

مقاله پژوهشی

بررسی آشفستگی در میکروندفرمهای پلایای میقان با استفاده از روش فراکتال

بهاره میرزاخانی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ارومیه، ایران

عقیل مددی^۱، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ارومیه، ایران

زهرا حجازی زاده، استاد اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

خشک شدن رسوبات ریزدانه و رسی در محیط پلایاها موجب ایجاد تنش های انقباضی و تشکیل ترکها و بدنبال آن شکل گیری پلیگون های گلی می شود. از آنجا که عوامل متعددی همچون میزان رطوبت، میزان دما، نوع کانی های رسی، توپوگرافی، میزان شوری آب و آشفستگی زیستی در چگونگی توزیع و تحول مورفومتری این چندوجهی ها تأثیرگذار است، بنابراین بررسی خصوصیات فراکتال این اشکال می تواند روند تغییرات آنها را در واکنش به شرایط محیطی آشکار سازد. مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوی آشوب میکروندفرم های موجود در بخش غربی پلایای میقان انجام پذیرفته است. بر این اساس از حدود ۳۰۰ پلیگون رسی در خرداد ماه ۱۳۹۶ از طریق مشاهده میدانی به منظور اعمال مدل ژئوفراکتال، عکسبرداری شد. سپس به کمک نرم افزار AutoCAD، محیط و مساحت هر میکروفرم به دقت اندازه گیری گردید و ابعاد فراکتالی محیط و مساحت و مقادیر DAP در نرم افزار Excel محاسبه شدند. براساس نتایج، الگوی پلیگون های رسی، سه رده آشوب متوسط، زیاد و خیلی زیاد با مقادیر DAP به میزان ۱/۷۳، ۱/۹۱ و ۲/۰۸ را نشان داد. بنابراین می توان ادعا کرد از سویی تحولات کوتاه مدت، باعث آشفستگی پلیگون های گلی در منطقه گردیده است و از سوی دیگر، شدت تغییرات این شکلها که احتمالاً ناشی از کاهش رطوبت، افزایش غلظت رسوب و تجمع نمک در لبهها و بالا آمدگی حواشی می باشد، نسبت به تغییرات مساحت آنها بیشتر بوده است. چنین پدیده ای نشان دهنده هندسه نامتناهی ابعاد فراکتالی محیط پلیگون های رسی در پلایای میقان می باشد.

کلمات کلیدی: آشوب، پلایا، میقان، بعد فراکتالی

مقدمه

اصطلاح آشوب یا فراکتال^۱ از کلمه یونانی Fractious به معنای چندپاره گرفته شده است (Bovill: 1995, 3). مطالعه ریاضی شکل‌های همانند و ارتباط آنها با اشکال طبیعی در مضمونی با عنوان هندسه فراکتال طبیعت توسط بنیوت مندلبرت در سال ۱۹۷۷ معرفی شد (عرفانیان، ۱۳۸۰). در علم ریاضی، فراکتال یک شکل هندسی پیچیده است و دارای جزئیات مشابه در ساختار خود در هر مقیاسی است. میزان آشوب در آن از دور و نزدیک به یک میزان است (قبادیان، ۱۳۸۸: ۱۶۶). به گفته کارل بویل: "هندسه فراکتال مطالعه رسمی سازه‌های خود متشابه است." مفاهیمی همچون آنترپی^۲ و تکرار، چرخش و فضای حلقوی (مدارات سیاره‌ها در کهکشان)، تکرار، تصادف و جهش، کنش، پاسخ و تعامل از هندسه فرکتالی^۳ برگرفته شده‌اند. (فرهنگ و رضایی، ۱۳۹۵). بنابراین مفاهیم فرکتالی می‌تواند برای مدل‌سازی و تعیین تغییرات هندسی نواحی استفاده شود (قهرودی و خدری، ۱۳۹۲). رفتار فرکتالی در واقع رفتاری است که در طبیعت و در هر چیزی وجود دارد که متمایل به حالت تعادلی است (کرم، ۱۳۸۹). نمونه‌هایی از آشوب در دره‌های رودهای هنجن و طامه منطقه کاشان بررسی شده است (رامشت، ۱۳۸۲). همچنین الگوی فرکتالی در پلایاهای حوض سلطان و گاوخونی مطالعه شد که نتیجه‌اش در میکروولندفرم‌های موجود در آنها گواه وجود آشوب در سیستم شکل‌زایی حاضر و گذر آن به سیستمی پلایاگونه بود (قهرودی و علی‌نوری، ۱۳۹۴؛ قهرودی و خدری، ۱۳۹۲). در مطالعات هیدرولوژیکی نیز محققان تا حد بسیاری از نظریه آشوب در توجیه رفتار فرآیندهای طبیعی کمک گرفته‌اند. سولوماتین^۴ و همکاران (۲۰۰۱) تخمین سطح آب دریای شمال را با استفاده از نظریه آشوب و شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. نتایج مطالعه وی برتری نظریه آشوب را نسبت به مدل‌های خطی همچون خود همبستگی و مدل ARIMA، در تخمین سطح موج آب در

