Archive of SID

جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۱۹، تابستان ۱۳۹۵
صص. ۹۸-۸۹

ارزیابی تغییرات مکانی جانداران خاکزی و تاج‌پوشش درختان با استفاده از نظریّهٔ فرکتال (مطالعهٔ موردی: جنگل‌های حاشیهٔ رودخانهٔ مارون)

شایسته غلامی* - استادیار جنگلداری، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
احسان صیاد - دانشیار جنگلداری، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
حمید طالشی - مربّی جنگلداری، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰ **پذیرش:** ۱۳۹۵/۰۳/۷

چکیده

از آنجا که پایداری پوشش گیاهی در جنگل‌های حاشیهٔ رودخانه، نقش حیاتی در حفظ اکوسیستم دارد، احیا و مدیریت آن برای پایداری عملکرد بوم‌سازگان ضروری است. در این جنگل‌ها، توزیع مکانی جانداران خاکزی و پوشش گیاهی به عنوان شاخص‌های مهمّ پایداری، تحت تأثیر عوامل متعدّدی قرار داشته و الگوی آنها دارای نوسانات بسیار است. در بررسی حاضر از نظریّهٔ فرکتال به منظور توصیف تغییرات مکانی تاج‌پوشش درختان و تنوّع زیستی ماکروفون خاک در جنگل‌های حاشیهٔ رودخانهٔ مارون در استان خوزستان استفاده شده است. قطعه‌نمونه‌ها بر روی ترانسکت‌هایی با فاصلهٔ ۱۰۰ متر از یکدیگر و عمود بر رودخانه برای جمع‌آوری ماکروفون خاک واقع شدند. فاصلهٔ قطعه‌نمونه‌های ماکروفون از یکدیگر ۵۰ متر انتخاب گردید. سپس ماکروفون خاک در قطعه‌نمونه‌هایی با ابعاد ۵۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک و به روش دستی جمع‌آوری شدند. شاخص‌های تنوّع جانداران خاکزی شامل یکنواختی (شلدون)، تنوّع (شانون) و غنا (منهنیک) محاسبه شدند. همچنین درصد تاج‌پوشش کل، تاج‌پوشش پده، گز و سریم، در قطعه نمونه‌هایی به ابعاد ۵ متر × ۵ متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که میزان ضریب تغییرات شاخص‌های تنوّع زیستی جانداران خاکزی و تاج‌پوشش پده، گز و سریم، زیاد است. همچنین هیچ‌کدام از متغیّرها، خودهمبستگی ندارند که در واقع تأییدکنندهٔ عدم وجود ساختار مکانی مشخّص آنهاست. بررسی نحوهٔ پراکنش متغیّرها نشان می‌دهد که نوسانات شدیدی در منطقه وجود دارد و تغییرات مکانی دارای ساختار و نظام‌مندی مشخّصی نیست و مقدار بُعد فرکتالی متغیّرها نیز بالاست. در واقع با افزایش سطح مطالعاتی، تغییرات مکانی متغیّرها با جزئیات بیشتری آشکار می‌شود.

واژگان کلیدی: بعد فرکتال، تنوّع جانداران خاکزی، تاج‌پوشش، ساختار مکانی، خودهمبستگی.

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۸۳۸۱۱۱۹۱
E-mail: Shaiestegholami@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدّمه

امروزه از میان رویکردهای جدیدی که برای نشان‌دادن و تفسیر تخریب‌ها و مشکلات ناشی از افزایش جمعیّت جهانی، کاهش منابع و کیفیّت محیط زندگی بشر به وجود آمده‌اند، موضوع پایداری اکوسیستم از رویکردهای مهمّی است که همهٔ سیستم‌های طبیعی از مقیاس محلّی تا جهانی را دربر می‌گیرد. از آنجا که پایداری پوشش گیاهی در جنگل‌های حاشیهٔ رودخانه، نقش حیاتی در حفظ اکوسیستم دارد، احیا و مدیریت آن برای پایداری عملکرد بوم‌سازگان ضروری است. در نواحی حاشیهٔ رودخانه، تغییرات مکانی جانداران خاکزی و پوشش گیاهی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، زیستی و انسانی بوده و الگوی توزیع آنها دارای نوسانات بسیار است. ویژگی‌های خاک، روند تجزیه و محتوای غذایی در این جنگل‌ها، بسیار متغیّر و در فواصل کوتاه، تغییرات زیادی رخ می‌دهد (وری[1] و همکاران، ۲۰۰۰) که می‌تواند عامل مهمّی در افزایش تغییرات و نوسانات تنوّع زیستی خاک و پوشش گیاهی باشد.

این جنگل‌ها از نظر حفظ آب و جلوگیری از فرسایش خاک اهمّیّت فراوان دارند و فاقد تولیدات صنعتی هستند. از این رو، هنگامی که هدف، برآورد مشخّصه‌ای از این جنگل‌ها باشد، بیشتر بر تاج‌پوشش آنها تکیه می‌شود زیرا عاملی که در ایفای نقش حفاظتی این جنگل‌ها مؤثّر است سطح تاج آنهاست. تاج‌پوشش درختان از متغیّرهای اساسی و تأثیرگذار بر ساختار کف جنگل و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است (سونگ[2] و همکاران، ۲۰۱۴). از طرفی، برای آگاهی در مورد عملکرد این سیستم‌های بوم‌شناختی و احیا و مدیریت پوشش گیاهی، بررسی تنوّع زیستی خاک با تمرکز روی جانداران درشت خاکزی که نقش عمده را در عملکرد بوم‌سازگان بازی می‌کنند بهترین گزینه خواهد بود (باریوس[3]، ۲۰۰۷).

تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی متغیّرهای محیطی مانند ماکروفون خاک و گیاه نیازمند به کارگیری مفاهیم و روش‌های آماری خاص است (محمدی و رییسی، ۱۳۸۲). آنالیز تغییرات مکانی، عامل مهمّی برای فهم عملکرد اکوسیستم است (لیبهولد و گورویچ[4]، ۲۰۰۲). تابع نظری خودهمبستگی، یکی از مهم‌ترین ابزارهای تبیین و صورت‌بندی خصوصیات مختلف فرایندهای تصادفی ایستا است. یک فرایند ایستا، هیچ‌گونه تغییرات نظام‌مند و سیستماتیکی در میانگین و واریانس ندارد؛ به عبارت دیگر، ایستایی دلالت بر نظم رفتاری می‌کند (محمدی، ۱۳۸۶: ۶۰).

خودهمبستگی در صورتی ایجاد می‌شود که نمونه‌ها دارای همبستگی مکانی باشند (دورمن[5] و همکاران، ۲۰۰۷). زمانی که در یک متغیّر همبستگی مکانی[6] وجود داشته باشد، نمونه‌های نزدیک‌تر شباهت بیشتری به هم دارند تا نمونه‌های دورتر، در این حالت، اصطلاحاً گفته می‌شود که این نمونه‌ها دارای خودهمبستگی[7] هستند. چنانچه متغیّر مورد بررسی فاقد خودهمبستگی و دارای نوسانات شدید کوتاه دامنه باشد، در واقع مشاهدات مجاور هم غیر همبسته و مستقل از یکدیگر هستند (محمدی، ۱۳۸۶: ۶۵).

در علوم زیست‌محیطی تصوّر اینکه چنین نوسانات و تغییرات، فاقد ساختار قابل توصیفی هستند مشکل و با واقعیّت انطباق ندارد. به عنوان مثال با افزایش مقیاس مشاهداتی می‌توان اقدام به استخراج ساختاری نظام‌دار از

1- Verry
2- Song
3- Barrioss
4- Leibhold & Gurevitch
5- Dorman
6- Spatial Dependency
7- Autocorrelation

www.SID.ir

Archive of SID

درون نوسانات تصادفی به ظاهر نویز سفید نمود که در مقیاس‌های مکانی مختلف تکرارپذیر است. بدین ترتیب، ماهیت سلسله‌مراتبی بودن تغییرات و نوسانات مکانی یک متغیّر ناحیه‌ای را می‌توان با به کارگیری مفهوم فرکتال[1] که بیان‌کنندهٔ نسبی بودن تغییرات است به صورت کمی توصیف کرد (بوروگ[2]، ۱۹۸۳). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که بسیاری از خصوصیات خاک و گیاه دارای رفتاری فرکتالی است. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، تاج پوشش درختان دارای ساختار فرکتالی است (گودین[3] و همکاران، ۲۰۰۴)؛ بنابراین با استفاده از نظریّهٔ فرکتال می‌توان الگوی تغییرات مکانی و یا زمانی آنها را بررسی کرد (بوروگ، ۱۹۸۱). فرکتال برای رفع مشکلات موجود در توصیف پدیده‌های طبیعی در علوم بیولوژی و اکولوژی استفاده می‌شود زیرا اندازه‌گیری مشخّصه‌های طبیعت با ویژگی‌های پیچیده به وسیلهٔ هندسهٔ اقلیدسی امکان ندارد. بُعد فرکتالی برای توضیح اندازهٔ پیچیدگی در این علوم به کار می‌رود (لانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۴؛ آگارد و هاتویگسن[5]، ۲۰۱۴).

در جنگلداری، هندسهٔ فرکتالی در ارزیابی تراکم توده، توالی جنگل و توصیف و تحلیل فرم درختان به کار رفته است (ویلم[6]، ۱۹۹۴؛ پترسون[7] و همکاران، ۱۹۹۸؛ انکویست[8] و همکاران، ۱۹۹۹؛ لانگ و همکاران، ۲۰۱۴)؛ همچنین در زمینهٔ تنوّع زیستی نیز پترسون و همکاران (۱۹۹۸)، ساختار فرکتالی در عوامل مؤثّر بر تنوّع گونه‌ای یافتند. برای ارزیابی الگوی مکانی جوامع گیاهی نیز، لی (۲۰۰۰) از اصول هندسهٔ فرکتالی استفاده نمود.

جنگل‌های طبیعی که در حاشیهٔ رودخانه‌های دائمی استان خوزستان عرصهٔ وسیعی را پوشانده‌اند، با وجود اهمّیّت بسیار زیاد، با تخریب فراوان مواجه‌اند (غلامی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجا که پایداری پوشش گیاهی در این مناطق نقش حیاتی در نگهداری اکوسیستم دارد، احیا و مدیریت آن برای پایداری عملکرد اکوسیستم ضروری است (گیس[9] و همکاران، ۲۰۰۰)؛ بنابراین اگر بتوان با استفاده از روشی مناسب، توصیف دقیقی از الگوی توزیع تاج‌پوشش و ماکروفون خاک در این جنگل‌ها انجام داد، بی‌شک در برنامه‌ریزی و مدیریت آنها نقش بسزایی خواهد داشت. هدف پژوهش حاضر، توصیف الگوی تغییرات مکانی تاج‌پوشش درختان و تنوّع جانداران درشت خاکزی در جنگل‌های حاشیهٔ رودخانهٔ مارون با به کارگیری نظریّهٔ فرکتال است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه، بخشی از جنگل‌های حاشیهٔ رودخانهٔ مارون در جنوب شرقی استان خوزستان است که در طول جغرافیایی ″۵۳ ′۳۸ °۳۰ تا ۳۸ ′۳۹ °۳۰ و عرض جغرافیایی ″۳۷ ′۹ °۵۰ تا ۲۵ ′۱۰ °۵۰ قرار دارد (شکل ۱). مساحت این منطقه، ۶۵ هکتار و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر است. میانگین بارش سالانه ۳۵۰/۰۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۴/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است (سایت هواشناسی استان خوزستان). پوشش غالب این جنگل‌ها، پده[10]، گز[11] و سریم[12] است.

