها در صورتی برقرار است که معادلات توصیف کننده سیستم به صورت خطی باشند. گروه‌سازی از این جهت که منجر به سوگیری قابل توجهی می‌گردد شناخته شده است، زیرا در فرآیند مقیاس‌پذیری، این رویکرد تغییرپذیری (زمانی یا مکانی) در نظر گرفته نمی‌شود و تغییرات غیرخطی متغیر مورد نظر را با تغییر مقیاس نادیده می‌گیرد (Rastetter et al., 1992). ماهیت این سوگیری به ویژگی‌های مکانی و/یا غیرخطی بودن‌ها در سیستم بستگی دارد (O’Neill, 1979a, b) و از این رویکرد

می‌بایست تنها با در نظر گرفتن خطاهای احتمالی و انحرافات ممکن استفاده شود.

رویکرد افزایشی[۴۲] نتیجه یک توسعه و پیشرفت بر روی رویکرد ضربی ساده برای مقیاس‌گذاری است که تغییرات مکانی درون یک منطقه از یک گستره مکانی نسبتا بزرگ را اندازه‌گیری می‌کند. کینگ (۱۹۹۱) دو روش کلی برای این نوع مقیاس‌گذاری را شناسایی کرده است:

۱. برون‌یابی مستقیم[۴۳]: برون‌یابی مستقیم به عنوان اولین روش از داده‌ها یا مدل‌های شبیه‌سازی بر اساس تعدادی از عناصر گسسته و مجزا در یک سیمای سرزمین استفاده می‌کند. برای مثال، بر خلاف این فرضیه که زیستوده در سراسر جنگل ۱۰۰۰۰ هکتاری یکسان است، مقدار زیستوده بر اساس سن و ترکیب توده تغییر می‌کند و می‌توان این تنوع مکانی را از طریق نقشه‌سازی و یا استفاده از تصاویر سنجش از دور محاسبه کرد. در این مورد، از اندازه‌گیری های میدانی برای برآورد مقدار زیستوده در هر طبقه استفاده می‌شود و سپس با ضرب آن مقدار در مساحت هر طبقه درون محدوده سیمای جنگلی ۱۰۰۰۰ هکتاری و مجموع نتایج، میزان زیستوده کل به‌دست می‌آید. طبق نظر کینگ (۱۹۹۱)، این رویکرد احتمالا پرکاربردترین رویکرد است. رویکرد برون‌یابی مستقیم برای ارزیابی مقادیری مانند زیستوده یا تولید خالص اولیه که فاقد برهمکنش مکانی هستند و یا مربوط به ویژگی‌ها یی باشند که از طریق سنجش از دور و در پهنه‌های وسیع اندازه‌گیری شوند (مانند رنگ اقیانوس، ترکیب پوشش گیاهی) به خوبی عمل می‌کند.

۲. برون‌یابی بر اساس مقادیر مورد انتظار[۴۴]: روش دوم، برون‌یابی از طریق مقادیر مورد انتظار است. الگوریتم کلی برای این رویکرد مستلزم مواردی از جمله (۱) یک مدل شبیه‌سازی برای رفتار محلی یک سیستم؛ (۲) یک سیمای سرزمین بزرگتر از آنچه که مدل در آن برون‌یابی می‌شود؛ (۳) توزیع فراوانی متغیرهایی که توصیف کننده ناهمگونی سیمای سرزمین هستند؛ و (۴) محاسبه مقادیر مورد انتظار از رفتار سیستم به عنوان تابعی از متغیرهای توصیف کننده ناهمگونی سیمای سرزمین است. در این رویکرد منبع اصلی خطا در تخمین احتمال یا توزیع فراوانی متغیرهای سیمای سرزمین نهفته است. بهرحال، مشابه رویکرد برون‌یابی مستقیم، این رویکرد نیز تداخلات مکانی را به حساب نمی‌آورد.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که خطا یا واریانس مربوط به اندازه‌گیری اصلی نیز باید جهت برآورد اعتماد به پیش‌بینی‌ها در مقیاس وسیع‌تر نیز مقیاس‌گذاری شود. با این حال، شناخت مساله راحت‌تر از حل آن مساله است؛ در یک مقیاس ممکن است که فواصل اطمینان حول اندازه‌گیری انجام شده به طور مستقیم قابل تعمیم به مقیاس دیگری نباشد (Schneider, 1994). برخی از مقادیر در واریانس با افزایش مقیاس افزایش می‌یابند (Platt & Denman, 1975; Ripley, 1978; Caswell & Cohen, 1995; Cohen et al., 1998) و این زمانی اتفاق می‌افتد که گستره مشاهدات افزایش می‌یابد و با ناهمگونی محیطی بیشتری مواجه می‌گردد. برای مثال، دمای هوای یک منطقه کوچک ممکن با دمای متوسط، فرضا ۱۱ درجه سانتی‌گراد، با دامنه مقادیر ۱± درجه سانتی‌گرادی بیان شود. با افزایش گستره از لحاظ پستی و بلندی، محدوده‌ها یی با دماهای ۲۴–۶ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شود که منجر به افزایش واریانس حتی در صورت ثابت ماندن میانگین می‌شوند. بنابراین، با افزایش اندازه دانه‌بندی، ممکن است سلولی که با یک دما مشخص شده است تنوع بیشتری به خود بگیرد.

