

ردیابی مخاطرات پلایای حوض سلطان با بررسی آشفستگی در میکرو لندفرمها



منیژه قهرودی تالی*

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

خدیجه علی نوری (k.alinoori@yahoo.com)

دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۹)

چکیده

دخالت انسان در تشدید مخاطرات طبیعی مورد توجه محققان است. شناخت واکنش پدیده‌های مورفولوژی نسبت به فعالیت‌های انسان در همه پدیده‌ها قابل ردیابی نیست. لندفرم‌های کوچک تغییرات کوتاه‌مدت ناشی از دخالت‌های انسانی را ثبت می‌کنند و به آن واکنش نشان می‌دهند. پلایاها از جمله نواحی ای است که می‌توان به‌طور دائمی یا ماهانه تغییرات میکرو لندفرمها را ردیابی کرد. پلایاها باقی‌مانده دریاچه‌های بارانی کواترنر هستند که اغلب آنها در حال حاضر حوضه‌های نواحی خشک و نیمه‌خشک را زهکشی می‌کنند. تغییرات مقدار آب ورودی به پلایاها و دخالت‌های انسان، سبب ایجاد تحولات شکل‌زایی در آنها شده که آثار آن در میکرو لندفرمها قابل شناسایی است. در این پژوهش تالاب حوض سلطان با مساحتی حدود ۳۳۰ کیلومتر در شمال استان قم از طریق مدلسازی فراکتالی برای تعیین الگوی حاکم بر میکروفرمها بررسی شد. داده‌های تحقیق از مشاهدات میدانی برداشت شده است. به‌منظور اندازه‌گیری فراکتال‌های هندسی، مشاهده میدانی در بهار ۱۳۹۳ انجام گرفت و ۱۰۲ میکروفرم رسی در اردیبهشت بعد از بارندگی انتخاب شد. از کل نمونه‌ها ۷۳ میکروفرم که از لحاظ مرزی به‌خوبی توسعه یافته بودند، به‌طور تصادفی انتخاب و ابعاد آنها به‌طور دقیق محاسبه و ترسیم شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که DAP محاسبه‌شده براساس مدل فراکتالی محیط - مساحت، مقادیری بین ۱/۵ تا ۲/۵ را شامل می‌شود، که گویای شدت تغییر میکروفرم‌های گلی و تمایل آنها به افزایش آشفستگی و بی‌نظمی است. نمودار لگاریتمی مدل فراکتالی نیز نشان می‌دهد، که ارتباط خطی بین لگاریتم محیط و لگاریتم فرم‌های مورد نظر وجود دارد، به‌طوری‌که ضریب همبستگی R² به‌دست‌آمده بزرگ‌تر از ۰/۹۸ است. افزایش آشفستگی در پلایای حوض سلطان حاکی از واکنش آن به دخالت انسان در برداشت منابع معدنی و بی‌نظمی در مقدار آب ورودی است که می‌تواند نتایج مخاطره‌آمیزی را در این بخش از کشورمان ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: پلایا، حوض سلطان، مدل فراکتال، میکرو لندفرم.

