توصیف فراکتالی اثرات قرق درازمدت و چرای مفرط بر الگوی تغییرات مکانی شماری از ویژگی‌های شیمیایی خاک

جهانگرد محمدی و فایز رئیسی گهرویی[۱]

چکیده

آگاهی از ساختار وابستگی مکانی ویژگی‌های مختلف خاک که نسبت به سیستم‌های چرا دارای حساسیت‌اند، از نقطه‌نظر تعیین میزان و نوع تغییرات حادث شده در روابط خاک- گیاه و جلوگیری از وقوع تغییرات ناخواسته و مضر در اکوسیستم، حائز اهمیت است. در بررسی حاضر از مجموعه روش‌های آماری ژئواستاتیستیک و نظریه فراکتال به‌منظور بررسی آثار قرق طولانی مدت بر تغییرات مکانی شماری از خصوصیات شیمیایی خاک شامل مواد آلی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در دو ناحیه تحت قرق و غیرقرق واقع در منطقه سبزکوه استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است. بررسی ساختار تغییرات مکانی متغیرهای موردنظر از طریق محاسبه تابع آماری واریوگرام انجام شد.

نتایج نشان داد که الگوی تغییرات مکانی متغیرهای خاک به تاریخچه مدیریت مرتع کاملاً وابسته است. واریوگرام مواد آلی در منطقه چرا دارای ساختاری خطی و بدون دسترسی به واریانس آستانه با توجه به مقیاس مطالعاتی بوده است. در حالی‌که الگوی تغییرات مکانی این متغیر در نواحی قرق از ساختاری قوی و دارای واریانس آستانه مشخص تبعیت می‌کند. علاوه بر آن فسفر قابل دسترس در منطقه چرا فاقد هرگونه ساختار مکانی بود. واریوگرام‌های ازت کل و پتاسیم قابل دسترس در هر دو ناحیه قرق و چرای مفرط تابع ساختار کروی است، بنابراین دامنه تغییرات در نواحی قرق تقریباً دو برابر ناحیه تحت چرا بوده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری نظریه فراکتال نشان می‌دهد که ویژگی‌های خاک دارای خصیصه‌های فراکتالی بوده، بدین‌ترتیب که آزمون تغییرات مکانی آنها با افزایش مقیاس مطالعاتی اطلاعات با جزئیات بیشتری را آشکار می‌سازد. هم‌چنین نتایج حاصل از محاسبه بعد فراکتالی نشان می‌دهد که مقدار عددی بعد فراکتالی برای تمامی متغیرهای مورد بررسی بزرگ و به عدد ۲ نزدیک است. در عین‌حال بعد فراکتالی برای فسفر و پتاسیم قابل دسترس در ناحیه چرا بزرگ‌تر از ابعاد فراکتالی آنها در نواحی قرق است. هم‌چنین بعد فراکتالی، که با استفاده از واریوگرام محاسبه شد، می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب به‌منظور توصیف الگوی تغییرات مکانی یک متغیر و پیچیدگی‌های موجود در آن، به‌کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: *بعد فراکتال، ژئواستاتیستیک، واریوگرام، مدیریت مرتع*

---

۱. به‌ترتیب دانشیار و استادیار خاک‌شناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

مقدمه

تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات و ویژگی‌های پارامترهای محیطی مانند خاک و گیاه نیازمند به‌کارگیری مفاهیم و روش‌های آماری خاص است. واریوگرافی که در طی آن اقدام به محاسبه تابع آماری سمی واریانس می‌شود، یکی از ابزارهای آماری مهم در برآورد ساختار تغییرات مکانی متغیرهای محیطی است. این تابع آماری که براساس نظریه متغیر ناحیه‌ای استوار است، بیان‌کننده میزان وابستگی بین مشاهدات به‌عنوان تابعی از فاصله بین آنها بوده و بنابراین برای تعیین الگوی پراکنش داده‌ها در بعد مکان به‌کار گرفته می‌شود (۱۲).

براساس نظریه متغیر ناحیه‌ای، تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه‌ای دارای دو مؤلفه ساختاری و تصادفی بوده که نخستین مؤلفه، بیان‌کننده یک روند و یا مقدار ثابت بوده و دومین مؤلفه، نشان‌دهندهٔ تغییرات تصادفی از نقطه‌ای به نقطه دیگر است. بدین ترتیب هدف اصلی در ژئواستاتیستیک، ارائه مدلی مناسب برای توصیف تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه‌ای با درنظر گرفتن هر دو مؤلفه ساختاری و تصادفی است. این مدل برپایه تابع تصادفی استوار بوده که پس از درنظر گرفتن مجموعه‌ای از فرضیات، منجر به تابع آماری سمی واریانس می‌شود. در ترسیم واریوگرام، بدین مفهوم که مقدار تابع سمی واریانس را به ازای مقادیر مختلف فاصله در یک نمودار رسم کرد، غالباً آنها در فواصل خیلی کوتاه تغییرات ناگهانی و سریعی از خود بروز داده و بدین ترتیب مقدار سمی واریانس در مبدأ صفر نبوده و واریوگرام‌ها از مرکز مختصات محور سمی واریانس عبور نمی‌کند. این مقدار را اصطلاحاً اثر قطعه‌ای می‌نامند. اثر قطعه‌ای ناشی از عواملی مانند تغییرات مشخصه مورد بررسی در فواصل کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری، خطاهای اندازه‌گیری و آزمایشگاهی و دیگر تغییرات غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد. این تغییرات معادل پدیدهٔ تصادفی نویز سفید (White Noise) در علوم فیزیک است (۱۲).

در علوم زیست محیطی تصور این‌که چنین نوسانات و تغییرات فاقد ساختار قابل توصیفی هستند، مشکل و با واقعیت انطباق ندارند. به‌طور مثال با افزایش مقیاس مشاهداتی می‌توان اقدام به استخراج ساختاری نظام‌دار از درون نوسانات تصادفی به ظاهر نویز سفید نموده که در مقیاس‌های مکانی مختلف تکرارپذیر است. بدین ترتیب ماهیت سلسله مراتبی بودن تغییرات و نوسانات مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان با به‌کارگیری مفهوم فراکتال (Fractal Concept)، که بیان کننده نسبتی بودن تغییرات است، به صورت کمّی توصیف کرد (۴ و ۹). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بسیاری از خصوصیات خاک و گیاه دارای رفتاری فراکتالی است. بنابراین با استفاده از نظریه فراکتال می‌توان الگوی ساختاری تغییرات مکانی و یا زمانی آنها را بررسی کرد (۳ و ۱۱).