1- Fractal Concept
2- Burrough
3- Godin
4- Long
5- Agaard & Hartvigsen
6- Willem
7- Peterson
8- Enquist
9- Giese
10- Populus Euphratica Olivier
11- Tamarix Arceuthoides Bge.
12- Roemer & Schultes Lycium shawii

www.SID.ir

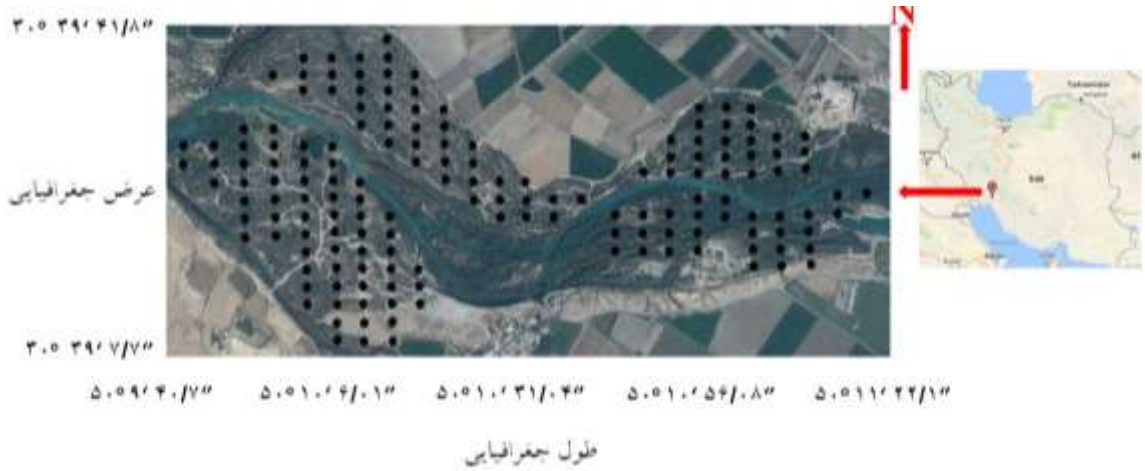
Archive of SID

نمونه‌برداری

در این پژوهش، تعداد ۱۷۵ قطعه‌نمونه بر روی ۲۴ ترانسکت (با طول متفاوت و فاصلهٔ ۱۰۰ متر از یکدیگر) عمود بر رودخانه برای جمع‌آوری ماکروفون خاک واقع شدند. فاصلهٔ قطعه‌نمونه‌های ماکروفون از یکدیگر ۵۰ متر انتخاب گردید. سپس ماکروفون خاک در قطعه‌نمونه‌هایی با ابعاد ۵۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک و به روش دستی جمع‌آوری شدند (گونگالسکی[1] و همکاران، ۲۰۰۸). جانداران پس از انتقال به آزمایشگاه تا سطح خانواده شناسایی و تعدادشان ثبت شد (کلمن[2] و همکاران، ۲۰۰۴). سپس شاخص‌های تنوّع زیستی جانداران خاکزی شامل یکنواختی (شاخص شلدون[3])، تنوّع (شانون[4]) و غنا (منهینیک[5]) با نرم‌افزار پست[6] پست[6] نسخهٔ ۳/۰۴ محاسبه شدند. اندازه‌گیری معیارهای غنا، یکنواختی و تنوّع توسّط شاخص‌هایی صورت می‌گیرد که مهم‌ترین آنها شاخص‌های ذکرشده هستند (مصداقی،۱۳۸۰: ۱۳۱-۱۲۹). همچنین تاج‌پوشش کلّ درختان، تاج‌پوشش پده، گز و سریم نیز در قطعه‌نمونه‌هایی به ابعاد ۵ متر × ۵ متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

خودهمبستگی[7]

فقدان استقلال بین دو مشاهده را می‌توان به صورت عددی و توسّط برخی از شاخص‌های آماری مانند همبستگی مورد ارزیابی قرار داد. تابع خودهمبستگی اقدام به سنجش همبستگی بین دو متغیّر X(t) و X(t+τ) می‌کند (τ: گام). مقدار تابع خودهمبستگی بین ۱- و ۱+ در تغییر است؛ بنابراین، اهمّیّت نسبی مقدار خودهمبستگی برآوردشده را می‌توان از طریق مقایسه با مقادیر کرانه‌ای یادشده مورد ارزیابی قرار داد. خودهمبستگی در صورتی ایجاد می‌شود که نمونه‌ها دارای همبستگی مکانی باشند (محمدی، ۱۳۸۶: ۴۱-۳۶). تابع خودهمبستگی را می‌توان از طریق نمودارها و شاخص‌های مختلف محاسبه نمود (دورمن و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق، نمودار خودهمبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 محاسبه شده است.