مقدمه

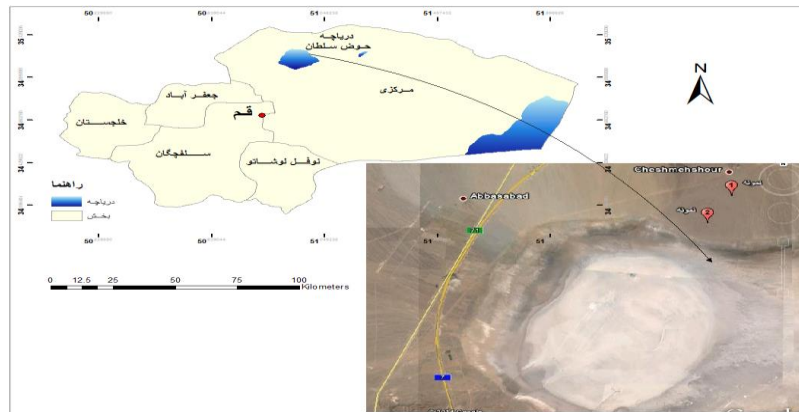
امروزه دخالت انسان سبب افزایش رخداد مخاطرات شده است. پیش‌بینی و ردیابی مخاطرات از جمله علاقه‌مندی‌های محققان دانش مخاطره‌شناسی است. میکرولندفرم‌ها از جمله پدیده‌هایی‌اند که تغییرات کوتاه‌مدت ناشی از دخالت‌های انسانی را ثبت می‌کنند و به آن واکنش نشان می‌دهند. پلایا یکی از پدیده‌هایی است که تغییرات کوتاه‌مدت میکرولندفرم‌ها را نشان می‌دهد. آنها باقی‌مانده دریاچه‌های پلیوستوسن هستند که طی دوره بین‌یخچالی توأم با خشکی محیط به شکل کنونی درآمده‌اند و از محیط‌های شور به حساب می‌آیند. بیشتر پلایاها و تالاب‌های ایران حوضه انتهایی در قلمرو خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی کم هستند. این تالاب‌ها در دوره‌های بارانی در کواترنر شکل گرفته‌اند و تداوم آنها از طریق رودها و مسیل‌های وارد به آنها است. در حال حاضر به دلیل برداشت منابع معدنی و تخریب آنها و همچنین بی‌نظمی در آب ورودی به آنها تحول جدیدی بر آنها حاکم شده است. این تحولات جدید سبب ایجاد تغییراتی در میکروفرم‌های آن شده است که شاهدهی بر بی‌نظمی یا آشوب در سیستم شکل‌زایی حاضر و گذر آن به سیستمی دیگری است که از طریق هندسه فراکتالی یا برخالی قابل مطالعه است [۱]. هندسه فراکتال مناسب‌ترین ابزار ریاضی به‌منظور توصیف بی‌نظمی و آشفتگی پدیده‌های پیچیده طبیعی با استفاده از شاخص‌های قابل اعتماد است؛ بنابراین، مفاهیم فراکتالی می‌تواند برای مدلسازی و تعیین تغییرات هندسی نواحی در معرض خطر استفاده شود [۲]. با معرفی هندسه فراکتالی توسط مندلبروت^۱ در سال ۲۰۰۴ به‌عنوان هندسه طبیعت، توجه بسیاری از پژوهشگران به این هندسه نوین جلب شد. از آن زمان تاکنون پژوهشگران توانسته‌اند پدیده‌های پیچیده طبیعی را به‌خوبی با این هندسه مدل کنند؛ از طرفی رفتار فیزیکی بسیاری از فرایندهای طبیعی نیز با بهره‌گیری از روابط هندسه فراکتالی قابل پیش‌بینی است [۱۱]. مخاطرات طبیعی زیادی از قانون توانی (فراکتال) آماره‌های اندازه - فراوانی تبعیت می‌کنند [۱۳]. روش معمول به‌منظور بررسی وجود فراکتال‌ها در یک مجموعه داده، برآورد ابعاد آن است؛ ابعاد اغلب میزان بی‌نظمی یا تغییرپذیری مشخصه‌ای را توسط توزیع داده‌ها تفسیر می‌کنند [۱۴]. بنابراین، برآورد ابعاد مجموعه داده از روش‌های بررسی آن مجموعه است؛ اگرچه این مجموعه داده ممکن است به‌طور کامل آشفته باشد. رفتار فراکتالی در واقع رفتاری است که در طبیعت و هر چیزی که متمایل به حالت تعادلی است، وجود دارد. طبیعت اگرچه در ذات خود هوشمند نیست، تغییرات خارجی، آن را به سمتی سوق می‌دهد که تغییر خارجی مذکور را خنثی کند [۴]. فراکتال قابلیت توجیه بسیاری از اجسام موجود در طبیعت که به‌طور نامنظم شکل

1. Mandelbrot

گرفته‌اند یا پدیده‌هایی که از نظر فضایی، هم‌شکل و منطبق بر هیچ یک از ترکیبات هندسهٔ اقلیدسی نیستند، را دارد و به‌عنوان الگویی هندسی تعریف می‌شود که در مقیاس‌های همیشه کوچک‌تر، برای ایجاد اشکال نامنظم و سطوحی که توسط هندسهٔ کلاسیک نمی‌تواند نشان داده شود، تکرار می‌شود. یک مدل فراکتال، ابزاری برای توصیف طبیعت مجموعه‌های فراکتالی، مانند محاسبهٔ بعد فراکتالی آن و مدلسازی ارتباطات بین مجموعه‌های فراکتال، یا بین مجموعه‌های فراکتالی و غیرفراکتالی را فراهم می‌کند [۸]. تا قبل از شروع قرن بیستم، هندسهٔ اقلیدسی پاسخگوی بیشتر پرسش‌ها، در مورد پدیده‌های طبیعی و غیرطبیعی بود، اما این شاخه از ریاضیات تنها برای توصیف پدیده‌هایی قابل استفاده است که شکل منظم و بعد صحیح داشته باشند. در انتهای قرن بیستم، بعضی از خواص اساسی پدیده‌هایی که ابعاد غیرعادی داشتند، توسط هادوروف و بیسکوویچ بررسی شد. همچنین مندلبروت اهمیت و ارتباط بین فراکتال‌ها و پدیده‌های فیزیکی و سایر علوم را در کتاب خود به نام هندسهٔ فراکتالی در طبیعت به تفصیل بررسی کرده است [۱]. مندلبروت اولین مدل محیط - مساحت را در سال ۱۹۷۷ برای ارزیابی محیط‌ها و مساحت‌های درون مجموعه‌ای از پدیده‌های شکل‌یافتهٔ منظم، ایجاد کرد. این به اصطلاح مدل جزیره - شکاف^۱ برای بررسی هندسهٔ مناطق ابری و برای مشخص کردن درجهٔ پیچیدگی اشکال ابرها استفاده شد [۱۱]، همچنین برای اندازه‌گیری سطوح شکستگی روی قطعات فلز به کار رفت [۱۴]. اگرچه، این مدل گاهی در آزمایش‌های مشابه نتایج متناقض ارائه داده است [۱۰]، یک مدل توسعه‌یافته در سال ۱۹۹۱ از نظر مولتی فراکتالی ایجاد شد [۱۲]. یک مدل عمومی فراکتالی نیز در مورد محیط‌ها و مساحت‌های مجموعه‌های شکل‌یافتهٔ منظم فراکتالی، با مساحت فراکتالی (A) و محیط فراکتالی (P)، در سال ۱۹۹۵ معرفی شد [۱۹]. این مدل عمومی برای جدا کردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با مشخص کردن توزیع اثر عناصر بر سطوح کانی‌ها و با الگوهای مدل آبراه‌ای به کار برده شد [۹]. محقق آشوب، فراکتال‌ها و خودسازماندهی در ژئومورفولوژی ساحلی را بررسی کرد [۶]. علاوه بر این، مدلی برای مشخص کردن تغییر شکل دانه‌های کوارتز در انواع مختلف میلیونیت دارای درجات مختلف متامورفیسم [۱۷] و برای تعیین کمیت توزیع فراوانی و بی‌نظمی دانه‌های اسفالریت، در زون بندی‌ها به کار برده شد [۱۸]. مدل‌های فراکتالی برای تفکیک بین فازهای مختلف کانی‌های کاسیتريت در نمونه‌های سنگی نیز استفاده شده است [۲۰]. لگوی فراکتالی را در تالاب گاوخونی اجرا کرده و آشفستگی‌های فرمی را براساس آن تحلیل کردند [۲]. در این مقاله، از مدل عمومی محیط - مساحت، برای مورفومتری الگوی میکرولفرم‌ها در پلایای حوض سلطان استفاده شده است.