تغییرات مکانی و ناهمگنی پراکنش جغرافیایی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های اکوسیستم‌های مرتعی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی و زیستی شامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، میکرو کلیمای خاک، سیستم‌های مختلف چرا و مدیریت‌های گوناگون مراتع است. بسیاری از این عوامل دارای تغییرات نه تنها در مکان بلکه در واحد زمان نیز می‌باشند (۲ و ۵). سیستم‌های چرا روی جریان و چرخهٔ عناصر غذایی در اکوسیستم مرتع از طرق مختلف مانند مصرف، برگشت از طریق فضولات احشام، توزیع مجدد و خارج‌سازی تأثیر می‌گذارد. نتایج حاصل از بررسی آثار سیستم‌های چرا بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند مواد آلی، و چگونگی مقدار و وضعیت عناصر غذایی تا حدودی ضد و نقیض به‌نظر می‌رسد. این ممکن است ناشی از شرایط خاص و متفاوت اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت مرتع باشد (۱ ، ۶ و ۷).

آگاهی از ساختار وابستگی مکانی خصوصیات مختلف خاک که نسبت به سیستم‌های چرا دارای حساسیت‌اند، از نقطه‌نظر برآورد میزان و نوع تغییرات حادث شده در روابط خاک- گیاه و جلوگیری از وقوع تغییرات ناخواسته و مضر در اکوسیستم حائز اهمیت است (۸ و ۱۳).

هدف از مقاله حاضر به‌کارگیری روش‌های آماری

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

ژئواستاتیستیک و نظریه فراکتال برای توصیف الگوی تغییرات مکانی شماری از خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف مرتع است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعاتی

پژوهش حاضر در بخشی از مراتع طبیعی منطقهٔ سبزکوه در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. منطقه مورد بررسی در جنوب شرقی استان و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شهرکرد (مرکز استان) واقع شده است. این منطقه کوهستانی و پوشیده از گیاهان علفی، درختچه و درختان است. حدود ۴۰۰ هکتار از مراتع واقع در مرکز این منطقه به‌مدت حدود بیست سال به‌طور پیوسته تحت قرق قرار گرفته است. از نقطه نظر آب و هوایی، میانگین دمای سالانه ۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۸۰۰ میلی‌متر است. مهم‌ترین گونه‌های گیاهی شامل *Poa bulbosa, Bromus tomentellus, phlomis percica, Agropyron intermedium, Amygdalus orientalis, Fraxinus Syriaca, Daphne mucronata, Astragallus sp.* است.

نمونه‌برداری خاک در دو ناحیه قرق و غیرقرق انجام شد. براساس پوشش گیاهی غالب، ناحیه قرق به دو زیربخش قرق با پوشش مرتعی غالب، قرق الف، و قرق با پوشش درختی و درختچه‌ای غالب، قرق ب، تقسیم شد. در هر ناحیه نمونه‌برداری از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) و روی دو ترانسکت شرقی- غربی به‌طول ۵۰۰ متر صورت گرفت. جهت ترانسکت‌های نمونه‌برداری با توجه به قرارگیری منطقه مورد بررسی در دامنه‌های ارتفاعات موجود در منطقه، که به موازات جهت شرقی- غربی بود، انتخاب شد. انتخاب محل‌های پیاده‌کردن ترانسکت‌ها به گونه‌ای انجام شد که فاکتورهایی مانند جهت و درجه شیب، ارتفاع و نوع مواد مادری تقریباً یکسان و محل‌های قرق شده در مجاورت هم و کمتر دستخوش تغییرات واقع شده باشد. فواصل بین نمونه‌ها ۱۰ متر و بدین ترتیب روی هر ترانسکت مجموعاً ۵۰ نقطه نمونه‌برداری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میزان مواد آلی (روش واکلی بلاک)، ازت کل (روش کلدال)، فسفر قابل دسترس (روش اولسن) و پتاسیم قابل دسترس (روش استات آمونیوم) اندازه‌گیری شد (۱۰). مقایسه آماری میانگین‌های متغیرهای مختلف با استفاده از آزمون t صورت گرفت.

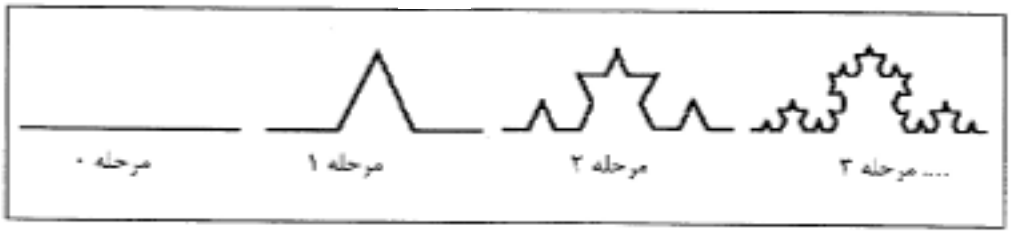
نظریه فراکتال

در سال ۱۹۶۷ مندلبورت (Mandelbrot) ریاضی‌دان انگلیسی پرسشی قدیمی را طرح کرد که مدت‌ها پاسخ مناسبی برای آن یافت نمی‌شد. این پرسش ظاهراً ساده عبارت بود از این‌که طول ساحل کشور انگلستان چقدر است؟ او با تغییر مقیاس اندازه‌گیری نشان داد که طول ساحل نیز تغییر می‌کند. به‌طوری‌که با کوچک‌تر شدن طول واحد اندازه‌گیری، طول ساحل اندازه‌گیری شده بزرگ‌تر می‌شد. بدین‌ترتیب با توجه به نامحدود بودن مقیاس اندازه‌گیری، در نهایت طول ساحل، نامحدود به‌نظر می‌رسد. چنین نظریه‌ای به تحولی فراگیر در درک تصویری که تاکنون از بعد وجود داشت، منجر شد و علمی به‌نام هندسه فراکتال پایه‌گذاری گردید. هندسه فراکتال عبارت از هندسهٔ پدیده‌ها و سیستم‌های ناهموار با مرز ناصاف و شکل نااقلیدسی است. یکی از ویژگی‌های اساسی فراکتال‌ها، که پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های فراکتالی است، خود تشابهی آماری (Statistical Self-Similarity) بوده که بیان‌کننده تشابه ظاهری در یک و با تمامی جهات و مقیاس‌هاست. به‌عبارت دیگر، خودتشابهی آماری بیان‌کننده حالتی است که الگوی تغییرات مورد نظر در یک مقیاس معین در دیگر مقیاس‌ها نیز تکرار می‌شود (۴ و ۹). همان‌گونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، با کاهش عدد مقیاس در مراحل مختلف، جزئیات بیشتری با قدرت تفکیک بالاتر حاصل شده است. در عین حال خصوصیت فراکتالی با افزایش مراحل تا بی‌نهایت بروز می‌نماید. از سوی دیگر فاصله بین دو نقطهٔ اختیاری روی منحنی فراکتالی به مقیاس مورد سنجش بستگی دارد.

به‌منظور توصیف خود تشابهی در یک پدیده فیزیکی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]



شکل ۱. نمایش گرافیکی بروز ویژگی‌های فراکتالی، در گذر از یک مرحله ساختاری فراکتال به مرحله بعدی مرحله اول که همراه با پیچیده‌ترکردن ساختار مرحله قبل است.

