

برآورد بُعد فراکتالی ژئومورفولوژی کرانه‌های شمال خلیج فارس با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای

مهدی نظری صارم - دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
رحیم دبیری - استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران.
محمد رضا انصاری* - استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی چالوس، ایران.
منصور وثوقی عابدینی - دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱۱/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

چکیده

در پیوند با پدیده‌های ژئومورفولوژی کرانه‌های خلیج فارس از دید ریخت شناسی، آشوبناک و درهم تنیده بنظر می‌آیند اما از دید هندسه فراکتال خورها از یک نظم درونی برخوردار می‌باشند. در این پژوهش با استفاده روش شمارش خانه‌ای، بُعد هندسه فراکتال خورهای کرانه شمالی خلیج فارس شامل: خورهای دریایی (خور موسی در کرانه‌های دریایی ایران و خور عبدالله در مرز مشترک کویت و عراق) و پیچانرودهای رودخانه‌ای (اروند رود و رودخانه دالکی) با استفاده از نرم افزار Arc GIS و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، در ده مقیاس صدکیلومتر تا یکصد متر، بدست آورده شد. هدف ما در این پژوهش بررسی الگوی نظم در ژئومورفولوژی هندسی خورهای شمال خلیج فارس و پیچانرودی رودخانه‌ها از دیدگاه فراکتالی و ارتباط آن به فرایندهای (زمین شناسی، آب و هوایی، آبی و ...) می‌باشد. نتایج نشان از آشوبناکی خور دریایی موسی با بُعد کلی فراکتال ۱٫۵ و ۰٫۶ برای خور عبدالله می‌باشد. بُعد فراکتالی دو رودخانه دالکی و ارون رود تقریباً ۰٫۵ می‌باشد. بطور کلی در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که از دید پدیده‌های ژئومورفولوژی فرکتال، خورهای دریایی شمال خلیج فارس (بویژه خور موسی) وارد مرحله لبه آشوبناکی شدند. همچنین آشوبناکی بعد فرکتال در مقیاس ۱۰۰ متری رودخانه ارون رود بیشتر از رودخانه دالکی می‌باشد. در مجموع پدیده‌های ژئومورفولوژی خورها و پیچانرودها در مقیاس ۱۰۰ متری دچار آشوبناکی است که نشان از کارکرد و اثرگذاری فرایندهای آبی ساحلی مانند نیروی مه کشند - که کشند، امواج دریایی، فرسایش آبی و سست بودن رسوبات در خورها و پیچانرودهای ساحلی شمال خلیج فارس دارد.

واژگان کلیدی: فراکتال، خلیج فارس، خور، ارون رود، شمارش خانه‌ای.