شکل ۱. موقعیّت منطقهٔ مورد مطالعه در کشور و نقاط نمونه در منطقه. در شکل سمت چپ محلّ نمونه‌ها که با فاصلهٔ ۵۰ متر از یکدیگر روی ترانسک‌هایی با فاصلهٔ ۱۰۰ متر از هم و عمود بر رودخانه قرار گرفته‌اند نشان داده شده است.

1- Gonglanski
2- Coleman
3- Sheldon
4- Shannon H’
5- Menhinick
6- PAST
7- Autocorrelation

www.SID.ir

Archive of SID

نظریّهٔ فرکتال

هندسهٔ فرکتال عبارت از هندسهٔ پدیده‌ها و سیستم‌های ناهموار با مرز ناصاف و شکل نااقلیدسی است. در واقع، هندسهٔ فرکتال، بیان ریاضی از معماری طبیعت است (هولینگ، ۱۹۹۲). هندسهٔ فرکتال برخلاف هندسهٔ اقلیدسی روش بهتری برای توضیح پدیده‌های طبیعی است و ساختارهای پیچیدهٔ جوامع گیاهی از جمله جنگل‌ها را به خوبی می‌تواند ارزیابی کند (آگارد و هاتویگسن، ۲۰۱۴). زبانی که این هندسه به وسیلهٔ آن بیان می‌شود الگوریتم نام دارد که با آن، اشیای مرکّب می توانند به فرمول‌ها و قوانین ساده تری ترجمه و خلاصه شوند. اشکال فرکتال با فرایندهای پویا تولیدشده و دارای خاصیت خودهمانندی هستند که بیان‌کنندهٔ تشابه ظاهری در یک و یا تمامی جهات و مقیاس‌هاست، به عبارت دیگر، خودتشابهی آماری بیان کنندهٔ حالتی است که الگوی تغییرات مورد نظر در یک مقیاس معیّن، در دیگر مقیاس‌ها نیز تکرار می‌شود (بوروگ، ۱۹۸۳).

به منظور توصیف خودتشابهی در یک پدیده از متغیّری به نام بعد فرکتالی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ بعد فرکتالی پدیده‌های طبیعی وجود دارد. بورو از تابع سمی‌واریانس به عنوان ابزاری برای محاسبهٔ بعد فرکتالی متغیّرهای محیطی استفاده کرد (بوروگ، ۱۹۸۱). وی از لگاریتم سمی‌واریانس به عنوان تابعی از لگاریتم فاصله و مناسب‌ترین خطّ برگشت برازش داده شده به آن استفاده کرد. از آنجا که مقدار عددی D[1] انعکاسی از نوسانات کوتاه‌دامنه و بلنددامنه در فضای مورد مطالعه است؛ بنابراین، مقادیر بزرگتر D نشان‌دهندهٔ اهمّیّت و غالب‌بودن تغییرات کوتاه‌دامنه و برعکس هستند. در شرایط نویز سفید (زمانی که نمونه‌ها دنباله‌ای از متغیّرهای تصادفی ناهمبسته، مستقل و دارای واریانس متناهی هستند)، شیب خط برابر صفر بوده و در نتیجه بعد فرکتال مساوی ۲ خواهد بود. این بدان معناست که مقادیر متوالی اندازه‌گیری‌شده برای یک متغیّر تقریباً مستقل از یکدیگر بوده و هیچ‌گونه وابستگی مکانی بین مقادیر مورد نظر نمی‌توان تصوّر کرد. از دیگر سو، چنانچه یک روند خطّی ساده در مقادیر اندازه‌گیری‌شده وجود داشته باشد در این صورت، شیب خط برابر ۲ و بعد فرکتالی مساوی یک است. بدین ترتیب، حداقل نوسانات نقطه به نقطه بین مقادیر مشاهداتی وجود داشته و تغییرات به طور عمده از نوع بلنددامنه هستند (محمدی و رییسی، ۱۳۸۲). استفاده از هندسهٔ فرکتالی در اکولوژی، باعث درک بهتر فرایندها و پدیده‌های طبیعی می‌شود و یک روش مناسب برای ارزیابی ساختار و الگوی پراکنش مکانی جوامع گیاهی با ساختار فرکتال و کمی‌کردن ویژگی‌های آنهاست (آگارد و هاتویگسن، ۲۰۱۴). بعد فرکتال متغیّرها، از طریق نرم‌افزار GS^{+} 5.1 محاسبه شد.

نتایج

خلاصهٔ آماری داده‌های درصد تاج‌پوشش گونه‌های درختی، یکنواختی (شاخص شلدون)، تنوّع (شانون) و غنای ماکروفون خاک (منهینیک) در جدول ۱ آمده است. نتایج حاصل از جدول خلاصهٔ آماری و آزمون نرمال نشان دادند که توزیع داده‌ها در مورد همهٔ متغیّرها از توزیع نزدیک به نرمال پیروی می‌کند. همچنین با توجّه به مقادیر پایین چولگی در مورد این متغیّرها و نزدیک‌بودن میانگین و میانه (جدول ۱) در مورد آنها که می‌تواند بیانگر توزیع نسبتاً نرمال این متغیّرها باشد (محمدی، ۱۳۸۵: ۷۶) آنالیزها برحسب داده‌های اصلی صورت گرفت.

