



## تحلیل مالتی فرکتالی توزیع اندازه ذرات، کربن آلی و آهن قابل جذب خاک (مطالعه موردی استان کردستان)

روح الله تقی‌زاده مهرجردی<sup>۱</sup>، علی اصغر ذوالفقاری<sup>۲</sup>، کمال نبی الهی<sup>۳</sup> و محمد رضا یزدانی<sup>۴</sup>

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

۲و۳- استادیاران گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویر شناسی دانشگاه سمنان

۴- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه کردستان

### مقدمه

تغییر پذیری مکانی خصوصیات هیدرولیکی خاک تحت تاثیر اثرات متقابل بین فاکتورهای خاک سازی و برخی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و مینرالوژی ایجاد می شوند. روش های زمین آماری به وفور برای توصیف تغییر پذیری مکانی خصوصیات هیدرولیکی خاک مورد استفاده قرار گرفته اند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که خصوصیتی از خاک که با زمان ثابت هستند (مانند توزیع اندازه ذرات خاک، و جرم ویژه ذرات خاک) و همچنین خصوصیات متغیر با زمان که تحت تاثیر مدیریت قرار می گیرند (مانند مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی)، ممکن است که دارای تغییر پذیری مکانی بالایی باشند. همچنین مطالعات متعدد نشان داده که برخی از خصوصیات دینامیکی خاک از قبیل رطوبت خاک، جرم ویژه ظاهری خاک، تخلخل خاک، زیست توده میکروبی و غیر دارای تغییر پذیری مکانی بسیار وسیعی هستند.

تکنیک های زمین آماری روش هایی هستند که برای مدل سازی مکانی و تولید داده‌ها در مکان هایی که نمونه برداری از آنها صورت نگرفته است مفید می باشند. اما استفاده از روش های زمین آمار با محدودیت‌هایی نیز همراه می باشد به عنوان مثال نرمال و ایستا بودن داده های اندازه‌گیری شده از این موارد می باشد. لذا روش‌های زمین آمار در داده ای غیر ایستا و غیر نرمال نتایج قابل قبولی را نشان نمی دهند (وبستر و الیور ۲۰۰۰).

روش های آنالیز مقیاس از قبیل فرکتال و مالتی فرکتال، به وفور برای توصیف تغییر پذیری مکانی خصوصیات خاک در مقیاس های بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. هر دو روش فرکتال و مالتی فرکتال یک توزیع مرتبه‌ای جرم را در فضا فرض می کنند. در روش تک فرکتالی<sup>۱</sup> یک توان (بعد فرکتال) برای توصیف رفتار مقیاس<sup>۲</sup> یک متغیر کافی است به عبارت دیگر می توان با استفاده از یک توان تغییرات یک متغیر را در مقیاس های مختلف توصیف کرد. در حالی که روش های مالتی فرکتال دارای توان های مختلفی هستند که مربوط به درجه مختلف اختلالات داده های اندازه گیری می باشند. بنابراین مالتی فرکتال ها بسیا پیچیده‌تر از تک فرکتال ها می باشند. محققین مختلف سعی کردند که تغییر پذیر مکانی خصوصیات خاک را با استفاده از یک توان (تک

<sup>1</sup> - Monofractal

<sup>2</sup> - Scaling behavior



فرکتال) توصیف کنند در تمامی این مطالعات سعی شده است که بعد فرکتال متغیر مورد نظر را با استفاده از نیم تغییر نما محاسبه نمایند. اما مطالعات اخیر نشان داده است که مالتی فرکتال روش مناسبی برای توصیف تغییرات یک متغیر در یک ترنسکت<sup>۳</sup> می باشد. آنالیز مالتی فرکتالی به نسبت نیم تغییرنا اطلاعات بیشتری را از ساختار درونی تغییرات مکانی داده ها در اختیار قرار می دهد. لذا هدف از مطالعه حاضر بررسی رفتار مالتی فرکتالی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ها در یک ترنسکت می باشد. همچنین بررسی و مقایسه مالتی فرکتالی این خصوصیات از دیگر اهداف این مطالعه می باشد.