و یا شیمیایی، از پارامتری به‌نام بعد فراکتالی (Fractal Dimension) استفاده می‌شود. اگر چه اشکال معمول هندسی دارای عدد بعد صحیح و غیراعشاری، مانند بعد ۱ برای خط و یا عدد بعد ۲ برای مربع هستند، ولی اشکال فراکتالی دارای ابعادی ناصحیح‌اند. روش‌های مختلفی برای محاسبه بعد فراکتالی پدیده‌های طبیعی وجود دارد که اغلب آنها تجربی است. در شرایطی که با سری‌های مکانی و یا زمانی روبه‌رو هستیم، در این‌حالت بعد فراکتالی یک سری مکانی توصیف کننده، رابطه بین واریانس اختلافات بین مقادیر متغیر مورد بررسی که در فاصله‌ای مشخص از یکدیگر واقع شده‌اند و مقیاس فاصله خواهد بود. چنین رابطه‌ای را می‌توان از طریق محاسبه تابع سمی واریانس (واریوگرام) به‌صورت کمّی بیان کرد (۱۲).

بورو (Burrough) از تابع سمی واریانس، $\gamma(h)$، به‌عنوان ابزاری برای محاسبه بعد فراکتالی متغیرهای محیطی و هم‌چنین لنداسکیپ‌های مختلف استفاده کرد (۳). وی نشان داد که سمی واریانس یک خصوصیت محیطی به‌عنوان پدیده‌ای با خصوصیت خودتشابهی آماری عبارت است از:

$$2\gamma(h) = E[Z_{x+h} - Z_x]^2 = h^{4-2D} \qquad [1]$$

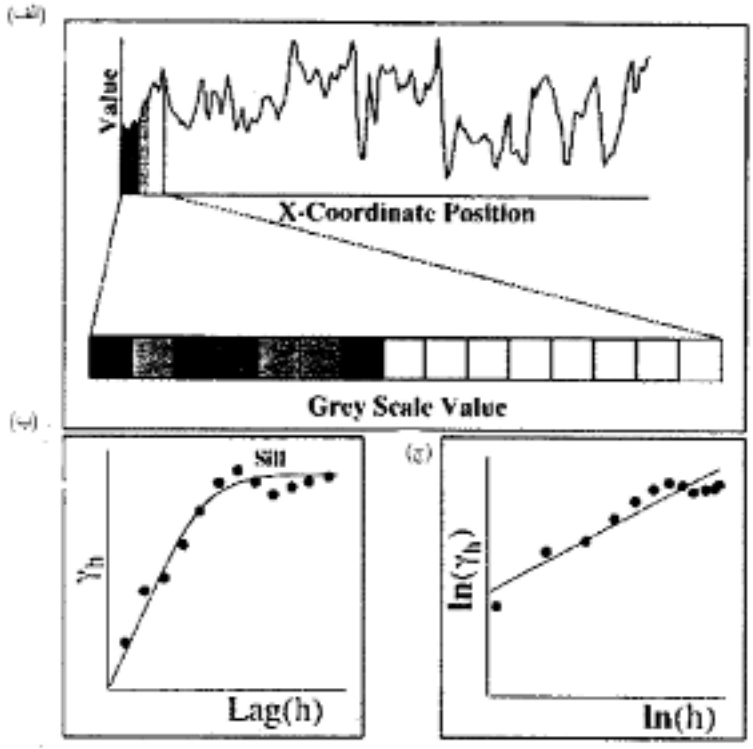
که در آن Z_x و Z_{x+h}، مقادیر متغیر مورد مطالعه در نقاط x و x+h بوده که با فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند. معادله نشان می‌دهد که چنانچه لگاریتم سمی واریانس را به‌عنوان تابعی از لگاریتم فاصلهٔ h ترسیم و مناسب‌ترین خط برگشت برازش داده شود، در این‌صورت شیب خط رگرسیون عبارت از 4-2D خواهد بود (۳). جزئیات محاسبه بعد فراکتالی در شکل ۲ نمایش داده شده است. از آن‌جایی که مقدار عددی D انعکاسی از نوسانات کوتاه‌دامنه و بلنددامنه در فضای مورد مطالعه است، بنابراین مقادیر بزرگ‌تر D نشان‌دهنده اهمیت و غالب بودن تغییرات کوتاه‌دامنه و بالعکس می‌باشد. در شرایط نویز سفید، شیب خط برابر صفر بوده و در نتیجه بعد فراکتال مساوی ۲ خواهد بود. این بدان معنی است که مقادیر متوالی اندازه‌گیری شده برای یک متغیر تقریباً از یکدیگر مستقل بوده و هیچ‌گونه وابستگی مکانی بین مقادیر موردنظر نمی‌توان تصور کرد. از سوی دیگر چنانچه یک روند خطی ساده در مقادیر اندازه‌گیری شده وجود داشته باشد، در این‌صورت شیب خط برابر ۲ و بعد فراکتالی، مساوی یک است. بدین ترتیب حداقل نوسانات نقطه‌به‌نقطه بین مقادیر مشاهداتی وجود داشته و تغییرات به‌طور عمده از نوع بلنددامنه می‌باشد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری داده‌های محل‌های مختلف نمونه‌برداری، ۵۰ نمونه برای هر محل، در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی توزیع داده‌ها نشان داد که تمامی متغیرها دارای توزیع طبیعی و یا نزدیک به آن هستند. میانگین میزان مواد آلی در هر دو منطقه قرق و چرای مفرط تقریباً مساوی است. از نقطه‌نظر آماری نیز تفاوت معنی‌داری بین محل‌های مختلف از نظر میانگین میزان مواد آلی دیده نشد. به‌نظر می‌رسد افزایش مواد آلی در نقاط تحت قرق که به‌طور عمده از طریق افزایش تراکم پوشش گیاهی صورت گرفته است، در محل‌های تحت چرا از طریق برگشت‌های دامی و فضولات احشام، تا حدودی جبران شده است. در عین‌حال ضریب تغییرات نشان می‌دهد که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]



شکل۲. مراحل مختلف محاسبه بعد فراکتالی یک خصوصیت محیطی: (الف) نوسانات مقادیر یک متغیر محیطی به‌عنوان تابعی از موقعیت مکانی مشاهدات در طول ترانسکت که در مقیاس رنگ خاکستری نمایش داده شده است، (ب) واریوگرام متغیر مورد نظر و پارامتر حد آستانه، Sill، که در آن مقدار سمی واریانس به مقدار واریانس مشاهدات نزدیک می‌شود، (ج) نمودار لگاریتم سمی واریانس به‌عنوان تابعی از لگاریتم فاصله به همراه خط برگشت برازش داده شده که برای محاسبه بعد فراکتالی استفاده می‌شود.