^۱ Fractal

^۲ Entropy

^۳ Stochastic Geometry

^۴ Solomatine

منطقه ساحلی نشان دادند. ریگوندا^۱ و همکاران (۲۰۰۴) داده‌های جریان سه رودخانه در مقیاس‌های زمانی مختلف روزانه، پنج روزه و هفت روزه را از نظر آشوب‌پذیری بررسی نمودند. تعدادی از سری داده‌ها رفتار آشوبناک و برخی رفتار تصادفی نشان دادند. خان^۲ و همکاران (۲۰۰۵) امکان وجود سیگنال‌های آشوبی در سری‌های زمانی محدود را بررسی نموده و نشان دادند که داده‌های هیدرولوژیکی محدود هم می‌توانند رفتار آشوبناکی از خود نشان دهند. پلایاها باقی مانده دریاچه‌های پلیوستوسن^۳ هستند که طی دوره بین یخچالی توأم با خشکی محیط به شکل کنونی درآمده‌اند. زیرمحیط‌های رسوبی پلایا از ارتفاعات به سمت مرکز حوضه شامل بادبزن آبرفتی و پهنه ماسه‌ای، پهنه گلی- نمکی، پهنه نمکی، دریاچه موقت و دریاچه دائمی است (Howari and et al, 2014). در این میان پهنه گلی که از رسوبات بسیار ریز سیلت، رس، بلورهای ژپیس و هالیت با ساختمان‌های رسوبی از قبیل ترک‌های گلی متشکل است با شورابه اشباع نمی‌شود و اشکال گلی چندوجهی و قشرهای نمکی نازک با لبه‌های برجسته در آن پدیدار می‌گردند (رضاییان لنگرودی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مقصودی و شمسی پور، ۱۳۹۰) چندوجهی‌های گلی از جمله پدیده‌هایی هستند که تغییرات محیطی را در خود ثبت می‌کنند و به آن‌ها واکنش نشان می‌دهند. حرارت و رطوبت دلیل اصلی تشکیل این چند وجهی‌ها بوده و عوامل عمده در آرایش آنها ضخامت گل، میزان و نوع کانی رسی، توپوگرافی، شوری آب، غلظت رسوب، نرخ خشک شدن و میزان آشفته‌گی محیطی است (Zhao et al, 2014). گرچه عامل رطوبت، کنترل‌کننده اصلی چگونگی توسعه ترک‌ها می‌باشد (Selen and Turer, 2011). در واقع علاقمندی و کاربرد مسائل فراکتال در ژئومورفولوژی به این خاطر است که شکل‌گیری و تحول بسیاری از لندفرم‌های ژئومورفیکی را می‌توان با روابط ریاضی تبیین نمود

¹ Regonda

² Khan

³ Pleistocene

(Pelletier, 2002, 291). مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوی آشوب میکرواندفرم‌های پلایای میقان با استفاده از روش ژئوفراکتال انجام گرفته است.

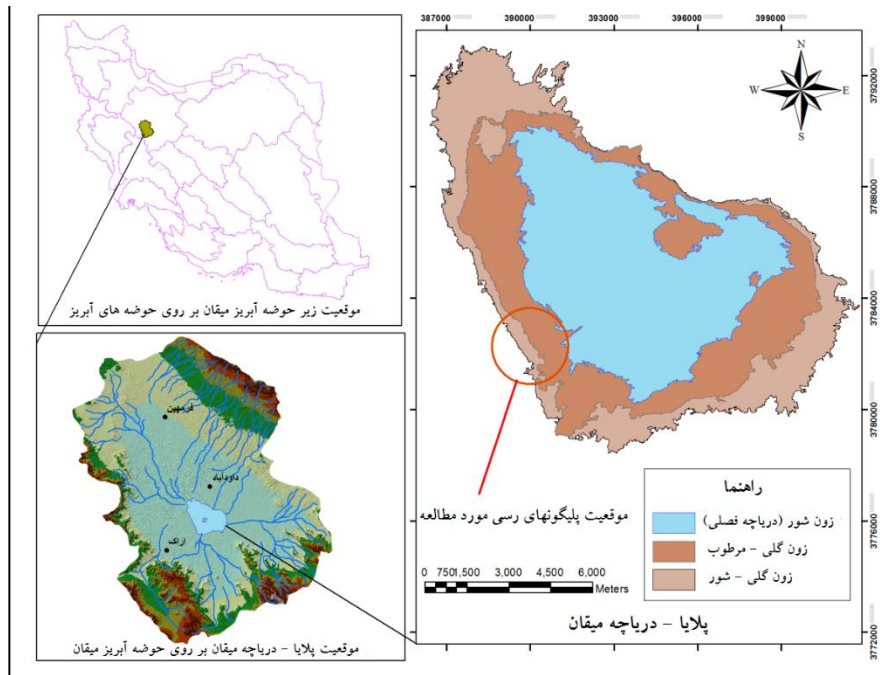
قلمرو پژوهش

پلایای میقان با مساحت ۱۳۵ کیلومتر مربع سطح نمکی که بیش از نیمی از آن نیز بصورت فصلی، شامل سطح دریاچه می شود، در ارتفاع متوسط ۱۶۷۵ متری سطح دریا و در ارتفاعات واقع بین البرز و زاگرس، در ۱۵ کیلومتری شمال و شمال شرقی شهرستان اراک در استان مرکزی واقع شده است و تقریباً بصورت مثلث قائم الزاویه‌ای است که زاویه قائمه آن در جنوب و اضلاع آن در شمال غرب و شمال شرق امتداد یافته اند. کویر میقان در ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۱ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۸ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۶ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. این کویر در چاله یا پلایای میقان با مساحت ۱۲۹ کیلومتر مربع و در مرکز حوضه آبخیز میقان قرار گرفته است (شکل ۱) و توسط کوه‌های نسبتاً مرتفعی احاطه شده است. این منطقه در پست‌ترین نقطه حوضه به ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریا می رسد. از اسامی دیگر کویر، توزلوگل می باشد که کرینسلی (۱۹۷۰) آن را با عنوان چاله میقان نیز معرفی نمود.

داده‌ها و روش‌ها

با معرفی هندسه فراکتالی توسط مندلبروت در سال ۲۰۰۴ به عنوان هندسه طبیعت، توجه بسیاری به این هندسه نوین جلب شد. از آن زمان تا کنون پژوهشگران توانسته‌اند پدیده‌های پیچیده طبیعی را بخوبی با این هندسه مدل کنند، از طرفی رفتار فیزیکی بسیاری از فرآیندهای طبیعی نیز با بهره‌گیری از روابط هندسه فراکتالی قابل پیش‌بینی است. در ۱۹۹۵ مدل عمومی فرکتالی نیز درباره محیط‌ها و مساحت‌های مجموعه‌های شکل یافته منظم فرکتالی با مساحت فرکتالی (A) و محیط فرکتالی (P) معرفی شد. این

مدل عمومی برای جدا کردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه با مشخص کردن توزیع اثر عناصر در سطوح کانی‌ها و با الگوهای مدل آبراه‌ای بکار برده شد (Cheng et al, 2001).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پلایای میقان

مدل فراکتال محیط- مساحت، یک مدل ریاضی در ارتباط با محیط و مساحت فراکتال‌های شکل یافته مشابه است. این مدل بصورت رابطه ۱ بیان شده است:

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

که در آن P محیط، A مساحت و α نشان دهنده تناسب است و D بعد فرکتال سری زمانی است (رحمانی و دیگران، ۱۳۹۵).