راستر[۴۵] و همکاران (۱۹۹۲) و وینز[۴۶] و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد دادند که برای مقیاس‌گذاری، ترکیبی از رویکردها مورد نیاز است. رویکرد ضربی را می‌توان به عنوان اولین روش تخمین با تشخیص به این که ممکن است در برخی موارد کارآمد اما در موارد دیگر غیرقابل اجرا باشد، پیاده‌سازی کرد. جزییات بیشتر را می‌توان در صورت نیاز یا از طریق بهبود محاسبات در مقیاس‌های خردتر (Wiens et al., 1993) برای کاهش خطا در تبدیل به مقیاس وسیع‌تر و یا با شناسایی زیر واحدهای مکانی که می‌توان برون‌یابی را بر اساس مجموع آن‌ها به‌دست آورد، اضافه کرد (Rastetter et al., 1992). برای اولین بار مندلبورت[۴۷] (۱۹۶۷) اشاره کرد که برای کمی‌سازی تغییرات اندازه‌گیری شده با تغییر در مقیاس می‌توان از روابط هندسی ساده استفاده کرد (Rastetter et al., 1992). این مفهوم جدید بر اساس یک رابطه توزیع توانی (رابطه ۱) بین مقیاس خط‌کش و طول اندازه‌گیری شده سواحل بریتانیا نشان داده شده است.

$$L(\lambda) = K\lambda^{1-D} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه، L طول ساحل، K ضریب ثابت، λ مقیاس خط‌کش و D ابعاد آن موضوع است. محدوده مقیاس‌ها یی که رابطه توزیع توانی بر آن اعمال می‌شود، تعیین‌کننده محدوده خود

هدف است. برخلاف ساختار هندسی ساده (مربع، دایره و غیره)، D همیشه به صورت عدد صحیح نیست و ممکن است عدد کسری باشد. ساختارهایی با مقدار D کسری به عنوان فراکتال شناخته می‌شوند و از زمان معرفی توسط مندلبورت (۱۹۶۷)، جهت پرداختن به مشکلات مقیاس و سلسله مراتب فراکتال‌ها تاثیر زیادی داشته‌اند (Sugihara and May, 1990).