تغییرات میزان مواد آلی خاک در محل‌های مختلف تحت قرق درازمدت به‌مراتب بیشتر از محل‌های تحت چراست. نتایج مشابهی توسط لاوادو و همکاران (۸) در بررسی آثار مدیریت چرا روی میزان مواد آلی خاک به‌دست آمده است. مقایسه دیگر ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان می‌دهد که میزان ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در هر دو محل قرق الف و ب به‌مراتب بیشتر از محل چرای مفرط است. میزان ازت کل در موقعیت چرای مفرط در مقایسه با محل‌های قرق الف و ب به‌ترتیب دارای اختلاف معنی‌داری در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد است. از سوی دیگر تفاوت معنی‌داری بین دو محل قرق از نظر میزان ازت کل موجود در خاک دیده نشد. میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس در زمین‌های تحت قرق نیز به‌طور معنی‌داری (P=۰/۰۱) بیشتر از میزان این عناصر در محل‌های تحت چرای مفرط بود. از سوی دیگر محل قرق الف، با پوشش علفی غالب، دارای میزان فسفر و پتاسیم قابل دسترس بیشتری در مقایسه با محل قرق دارای پوشش غالب درختی و درختچه‌ای بود. به‌نظر می‌رسد که وجود پوشش متراکم علفی در سطح خاک باعث جلوگیری از هدر رفت عناصر غذایی تحت تأثیر فلاکس جریان آب در خاک شده است. از سوی دیگر با توجه به برگشت سریع‌تر و بیشتر عناصر غذایی موجود در گیاه از طریق بقایای گیاهان علفی، مقادیر این عناصر در محل قرق الف بیشتر از محل قرق ب است.

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی داده‌ها

واریوگرام‌های تجربی محاسبه شده برای ویژگی‌های

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

جدول۱. خلاصه آماری داده‌ها (۵۰ نمونه برای هر محل مطالعاتی) با توجه به خصوصیات مختلف شیمیایی خاک[1]

	منطقهٔ چرا				منطقه قرق الف				منطقه قرق ب			
	مواد آلی	ازت کل	فسفر	پتاسیم	مواد آلی	ازت‌کل	فسفر	پتاسیم	موادآلی	ازت‌کل	فسفر	پتاسیم
میانگین	۴/۰۶	۰/۱۳	۳۴/۹	۰/۳۱	۴/۱۳	۰/۱۶	۸۶/۳	۰/۹۰	۳/۸۰	۰/۱۸	۴۹/۵	۰/۶۶
انحراف معیار	۱/۷۲	۰/۰۸	۱۰/۲	۰/۱۱	۱/۹۰	۰/۰۸	۲۹/۰	۰/۳۸	۲/۲۰	۰/۲۰	۲۳/۶	۰/۲۷
جداقل	۱/۹۸	۰/۰۱	۱۲/۳	۰/۱۵	۰/۷۵	۰/۰۴	۴۵/۰	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۰۲	۲۴/۷	۰/۲۶
حداکثر	۷/۰۰	۰/۳۱	۵۴/۰	۰/۷۱	۸/۳۰	۰/۴۱	۱۵۵/۶	۱/۸۰	۱۱/۴	۱/۴۰	۱۱۰/۵	۱/۴۴
ضریب تغییرات (٪)	۴۲	۵۸	۲۹	۳۵	۴۷	۵۴	۳۴	۴۲	۵۸	۱۱۰	۴۸	۴۲

۱. مواد آلی (٪)، ازت کل (٪)، فسفر قابل دسترس (میلی گرم در کیلوگرم خاک)، پتاسیم قابل دسترس (میلی اکی والانت در ۱۰۰ گرم).

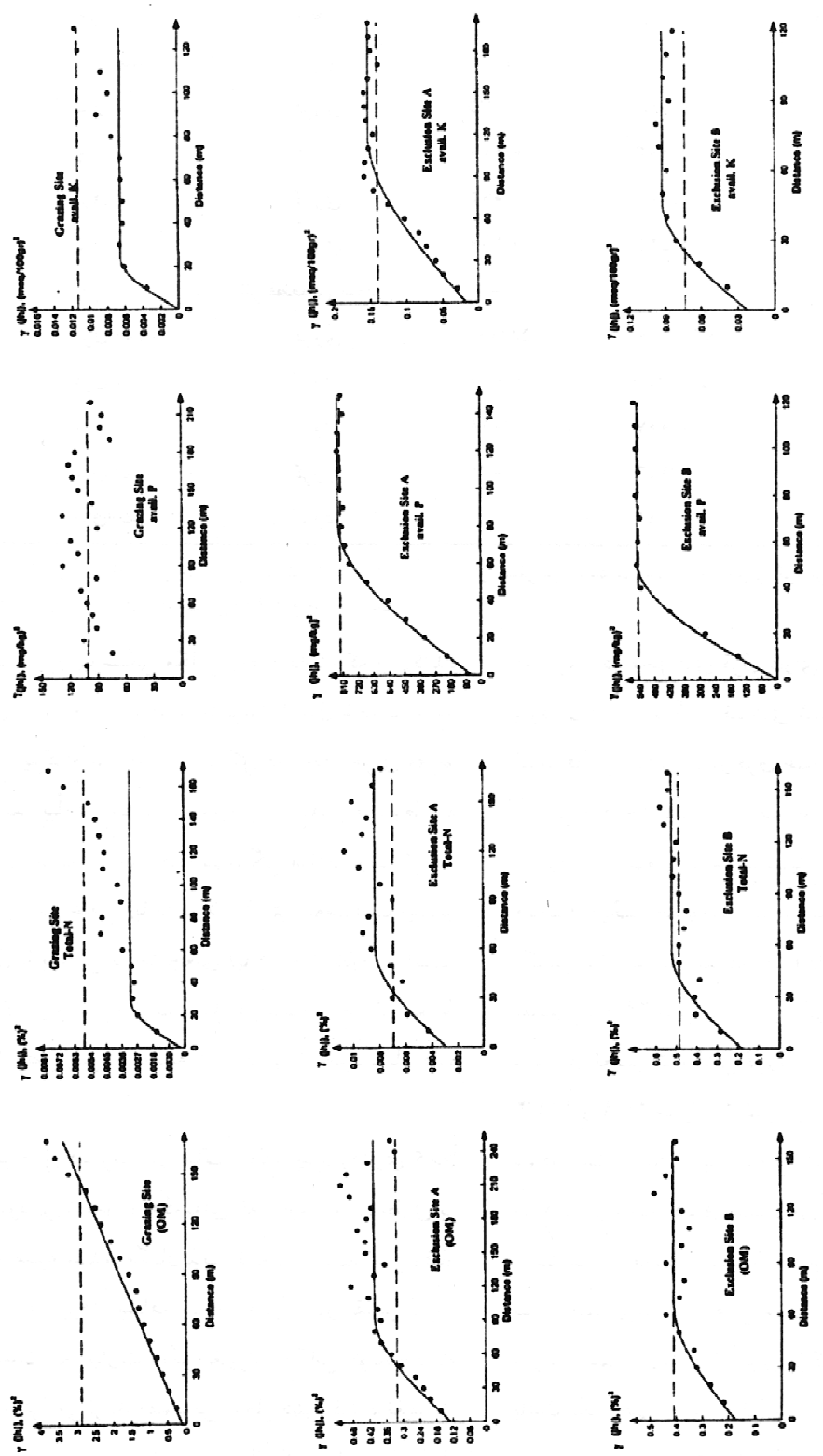
مختلف خاک در محل‌های مختلف به‌همراه ضرایب مدل‌های نظری برازش داده شده بر آنها به‌ترتیب در شکل ۳ و جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که صرف‌نظر از نوع پوشش گیاهی غالب، تمامی ویژگی‌های شیمیایی خاک در زمین‌های تحت قرق، دارای ساختار تغییرات مکانی مشخص و قوی بوده که توسط مدل کروی قابل برازش هستند. وجود همگنی نسبتاً زیاد در پراکنش و تراکم پوشش گیاهی در منطقه قرق، عامل کلیدی وجود چنین ساختار قوی مکانی است. این در حالی است که در منطقه چرای شدید، ساختار تغییرات مکانی غالب ویژگی‌های شیمیایی خاک رفتاری خطی و یا نزدیک به تصادفی از خود بروز داده‌اند. بدین معنی که برای برخی از خصوصیات واریانس مشاهدات با افزایش ابعاد منطقه مطالعاتی سیری صعودی داشته و حد آستانه‌ای برای واریانس آنها نمی‌توان تعیین کرد. این رفتار می‌تواند بیان‌کننده شدت ناهمگنی مکانی در ویژگی‌های مختلف خاک و پوشش گیاهی در منطقه چرای مفرط باشد. در عین‌حال برخی دیگر از متغیرها دارای رفتاری کاملاً تصادفی و یا دارای دامنه تغییرات بسیار کوچک‌تر از دامنه تغییرات همان خصوصیات در محل‌های قرق است.