خودهمبستگی

نمودارهای خودهمبستگی متغیّرهای مورد بررسی در شکل ۲ آمده است. برای داشتن خودهمبستگی باید مقادیر

1- Fractal Dimension

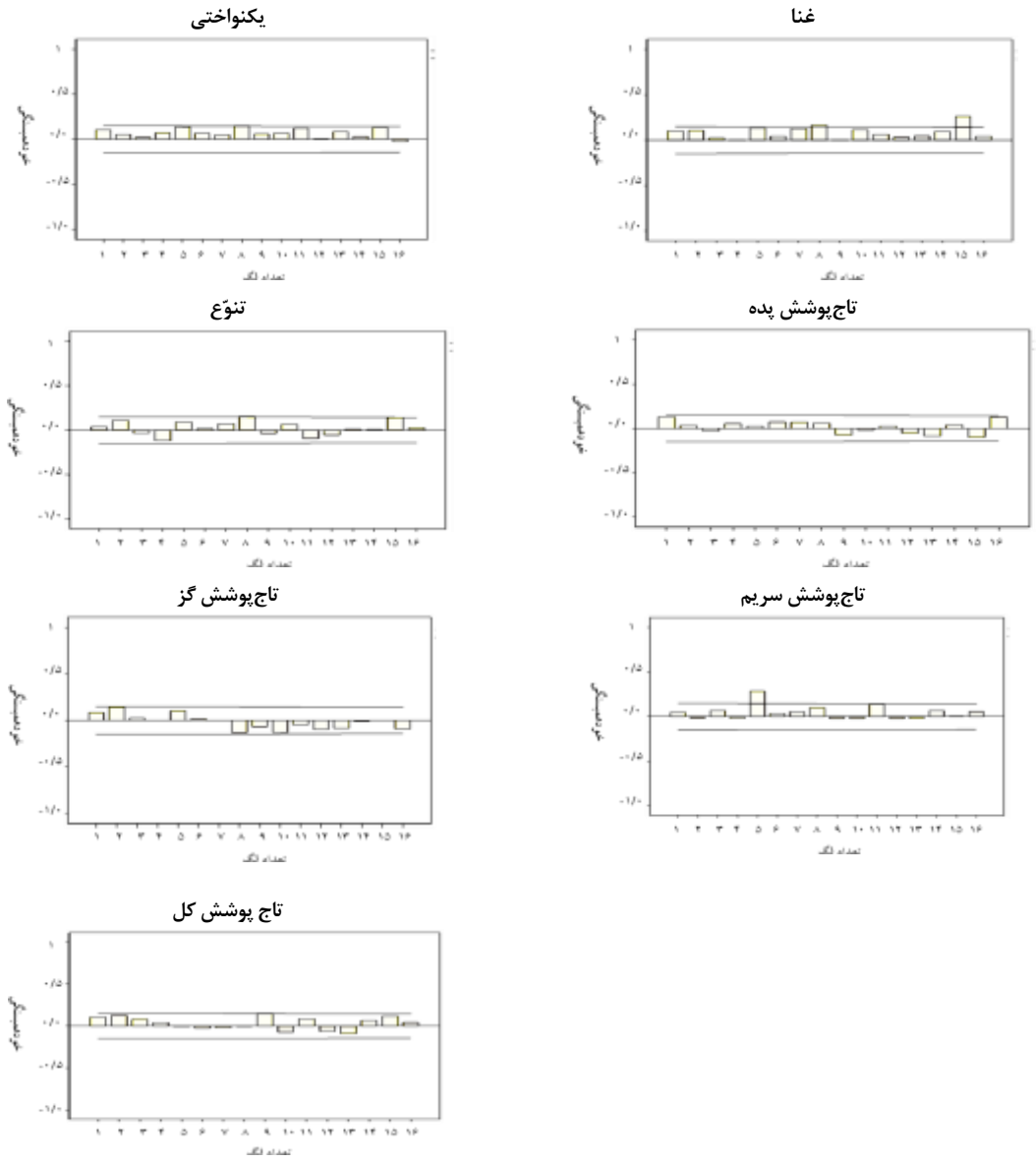
www.SID.ir

Archive of SID

معیّنی از آنها خارج از حدود اطمینان واقع گردند (محمدی، ۱۳۸۶: ۷۰-۶۴). همان‌طور که نمودارها نشان می‌دهند، هیچ‌کدام از متغیّرها خودهمبستگی ندارند.

جدول ۱. خلاصهٔ آماری داده‌های غنا، یکنواختی و تنوّع جانداران خاکزی، تاج‌پوشش کل، تاج‌پوشش گز، پده و سریم

متغیّر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	میانه	چولگی	حداقل	حداکثر
غنا	۰/۶۸	۰/۵۱	۷۵	۰/۷۱	۰/۳۶	۰	۱/۷۳
یکنواختی	۰/۷	۰/۳۹	۵۵/۷	۰/۸۰	-۱/۱	۰	۱
تنوع	۰/۴۶	۰/۴۳	۹۳/۴	۰/۵۰	۰/۳۶	۰	۱/۵
تاج‌پوشش کل (٪)	۳۷	۲۵/۲	۶۸/۱	۴۰	۰/۱۳	۰	۹۵
تاج‌پوشش پده (٪)	۱۷/۳	۲۱/۱	۱۲۲	۱۵	۱/۱	۰	۴۰
تاج‌پوشش گز (٪)	۱۷	۱۸/۱	۱۰۶/۴	۱۵	۱/۱	۰	۳۵
تاج‌پوشش سریم (٪)	۱/۳	۴/۱	۳۱۵	۰/۹	۱/۱	۰	۱۹