D_{AP} توان محیط-مساحت است که می‌توان آن را به صورت رابطه ۲ نشان داد بطوریکه D_P و D_A به ترتیب، ابعاد فراکتالی محیط (P) و مساحت (A) هستند.

$$D_{AP} = 2D_P/D_A$$

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

$$\text{Log } p = C + 1/2D_{AP}\text{Log } A$$

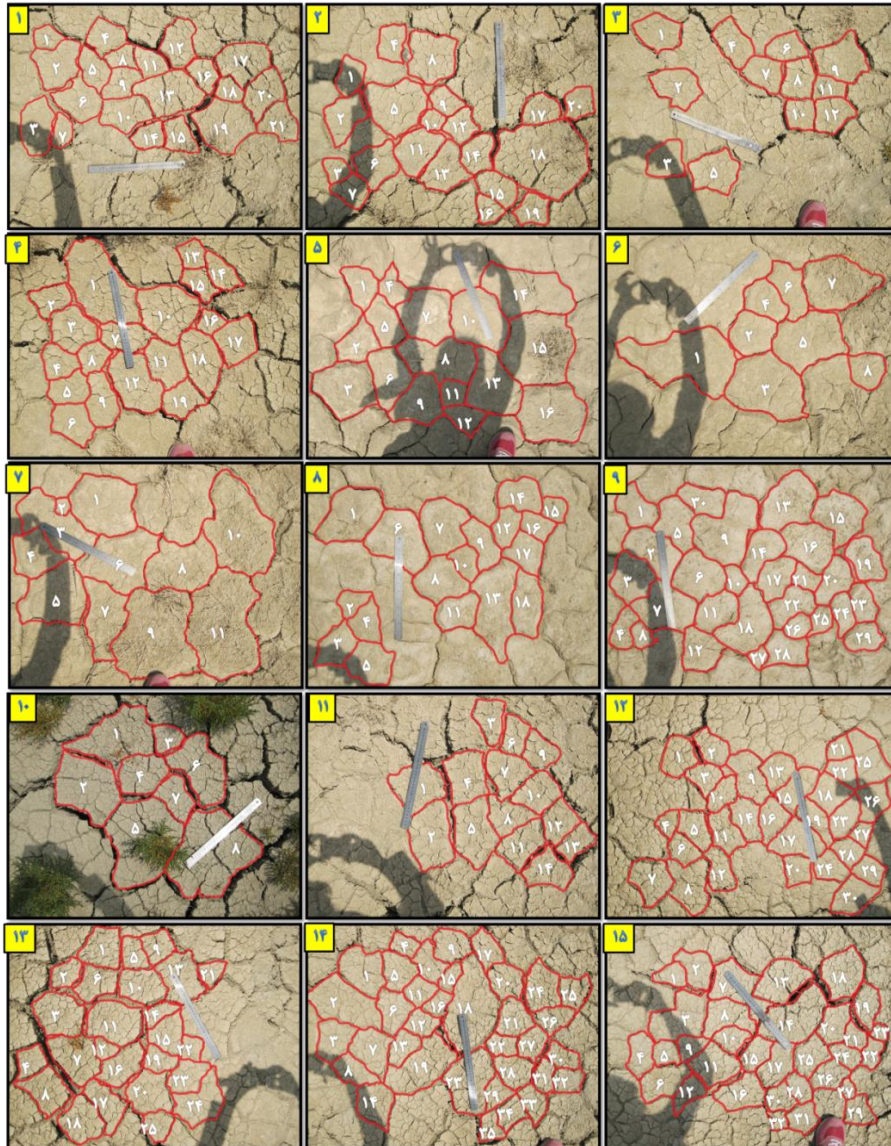
بطور کلی D_{AP} دارای مقادیری بین ۱ و ۲ است. گرچه در برخی موارد، مقادیر بدست آمده کمتر از ۱ و یا بزرگتر از ۲ می‌شود. (Chen, 2009) اگر $D_{AP}=1$ باشد، بنابراین $P \propto A^{0.5}$ بر مجموعه‌های تشکیل شده منظم (مانند دایره‌ها و مربع‌ها) دلالت دارد. اگر $D_{AP}=2$ باشد، پس $P \propto A$ بوده و تغییرات محیط با نرخ مشابه با مساحت است. بنابراین محیط مانند مساحت عمل می‌کند، بطوریکه D_{AP} می‌تواند در درجه اول، درجه نظم محیط را مشخص کند. علاوه بر این، پیچ و خم مرز می‌تواند از طریق D_P براساس $D_{AP} = 2D_P/D_A$ ، در صورتیکه D_A توسط روش‌های دیگر نظیر روش جعبه شمارش محاسبه شده، مشخص شود (Wang and Cheng, 2006). افزایش ارزش D_{AP} از ۱ به سمت ۲ نشانگر افزایش تغییرات محیط نسبت به تغییرات مساحت در پدیده مورد نظر است (قهرودی تالی و علی نوری، ۱۳۹۵). از این مسأله در علم هندسه با عنوان هندسه نامتناهی طول یاد می‌شود و بدین معنی است که با افزایش ابعاد محیط، مساحت افزایش نمی‌یابد. مشابه چنین پدیده‌ای را می‌توان در تغییرات ابعاد فراکتالی

محیط و مساحت ذرات برف (با الگوی گِخ) مشاهده نمود (مبینی و فتح الهی، ۱۴، ۱۳۹۳). از طرف دیگر هر قدر این عدد به مقدار ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده بلوغ پلیگون‌ها و منتظم بودن آنها است و هرچه به ۲ تمایل داشته باشد، حاکی از بلوغ کمتر ترکها می‌باشد (مبینی و فتح الهی، ۱۴، ۱۳۹۳).