منطقه تحقیق

دریاچه حوض سلطان قم با مساحتی حدود ۳۳۰ کیلومتر در شمال غربی دریاچه نمک و شمال استان قم قرار دارد. این دریاچه به نام‌های «دریاچه قم»، «دریاچه شاهی» و «دریاچه ساوه» نیز مشهور است. این پلایا بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۶۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۷۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد و از طرف جنوب غربی و مغرب و شمال غربی به وسیله رشته کوهی آتشفشانی محصور است. رشته کوهی از سنگ‌های دوره میوسن از انتهای شمال شرقی سنگ‌های آذرین به طرف مشرق کشیده شده است. در حال حاضر این چاله از طریق مجرای باریکی در قسمت جنوب شرقی زهکشی می‌شود. دریاچه حوض سلطان از دو بخش مجزا که به وسیله کانال زهکشی باریک به هم اتصال دارند، تشکیل شده است. بخش غربی این کویر با ارتفاع ۸۰۶ متر از سطح دریا اخیراً از ارتفاعات مجاور هرزاب‌های سطحی و سیلاب‌های اضافی بخش شرقی را، از طریق کانال‌های زهکشی دریافت می‌دارد. بخش شرقی آب خود را از کوهستان‌های موجود در امتداد حاشیه شمالی، از شمالی‌ترین شاخه‌های مخروط‌افکنه رود شور و از انشعابات شمالی مخروط‌افکنه قره‌چای دریافت می‌کند. انشعابات دیگر مخروط‌افکنه‌های مذکور آب خود را به طرف جنوب شرقی و به داخل کویر قم هدایت می‌کنند [۵]. حوض سلطان از جنبه ژئومورفولوژی، یک واحد ژئومورفولوژی است که دارای پنج تیپ مختلف شامل دشت ریگی، جلگه رسی، کویر، دریاچه کویر و ناهمواری‌های عینکی یا ابرویی است. تالاب مزبور از نظر زمین‌شناسی به وسیله ارتفاعات مربوط به سنگ‌های ولکانیکی در بخش‌های جنوب غربی، غرب و شمال غربی محدود می‌شود و سنگ‌های این ناحیه از نظر قدمت زمانی، به دوره اتوسن تعلق دارند. شوری خاک در مرکز تالاب، بسیار زیاد است، اما به طرف بیرون تالاب به تدریج کاهش می‌یابد. کانی‌های تبخیری مانند کلرورها، سولفات‌ها و کربنات‌ها از جمله کانی‌های مهم تالاب حوض سلطان هستند. رودهای متعددی مانند رود قره‌سو (زرینه‌رود) به این تالاب وارد می‌شوند که اغلب از اراضی شورزار و نمکی اطراف عبور می‌کنند. مقایسه تغییرات مساحت تالاب حوض سلطان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۷، نشان داد که مساحت دریاچه تالاب در سال ۱۳۶۵، از ۸۳۲۶ هکتار به ۷۸۹۵ هکتار در سال ۱۳۸۱ کاهش یافته است [۲]. شکل ۱، موقعیت منطقه تحت بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