ماهیت فرکتالی بسیاری از موضوعات تایید شده است (Hastings & Sugihara, 1993) و رابطه توزیع توانی برای شناسایی مقیاس‌هایی که در آن ممکن است فرآیندها منجر به تغییر الگوها شوند، مورد استفاده قرار گرفته است (Krummel et al., 1987). بعد فرکتال ممکن است برای هر نوع موضوع یا پدیده‌ای تخمین زده شود اما به تنهایی تضمین‌کنندهٔ یک رابطه خود همانندی[۴۸] یا مقیاس‌گذاری نیست (محدوده رابطه توزیع توانی ممکن است بسیار کوچک باشد). استفاده از فرکتال‌ها برای برون‌یابی در مقیاس‌های مختلف نیازمند (۱) برآورد بعد فرکتال (D) و (۲) اعتبارسنجی محدوده رابطه توزیع توانی است. از طرفی دیگر، روند معکوس مقیاس‌پذیری افزایشی یعنی مقیاس‌پذیری کاهشی[۴۹] نیز حائز اهمیت است. به عنوان مثال، الگوهای دما و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های گردش عمومی که برای شبیه‌سازی تغییرات بالقوه در اقلیم جهانی استفاده می‌شوند به طور معمول دارای توان تفکیک پایین ۱ تا ۲ درجه هستند. دما و بارش درون مناطقی با مساحت ۱۰۰×۱۰۰ کیلومتر به طور قابل‌توجهی متفاوت است و این تغییرات برای فرآیندهای اکولوژیکی محلی بسیار حائز اهمیت است (Lynn et al., 1995; Kennedy, 1997; Russo & Zack, 1997). درک اهمیت توسعه‌ی انواع روش‌های برون‌یابی اطلاعات از دانه‌بندی‌های وسیع به دانه‌بندی‌های خرد با استفاده از فناوری‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی رو به افزایش است. با این حال، پیشرفت در این عرصه به دلیل افزایش داده‌های مورد نیاز برای تایید این نوع برون‌یابی به کندی پیش می‌رود.

نتیجه‌گیری

مقیاس یک موضوع بسیار کلیدی در بوم‌شناسی سیمای سرزمین است که با دو اصطلاح دانه‌بندی و گستره تعریف می‌شود. توصیف و درک الگوها و فرآیندها در مناطق وسیع بسیار دشوار است؛ زیرا مشاهدات ما تحت تاثیر مقیاسی است که در آن مطالعه انجام می‌شود. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه هنوز روش‌های کلی برون‌یابی اطلاعات در مقیاس‌های مختلف هنوز وضع نشده است. نظریه سلسله مراتب نیز ارتباط نزدیکی با مقیاس دارد و چارچوبی جهت سازماندهی پیچیدگی سیستم‌های اکولوژیکی فراهم می‌کند. سلسله مراتب به عنوان سیستمی از ارتباطات متقابل تعریف می‌شود که در آن سطوح بالاتر، سطوح پایین‌تر را به درجات مختلفی محدود و کنترل می‌کنند. مطالعات بوم‌شناسی می‌بایست سه سطح (۱) سطح کانونی، (۲) یک سطح بالاتر که فراهم‌کننده محدودیت زمینه است و (۳) سطح پایینی که تعیین‌کننده مکانیسم است را به عنوان یک سلسله مراتب در نظر بگیرند.

مقیاس اغلب در تلاش برای برون‌یابی مطالعات بوم‌شناسی برای مقیاس‌های بزرگتر و یا کوچکتر به وجود می‌آید و این امکان را فراهم می‌کند که چندین قانون اصلی برای برون‌یابی لحاظ شود. اولا، ممکن است تغییرات مقیاس در یک فضای همگن، نه در شرایط ناهمگونی مکانی، نادیده گرفته شود. میانگین پویا را می‌توان برای یک منطقه بزرگتر تنها زمانی اعمال کرد که منطقه از لحاظ ویژگی‌های مورد نظر همگن باشد. در صورت وجود ناهمگونی مکانی که به صورت تصادفی و نه با یک الگوی ساختار یافته باشد، می‌توان از میانگین به اضافه واریانس جهت تعمیم اندازه‌گیری‌های محلی به مقیاس وسیع‌تر استفاده کرد. دوما، طبق نظریه فرکتال، تا زمان عدم تغییر فرآیندها و شرایط، ممکن است تحت شرایط خاصی ارزش‌ها در مقیاس‌های مختلف برون‌یابی شوند. سوما، زمانی که ناهمگنی مکانی با دینامیک غیرخطی و همچنین امکان تغییرات عمده ترکیب شود، برون‌یابی به یک مساله بسیار دشوار تبدیل می‌شود که در حال حاضر هیچ راه‌حلی برای آن وجود ندارد. به طورکلی، هیچ مقیاس صحیحی برای مطالعات بوم‌شناسی سیمای سرزمین وجود ندارد. مقیاس‌ها باید بر اساس سوال و یا هدف مطالعه انتخاب شوند. با این حال، شناسایی مقیاس مناسب یک موضوع چالش برانگیزی است و توسعه روش‌های انجام این کار موضوع پژوهش‌های حال حاضر است. درواقع، بیشتر موضوعات مطرح شده در این بخش مجهولات زیادی به همراه دارند. موضوعی که بوم‌شناسان هنوز به دنبال آن هستند این است که چگونه دانشی را که در مورد الگوها و فرآیندهایی که در مقیاس‌های مختلف به دست آورده‌اند، هنگام توسعه مطالعات میدانی و مدل‌ها و روش‌های برون‌یابی در مقیاس‌ها و سیمای سرزمین به کار گیرند.