نکته جالب توجه اینکه علاوه بر لندفرم‌ها، میکروفرم‌ها نیز قادرند ضمن عکس العمل به سیستم‌های شکل‌زایی، روند تحولات را در طول زمان، در خود ثبت و ضبط نمایند. گرچه این درون سپاری اطلاعات دارای الگوی پیچیده‌ای می‌باشد که با هندسه اقلیدسی قابل مطالعه نیست اما مفاهیم فرکتالی همواره می‌تواند برای مدلسازی و تعیین تغییرات هندسی استفاده شود. در این مطالعه، تعدادی از چندوجهی‌های پلایای میقان بعنوان میکروفرم نمونه انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

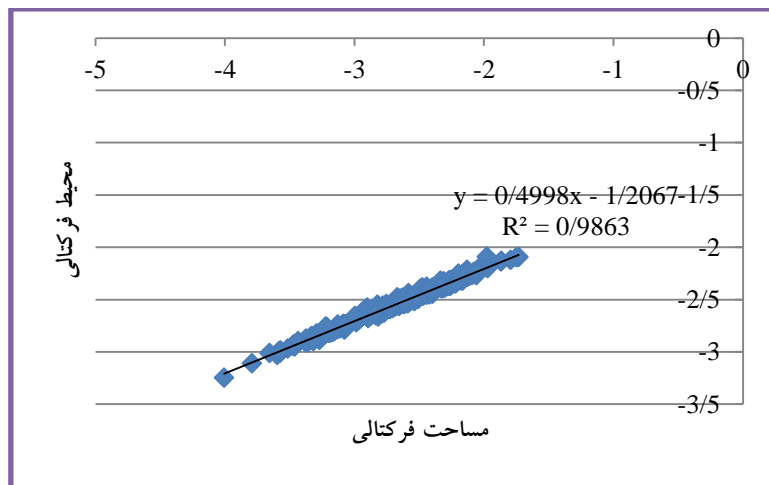
برای بررسی الگوی فرکتالی حاکم بر چندوجهی‌های گلی در بخشی از پلایای میقان، مدل فراکتال محیط-مساحت به کار برده شد. در اولین گام و طی بازدید میدانی و تطبیق منطقه با نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰، با الگوی شبکه ای ترک‌های گلی مواجه بودیم که با الگوی توسعه یافته در نواحی کم شیب (کمتر از ۲ درصد) سازگاری داشت. این در حالی است که در نواحی با شیب بیش از ۵ درصد این ترکها با الگوی مستطیلی در سطح زمین توسعه می‌یابند (رضایی و امینی، ۱۰۹، ۱۳۹۴). به منظور اندازه گیری فراکتال‌های هندسی، مشاهده میدانی خرداد ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت و ۳۰۰ چندوجهی گلی انتخاب شد. شکل شماره ۱ موقعیت میکروفرم‌ها را نشان می‌دهد. برای محاسبات مورد نیاز از ۱۵ تصویر تهیه شده از ترک‌های گلی منطقه استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- تصاویر حدود میکروفرم‌های رسی انتخابی در بخش غربی کویر میقان

سپس در محیط نرم افزار AutoCAD، محیط (p) و مساحت (A) آنها بطور دقیق محاسبه شد و داده‌های محیط و مساحت فرکتالی وارد نرم افزارهای Excel و SPSS گردیدند و ارتباط خطی بین لگاریتم محیط و لگاریتم مساحت ترک‌های گلی با روش

حداقل مربعات محاسبه گردید و ضریب همبستگی پیرسون (r) بدست آمد. بر این اساس، ضریب همبستگی $0/993$ بود که نشان از همبستگی بالای محیط و مساحت اشکال چندوجهی پلازای میقان در رویارویی با تحولات دارد (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار لگاریتمی محیط- مساحت 300 میکروفرم رسی پلازای میقان

در مرحله بعد، محیط و مساحت فراکتالی در مدل فراکتال جاگذاری شدند و مقادیر D_{AP} محاسبه گردیدند. بدین ترتیب جدول ۱، مقادیر D_{AP} را برای 300 نمونه از میکروفرمها را (مطابق شکل ۲ به تفکیک پلیگون های نمایش داده شده در هر تصویر) نشان می‌دهد. بر این اساس، مقادیر D_{AP} گستره‌ای بین $1/62$ و $2/41$ بود که نشان از تشدید تغییر شکل چند وجهی‌ها دارد. همچنین میانگین D_{AP} در پلیگون‌های رسی تصاویر شماره ۸ و ۹ دارای کمترین ($1/75$) و در تصویر شماره ۱۰ دارای بیشترین مقدار ($2/15$) بودند. دامنه تغییرات مقادیر D_{AP} در تصویر شماره ۱ از $1/85$ تا $2/17$ ، تصویر شماره ۲ از $1/89$ تا $2/42$ ، تصویر شماره ۳ از $1/89$ تا $2/11$ ، تصویر شماره ۴ از $1/86$ تا $2/28$ ، تصویر شماره ۵ از $1/70$ تا $1/94$ ، تصویر شماره ۶ از $1/75$ تا $1/90$ ، تصویر شماره ۷ از $1/62$ تا $1/94$ ، تصویر شماره ۸ از $1/68$ تا $1/85$ ، تصویر شماره ۹ از

۱/۶۴ تا ۱/۸۵، تصویر شماره ۱۰ از ۱/۹۳ تا ۲/۴۰، تصویر شماره ۱۱ از ۱/۸۸ تا ۲/۱۱، تصویر شماره ۱۲ از ۱/۸۵ تا ۲/۱۳، تصویر شماره ۱۳ از ۱/۸۷ تا ۲/۱۴، تصویر شماره ۱۴ از ۱/۸۴ تا ۲/۲۹ و تصویر شماره ۱۵ از ۱/۷۷ تا ۲/۱۶ محاسبه گردید. (جدول ۱) تمایل لبه اشکال به منحنی در تحول آنها به سوی دایره تأثیرگذار یوده و موجب می‌گردد تا در بهترین حالات، الگوی آشوب به شمت عدد ۱ میل نماید. برعکس، هنگامی که در لبه‌ها شکستگی رخ می‌دهد، بنابر زوایای بوجود آمده، شکل به سمت فشردگی و کاهش نظم (بُعد فراکتال ۲ و یا بیشتر) سوق می‌یابد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی بین محیط فراکتالی و مساحت فراکتالی متعلق به تصویر شماره ۲ به میزان ۰/۹۹۴ بود و کمترین آن به تصویر شماره ۱۱ (۰/۹۶۵) اختصاص داشت. همبستگی بیش از ۹۰ درصدی محیط و مساحت فراکتالی میکروفرم‌ها در منطقه، ناشی از سیر تحول تقریباً همزمان مساحت و محیط اشکال رسی در مواجهه با تغییرات است.