روش شناسی

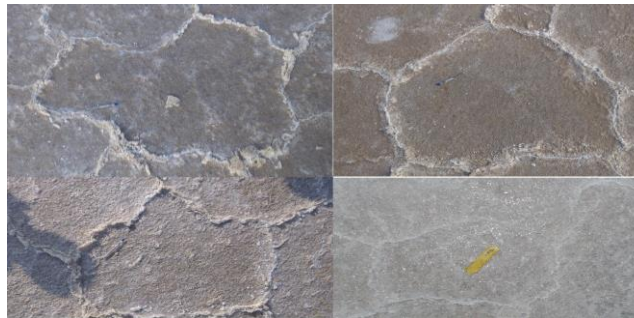
به منظور اندازه گیری فراکتال های هندسی، مشاهده میدانی بعد از بارندگی های اردیبهشت ۱۳۹۳ و آبان ۱۳۹۳ انجام گرفت و ۱۰۲ میکروفرم رسی انتخاب شد. زمان بعد از باران از این نظر انتخاب شد که املاح نمکی محلول در روی رس ها شسته شود [۳]. شکل ۲ نمونه میکروفرم های اردیبهشت ۱۳۹۳ را نشان می دهد. برای بررسی الگوی فراکتالی حاکم بر میکروفرم های ژئومورفولوژیکی ترک های گلی در بخشی از پلایای حوض سلطان، مدل فراکتال محیط - مساحت به کار برده شد. برای محاسبات مورد نیاز، از تصاویر تهیه شده از ترک های گلی منطقه استفاده شد. برای استفاده از مدل فراکتالی محیط - مساحت، به داشتن اطلاعات محیط و مساحت ترک های گلی موجود در منطقه نیاز است، که بر این اساس، از کل نمونه ها ۷۳ عدد از میکروفرمها که از لحاظ مرزی به خوبی توسعه یافته بودند، انتخاب شدند و در محیط نرم افزار اتوکد، محیط (P) و مساحت (A) آنها به طور دقیق محاسبه شد (شکل ۳).

مدل فراکتال محیط - مساحت یک مدل ریاضی در ارتباط با محیط (P) و مساحت (A) فراکتال های شکل یافته مشابه است. این مدل به صورت رابطه ۱ بیان شده است [۷].

$$P \propto A^{\frac{1}{2}D_{AP}} \quad (1)$$

که در آن P محیط ترک های گلی؛ A مساحت ترک های گلی؛ و α نشان دهنده تناسب است. D_{AP} توان محیط - مساحت است که می توان آن را به صورت رابطه ۲ نشان داد که در آن D_P و D_A به ترتیب ابعاد فراکتالی محیط (P) و مساحت (A) هستند.

$$D_{AP} = 2D_P / D_A \quad (2)$$



شکل ۲. نمونه میکروفرم رسی در اردیبهشت و آبان ۱۳۹۳

اگر مجموعه‌ای با "مساحت نرمال" با $D_A = 2$ بررسی شود، $D_{AP} = D_P$ خواهد شد، بنابراین رابطه ۳ شکل اصلی توسعه‌یافته توسط مندلیروت در ۱۹۸۲ است. اگر $D_A < 2$ باشد، در این حالت $D_{AP} > D_P$ می‌شود. برای تعیین توان D_{AP} محیط-مساحت، مجموعه داده‌های A و P ترسیم‌شده به صورت مقیاس Log-Log ، رابطه خطی بین $\text{Log } P$ و $\text{Log } A$ را نشان خواهند داد که می‌تواند به وسیله یک خط راست با روش حداقل مربعات برازش داده شود. شیب رگرسیون خطی می‌تواند به عنوان $1/2 D_{AP}$ تخمین زده شود.

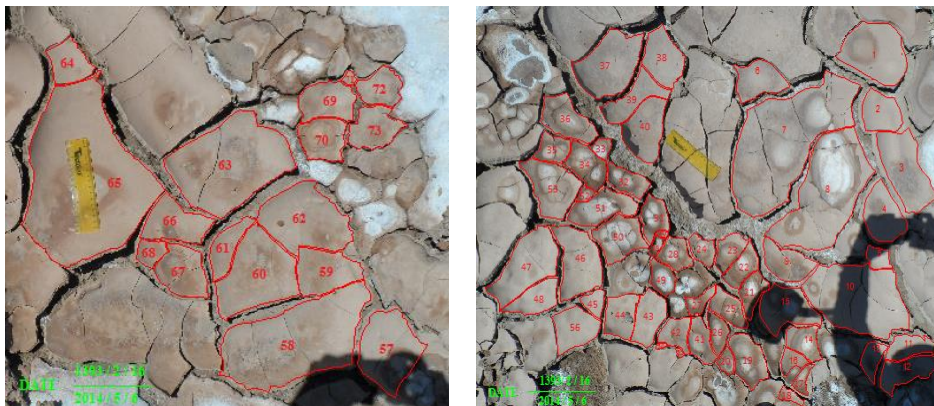
$$\log P = C + \frac{1}{2} D_{AP} \log A \quad (3)$$