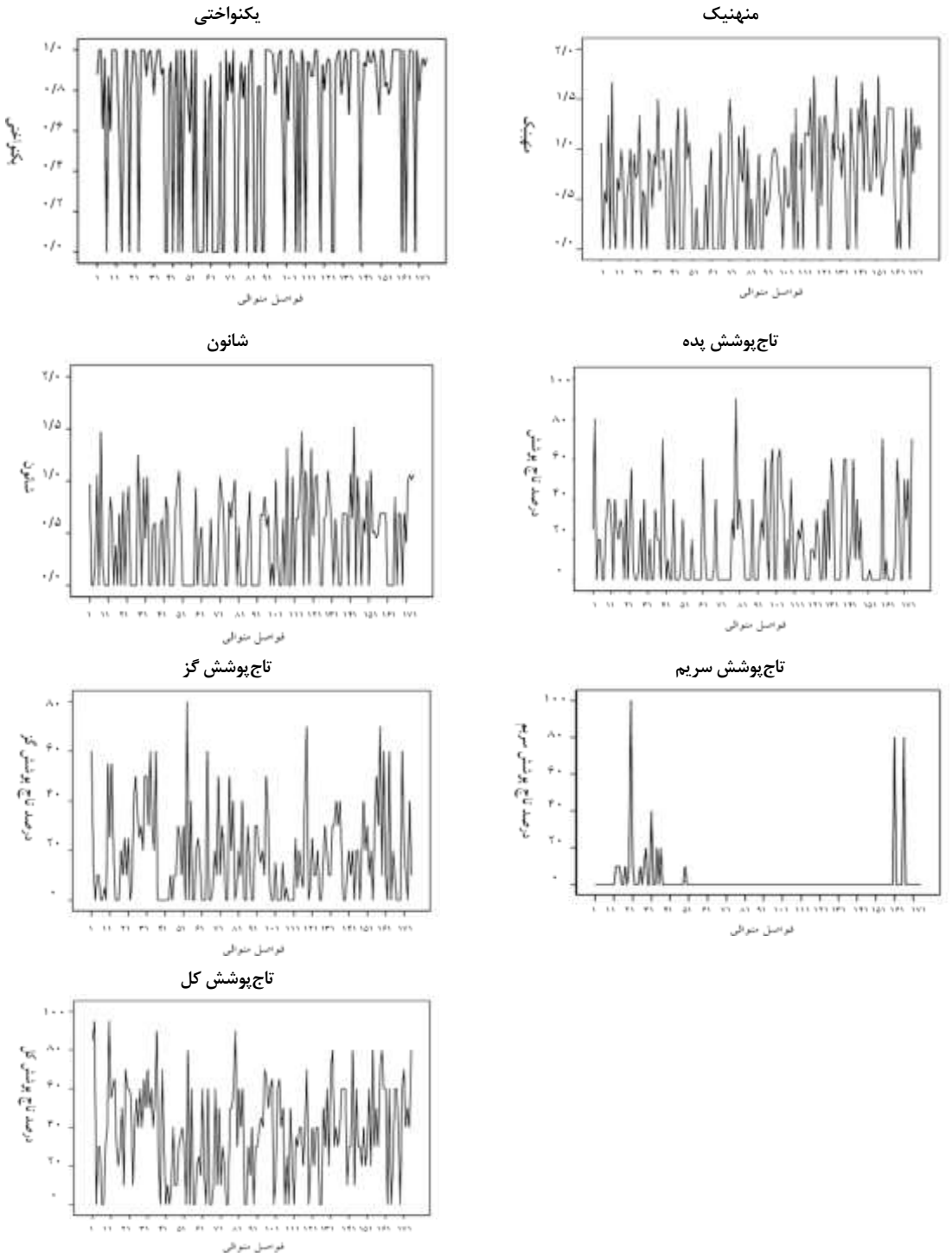
شکل ۲. خودهمبستگی داده‌ها (ACF): یکنواختی جانداران خاکزی (شاخص شلدون)، غنای جانداران خاکزی (منهنیک)، تنوّع جانداران خاکزی (شانون)، خطوط موازی درون نمودارها بیانگر حدود اطمینان می‌باشند. Lag number: تعداد گام

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه و تحلیل فرکتالی الگوی تغییرات مکانی

نوسانات مقادیر متغیّرهای مورد بررسی در شکل ۳ نمایش داده شده است. الگوی تغییرات مکانی متغیّرها دارای نوسانات زیادی است. تاج‌پوشش سریم دارای وضعیّت متفاوت است. مقادیر درصد تاج‌پوشش سریم بعد از نوسان، دارای حالت یکنواختی (در مقادیر صفر) است که به دلیل عدم حضور سریم در همهٔ پلات‌هاست.



شکل ۳. نوسانات مکانی مقادیر متغیّرها در محدودهٔ نمونه‌برداری، یکنواختی جانداران خاکزی (شاخص شلدون)، غنای جانداران خاکزی (منهنیک)، تنوّع جانداران خاکزی (شانون)

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر بعد فرکتالی محاسبه‌شده در جدول ۲ آمده است. هرچند وضعیّت نوسان متغیّرها متفاوت است امّا مقدار بعد فرکتالی همهٔ آنها بالاست.

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین تاج‌پوشش درختان ۳۷٪ در قطعه‌نمونه و ضریب تغییرات آن برابر با ۶۸٪ است. چولگی تمامی شاخص‌های مورد بررسی تنوّع زیستی جانداران خاکزی به غیر از یکنواختی، همچنین تاج‌پوشش کل و گونه‌های درختی به سمت راست است که بیانگر آن است که این متغیّرها، در این جنگل‌ها، عمدتاً دربرگیرندهٔ مقادیر کمتر هستند (محمدی، ۱۳۸۵: ۴۱). میزان ضریب تغییرات شاخص‌های تنوّع زیستی جانداران خاکزی و تاج‌پوشش پده، گز و سریم، زیاد است. در نواحی حاشیهٔ رودخانه، ویژگی‌های خاک، روند تجزیه و محتوای غذایی بسیار متغیّر است و در فواصل کوتاه، تغییرات زیادی رخ می‌دهد (وری و همکاران، ۲۰۰۵) که می‌تواند عامل مهمّی در افزایش ضریب تغییرات باشد.