جدول ۱- مقادیر D_{AP} میکروفرم‌ها

تصویر ۵		تصویر ۴		تصویر ۳		تصویر ۲		تصویر ۱	
D_{AP}	شماره پلیگون	D_{AP}	شماره پلیگون	D_{AP}	شماره پلیگون	D_{AP}	شماره پلیگون	D_{AP}	شماره پلیگون
۱/۷۵	۱	۲/۲۸	۱	۲/۰۶	۱	۱/۹۶	۱	۱/۹۰	۱
۱/۷۷	۲	۱/۹۵	۲	۲/۰۵	۲	۲/۰۴	۲	۲	۲
۱/۸۹	۳	۲/۰۸	۳	۲/۰۲	۳	۱/۸۹	۳	۲/۰۶	۳
۱/۷۲	۴	۱/۹۶	۴	۲/۰۲	۴	۱/۹۷	۴	۱/۹۶	۴
۱/۷۷	۵	۲	۵	۲/۰۹	۵	۲/۱۸	۵	۱/۹۷	۵
۱/۸۲	۶	۲/۰۳	۶	۲	۶	۲/۰۳	۶	۲/۰۱	۶
۱/۸۵	۷	۲	۷	۱/۹۹	۷	۱/۹۵	۷	۱/۸۹	۷
۱/۸۴	۸	۱/۹۶	۸	۲/۰۲	۸	۲/۱۵	۸	۱/۸۵	۸
۱/۸۱	۹	۲/۰۴	۹	۲/۱۱	۹	۱/۹۳	۹	۱/۹۶	۹
۱/۸۸	۱۰	۲/۲۰	۱۰	۱/۹۷	۱۰	۱/۸۹	۱۰	۲/۰۴	۱۰
۱/۷۰	۱۱	۲/۰۶	۱۱	۱/۸۹	۱۱	۲/۰۸	۱۱	۱/۹۴	۱۱
۱/۷۱	۱۲	۲/۱۵	۱۲	۲/۰۲	۱۲	۱/۹۵	۱۲	۲	۱۲

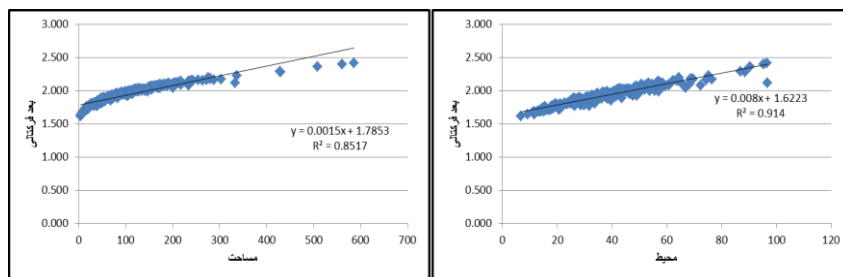
۱/۸۷	۱۳	۱/۹۱	۱۳			۲/۰۵	۱۳	۲/۱۴	۱۳
۱/۸۸	۱۴	۱/۹۴	۱۴			۱/۹۸	۱۴	۱/۹۴	۱۴
۱/۹۴	۱۵	۱/۸۹	۱۵			۲/۰۱	۱۵	۱/۹۷	۱۵
۱/۸۶	۱۶	۱/۸۶	۱۶			۱/۹۰	۱۶	۱/۹۲	۱۶
		۲/۰۶	۱۷			۱/۹۹	۱۷	۲/۰۷	۱۷
		۲/۱۱	۱۸			۲/۴۲	۱۸	۱/۸۸	۱۸
		۱/۹۸	۱۹			۱/۹۷	۱۹	۲/۱۷	۱۹
						۱/۹۶	۲۰	۲	۲۰
								۱/۹۷	۲۱
تصویر ۱۰		تصویر ۹		تصویر ۸		تصویر ۷		تصویر ۶	
D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون
۲/۱۱	۱	۱/۷۶	۱	۱/۸۵	۱	۱/۸۸	۱	۱/۸۹	۱
۲/۲۳	۲	۱/۸۰	۲	۱/۶۹	۲	۱/۶۲	۲	۱/۸۱	۲
۱/۹۳	۳	۱/۷۹	۳	۱/۷۵	۳	۱/۷۸	۳	۱/۹۰	۳
۲/۰۷	۴	۱/۷۰	۴	۱/۷۱	۴	۱/۷۸	۴	۱/۷۶	۴
۲/۳۶	۵	۱/۷۷	۵	۱/۷۸	۵	۱/۸۶	۵	۱/۸۶	۵
۲/۱۵	۶	۱/۸۲	۶	۱/۸۵	۶	۱/۸۵	۶	۱/۷۵	۶
۱/۹۹	۷	۱/۷۸	۷	۱/۸۲	۷	۱/۷۸	۷	۱/۹۰	۷
۲/۴۰	۸	۱/۶۵	۸	۱/۸۰	۸	۱/۸۳	۸	۱/۷۶	۸
		۱/۸۵	۹	۱/۷۳	۹	۱/۹۴	۹		
		۱/۶۸	۱۰	۱/۶۹	۱۰	۱/۸۸	۱۰		
		۱/۷۸	۱۱	۱/۷۵	۱۱	۱/۹۴	۱۱		
		۱/۷۸	۱۲	۱/۷۲	۱۲				
		۱/۸۵	۱۳	۱/۸۱	۱۳				
		۱/۷۶	۱۴	۱/۷۷	۱۴				
		۱/۸۱	۱۵	۱/۶۸	۱۵				
		۱/۸۱	۱۶	۱/۶۹	۱۶				
		۱/۷۶	۱۷	۱/۷۳	۱۷				
		۱/۸۱	۱۸	۱/۷۷	۱۸				
		۱/۷۷	۱۹	۱/۸۵	۱۹				