به طور کلی D_{AP} دارای مقادیری بین ۱ و ۲ است. اگر $D_{AP} = 1$ باشد، بنابراین $P \propto A^{1/2}$ بر مجموعه‌های تشکیل‌شده منظم (مانند دایره‌ها و مربع‌ها) دلالت دارد. اگر $D_{AP} = 2$ باشد، پس $P \propto A$ بوده و تغییرات محیط با نرخی مشابه با مساحت است. به عبارت دیگر محیط مانند مساحت عمل می‌کند، به طوری که D_{AP} می‌تواند در درجه اول، بی‌نظمی محیط را مشخص کند. علاوه بر این، پیچ و خم مرز می‌تواند از طریق D_P براساس $D_{AP} = 2D_P / D_A$ ، در صورتی که D_A توسط روش‌های دیگر نظیر روش جعبه شمارش محاسبه شده، مشخص شود [۱۷].

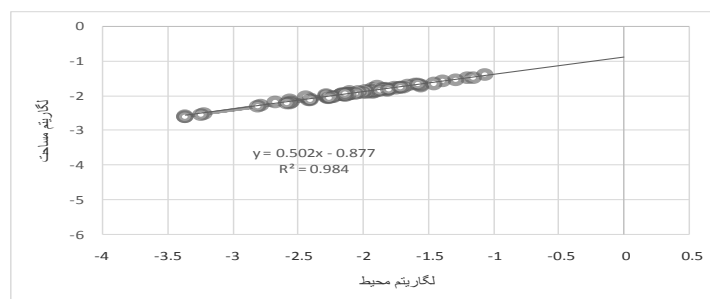
اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

در این مقاله، از مدل فراکتال محیط - مساحت برای مشخص کردن تغییرات شکل در میکروفرم های ترک گلی در پلایای حوض سلطان استفاده شده است. سپس مقادیر D_{AP} هر کدام از آنها محاسبه شد. D_{AP} بیان‌کننده بی‌نظمی محیط‌ها و شامل مقادیری با گستره‌ای بین ۱/۵ و ۲/۵ است که در جدول ۱ نشان داده شده است. در مجموع D_{AP} دامنه‌ای از ۱ تا ۲ را شامل است، اگر D_{AP} برابر ۱ باشد، آن‌گاه مجموعه‌های شکل‌گرفته منظمی را مانند مربع‌ها یا

دایره‌ها نشان می‌دهد. ارزش بیشتر DAP، فشردگی بیشتر شکل را بیان می‌کند و اگر DAP برابر ۲ باشد، آن‌گاه رابطه قرار می‌شود. بر این اساس، با افزایش ارزش DAP از ۱ به سمت ۲ بر آشفستگی و بی‌نظمی محیط نسبت به مساحت پدیده مورد بررسی افزوده می‌شود که نشان‌دهنده افزایش آشفستگی در پدیده مورد نظر است. شکل ۳، تصاویر موقعیت و حدود میکروفرم‌های رسی انتخابی برای ارزیابی را نشان می‌دهد. جدول ۱، مقادیر محیط (P)، مساحت (A) و DAP را برای ۷۳ نمونه از میکرولفورم‌ها نشان می‌دهد. شکل ۴، نمودار لگاریتمی محیط - مساحت میکروفرم‌های رسی و شکل ۵ نمودار ضریب همبستگی مساحت و محیط با بعد فراکتال را نشان می‌دهند. نمودار لگاریتمی مدل فراکتالی محیط - مساحت ارتباط خطی بین لگاریتم محیط و لگاریتم مساحت ترک‌های گلی را بیان می‌دارد و ضریب همبستگی R^2 به دست آمده بزرگ‌تر از $0/98$ است.



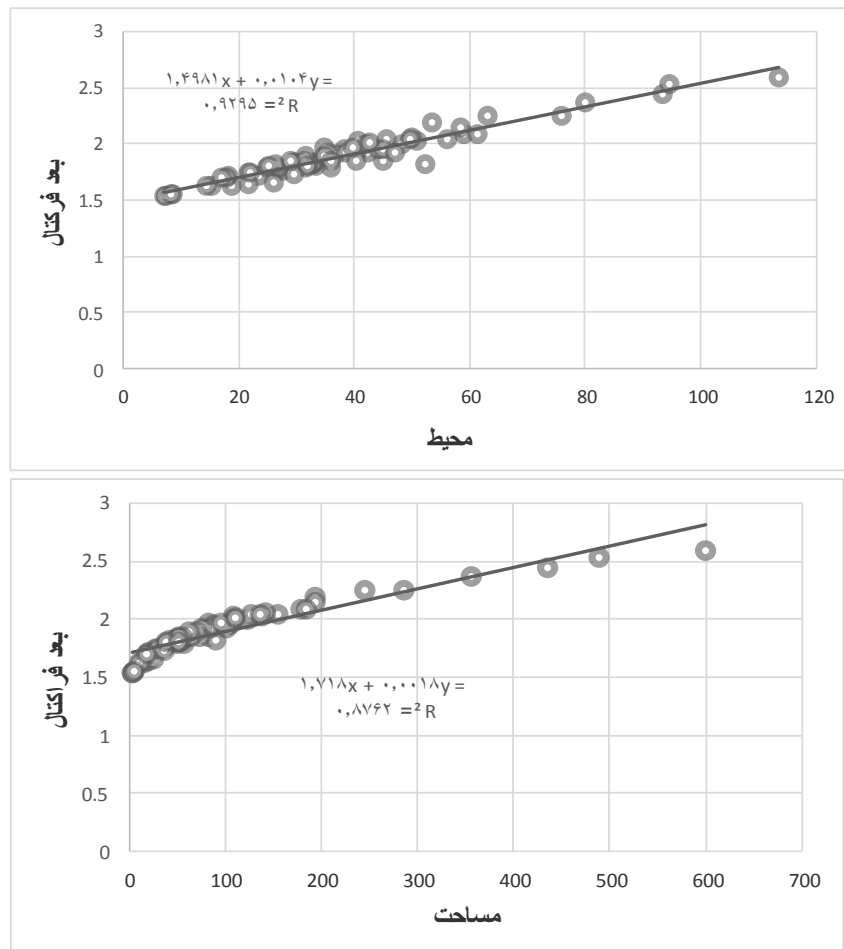
شکل ۳. تصاویر موقعیت و حدود میکروفرم‌های رسی انتخابی