مقدمه

دانش ژئومورفولوژی که بر اساس شناخت فرم‌ها (پدیده) و فرایندها (نیروها) می‌باشد، کاملاً پیچیده، دگرسان و به سختی قابل پیش بینی است. سواحل و رودخانه‌ها، بوسیله فرایندهای آبی، بادی، زمینساختی، فیزیکی و شیمیایی و زمین شناسی و ... کنترل می‌گردند، بدلیل نقش زیاد پارامترها در آنها، معمولاً رفتاری ناشناخته و آشوبناکی در قالب پدیده‌های ژئومورفولوژی از خود نشان می‌دهند که نمونه بارز آن خورها^۱ در کرانه‌های دریایی و پیچانرودها در جلگه‌ها و دشت‌ها و یا دلتاها و مخروط افکنه‌ها می‌باشد. برای این منظور، هندسه فراکتال یک مدل ریاضی را برای برخی از اشکال پیچیده و اجزا موجود در طبیعت مانند سواحل، کوه‌ها، پوست درختان، ابرها و... فراهم می‌کند (پیتجن و همکاران^۲، ۱۹۹۲؛ مندلبروت^۳، ۱۹۸۲؛ پنلند^۴، ۱۹۸۴). بعد فراکتال یک ویژگی مفیدی جهت بررسی بافت اجزا، شکل‌های طبقه بندی شده و تحلیل‌های گرافیکی در برخی از رشته‌ها می‌باشد (لی و همکاران^۵، ۲۰۰۹). هر پدیده درجهان دارای نظمی می‌باشد، اگرچه ممکن است در آن بی‌نظمی دیده شود، اما در دل هر بی‌نظمی، نظمی وجود دارد که با ابزار و روش‌های ویژه دسترسی و یافتن الگو و نظم موجود در آن ممکن می‌باشد. خود - همانندی^۶ یکی از صفت‌های لازم فراکتال در طبیعت می‌باشد که ممکن است بوسیله بعد فراکتال تبدیل به کمیت گردد (لی و همکاران^۷، ۲۰۰۹). تا چند دهه پیش، دانشمندان هر پدیده‌ای را به صورت مجموعه - ای دارای رفتار سیستماتیک، همسو و متأثر از قوانین جبری طبیعت و به شیوه‌های آشکار، قابل پیش بینی می‌دانستند. باگذشت زمان و پیشرفت دانش، توجه نشدن بسیاری از رویدادهای طبیعی به واسطه دیدگاه‌های جبرگرایانه پیشین، سبب شد تا دید برخی از دانشمندان نسبت به این روند تغییر کرده و در پی آن، نظریاتی مانند نظریه مکانیک کوانتومی، نظریه نسبیت و نظریه آشوب پدید آمدند. هندسه‌ای که برای توجیح این اشکال و شناخت و قابل فهم کردن آنها بکار می‌رود، هندسه فراکتال نام دارد (ترکوتته^۷، ۱۹۹۲). در واقع برتری هندسه فراکتال نسبت به دیگر روش‌های پیشین این می‌باشد که کمی سازی و همانند سازی الگوهای پیچیده طبیعی در روش‌های پیشین از طریق روش‌های توصیفی و مدل‌های انعطاف ناپذیر انجام می‌گرفت، اما پدیده‌ها فراکتالی "خود - همانند"^۸ می‌باشند (راج و فلور^۹، ۱۹۹۳) که این خود به معنی همانند بودن پدیده‌ها در تمام اجزا دیده می‌شود. واژه فرکتال برگرفته از واژه لاتینی فرکتوس به معنی سنگی که به شکل نامنظم شکسته و خردشده می‌باشد. فرکتال‌های هندسی اشکالی هستند که برخلاف اشکال هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها از طرفی سراسر بی‌نظمند (کاپلان و کو^{۱۰}، ۱۹۹۵؛ سویله و ریوست^{۱۱}، ۱۹۹۶؛ اوستاس و همکاران^{۱۲}، ۱۹۹۸؛ چن و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۳) و از سوی دیگر میزان بی‌نظمی آن‌ها در همه مقیاس‌ها یکسان است. مندل بروت در توضیح نظریه خود با انتخاب واژه فرکتال، در واقع بر یکی از ویژگی‌های بارز این اشکال هندسی که برگرفته از ماهیت قطعه قطعه شونده آن‌هاست، تأکید نموده است. به اعتقاد او جهان هستی و تمامی پدیده‌های طبیعی موجود هریک به نوعی فرکتال می‌باشند و به صورت خط مستقیم حرکت نمی‌کنند، در واقع پیروی از قوانین جبری نمی‌کنند بلکه دارای رفتار و اشکال پیچیده‌ای هستند که نیاز به بررسی از طریق فراکتال می‌باشند. پدیده‌ها و لندفرم‌های ژئومورفولوژی