		۱/۷۵	۲۰	۱/۶۹	۲۰				
		۱/۶۷	۲۱						
		۱/۷۲	۲۲						
		۱/۷۳	۲۳						
		۱/۶۹	۲۴						
		۱/۶۷	۲۵						
		۱/۶۸	۲۶						
		۱/۶۴	۲۷						
		۱/۷۱	۲۸						
		۱/۷۵	۲۹						
		۱/۷۵	۳۰						
تصویر ۱۵		تصویر ۱۴		تصویر ۱۳		تصویر ۱۲		تصویر ۱۱	
D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون	D _{AP}	شماره پلیگون
۱/۹۱	۱	۲/۱۲	۱	۲/۰۸	۱	۲/۰۵	۱	۲/۰۷	۱
۱/۹۷	۲	۲/۱۷	۲	۱/۹۵	۲	۲/۰۲	۲	۲/۱۱	۲
۲/۱۰	۳	۲/۰۵	۳	۲/۱۴	۳	۱/۹۸	۳	۱/۹۶	۳
۱/۹۷	۴	۱/۸۸	۴	۱/۹۲	۴	۱/۹۰	۴	۲/۰۵	۴
۱/۹۰	۵	۲/۰۲	۵	۱/۹۷	۵	۲	۵	۲/۰۹	۵
۲/۰۳	۶	۲/۰۲	۶	۲/۰۲	۶	۱/۹۶	۶	۱/۹۲	۶
۲/۰۴	۷	۲/۰۵	۷	۲/۰۸	۷	۲/۱۳	۷	۲/۰۲	۷
۱/۹۹	۸	۱/۹۵	۸	۲/۰۴	۸	۲/۰۹	۸	۱/۹۲	۸
۱/۸۸	۹	۲/۰۳	۹	۱/۹۶	۹	۲/۰۷	۹	۱/۹۴	۹
۱/۹۳	۱۰	۱/۹۳	۱۰	۲/۱۰	۱۰	۱/۹۶	۱۰	۲/۰۱	۱۰
۲/۰۷	۱۱	۱/۹۴	۱۱	۲/۱۴	۱۱	۲/۰۲	۱۱	۲	۱۱
۱/۸۹	۱۲	۱/۹۲	۱۲	۱/۸۷	۱۲	۲/۰۱	۱۲	۱/۹۵	۱۲
۲/۰۹	۱۳	۱/۹۴	۱۳	۲/۰۹	۱۳	۲/۰۲	۱۳	۱/۸۸	۱۳
۲/۱۶	۱۴	۲/۰۷	۱۴	۱/۸۸	۱۴	۲/۰۱	۱۴	۱/۹۷	۱۴
۱/۹۴	۱۵	۱/۸۴	۱۵	۲/۰۱	۱۵	۲/۰۳	۱۵		
۲/۰۳	۱۶	۱/۸۷	۱۶	۲/۰۳	۱۶	۲	۱۶		
۲/۰۱	۱۷	۱/۹۹	۱۷	۱/۹۹	۱۷	۲/۱۰	۱۷		

۲/۱۲	۱۸	۲/۲۹	۱۸	۲/۱۰	۱۸	۲/۰۲	۱۸
۱/۹۶	۱۹	۲/۲۶	۱۹	۱/۹۴	۱۹	۱/۹۵	۱۹
۱/۹۱	۲۰	۲/۱۲	۲۰	۲/۰۷	۲۰	۱/۹۷	۲۱
۱/۹۸	۲۱	۲/۰۲	۲۱	۱/۸۸	۲۱	۱/۹۲	۲۲
۱/۸۵	۲۲	۲/۰۴	۲۲	۱/۸۷	۲۲	۱/۹۳	۲۳
۱/۸۷	۲۳	۱/۹۲	۲۳	۲/۰۲	۲۳	۲	۲۴
۱/۸۰	۲۴	۲/۱۸	۲۴	۲/۰۵	۲۴	۱/۹۹	۲۵
۱/۹۱	۲۵	۲/۰۶	۲۵	۱/۹۵	۲۵	۲/۹	۲۶
۱/۹۹	۲۶	۱/۹۶	۲۶			۲	۲۷
۱/۹۷	۲۷	۱/۹۴	۲۷			۱/۸۵	۲۸
۱/۷۸	۲۸	۱/۹۸	۲۸			۱/۹۳	۲۹
۱/۹۰	۲۹	۲/۰۱	۲۹			۱/۹۶	۳۰
۱/۹۳	۳۰	۱/۹۰	۳۰			۲/۰۴	۳۱
۱/۹۱	۳۱	۱/۹۲	۳۱				
۱/۹۳	۳۲	۱/۹۲	۳۲				
		۱/۹۵	۳۳				
		۱/۹۴	۳۴				
		۱/۹۳	۳۵				

در مرحله بعد، نمودارهای همبستگی مقادیر محیط و مساحت با بعد فراکتالی رسم گردیدند و نشانگر همبستگی بیشتر اندازه‌های محیط نسبت به مساحت با بعد فراکتالی چند وجهی‌های گلی بودند، بطوریکه r در همبستگی مقادیر محیط با بعد فراکتالی عدد $۰/۹۵۶$ و در همبستگی مقادیر مساحت با بعد فراکتالی عدد $۰/۹۲۲$ را نشان می‌دهد. (شکل ۴) این موضوع، نشانگر هندسه نامتناهی محیط در تقابل با هندسه متناهی مساحت پلیگون‌های رسی در پلازای میقان است. بدین معنا که در برابر تغییرات محیطی مشابه (اعم از افزایش و یا کاهش دما و رطوبت، غلظت رسوبات، میزان کانی‌های رسی و ...)، محیط پلیگون‌ها همواره ۳ درصد بیش از مساحت آنها افزایش می‌یابد. بعنوان مثال در صورتی که محیط یک پلیگون رسی (با فرض مربعی شکل بودن

آن) در طی زمان و تحت شرایط افزایش غلظت رسوب و یا تغییرات مکانیک خاک از ۸ به ۱۲ سانتیمتر افزایش یافته باشد (۵۰ درصد افزایش محیط)، مساحت آن از ۴ به ۵/۸۸ سانتیمتر مربع تحول می‌یابد (۴۷ درصد افزایش مساحت).