یادداشت‌ها

1. Fine
2. Quadrat
3. Extrapolating
4. Spatial
5. Temporal
6. Level of Organization
7. Hierarchy
8. Deme
9. Grain
10. Extent
11. Schneider
12. Cartographic scale
13. Large scale
14. Small scale
15. Fine-scale
16. Broad scale
17. Absolute scale
18. Relative scale
19. Intrinsic Scale
20. Observation Scale
21. Experimental Scale
22. Analysis Scale
23. Policy Scale
24. Spacing
25. Extrapolation
26. Haggett
27. Coverage
28. Linkage
29. McCarty
30. Hierarchy Theory
31. Koestler
32. The Ghost in the Machine
33. Holon
34. Carpenter and Kitchell
35. Right scale
36. Ecological neighborhoods
37. Explanatory power
38. Pearson
39. Scaling up
40. King
41. Lumping
42. Additive approach
43. Direct extrapolation
44. Extrapolation by expected value
45. Rastetter
46. Wiens
47. Mandelbrot
48. Self-similar
49. Scaling down

منابع

زبردست، لعبت؛ یاوری، احمدرضا؛ پریور، پرستو؛ و ستوده، احد. (۱۳۹۴). مقدمه‌ای بر مفاهیم پایه اکولوژی سیمای سرزمین با کاربرد در برنامه‌ریزی محیط زیست. انتشارات آوای قلم، ص ۱۷۹.

زبیری، محمود؛ و دالکی، احمد. (۱۳۸۸). اصول تفسیر عکس‌های هوائی با کاربرد در منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۴ ص.

حسینی، سید محسن. و رستمی، سجاد. (۱۳۹۶). اکولوژی سیمای سرزمین. انتشارات پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، صص ۳۲۸.

Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D.K., Richardson, J.S., & Soluk, D.A. (1987). Ecological neighborhoods: scaling environmental patterns. Oikos, 49:340–346.

Allen, T. F. H. (1998). The landscape “level” is dead: persuading the family to take it off the respirator. In D. L. Peterson and V. L. Parker, eds. Ecological Scale, pp. 35–54. Columbia University Press, New York, New York, USA.

Allen, T. F. H., & Hoekstra, T. W. (1992). Toward a Unified Ecology. Columbia University Press, New York, New York, USA.

Carpenter, S. R., & Kitchell, J. F. (1987). Plankton community structure and limnetic primary production. American Naturalist, 124:159–172.

Caswell, H., & Cohen, J. E. (1995). Red, white, and blue—environmental variance spectra and coexistence in metapopulations. Journal of Theoretical Biology, 176:301–316.

Chen, L. D., Yang, L., Yihe, L., Feng, X., & Fu, B.-J. (2008). Pattern analysis in landscape ecology: progress, challenges, and outlook. Acta Ecologica Sinica, 28, 5521-5531. https://doi.org/10.1016/S1872-2032(09)60011-1.

Cohen, A. E., Gonzalez, A., Lawton, J. H., Petchey, O. L., Wildman, D., & Cohen, J. E. (1998). A novel experimental apparatus to study the impact of white noise and 1/f noise on animal populations. Proceedings of the Royal Society of London Series B—Biological Sciences, 265:11–15.