## مواد و روش ها

### الف) منطقه مورد مطالعه

منطقه ای با وسعت ۲۰۰۰۰ هکتار واقع در استان کردستان در نظر گرفته شد. منطقه از لحاظ سنگ شناسی شامل تراورتن، مارن، کنگلومرا، سنگ آهک رسی، شیل، سنگ های حاوی آهن زیاد، گل سنگ، سنگ آهک حاوی فسیل، تراس های قدیمی، رسوبات آبرفتی و گابرو بوده و دارای دو کاربری کشاورزی دیم و مرتع می باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک در منطقه به ترتیب زریک و مزیک بوده و میانگین بارندگی سالانه ۳۳۳/۴ میلی متر و میانگین دمای سالیانه ۱۰/۴۸ می باشد. در منطقه مورد مطالعه نمونه برداری بر روی یک ترنسکت انجام شد. فواصل بین نمونه برداری منظم و برابر با ۱۰۰ متر انتخاب شد. سپس آزمایش های توزیع اندازه ذرات خاک، درصد کربن آلی و مقدار آهن قابل تبادل با استفاده از روش های معمول انجام شد.

### ب) محاسبه ابعاد فرکتال

به طور معمول آنالیز مالتی فرکتال در مقیاس های<sup>۴</sup> ( $\varepsilon$ ) مختلف انجام می گیرد. لذا برای تعیین این مقیاس ها می توان طول یک راستا ( $L$ ) را به قسمت های مختلف که به صورت اعداد دوتایی می باشند، بر اساس معادله زیر تقسیم نمود.

$$\varepsilon = L2^{-k} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

که  $L$  طول ترنسکت و  $k$  عدد صحیح می باشد. در این مطالعه مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ برای  $k$  در نظر گرفته شد. بنابراین طول ترنسکت ( $L$ ) به ۴ مقیاس مختلف تقسیم شد. در هر مقیاس تعداد داده های اندازه گیری ( $N(\varepsilon)$ ) شده برابر است با

$$N(\varepsilon) = 2^k \quad (2)$$

<sup>3</sup> - Transect

<sup>4</sup> - Scale



تحقیقات نشان داده است که گشتاور  $q^{\text{th}}$  متغیر اندازه گیری و نرمال شده  $(\mu(q, \varepsilon))$ ، با تغییر اندازه مقیاس  $(\varepsilon)$  و بر اساس رابطه زیر تغییر می کند.

$$\mu_i(q, \varepsilon) = \frac{[p_i(\varepsilon)]^q}{\sum_i [p_i(\varepsilon)]^q} \quad (3)$$

$P_i$  احتمال وجود متغیر اندازه گیری شده در  $i^{\text{th}}$  اندازه گیری از اندازه مقیاس  $(\varepsilon)$  می باشد که از حاصل تقسیم مقدار متغیر در  $i^{\text{th}}$  اندازه گیری بر مقدار تجمعی متغیر در تمامی فاصله  $L$  (کل مقادیر اندازه گیری شده در ترنسکت) بدست می آید.  $q$  نشان دهنده گشتاور بوده که مقادیر متفاوتی را اختیار می کند. در این مطالعه  $q$  بین ۱۰-۱۰ و با فاصله ۰/۵ متغیر بود. سپس ابعاد فرکتال در مقادیر متفاوت  $q$  بر اساس روابط زیر برآورد شدند.

$$D(q) \approx \frac{1}{q-1} \frac{\log[\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \mu_i(\varepsilon)^q]}{\log \varepsilon} \quad q \neq 1 \quad (4)$$

$$D_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \mu_i(\varepsilon) \log \mu_i(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \quad q = 1 \quad (5)$$

## نتایج و بحث

جدول ۱ خلاصه ای از ویژگی های اندازه گیری شده خاک های مورد مطالعه در یک راستا را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، ضریب تغییرات خصوصیتی مانند توزیع اندازه ذرات و کربن آلی خاک اندک می باشد. اما مقدار آهن قابل تبادل تغییرات مکانی بالایی را نشان می دهد.

جدول ۱- خلاصه آماری برخی از ویژگی های خاک های مورد مطالعه

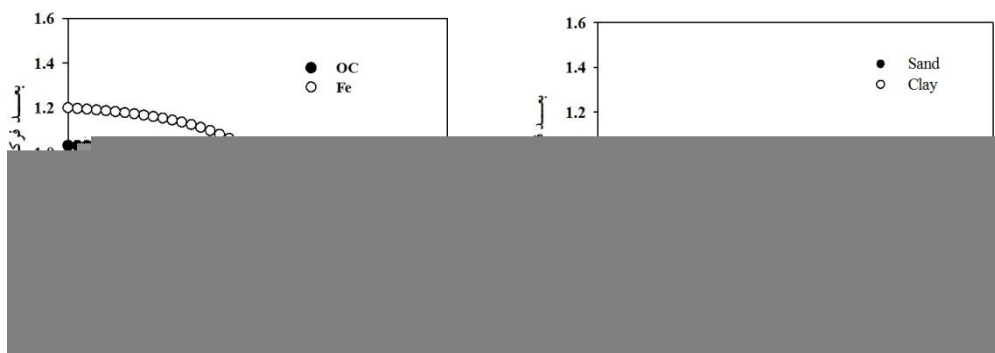
خصوصیت	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	میان	ضریب تغییرات (%)
رس	%	۴۱/۸۶	۲۵/۷۷	۳۴/۸۱	۳/۹۳	۳۲/۳۲	۱۱
شن	%	۴۳/۲	۱۶/۲۴	۲۹/۳۱	۶/۶۲	۲۸/۳۹	۲۲
کربن آلی	%	۱/۷۶	۰/۷۱	۱/۰۶	۰/۲۲	۰/۹۸	۲۱
آهن	mg kg <sup>-1</sup>	۱۲۵۷۲	۱۹۲	۶۸۰۰	۴۰۰۰	۶۲۲۰	۵۹