شکل ۴. نمودار لگاریتمی محیط - مساحت میکروفرم رسی

جدول ۱. مقادیر محیط (P)، مساحت (A) و D_{AP} میکروفرمها

D_{AP}	محیط (cm)	مساحت (cm ²)	نمونه	D_{AP}	محیط (cm)	مساحت (cm ²)	نمونه
۲	۴۲/۱۶	۱۰۷/۴۲	۳۸	۲/۱۹	۵۳/۵۸	۱۹۳/۱۱	۱
۱/۸۲	۵۲/۳۱	۸۹/۵۹	۳۹	۱/۹۶	۳۴/۹۲	۸۲/۳۹	۲
۲/۰۴	۴۵/۶۱	۱۲۷/۰۳	۴۰	۲/۰۹	۵۹/۰۵	۱۷۷/۵۹	۳
۱/۸۳	۳۲/۳۵	۵۴/۷۲	۴۱	۲/۰۲	۴۰/۷۵	۱۰۸/۶۸	۴
۱/۷۹	۳۱/۶۱	۴۸/۴۸	۴۲	۱/۷۴	۲۱/۷۲	۲۷/۳۱	۵
۱/۹۲	۳۸/۶۷	۸۳/۸۶	۴۳	۱/۹۲	۴۲/۵۵	۹۱/۶۱	۶
۱/۹۲	۳۵/۴۸	۷۵/۴۵	۴۴	۲/۵۹	۱۱۳/۴۵	۵۹۹/۸۹	۷
۱/۷۵	۲۱/۹۲	۲۷/۸۳	۴۵	۲/۴۳	۹۳/۴۷	۴۳۶/۰۲	۸
۲/۰۴	۵۶/۱۲	۱۵۴/۷۹	۴۶	۱/۹۱	۴۰/۴۵	۸۵/۶۹	۹
۲/۰۹	۶۱/۳۱	۱۸۴/۰۸	۴۷	۲/۳۷	۸۰/۰۸	۳۵۶/۶۶	۱۰
۱/۸۵	۴۰/۳۶	۷۳/۶۱	۴۸	۱/۷۹	۳۶/۰۸	۵۵/۹۷	۱۱
۱/۷۹	۲۶/۸۰	۴۰/۳۵	۴۹	۱/۸۵	۴۴/۹۰	۸۳/۱۰	۱۲
۱/۹۶	۴۵	۱۰۵/۱۱	۵۰	۱/۷۵	۲۷/۴۳	۳۶/۷۹	۱۳
۱/۹۲	۴۷/۰۱	۱۰۰/۸۶	۵۱	۱/۸۳	۳۲/۸۷	۵۵/۹۶	۱۴
۱/۶۲	۱۴/۴۴	۱۰/۹۷	۵۲	۲	۴۸/۱۳	۱۲۲/۲۲	۱۵
۲/۰۳	۵۰/۷۵	۱۳۷/۱۴	۵۳	۱/۷۱	۲۳/۵۱	۲۷/۳۸	۱۶
۱/۵۳	۷/۳۰	۳/۰۵	۵۴	۱/۶۴	۲۱/۷۴	۱۹/۵۵	۱۷
۱/۵۴	۷/۰۷	۳/۰۹	۵۵	۱/۶۲	۱۸/۷۰	۱۵/۱۴	۱۸
۱/۹۷	۳۹/۸۴	۹۵/۵۶	۵۶	۱/۹۵	۳۸/۴۲	۸۷/۵۹	۱۹
۲/۰۱	۴۲/۷۴	۱۱۰/۷۸	۵۷	۱/۷۱	۱۸/۲۸	۱۹/۸۲	۲۰
۱/۹۷	۳۹/۸۴	۹۵/۶۵	۵۸	۱/۸۰	۳۰/۶۲	۴۷/۹۹	۲۱
۱/۸۹	۳۴/۹۳	۶۹/۳۳	۵۹	۱/۸۱	۳۳/۲۷	۵۳/۵۴	۲۲
۲/۰۵	۴۹/۸۸	۱۴۱/۶۰	۶۰	۱/۸۳	۲۹/۶۱	۴۹/۶۷	۲۳
۱/۷۲	۲۹/۷۱	۳۶/۵۹	۶۱	۱/۷۹	۲۵/۰۶	۳۷/۴۲	۲۴
۲/۰۳	۴۹/۷۲	۱۳۵/۹۴	۶۲	۱/۸۲	۳۲/۷۴	۵۴/۷۶	۲۵
۲/۲۵	۶۳/۱۸	۲۴۵/۸۶	۶۳	۱/۷۷	۲۶/۹۲	۳۷/۸۷	۲۶
۱/۸۱	۲۶/۳۸	۴۱/۶۰	۶۴	۱/۶۶	۲۵/۹۸	۲۵/۴۱	۲۷
۲/۵۳	۹۴/۴۹	۴۸۸/۴۵	۶۵	۱/۸۴	۲۹/۵۷	۵۰/۵۴	۲۸
۱/۸۴	۳۶/۰۶	۶۳/۸۱	۶۶	۱/۶۲	۱۵/۲۰	۱۱/۶۶	۲۹
۱/۸۹	۳۱/۷۰	۶۲	۶۷	۱/۵۵	۸/۷۵	۴/۳۲	۳۰
۱/۷۰	۱۷/۰۸	۱۸/۱۷	۶۸	۱/۸۳	۳۳/۱۹	۵۷/۱۴	۳۱
۱/۸۴	۳۱/۲۱	۵۴/۴۹	۶۹	۱/۸۲	۳۲/۷۸	۵۴/۳۵	۳۲
۱/۸۵	۲۸/۸۷	۵۰/۸۱	۷۰	۱/۷۰	۱۷/۹۴	۱۹/۱۸	۳۳
۱/۵۵	۸/۳۱	۴/۰۷	۷۱	۱/۹۱	۳۷/۰۲	۷۷/۱۵	۳۴
۱/۸۰	۲۵/۳۲	۳۸/۵۶	۷۲	۱/۸۲	۲۹/۶۴	۴۷/۹۴	۳۵
۱/۸۱	۳۱/۹۲	۵۰/۶۲	۷۳	۱/۹۶	۴۴/۱۰	۱۰۲/۷۶	۳۶
				۲/۱۴	۵۸/۵۰	۱۹۳/۹۳	۳۷