شکل ۴- نمودار محیط- مساحت با بعد فراکتال ۳۰۰ پلیگون گلی

الگوی پلیگون‌های رسی، سه رده آشوب متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در میقان نشان می‌دهد. ارزش D_{AP} نیز با افزایش از رده آشفته‌گی ۱ تا ۳ افزایش می‌یابد و به ترتیب شامل ۱/۷۳، ۱/۹۱ و ۲/۰۸ است (جدول ۲). همانطور که مشاهده می‌شود؛ مساحت اشکال رسی بین ۳/۱۱ تا ۵۸۶/۲ سانتیمتر مربع و محیط آنها بین ۹/۷۵ تا ۹۶/۶۸ سانتیمتر متغیر می‌باشد. همچنین انحراف معیار، میزان ناهمگونی و عدم یکنواختی پلیگون‌ها را در هر رده نشان می‌دهد. این فاکتور در رده خیلی زیاد به اوج خود می‌رسد.

جدول ۲ - رده بندی آماره های محیط - مساحت آشفته‌گی میکروفرم های رسی در پلاهای میقان

بعد فراکتال محیط - مساحت				محیط (سانتیمتر)				مساحت (سانتیمتر مربع)				رده آشوب
Std	Mean	Min	Max	Std	Mean	Min	Max	Std	Mean	Min	Max	
۰/۰۴۳	۱/۷۳	۱/۶۲	۱/۷۹	۳/۹۰	۱۷/۵۷	۶/۷۵	۲۳/۸۹	۷/۲۱	۱۸/۳۸	۳/۱۱	۳۲/۱۶	متوسط
۰/۰۵۱	۱/۹۱	۱/۸۰	۱/۹۹	۵/۷۲	۳۶/۱۳	۲۳/۹۱	۴۶/۲۳	۲۳/۹۷	۷۶/۹۳	۳۲/۶۴	۱۲۰/۰۷	زیاد
۰/۰۸۰	۲/۰۸	۲	۲/۴۱	۱۱/۴۹	۵۷/۲۰	۴۶/۲۵	۹۶/۶۸	۸۶/۹۰	۱۹۲/۹۸	۱۲۱/۷۱	۵۸۶/۲۰	خیلی زیاد

نتیجه گیری

هندسه فراکتال مناسب ترین ابزار ریاضی برای توصیف و تبیین آشوب پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعی است. ورود انسان به حوزه پلایاها و عدم اعمال مدیریت صحیح منابع آب، همچنین تحول شرایط اقلیمی مانند کاهش میانگین بارش و رطوبت و افزایش تبخیر و تعرق نیز افزایش غلظت آب، رسوب نمک، خشک شدن فصلی یا دائمی دریاچه‌ها و بی‌نظمی در چرخه حیات محیط پلایاها را بدنال داشته است. پلیگون‌های رسی از جمله میکرواندفرم‌هایی هستند که قادرند اثرات ناشی از تحولات محیطی را در خود ثبت و ضبط نمایند و به آنها واکنش نشان دهند. پلایای میقان با مساحت ۱۲۹ کیلومتر مربع در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اراک واقع شده و دارای یک دریاچه فصلی با همین نام است. شیب ملایم منطقه (کمتر از ۲ درصد) موجب گسترش ترک‌های گلی با الگوی شبکه‌ای گردیده است. اعمال مدل فراکتال محیط-مساحت با روش حداقل مربعات، بر روی ۳۰۰ چند وجهی گلی در بخش غربی پلایای میقان، ضریب همبستگی ۰/۹۹۳ را بین لگاریتم محیط و لگاریتم مساحت چندضلعی‌ها نشان داد. این مسأله بیانگر همبستگی بالای تغییر ابعاد محیط و مساحت پلیگون‌های گلی در مواجهه با تحولات محیطی است. گرچه ۲ در همبستگی مقادیر محیط با بعد فراکتالی، ۰/۹۵۶ و در همبستگی مقادیر مساحت با بعد فراکتالی ۰/۹۲۲ محاسبه گردید و این بدان معناست که بدنال وقوع هرگونه شرایط محیطی که منجر به کاهش نظم در الگوی میکروفرم‌های منطقه مورد مطالعه می‌شود، محیط پلیگون‌ها بطور میانگین ۶۳ درصد بیش از مساحت آنها افزایش می‌یابد. این پدیده از افزایش غلظت رسوب و تجمع نمک در لبه پلیگون‌های گلی و بالآمدگی و بی‌نظمی حواشی این اشکال در اثر خشکی و کاهش رطوبت منتج شده است. گرچه علت اصلی چنین رویدادی را می‌توان به هندسه نامتناهی طول پلیگون‌ها همانند آنچه در تغییر ابعاد دانه‌های برف با الگوی کُخ به وقوع می‌پیوندد (همزمان با افزایش محیط دانه‌ها، مساحت آنها همچنان ثابت می‌ماند)، دانست. واقعیتی که برخاسته از هندسه فراکتال بوده و با هندسه اقلیدسی قابل

توجیه نیست. در نهایت، الگوی پلیگون‌های رسی، سه رده آشوب متوسط، زیاد و خیلی زیاد را در میقان و ارزش DAP نیز با افزایش از رده آشفتگی ۱ تا ۳ به ترتیب، مقادیر ۱/۷۳، ۱/۹۱ و ۲/۰۸ را نشان داد. در هر سه طبقه، بعد فرکتالی بدست آمده به عدد ۲ نزدیک است و این نشان می‌دهد؛ ترکهای گلی از بلوغ کمی برخوردارند و منتظم نیستند.