ابعاد فرکتال در مقادیر  $q$  برابر با  $q=0$ ،  $q=1$  و  $q=2$  به ترتیب ابعاد ظرفیت<sup>5</sup> ( $D_0$ )، آنترپی<sup>6</sup> ( $D_1$ ) و همبستگی<sup>7</sup> ( $D_2$ ) نامیده می‌شوند. مقادیر برابر این ابعاد ( $D_0=D_1=D_2$ ) نشان دهنده رفتار تک فرکتالی متغیر مورد بررسی می‌باشد. اما در صورتی که این ابعاد برابر نباشند نشان دهنده رفتار مالتی فرکتالی متغیر است. نتایج نشان داد که در خاک های مورد بررسی به غیر از متغیر آهن قابل تبادل دیگر متغیرها دارای رفتار تک فرکتالی هستند. به عبارت دیگر مقایسه ابعاد فرکتال نشان داد که در متغیرهای درصد شن، رس و کربن آلی مقادیر ابعاد فرکتال در گشتاورهای صفرم، یکم و دوم با یکدیگر برابر می‌باشند ( $D_0=D_1=D_2$ ). اما در مورد متغیر آهن قابل تبادل نتایج نشان داد که این ابعاد با یکدیگر برابر نمی‌باشند لذا این خصوصیت دارای رفتار مالتی فرکتالی هستند. در بسیاری از منابع از اختلاف ابعاد فرکتال ظرفیت ( $D_0$ ) و همبستگی ( $D_2$ ) برای بررسی درجه مالتی فرکتالی<sup>8</sup> استفاده می‌شود (ویدال وازکوز و همکاران، ۲۰۱۳). در صورتی که این شاخص بزرگتر از صفر باشد، نشان می‌دهد که متغیر مورد بررسی مالتی فرکتالی است در صورتی که این شاخص برابر صفر باشد نشان دهنده رفتار تک فرکتالی متغیر مورد مطالعه می‌باشد. جدول (۲) مقدار این شاخص را برای متغیرهای مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص به متغیر آهن قابل جذب اختصاص دارد. تفاوت این شاخص از عدد صفر نیز نشان می‌دهد که متغیر آهن قابل تبادل مالتی فرکتال می‌باشد.

شکل (۱) تغییرات ابعاد متغیرهای مورد مطالعه را در گشتاورهای مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که شکل و روند تغییرات ابعاد فرکتال در مقادیر مختلف  $q$  تا حدودی مشابه یک تابع سیگموییدی می‌باشد. نتایج مشابه‌ای بوسیله محققین دیگر که بیان داشتند که تغییرات ابعاد فرکتال در مقادیر مختلف گشتاور سیگموییدی می‌باشد، گزارش شده است.

جدول (۲): مقادیر شاخص  $D_0-D_1$  در متغیرهای مورد مطالعه

خصوصیت	درصد شن	درصد رس	درصد کربن آلی	آهن
$D_0-D_1$	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۶



شکل (۱) تغییرات ابعاد فرکتال متغیرهای مورد بررسی در گشتاورهای ( $q$ ) مختلف

<sup>5</sup>-Capacity dimension

<sup>6</sup>Entropy dimension

<sup>7</sup>-Correlation

<sup>8</sup>- Multifractality



**منابع مورد استفاده**

- Vidal-Vazquez, E., Camargo, O.A., Viera, S.R. Miranda, J.G.V, Menk, J.R.F., Siqueira, G.M., Miras-Avolas., J.M and Pas Gonzeles. A. 2013. Multifractal analysis of soil properties along two perpendicular transects. Vadose Zone Journal. 12(3).doi: 10.2136/vzj2012.0188.
- Webster, R., and M.A. Oliver. 2000. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, Chichester, UK.