Elliott, N. C., Kieckhefer, R. W., Lee, J. H., & French, B. W. (1999). Influence of within-field and landscape factors on aphid predator populations in wheat. Landscape Ecology, 14:239–252.

Estades, C. F., & Temple, S. A. (1999). Deciduous forest bird communities in a fragmented landscape dominated by exotic pine plantations. Ecological Applications, 9:573–585.

Gergel, S. E., Turner, M. G., & Kratz, T. K. (1999). Scale-dependent landscape effects on north temperate lakes and rivers. Ecological Applications, 9:1377–1390.

Greig-Smith, P. (1952). The use of random and contiguous quadrants in the study of the structure of plant communities. Annals of Botany, 16:293–316.

Hargrove, W. W., & Pickering, J. (1992). Pseudoreplication: a sine qua non for regional ecology. Landscape Ecology, 6: 251–258.

Hagget, P. (1963). Scale components in geographical problems. In R. J. Chorley and P. Haggett, eds. Frontiers in Geographical Teaching, pp. 164–185. Methuen & Company Limited, London, UK.

Hastings, H. M., & Sugihara, G. (1993). *Fractals: A User's Guide for the Natural Sciences*. Oxford University Press, New York, New York, USA.

Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs, 54: 187–211.

Kennedy, A. D. (1997). Bridging the gap between general circulation model (GCM) output and biological microenvironments. *International Journal of Biometeorology*, 40:119–122.

King, A. W. (1991). Translating models across scales in the landscape. *In* M. G. Turner and R. H. Gardner, eds. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, pp. 479–517. Springer Verlag, New York, New York, USA.

Koestler, A. (1967). The Ghost in the Machine. Macmillan, New York, New York, USA. Kolasa, J. 1989. Ecological systems in hierarchical perspective: breaks in community structure and other consequences. Ecology, 70:36–47.

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.

Kuuluvainen, T., Kimmo, S., & Kalliola, R. (1998). Structure of a pristine Picea abies forest in northeastern Europe. Journal of Vegetation Science, 9:563–574.

Levin, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology. Ecology, 73:1943–1983.

Lynn, B. H., Rind, D., & Avissar, R. (1995). The importance of mesoscale circulations generated by subgrid-scale landscape heterogeneities in general-circulation models. Journal of Climate, 8:191–205.

Magnuson, J. J. (1990). Long-term ecological research and the invisible present. BioScience, 40:495–501.

McCarty, H. H., Hook, J. C., & Knos, D. S. (1956). The Measurement of Association in Industrial Geography. University of Iowa, Department of Geography Report 1:1–143. Ames, Iowa, USA.

Meentemeyer, V. (1984). The geography of organic decomposition rates. Annals of the Association of American Geographers, 74:551–560.

Mandelbrot, B. B. (1967). How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. Science, 165, 636-638. http://dx.doi.org/10.1126/science.156.3775.636

Neilson, R. P., & Wullstein, L. H. (1983). Biogeography of two southwest American oaks in relation to atmospheric dynamics. Journal of Biogeography, 10:275–297.

O'Neill, R. V., S. J. Turner, V. I. Cullinan, D. P. Coffin, T. Cook, W. Conley, J. Brunt, J. M. Thomas, M. R. Conley, & J. Gosz. (1991b). Multiple landscape scales: an intersite comparison. Landscape Ecology 5:137–144.

O'Neill, R. V., D. L. DeAngelis, J. B. Waide, & T. F. H. Allen. (1986). A Hierarchical Concept of Ecosystems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

O'Neill, R. V. (1979a). Natural variability as a source of error in model predictions. In G. S. Innis and R. V. O'Neill, eds. Systems Analysis of Ecosystems, pp. 23–32. International Cooperative Publishing House, Fairland, Maryland, USA.

O'Neill, R. V. (1979b). Transmutation across hierarchical levels. In G. S. Innis and R. V. O'Neill, eds. Systems Analysis of Ecosystems, pp. 58–78. International Cooperative Publishing House, Fairland, Maryland, USA.

Pearson, S. M., M. G. Turner, L. L. Wallace, & W. H. Romme. (1995). Winter habitat use by large ungulates following fires in northern Yellowstone National Park. Ecological Applications 5:744–755.