شکل ۵. نمودار لگاریتمی محیط و مساحت با بعد فراکتال میکروفرم‌های رسی

بحث و نتیجه‌گیری

فعالیت‌های انسان گاهی تغییراتی در محیط طبیعی ایجاد می‌کند که نتایج قطعی آن پیش‌بینی‌شدنی نیست. تغییراتی که در پلایاهای ایران به‌دلیل برداشت منابع معدنی و تغییر مقدار آب ورودی، در حال وقوع است، می‌تواند به تغییرات محیطی و نتایج مخاطره‌آمیزی منجر شود. میکروفرم‌ها که به‌طور فصلی در پلایاها شکل می‌گیرند، از جمله پدیده‌هایی هستند که به تغییرات کوتاه‌مدت ناشی از دخالت‌های انسانی پاسخ می‌دهند. پاسخ آنها به تحولات جدید و

کوتاه مدت سبب ایجاد تغییراتی در آنها شده است که شاهدهی بر بی‌نظمی یا آشوب در سیستم شکل‌زایی حاضر و گذر آن به سیستمی دیگری است که از طریق هندسه فراکتالی یا برخالی قابل بررسی است. فراکتال محیط - مساحت مدلی ریاضی برای نشان دادن ارتباط بین ابعاد فیزیوگرافی فراکتال‌های مشابه شکلی است که در این پژوهش استفاده شده است. به‌طور کلی مدل‌های فراکتالی، برای تعیین الگوریتم میکروفرم‌ها و بررسی تغییرات شکل و درجه بی‌نظمی آنها استفاده می‌شود. مدل فراکتالی محیط - مساحت نشان می‌دهد که ارتباطی خطی بین لگاریتم ابعاد مورفومتری و ضرایب همبستگی، در میکروفرم‌های رسی وجود دارد، به‌طوری‌که ضریب همبستگی R2 به‌دست آمده بزرگ‌تر از ۰/۹۸ است. نتایج تحلیل در DAP محاسبه شده براساس مدل فراکتالی محیط - مساحت، مقادیری بین ۱/۵ تا ۲/۵ را شامل می‌شود، که گویای شدت تغییر میکروفرم‌های گلی و تمایل آنها به افزایش آشفتگی و بی‌نظمی است. برای بررسی این آشفتگی، آماره‌های محیط - مساحت میکروفرم‌های گلی در پلایای حوض سلطان رده‌بندی شده است (جدول ۲). الگوی میکروفرم‌های رسی سه رده آشفتگی متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در حوض سلطان نشان می‌دهد. ارزش DAP نیز با افزایش از رده آشفتگی از ۱ تا ۳ افزایش می‌یابد و به ترتیب شامل ۱/۶۹، ۱/۸۷، ۲/۱۷ است. افزایش آشفتگی در پلایای حوض سلطان حاکی از تغییراتی است که می‌تواند پیامدهای مخاطره‌آمیز داشته باشد.