همان طور که نمودارهای خودهمبستگی نشان می‌دهند، هیچ‌کدام از متغیّرها خودهمبستگی ندارند. این نمودارها در واقع تأییدکنندهٔ عدم وجود ساختار مکانی مشخّص برای متغیّرهاست. الگوی تغییرات مکانی متغیّرها نیز دارای نوسانات زیادی است. زمانی که چنین نوساناتی در متغیّرها دیده شود، مشاهدات مجاور هم غیرهمبسته و مستقل از یکدیگر هستند (محمدی، ۱۳۸۶: ۶۹-۶۴). هرچند وضعیّت نوسان متغیّرها متفاوت است امّا مقدار بعد فرکتالی همهٔ آنها بالاست؛ که بیانگر غالب‌بودن نوسانات و تغییرات کوتاه‌دامنه در این ناحیه است (محمدی و رییسی، ۱۳۸۲). نمودارهای خودهمبستگی مربوط نیز به خوبی این موضوع را منعکس می‌کنند. بررسی نحوهٔ پراکنش و رفتار فرکتالی متغیّرها نشان می‌دهد که نوسانات شدیدی در منطقه وجود دارد و تغییرات مکانی دارای ساختار و نظام‌مندی مشخّصی نیست. همچنین عدم وجود خودهمبستگی، دلالت بر این موضوع دارند. به نظر می‌رسد به علّت تخریب و فشار بر اکوسیستم، نوسانات شدیدی در پراکنش متغیّرها وجود دارد به گونه‌ای که مقادیر عددی آنها را می‌توان مستقل از یکدیگر قلمداد کرد.

اگرچه مطالعهٔ مشابهی در اکوسیستم جنگل به منظور مقایسهٔ نتایج این پژوهش در دسترس نیست امّا مقادیر محاسبه‌شدهٔ بعد فرکتالی با نتایج مطالعهٔ محمدی و رئیسی گهرویی (۱۳۸۲) مطابقت می‌کند. در تحقیق آنها نیز محاسبهٔ بعد فرکتالی برخی ویژگی‌های خاک به اعداد بزرگی منجر شد که در حقیقت بیان کنندهٔ همبستگی اندک مکانی بین مقادیر متغیّرهای مورد بررسی بوده است. آگارد و هاتویگسن (۲۰۱۴) از پارامتر D برای ارزیابی الگوی مکانی رشد جوامع گیاهی در جنگل استفاده کردند. آنها بیان می‌کنند که عدد بعد فرکتال شاخص مناسبی برای ارزیابی و مقایسهٔ شکل و روند رشد پوشش گیاهی در جنگل است. اعداد D در این پژوهش با افزایش مراحل توالی افزایش یافته و بیشتر از ۲ شده است که بیانگر ساختار تودرتو و فرکتالی پوشش گیاهی در این جنگل است. همچنین در راستای تأیید ساختار فرکتالی پوشش گیاهی و تاج‌پوشش در جنگل، ساختار پوشش گیاهی در جنگل‌های آلاسکا توسّط ویلم (۱۹۹۴) با استفاده از اصول هندسهٔ فرکتال تفسیر شد. پارکر و راس نیز (۲۰۰۴)

جدول ۲. ابعاد فرکتالی محاسبه شده برای متغیّرها

متغیّر	تاج پوشش کل (٪)	تاج پوشش پده (٪)	تاج پوشش گز (٪)	تاج پوشش سریم (٪)	یکنواختی	غنا	تنوّع
بعد فرکتالی (D)	۱/۹۵	۱/۹۹۴	۱/۹۹۸	۱/۹۳	۱/۸۹	۱/۸۸	۱/۹۳

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات تاج‌پوشش و ساختار پوشش درختی را در جنگل‌های مریلند بررسی و بیان کردند که این ویژگی‌ها دارای تغییرات جهت‌دار و یکنواختی است که با هندسهٔ فرکتال قابل تفسیر هستند. همچنین پانوار و همکاران (۲۰۱۴) ویژگی فرکتالی بایومس و ساختار یک توده جنگل‌کاری را در هند گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

بررسی الگوی پراکنش تنوّع جانداران درشت خاکزی خاک و تاج‌پوشش درختان نشان می‌دهد که هیچ‌کدام دارای خودهمبستگی مکانی و ساختار و نظام‌مندی مشخّصی نیستند. در واقع، نوسانات شدیدی در منطقه وجود دارد و مقدار بعد فرکتالی متغیّرها نیز بالاست. یعنی با افزایش سطح مطالعاتی، تغییرات مکانی متغیّرها با جزئیات بیشتری آشکار می‌شود. بعد فرکتال، شاخص مناسبی برای حضور و اهمّیّت مقیاس‌های تودرتوی تغییرات مکانی متغیّرهای مورد بررسی است. به طور کلّی، از بعد فرکتال می‌توان به عنوان یک شاخص آماری برای توصیف تغییرات پدیده‌های طبیعی در جنگل استفاده نمود و در جهت مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها از آنها بهره گرفت.