Pearson, S. M. (1993). The spatial extent and relative influence of landscape-level factors on wintering bird populations. Landscape Ecology, 8:3–18.

Platt, T., & Denman, K. L. (1975). Spectral analysis in ecology. Annual Review of Ecology and Systematics, 6:189–210.

Rastetter, E. B., King, A. W., Cosby, B. J., Hornberger, G. M., O'Neill, R. B., & Hobbie, J. E. (1992). Aggregating fine-scale ecological knowledge to model coarser-scale attributes of ecosystems. Ecological Applications, 2:55–70.

Rescia, A. J., Schmitz, M. F., deAgar, P. M., dePablo, C. L., & Pineda, F. D. (1997). A fragmented landscape in northern Spain analyzed at different spatial scales: implications for management. Journal of Vegetation Science, 8:343–352.

Ripley, B. D. (1978). Spectral analysis and the analysis of patterns in plant communities. Journal of Ecology 66:965–981.

Rowe, J. S. (1961). The level-of-integration concept and ecology. Ecology 42:420–427. Rowe, J. S., and G. W. Scotter. 1973. Fire in the boreal forest. Quaternary Research, 3:444–464.

Russo, J. M., & Zack, J. W. (1997). Downscaling GCM output with a mesoscale model. Journal of Environmental Management, 49:19–29.

Schneider, D. C. (1994). Quantitative Ecology: Spatial and Temporal Scaling. Academic Press, San Diego, California, USA.

Sisk, T. D., Haddad, N. M., & Ehrlich, P. R. (1997). Bird assemblages in patchy woodlands: modeling the effects of edge and matrix habitats. Ecological Applications, 7:1170–1180.

Sollins, P., Spycher, G., & Topik, C. (1983). Processes of soil organic matter accretion at a mudflow chronosequence, Mt. Shasta, California. Ecology, 64:1273–1282.

Sugihara, G., & May, R. M. (1990). Applications of fractals in ecology. Trends in Ecology and Evolution, 5:79–86.

Turner, M.G., Gardner, R.H., & O'Neill, R.V. (2015). Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 417 Pp.

Wiens, J.A. (2002). Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. Freshwater Biology, 47(4), 501-515.

Wiens, J. A., Stenseth, N. C., Van Horne, B., & Ims, R. A. (1993). Ecological mechanisms and landscape ecology. Oikos 66:369–380.

Wu, J., Li, H. (2006). Concept of Scale and scaling. J. WuIn, scaling, and uncertainty in Ecology: Methods and Applications (Pp. 3-15), Netherlands: Springer.

Scale in Landscape Ecology: Concepts, Challenges, and Solutions

Shiva Gharibi[*1], Majid Makhdoum Farkhondeh[2]

1. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 2024/06/28 Accepted: 2023/11/01)

Abstract

Scale is a prominent topic in landscape ecology and it is one of the fundamental elements in environmental studies, and the answers obtained for a specific ecological question are strongly dependent on the study's scale. Scale influences the outcomes and their applicability to other places, times, and scales. The improper use of terminology related to the right scale leads to ambiguity in studies. Scale refers to the spatial or temporal dimension of an object or a process, and this is distinct from the level of organization, which is used to identify a place within a biotic hierarchy. Scale is characterized by grain, the finest spatial or temporal resolution level of a data set, and extent, the total size of the overall study area or the time. Scientifically, the numerical values obtained from a specific measurement are influenced by the scale. Scale issues are problematic for several reasons. The magnitude of describing and understanding patterns and processes over large areas is enormous because the study's scale influences observations. Second, collecting and comparing data across different study scales is complex and time-consuming. Although considerable progress is being made, general methods for extrapolating information across scales have not yet been established. There is no right scale for landscape ecological studies. Scales must be selected based on the question or objective of a study. However, identifying the appropriate scale remains challenging, and developing methods for doing so remains a topic of current research.

Keywords: Grain, Extent, Hierarchy, Extrapolation, Landscape Ecology

* Corresponding author: Email: Shiva.Gharibi@uok.ac.ir
DOI: 10.22034/EIAT.2025.217689