منابع

- ایزدی، فاطمه، حداد، شمیلا، مشکسار، مریم، (۱۳۸۷)، هندسه فراکتال در ساختارهای معماری، فصلنامه جلوه نقش، تابستان، ۳، صص ۵۰ - ۴۲.
- بمانیان، محمدرضا، لیلیان، محمدرضا، امیرخانی، آرین، (۱۳۸۹)، هندسه فراکتال در ساختارهای هنر و معماری، فصلنامه جلوه نقش، تابستان، ۳، صص ۵۰-۴۲.
- رحمانی، مرتضی، صائبی، فهیمه، علی بخشی، نرجس، (۱۳۹۱)، کاربرد نظریه فرکتال و آشوب در پیش بینی سری‌های زمانی، چاپ جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی شریف)
- رضایی، حامد، امینی، آرش، (۱۳۹۴)، ارزیابی ژئومتریکی ترکهای گلی در شکل‌گیری یکی از رخساره‌های رسوبی رسوبات ریز دانه عهد حاضر (مطالعه موردی؛ رسوبات مخازن سد و شمشگیر گرگان)، نشریه رخساره‌های رسوبی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱۳۰-۱۰۷.
- رضاییان لنگرودی، سعید، لک، راضیه، جهانی، داود، (۱۳۹۵)، مقایسه رخساره‌های رسوبی هولوسن پلایاهای حوض سلطان و گرمسار، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۲، شماره ۲، صص ۱۸۲-۱۶۷.
- عرفانیان، عباس، (۱۳۸۰)، معماری طبیعت: هندسه فراکتال و نظریه آشوب، مجله فضا، ۲-۳، صص ۳۲-۲۵.

- فرزین، سعید. حاجی آبادی، رضا، احمدی، محمدحسین، (۱۳۹۴)، کاربرد نظریه آشوب و شبکه عصبی مصنوعی در بررسی و تخمین تبخیر از سطح آب دریاچه‌ها، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۱، شماره ۱، صص ۷۴-۶۱
- فرهنگ، مژگان، رضایی، صفیه، (۱۳۹۵)، فرکتال هنر نرم افزاری با نگاه به هندسه محاسباتی و هندسه نقوش، مجله پویش در علوم پایه، دوره دوم، شماره چهارم، صص ۲۵-۱۱.
- قبادیان، وحید، (۱۳۸۸)، مبانی و مفاهیم در معماری معاصر غرب، دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- قهرودی تالی، منیژه، (۱۳۹۶)، چرا دانش مخاطرات؟ (ضرورت استفاده از دیدگاه ژئوفرکتال در ردیابی مخاطرات)، مجله مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۳۰۰-۲۹۷.
- قهرودی تالی، منیژه، خدیری غریبوند، لادن، (۱۳۹۲)، بررسی آشفته‌گی در میکرواندفرم-های تالاب گاوخونی، مجله پژوهشی زمین پویا، شماره ۲، صص ۵۱-۴۴.
- قهرودی تالی، منیژه، علی نوری، خدیجه، (۱۳۹۴)، ردیابی مخاطرات پلازما حوض سلطان با بررسی آشفته‌گی در میکرواندفرم‌ها، دانش مخاطرات، ۱ (۲): صص ۲۵۲-۲۴۱.
- کرم، امیر، (۱۳۸۹)، نظریه آشوب، فراکتال (برخال) و سیستم‌های غیر خطی در ژئومورفولوژی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۸، صص ۸۲-۶۷.
- مبینی، مهتاب، فتح الهی، نوشین، (۱۳۹۳)، بررسی جایگاه هندسه فراکتال در هنر و چگونگی ظهور آن در هنرهای تجسمی، فصلنامه دانشکده هنر، دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ششم، صص ۲۳-۷.
- مستغنی، علیرضا، علیمردانی، محسن، (۱۳۹۵)، واکاوی کاربرد هندسه طبیعت و فرکتال در معماری پارامتریک با بررسی آرایه داخلی گنبد مسجد لطف الله، فصلنامه نامه معماری و شهرسازی، دوره ۸، شماره ۱۶، صص ۱۲۲-۱۰۳.

مقصودی، مهران، شمسی پور، علی اکبر، (۱۳۹۵)، پتانسیل سنجی مناطق بهینه توسعه ژئومورفوتوریسم (مطالعه موردی: منطقه مرنجاب در جنوب دریاچه نمک)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۷، صص ۱۹-۱.

- Bovill, Carl. (1995). *Fractal Geometry in Architecture and Design*, Birkhanuser, Boston
- Chen, Yanguang. (2009). Analogies between urban hierarchies and river networks: Fractals, symmetry, and self-organized criticality. *Chaos, Soliton & Fractals*, 40(4). Cheng, Q.; H. Russell D. Sharpe, F. Kenny, and P. Qin. (2001). GIS-based statistical and fractal / multifractal analysis of surface stream patterns in the Oak Ridge's Moraine. *Computer Geoscience*, 27(5):513-526.
- Hassanzadeh Y., Aalami M.T., Farzin S., Sheikholeslami S.R., Hassanzadeh E. (2012). Study of chaotic nature of daily water level fluctuations in Urmia Lake. *Journal of Civil Engineering and Environment*, 42(1):9-20. (In Persian with English Abstract)
- Howari, F.M., Banat, K.M., Abu-Salha, Y.A. (2014). Depositional and diagenetic processes of Qa Khanna Playa, North Jordan basaltic plateau, Jordan, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(4): 275-284.
- Khan S., Ganguly A.R., and Saigal S. (۲۰۰۵). Detection and predictive Modeling of chaos in finite hydrological time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, ۱۲: ۴۱-۵۳.
- Krinsley: D.B., 1970, -A Geomorphological and Paleo climatological of the Playas of Iran, U.S. Geological Survey Interagency Report IR-Military-1, p. 329.
- Regonda S.K., Sivakumar V., and Jain A. (2004). Temporal scaling in the river flow: Can it be chaotic? *Hydrological Sciences Journal*, 49(3):373-385.
- Pelletier, J.D. (2002). Fractal Behavior in Space and Time in Simplified Model of Fluvial Landform Evolution". *Geomorphology* 91.
- Selen, F., & Turer, D. (2011). Factors Effecting Mud Crack Formation in Ankara Clay, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 56: 166- 167.
- Solomatine D.P., Velickov S., and Wust J.C. (2001). Predicting water levels and currents in the North Sea using chaos theory and neural networks. p. 1-11. *Proceeding of the Congress-International Association for Hydraulic Research, 29th Iahr Congress, and Beijing, China.*
- 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.

Zhao, Z., Guo, Y., Wang, Y., Liu, H., & Zhang, Q. (2014). Growth patterns and dynamics of mud cracks at different diagenetic stages and its geological significance. *International Journal of Sediment Research*, 29: 82-98.