علی‌رغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مواد آلی در مناطق قرق و چرای شدید، اشکال واریوگرام‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که ساختار مکانی این خصوصیت در محل‌های مختلف مطالعاتی کاملاً متفاوت‌اند. این تفاوت را می‌توان ناشی از تغییرات اساسی در ساختار اکوسیستم مرتع ناشی از مدیریت آن دانست. در منطقه قرق، برگشت مواد آلی به‌دلیل وجود پیوسته بقایای گیاهی به‌گونه‌ای همگن صورت پذیرفته است. این در حالی است که در منطقه چرا به دلایلی همچون پراکنش موضعی پوشش گیاهی و نواحی خاک عریان و بروز ترجیحی فرایندهایی مانند فرسایش، برگشت‌های حیوانی و در نهایت فعالیت‌های بشری، پراکنش جغرافیایی مواد آلی رفتاری ناهمگن را از خود بروز داده است. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که درصد اثر قطعه‌ای واریوگرام مواد آلی در محل قرق ب به‌مراتب بیشتر از قرق الف بوده که نشان‌دهنده وجود ناهمگنی بیشتر در توزیع مکانی مواد آلی تحت پوشش غالب درخت و درختچه‌ای است. در دامنه تغییرات واریوگرام‌های مورد نظر به‌خوبی این امر نشان داده شده است. دامنه واریوگرام‌های مواد آلی در محل قرق الف و ب به‌ترتیب ۹۶/۰ و ۷۲/۰ متر است. بدین ترتیب تغییرات مکانی مقادیر مواد آلی در قرق الف از پیوستگی بیشتری در مقایسه با قرق ب برخوردار است.

ساختار مکانی تغییرات میزان ازت کل موجود در خاک مناطق مختلف رفتاری شبیه به مواد آلی از خود نشان داده است. هم‌بستگی بسیار قوی بین مقادیر مواد آلی و ازت کل در مناطق مختلف مورد مطالعه وجود داشته است. ضرایب هم‌بستگی محاسبه شده بین میزان مواد آلی و ازت کل در مناطق چرا، قرق الف و قرق ب به‌ترتیب برابر با ۰/۶۷۸ (P=۰/۰۰۰)، ۰/۶۴۰ (P=۰/۰۰۰) و ۰/۳۳۵ (P=۰/۰۰۱) بوده است. علاوه بر آن بین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]



شکل ۳. واریوگرام های تجربی متغیرهای مختلف همراه با مدل‌های‌نظری برازش داده شده در نواحی مختلف مطالعاتی: منطقه غیر قرق و تحت چرای شدید (بالا)، ناحیه قرق الف (وسط) و ناحیه قرق ب (پایین)؛ (مواد آلی = OM ، ازت کل = Total-N ، فسفر قابل دسترس = avail. P ، پتاسیم قابل دسترس = avail. K)

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

جدول ۲. ضرایب مدل‌های نظری برازش داده شده بر واریوگرام‌های تجربی خصوصیات مختلف شیمیایی خاک[۱]

	ناحیه	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شیب	دامنه (متر)
مواد آلی	چرا	خطی	۰/۱۱۶	–	۰/۰۱۹	–
	قرق الف	کروی	۰/۱۲۸	۰/۴۰۳	–	۹۶/۰
	قرق ب	کروی	۰/۱۷۵	۰/۴۰۸	–	۷۲/۰
ازت کل	چرا	کروی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	–	۲۹/۵
	قرق الف	کروی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	–	۶۰/۵
	قرق ب	کروی	۰/۱۸۰	۰/۵۲۱	–	۵۵/۹
فسفر	چرا	اثر قطعه‌ای محض	–	–	–	–
	قرق الف	کروی	۵۸/۱۰۰	۸۳۸/۳۰۰	–	۸۲/۵
	قرق ب	کروی	۰/۰۰۰	۵۵۰/۰۰۰	–	۵۱/۶
پتاسیم	چرا	کروی	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	–	۲۴/۰
	قرق الف	کروی	۰/۰۲۲	۰/۱۵۳	–	۱۲۱/۲
	قرق ب	کروی		۰/۰۹۲	–	۴۶/۹

۱. واحد اثر قطعه‌ای و آستانه برای مواد آلی و ازت کل عبارت از ^{۲}(٪)، برای فسفر قابل دسترس عبارت از ^{۲}(میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و برای پتاسیم قابل دسترس عبارت است از ^{۲}(میلی اکی والانت بر ۱۰۰ گرم خاک) است.

دو خصوصیت مزبور پیوستگی مکانی وجود داشته که بیان‌کننده وابستگی مکانی آنها به تاریخچه و مدیریت اعمال شده بر مرتع است. دامنه واریوگرام مربوط به ازت کل در محل چرای مفرط (۲۹/۵ متر) تقریباً نصف دامنه واریوگرام‌های مربوط به محل‌های قرق است. در عین‌حال پیوستگی مقادیر ازت کل در ناحیه قرق با پوشش علفی (با دامنه ۶۰/۵ متر) به‌مراتب بیشتر از ناحیه قرق با پوشش درختچه‌ای (با دامنه ۵۵/۹ متر) است. علاوه بر آن واریوگرام ازت کل در محل چرای مفرط رفتاری کاملاً خطی پس از فاصله ۱۰۰ متری از خود نشان داده است.