منابع

غلامی، شایسته؛ حسینی، سید محسن؛ محمدی، جهانگرد؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۸۹) تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی ماکروفون خاک در جنگل‌های حاشیهٔ رودخانهٔ کرخه، **آب‌وخاک**، ۴ (۶)، صص. ۱۱۷۲-۱۱۶۴.

محمدی، جهانگرد (۱۳۸۵) **پدومتری – جلد اول: آمار کلاسیک (تک‌متغیّره و چندمتغیّره)**، چاپ اوّل، انتشارات پلک، تهران.

محمدی، جهانگرد (۱۳۸۶) **پدومتری: آمار زمانی**، چاپ اوّل، انتشارات پلک، تهران.

محمدی، جهانگرد؛ رئیسی گهرویی، فائز (۱۳۸۲) توصیف فرکتالی اثرات قرق درازمدّت و چرای مفرط بر الگوی تغییرات مکانی شماری از ویژگی‌های شیمیایی خاک، **علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، ۴، صص. ۳۶-۲۵.

مصداقی، منصور (۱۳۸۰) **بوم‌شناسی گیاهی**، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

Agaard, K., Hartvigsen, G. (2014) Assessing Spatial Patterns of Plant Communities at Varying Stages of Succession, **Applied Mathematics**, 5, pp. 1842-1851.

Barrios, E. (2007) Soil Biota, Ecosystem Services and Land Productivity, **Ecological Economics**, 24 (2), pp. 269-285.

Burrough, P. A. (1981) Fractal Dimensions of Landscapes and Other Environmental Data, **Nature**, 294, pp. 240-242.

Burrough, P. A. (1983) Multiscale Sources of Spatial Variation in Soil 1. The Application of Fractal Concepts to Nested Levels of Soil Variation, **Journal of Soil Science**, 34, pp. 577-597.

Coleman, D. C., Crossley, D. A., Hendrix, P. F. (2004) **Fundamentals of Soil Ecology**, Elsevier Academic Press, NewYork.

Dormann, C. F., McPherson, J. M., Arau, M. B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., Davies, R. G., Hirzel, A., Jetz, W., Kissling, D. W., Kuhn, L., Ohlemuller, R., Peres-Neto, P. R., Reineking, B., Schroder, B., Schurr, F. M., Wilson, R. (2007) Methods to Account for Spatial Autocorrelation in the Analysis of Species Distributional Data: A Review, **Ecography**, 30, pp. 609-628.

Enquist, B. J., West, G. B., Charnov, E. L., Brown, J. H. (1999) Allometric Scaling of Production and Life-History Variation in Vascular Plants. **Nature**, 401, pp. 907-911.

Giese, L. A., Aust, W. M., Trettin, C. C., Kolka, R. K. (2000) Spatial and Temporal Patterns of Carbon Storage and Species Richness in Three South Carolina Coastal Plain Riparian Forests, **Ecological Engineering**, 15, pp. 157-170.

Godin, C., Puech, O., Boudon, F., Sinoquet, H. (2004) Space Occupation by Tree Crowns Obeys Fractals Laws: Evidence from 3D Digitized Plants, **Proceedings of the 4th International**

www.SID.ir

Archive of SID

Workshop on Functional-Structural Plant Models. France, 7-11, pp. 79-83.

Gonglanski, K. B., Gorshkova, I. A., Karpov, A. I., Pokarzhevskii, A. D. (2008) Do Boundaries of Soil Animal and Plant Communities Coincide? A Case Study of a Mediterranean Forest in Russia, **European journal of Soil Biology**, 44, pp. 355–363.

Holling, C. S. (1992) Cross-Scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems, **Ecological Monographs**, 62 (4), pp. 447–502.

Leibhold, A. M., Gurevitch, J. (2002) Integrating the Statistical Analysis of Spatial Data in Ecology, **Ecography**, 25, pp. 553-557.

Li, B. L. (2000) Fractal Geometry Applications in Description of Patch Patterns and Patch Dynamics, **Ecological Modeling**, 132, pp. 33-50.

Long, C. Y., Zhao, Y., Jafari, H. (2014) Mathematical Models Arising in the Fractal Forest Gap via Local Fractional Calculus, **Abstract and Applied Analysis**, Article ID 782393, 6 pages. http://dx.doi.org/10.1155/2014/782393. Site visited on 08.12.14.

Panwar, P., Pal, S., Bhatt, V. K., Prasad, R., Kaushal, R., Alam, N. M. (2014) Fractal Branching Model for Non-Destructive Biomass Estimation in Terminalia Chebula and Emblica Officinalis Agroforestry Plantations, **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, 5, (3), pp. 326-332.

Parker, G. G., Russ, M. E. (2004) The Canopy Surface and Stand Development: Assessing Forest Canopy Structure and Complexity with Near-Surface Altimetry, **Forest Ecology and Management**, 189, pp. 307–315.

Peterson, G., Allen, G.R., Holling, C.S. (1998) Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale, **Ecosystems**, 1, pp. 6–18.

Song, B., Chen, J., Williams, T. M. (2014) Spatial Relationships between Canopy Structure and Understory Vegetation of an Old-Growth Douglas-Fir Forest, **Forest Research**, 3 (2), pp. 168-177.

Verry, E. S., Hornbeck, J. W., Dolloff, C. A. (2000) **Riparian Managementin Forests of the Continental Eastern United States**, Lewis Publisher, London.

Willem, W. S. (1994) A Fractal Model of Vegetation Complexity in Alaska, **Landscape Ecology**, 9 (4), pp. 271-278.

www.SID.ir