جدول ۲. رده‌بندی آماره‌های محیط - مساحت آشفتگی میکروفرم‌های رسی در پلایای حوض سلطان

بعد فراکتال محیط - مساحت DAP				محیط (cm)				مساحت (cm ²)				رده آشفتگی
Std	Mean	Min	Max	Std	Mean	Min	Max	Std	Mean	Min	Max	
۰/۰۸۷	۱/۶۹	۱/۵۳	۱/۷۹	۸/۹	۲۰	۷	۳۶	۱۵	۲۴	۳	۵۵/۹۷	متوسط
۰/۰۵۵	۱/۸۷	۱/۸	۱/۹۷	۶/۳۴	۳۵/۷	۲۵/۳۳	۵۲/۳	۱۹/۵	۶۸	۳۸/۵	۱۰۵	زیاد
۰/۱۸۸	۲/۱۷	۲	۲/۵۹	۲۰/۳۳	۶۲/۰۵	۴۰/۷۵	۱۱۳/۴	۱۴۳/۳	۲۲۶	۱۰۷/۴	۵۹۹/۸	خیلی زیاد

منابع

- [۱]. بهرامی دراسله، ر، (۱۳۸۰)، ناحیه‌بندی بافت تصویر با استفاده از فراکتال‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- [۲]. فتاحی، محمد مهدی (۱۳۹۱). بررسی ویژگی‌های تالاب کویری حوض سلطان قم، سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
- [۳]. قهرودی تالی، منیژه. میرزاخانی، بهاره، عسکری، آتنا (۱۳۹۱). پدیده کویرزایی در تالاب‌های ایران، مطالعه موردی: تالاب میقان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره چهارم: ۲۱-۳۶.
- [۴]. کرم، امیر (۱۳۸۹). نظریه آشوب، فراکتال (برخال) و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۸، تابستان.
- [۵]. کلینسلی، دانیل. (۱۳۸۱). کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشائی، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ اول.
- [6]. Baas, A.C.W. (2002). "Chaos, fractals and self – organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments", *geomorphology* 48, pages 309-328.
- [7]. Cheng Q (1995) The perimeter–area fractal model and its application to geology. *Math Geol* 27(1): 69–82.
- [8]. Cheng Q. (1994), Multifractal modeling and spatial analysis with GIS: Gold potential estimation in the Mitchel-Sulphurets area, Northwestern British Columbia, Ph.D. thesis, University of Ottawa, Ottawa, 268 pp.
- [9]. Cheng Q, Russell H, Sharpe D, Kenny F, Qin P (2001) GIS-based statistical and fractal / multifractal analysis of surface stream patterns in the Oak Ridge's Moraine. *ComputGeosci* 27(5): 513–526.
- [10]. Goodchild MF (1988) Lake on fractal surfaces: a null hypothesis for lake-rich landscapes. *Math Geol* 20(6):15–630.
- [11]. Lovejoy S (1982) Area–perimeter relation for rain and cloud areas. *Science* 216(4542):185–187.
- [12]. Lovejoy S, Schertzer D (1991) Multifractal analysis techniques and the rain and cloud fields from 10–3 Dordrecht, 318 p.
- [13]. Mandelbrot BB (1983) The fractal geometry of nature (updated and augmented edition). Freeman, New York, 468 p.
- [14]. Mandelbrot BB, Passoja DE, Paullay AJ (1984) Fractal character of fracture surfaces of metals. *Nature* 308 (5961):721–722.
- [15]. Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 2004. Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms* 29 (6), 687–711.

-
- [16]. VandenBerge, D. R. , Brandon, T. L., Duncan, J. M., Triaxial Tests on Compacted Clays for Consolidated-Undrained Conditions, *Geotechnical Testing Journal*, 2014, **37**, 4, 20130202
- [17]. Wang Z, Cheng Q, Cao L et al (2006) Fractal modelling of the microstructure property of quartz mylonite during deformation process. *Math Geol* 39(1):53–68.
- [18]. Wang Z, Cheng Q, Xu D, Dong Y (2008) Fractal modeling of sphalerite banding in Jinding Pb–Zn deposit, Yunnan, Southwestern China. *J China Univ Geosci* 19(1):77–84.
- [19]. Zhang Z, Mao H, Cheng Q (2001) Fractal geometry of element distribution on mineral surface. *Math Geol* 33(2):217–228.
- [20]. Zuo R, Cheng Q , Xia Q (2009) Application of Fractal Models to Distinguish between Different Mineral Phases, *Math Geosci* 41: 71–80: DOI 10.1007/s11004-008-9191-3.