میزان فسفر قابل دسترس در خاک منطقه چرا، رفتاری کاملاً تصادفی از خود بروز نموده به‌گونه‌ای که برازش مدل نظری بر واریوگرام محاسبه شده امکان‌پذیر نبوده است. این رفتار بیان‌کننده مستقل بودن مشاهدات از یکدیگر در مقیاس مورد نمونه‌برداری است. به عبارت دیگر تغییرات مکانی کوتاه- دامنه (کمتر از ۱۰ متر) می‌تواند مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده تغییرات مکانی فسفر در منطقه چرا باشد. در حالی‌که میزان فسفر قابل دسترس در محل‌های قرق دارای ساختار مکانی قوی و مناسب بوده و همانند دیگر متغیرهای شیمیایی، پیوستگی مکانی مقادیر فسفر قابل دسترس در قرق علفی، قرق الف، بیشتر از قرق درختی و درختچه‌ای، قرق ب، بوده است.

رفتار عمومی پتاسیم قابل دسترس در مناطق مختلف نیز همانند دیگر خصوصیات شیمیایی خاک بوده است. تغییرات مکانی پتاسیم در منطقه چرا دارای ساختاری کروی با دامنه تغییرات ۲۴/۰ متر بوده درحالی‌که در محل‌های تحت قرق ساختار تغییرات مکانی قوی و توسط مدل کروی، با دامنه‌های ۱۲۱/۲ و ۴۶/۹ متر به‌ترتیب برای قرق الف و ب، قابل برازش بوده است. بدین ترتیب دامنه تأثیر واریوگرام‌های محاسبه شده در هر دو محل قرق نشان می‌دهد که دامنه تأثیر پتاسیم قابل دسترس در محل الف ۲/۵ برابر محل قرق ب بوده که نشان‌دهنده پوشش گیاهی علفی یکنواخت و سراسری در محل مزبور است. چنین الگوی پراکنشی مربوط به پوشش گیاهی باعث یکنواختی و پیوستگی بیشتری در توزیع مکانی پتاسیم در محل مزبور شده است. واریوگرام پتاسیم قابل دسترس در منطقه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

چـرا همانند ازت کل، پس از فاصلهٔ ۱۰۰ متری رفتاری صعودی و خطی نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل فراکتالی الگوی تغییرات مکانی داده‌ها

نوسـانات مقادیـر متغیـرهای بررسی شده در طول ترانسکت در شـکل ۴ نمـایش داده شـده اسـت. مقادیر بعد فراکتالی محاسبه شـده بـرای متغیـرهای مختـلف در محـل‌هـای مطالعاتی نیز در جـدول ۳ ارائـه شـده است. الگوی تغییرات مکانی ازت کل در محـل‌هـای مطالعاتـی مختـلف علـی‌رغـم شـباهت‌های زیاد به یکدیگر، نشان می‌دهد که نوسانات مکانی ازت کل در محل‌های قـرق الـف و ب کمتـر از مـنطقه چراسـت. مقدار بعد فراکتالی محاسبه شده نیز حاکی از کوچک‌تر بودن بعد فراکتالی ازت کل در ایـن محـل‌هاسـت. مشـاهده حداکثـر مقدار عددی برای بعد فراکتالـی ازت کـل در ناحیه چرای مفرط، بیان‌کننده غالب بودن نوسـانات و تغییـرات کـوتاه دامـنه ازت کل در این ناحیه است. واریوگـرام‌های مربوط نیز به‌خوبی این موضوع را منعکس کرده اسـت. به‌نظر می‌رسد که شباهت‌های بسیار زیاد الگوی تغییرات ازت کـل مـی‌تـواند ناشـی از ایـن واقعیت باشد که به‌طور کلی تغییرات ازت کل کمتر، متأثر از مدیریت‌های مختلف مرتع بوده و عـوامل دیگـری کـه بـه‌طـور یکسان در منطقه عمل نموده بر رفتار و پراکنش جغرافیایی آن تأثیر گذار بوده است.

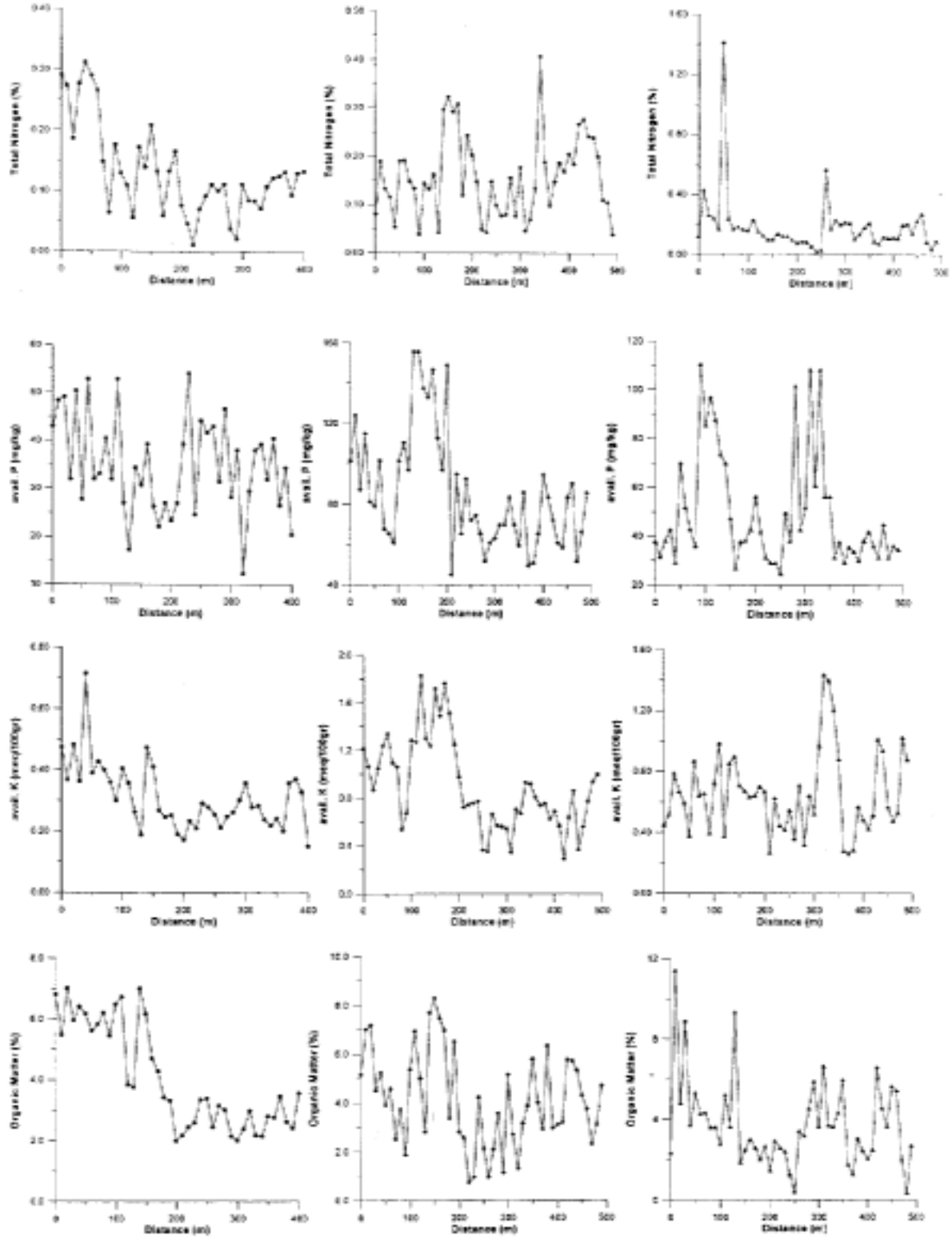
بررسـی نحـوهٔ پراکنش و رفتار فراکتالی فسفر قابل دسترس در نواحی مختلف به‌خوبی الگوهای پراکنش مکانی متفاوت این خصوصـیت شـیمیایی تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف مرتع را نشـان مـی‌دهـد. ترسـیم تغییـرات نقطه به نقطه میزان فسفر در خـاک، حاکـی از نوسانات موضعی شدید در لایه سطحی خاک بـه‌ویـژه در ناحـیه غیـر قـرق اسـت. ایـن در حالی است که در نواحـی تحت قرق نه تنها نوسانات و تغییرات موضعی فسفر از یـک نقطـه نمونه‌برداری به نقطهٔ مجاور کمتر است، بلکه بخش اعظـم ایـن تغییرات دارای ساختار و نظام‌مندی مشخصی است. واریوگـرام‌هـای محاسـبه شده دلالت بر این امر دارد. در منطقه غیـر قـرق، واریوگرام فسفر قابل دسترس فاقد ساختار بوده و از نـوع اثـر قطعـه‌ای محض است. از سوی دیگـر در مناطق تحت قـرق، محاسـبه نسـبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه واریوگرام‌های مربوط نشان می‌دهند که به‌طور میانگین بین صفر تا ۶ درصد از تغییـرات مکانـی بـه‌تـرتیب در نواحـی قرق الف و ب غیرقابل توصیف بوده و بخش اعظم واریانس داده‌ها توسط واریوگرام‌ها بـرازش داده شـده اسـت. این بدان معنا است که به‌طور متوسط مقـدار اثـر قطعـه‌ای نسبی (نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه) در مـناطق قـرق الـف و ب بـه‌ترتیب ۰/۰ و ۶/۰ درصد است. بعد فراکتالـی محاسبه شده نیز نشان می‌دهد که حداکثر مقدار عددی بعـد فراکتالی فسفر قابل دسترس در نواحی تحت چرای شدید، قـرق الف و ب به‌ترتیب ۱/۹۳۰ ، ۱/۷۴۵ و ۱/۷۶۱ به‌دست آمده است.

نمـودار تغییـرات پتاسـیم قابـل دسـترس در نواحی مختلف حاکـی از تغییـرات و نوسـانات نقطـه به نقطه شدید در نواحی تحـت چـرای مفـرط و سپس ناحیه قرق ب است. محاسبه بعد فراکتالی پتاسیم در نواحـی مختلف نیز مؤید این نکته مـی‌باشد. حـداکثـر بعـد فراکـتالـی در محـل چـرای مفـرط (۱/۸۲۱) و حـــداقل آن در محـل قـرق الف (۱/۶۲۷) محاسبه شد. بررسی واریوگرام‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که میزان اثر قطـعه‌ای نسـبی در نواحـــی قـرق ب دو برابر اثر قطعه‌ای نسبی در ناحیه قـرق الـف اسـت. پـی‌بردن به دلایل بروز چنین رفتار و الگوی مـتفاوت تغییـرات و نوسـانات پتاسـیم در مـناطق مختلف قرق نیازمند بررسی‌های بیشتری است.

تغییـرات مـواد آلـی در نواحی مختلف نشان می‌دهد که در مـنطقـه غیرقـرق الگـوی تغییرات مکانی مـواد آلی از یک روند کلـی پیروی می‌کند. در ابتدای ترانسکت نمونه‌برداری شده و تا فاصـله تقریبی ۱۰۰ متر، میزان مـواد آلی زیاد و سپس به‌صورت تدریجـی کاهش پیدا می‌کند. چنانچه به واریوگرام محاسبه شده مـواد آلـی در ایـن ناحـیه بـه‌دقـت توجه شود، چنین رفتاری را مـی‌تـوان در دامـنه ۸۰ تا ۹۰ متر، در جایی که واریوگرام به یک حـد آستانه مجازی نزدیک می‌شود، مشاهده کرد. از سوی دیگر نمـودار تغییرات نقطه به نقطه مواد آلی در نواحی تحت قرق به مـراتب، تغییرات بیشری را نشان می‌دهد. اگر چه واریوگرام‌های

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]



شکل٤. نوسانات مقادیر متغیرهای مختلف در طول خط نمونه‌برداری در ناحیه غیرقرق (ستون سمت چپ)، ناحیه قرق الف (ستون وسط) و ناحیه قرق ب (ستون سمت راست).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

جدول ۳. ابعاد فراکتالی محاسبه شده برای متغیرهای مختلف در نواحی مختلف مورد بررسی

خصوصیات شیمیایی خاک	مدیریت مرتع (محل‌های مطالعاتی)	بعد فراکتالی (D)
ازت کل	چرای مفرط	۱/۸۶۶
	قرق الف	۱/۸۶۲
	قرق ب	۱/۸۶۰
فسفر قابل دسترس	چرای مفرط	۱/۹۳۰
	قرق الف	۱/۷۴۵
	قرق ب	۱/۷۶۱
پتاسیم قابل دسترس	چرای مفرط	۱/۸۲۱
	قرق الف	۱/۶۲۷
	قرق ب	۱/۷۸۸
مواد آلی	چرای مفرط	۱/۷۰۱
	قرق الف	۱/۷۸۵
	قرق ب	۱/۸۷۳

مواد آلی در این نواحی توسط مدل دارای حد آستانه برازش داده شده است، ولی محاسبه مقدار اثر قطعه‌ای نسبی حاکی از زیاد بودن نوسانات مواد آلی در مقیاس کوتاه دامنه می‌باشد. نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه در مناطق قرق الف و ب به‌ترتیب ۳۲/۰ و ۴۳/۰ درصد بوده است. علاوه بر آن واریوگرام‌های مواد آلی در هر دو منطقه تحت قرق بیان‌کننده رفتار پریودی پس از رسیدن به حد آستانه می‌باشد. چنین رفتاری متأثر از الگوی کپه‌ای مانند تغییرات پوشش گیاهی در نواحی قرق به‌ویژه در ناحیه با پوشش علفی غالب است. بدین ترتیب حداقل مقدار بعد فراکتالی در ناحیه غیر قرق (۱/۷۰۱) و سپس در ناحیه قرق الف (۱/۷۸۵) و قرق ب (۱/۸۷۳) به‌دست آمد.

اگرچه مطالعه مشابهی به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از پژوهش حاضر در دسترس نمی‌باشد، ولی بررسی حاضر نشان می‌دهد که ویژگی‌های شیمیایی خاک دارای خصیصه فراکتالی بوده و مقایسه بین مقادیر محاسبه شده بعد فراکتالی با نتایج مطالعات بورو (۳) مطابقت می‌کند. محاسبه بعد فراکتالی برخی ویژگی‌های خاک در امتداد یک ترانسکت نمونه‌برداری شده با استفاده از روش واریوگرام به اعداد بزرگی منجر شد که در حقیقت بیان‌کننده هم‌بستگی اندک مکانی بین مقادیر متغیرهای مورد بررسی بوده است. وی ابعاد فراکتالی ۲/۰ و ۱/۴ را به‌ترتیب برای pH و غلظت آهن در خاک، به‌دست آورد.

نتیجه‌گیری

مدیریت قرق درازمدت در منطقه مورد بررسی نه تنها روی مقدار و میزان خصوصیات مختلف شیمیایی خاک، بلکه بر ساختار تغییرات مکانی آنها نیز تأثیر گذاشته است. قرق نمودن مرتع باعث کاهش آثار ناخواسته ناشی از فعالیت‌های انسان و هم‌چنین تغییرات اساسی در جامعه گیاهی و پراکنش جغرافیایی آن شده است. نتایج به دست آمده با دیگر مطالعات انجام شده روی اثرهای مدیریت مرتع در الگوی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی خاک با بررسی ساختار تغییرات مکانی خصوصیات مختلف خاک مطابقت دارد (۶ و ۸). بررسی حاضر امکان شناسایی و برآورد پارامترهای حساس به مدیریت و تاریخچه مرتع را به‌وجود آورده است. از اطلاعات حاصل می‌توان برای درک بیشتر روابط خاک- گیاه در اکوسیستم مرتع، ارائه توصیه‌های مدیریتی مانند کوددهی و بهینه‌سازی رویکردهای نمونه‌برداری در مطالعات آتی بهره‌گیری کرد.

نتایج حاصل از به‌کارگیری نظریه فراکتالی نشان می‌دهد که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]

خصوصیات خاک دارای ویژگی فراکتالی است. بدین ترتیب که آزمون تغییرات مکانی آنها با افزایش مقیاس مطالعاتی، اطلاعات را بـا جـزئیات بیشـتری آشـــکار مـی‌سازد. اگـر چه آنها رفتـار فـراکتال‌های ایدآل را کاملاً منعکس نمی‌کنند، ولی بعد فراکتالی، کـه مـی‌توان آن را با استفاده از واریوگرام محاسبه کرد، شاخص مناسـبی بـرای حضور و اهمیت مقیاس‌های تو در تو (Nested) تغییـرات مکانـی متغیـرهای مخـتلف مورد مطالعه در طول خط نمـونه‌برداری می‌باشد. علاوه بر آن مقادیر بعد فراکتالی محاسبه شده برای متغیرهای مختلف نشان می‌دهد که صرف‌نظر از محل نمـونه‌بـرداری، ویژگـی‌هـای شـیمیایی خـاک دارای تغییرات و نوسـانات مکانی غیرپیرایشی (Non-Smoothing) بوده که تحت تأثیـر مدیـریت‌هـای مخـتلف ایـن نوسـانات نیز بیشتر می‌شود. به‌طور مثال، تحت تأثیر چرای بی‌رویه از میزان هم‌بستگی مکانی بـین مقادیـر متغیـرها در طـول ترانسکت نمونه‌برداری به شدت کاسـته شده به‌گونه‌ای که مقادیر عددی آنها را می‌توان مستقل از یکدیگر قلمداد کرد. به‌طور کلی، از بعد فراکتال می‌توان به‌عنوان یک شاخص آماری، مانند دیگر خلاصه آمارهای مرسوم در علم آمـار، بـرای توصـیف ناهمگونی ذاتی پدیده‌ها و یا خصوصیات طبیعی استفاده کرد.

از آنجایـی کـه درک و شناخت فرایندها و الگوهای رفتاری پدیـده‌هـای طبیعـی از اهمیت زیادی در مدیریت آنها برخوردار اسـت و از سوی دیگر با توجه به این واقعیت که نظریه فراکتال قـادر بـه ارائه توصیفی کمّی از خودتشابهی، پیچیدگی، وابستگی الگـوی تغییـرات به مقیاس مطالعاتی و در نهایت نامحدود بودن جـزئیات مـربوط بـه یـک پدیده طبیعی است، انتظار می‌رود که کاربـرد نظـریه فراکتال در علوم طبیعی بیش از پیش مورد توجه محققـان قـرار گیـرد. بـه‌نظر می‌رسد یکی از چالش‌های اساسی فراروی محققان علوم طبیعی به‌کارگیری و انتقال این مفاهیم در مدل‌های کاربردی توصیف‌کننده فرایندهای طبیعی خواهد بود.

سپاسگزاری

ایـن پژوهش با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد انجام شده است. بدین وسیله از مساعدت‌های کلیه مسئولین این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Bauer, A., C. V. Cole and A. L. Black. 1987. Soil property comparisons in virgin grasslands between grazed and nongrazed management systems. Soil Sci. Soc Amer. J. 51: 176-182.
2. Burke, I. C. 1989. Control of nitrogen mineralization in a sagebrush steppe landscape. J. Ecol. 70: 1115-1126.
3. Burrough, P. A. 1981. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. Nature 294: 240-242.
4. Burrough, P. A. 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. J. Soil Sci. 34: 577-597.
5. Chaneton, E. J. and R. S. Lavado. 1996. Soil nutrients and salinity after long-term grazing exclusion in a Flooding Pama grassland. J. Range Manag. 49: 182-187.
6. Dormaar, J. F., S. Smoliak and W. D. Willms. 1989. Distribution of nitrogen fractions in grazed and ungrazed fescue grassland Ah horizon. J. Range Manag. 43: 6-9.
7. Graetz, R. D. and D. J. Tongway. 1986. Influence of grazing management on vegetation, soil structure and nutrient distribution and the infiltration of applied rainfall in a semi-arid chenopod shrubland. Aust. J. Ecol.11: 347-360.
8. Lavado, R. S., J. O. Sierra and P. N. Hashimoto. 1996. Impact of grazing on soil nutrients in a Pampean grassland. J. Range Manag. 49: 452-457.
9. Mandelbrot, B. B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman, San Francisco. USA.
10. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part II., 2nd ed., Chemical and Mineralogical Properties. SSSA Pub. Madison, WI.
11. Palmer, M. W. 1988. Fractal geometry: A tool for describing spatial patterns of plant communities. Vegetatio. 75: 91-102.
12. Webster, R. and M. A. Oliver. 2001. Geostatistics for Environmental Sciences. John Wiley & Sons, New York.
13. West, C. P., A. P. Malarino, W. P. Wedin and D. B. Marx. 1989. Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. Soil Sci. Soc. Amer. J. 53: 784-789.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.4.3.8]