^۱ - Estuaries

^۲ - Peitgen et al

^۳ - Mandelbrot

^۴ - Pentland

^۵ - Li et al

^۶ - Self-similarity

^۷ - Turcotte

^۸ - Self - Affinitive

^۹ - Roach and Fowler

^{۱۰} - Kaplan and Kuo

^{۱۱} - Soille and Rivest

^{۱۲} - Asvestas et al

^{۱۳} - Chen et al

مانند شبکه‌های زهکشی و آبراهه‌ها (باربارا و رز^۱، ۱۹۸۹؛ پیکام^۲، ۱۹۸۹؛ تارکوتنه، ۱۹۹۲؛ رودریگز و رینالدو^۳، ۱۹۹۷؛ شولر و همکاران^۴، ۲۰۰۱؛ شن و همکاران^۵، ۲۰۰۲؛ خان و همکاران^۶، ۲۰۰۵؛ شانگ و کامی^۷، ۲۰۰۵؛ بارتولو و همکاران^۸، ۲۰۰۶؛ ژانگ و همکاران^۹، ۲۰۰۱؛ شن و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۱؛ آریزا و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۳)، شکل سواحل، لندفرم‌های ساحلی، خورها و... از برهم کنش چندین پارامتر ایجاد و تاثیر می‌پذیرند و دارای پیچیدگی‌های زیادی از نظر فرم و فرایند می‌باشند و دارای رفتار خطی نمی‌باشند بلکه پیچیده و در هم تنیده ولی رویهمرفته دارای یک نظم درونی در مقیاس خرد، متوسط و کلان می‌باشند. در ژئومورفولوژی بیشتر پدیده‌ها و فرایندها دارای رفتار و الگویی فرکتالی می‌باشند همچنین مقیاس برای پدیده‌های که رفتار فراکتالی دارند، بی معنی است، چرا که در همه مقیاس‌ها یک روند پایدار دیده می‌شود. بارزترین نمونه‌های این مثال در دانش پیکر شناسی زمین را می‌توان در شکل کرانه‌های دریایی (ترکوتنه، ۱۹۹۲؛ کلورینجاو اوست^{۱۲}، ۱۹۹۹) و همچنین خورها دانست. در پیوند با خورهای دریایی^{۱۳} و هندسه آنها از دیدگاه فراکتال کارهای در گوشه و کنار دنیا صورت پذیرفته است (بیلیونز و همکاران^{۱۴}، ۱۹۹۹؛ آنجلس و همکاران^{۱۵}، ۲۰۰۴؛ دایا و همکاران^{۱۶}، ۲۰۰۴؛ ریستانویک و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۴؛ باس^{۱۸}، ۲۰۰۲؛ دایا و همکاران^{۱۹}، ۲۰۰۷). این کارها یا مستقیماً به بررسی الگوی فراکتالی خورها^{۲۰} یا به شکل و هندسه سواحل که بخشی از آن نیز خورها می‌باشند پرداخته‌اند. هدف ما در این پژوهش نیز بررسی الگوی نظم در شکل ژئومورفولوژی هندسی خورهای دریایی شمال خلیج فارس و پیچانرودی رودخانه‌ها از دیدگاه فراکتالی و ارتباط آن به فرایندهای (زمین شناسی، آب و هوایی، آبی و ...) می‌باشد.

مبانی نظری

پکهام^{۲۱} (۱۹۹۸) با استفاده از درخت فراکتال، نسبت انشعاب دو رودخانه کنتاکی و پودر را در آمریکا محاسبه کرد. آنجلس^{۲۲} و همکاران (۲۰۰۴) بعد فرکتالی کانال‌های جزر و مدی خور باهیا بلانکا^{۲۳} در آرژانتین را با استفاده از روش‌های شمارش جعبه‌ای محاسبه کردند. دونادیو^{۲۴} و همکاران (۲۰۱۴) سه رودخانه را از دید بعد فرکتالی الگوی هیدروگرافیکی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که رابطه بین زمینساخت و فرسایش با عدد بعد فراکتال وجود دارد. ساسکانرود و زینالی (۱۳۹۴) به بررسی الگوی پیچانرودی رودخانه گرمی چای استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی و

¹ - Barbera and Ross

² - Peckham

³ - Peckham

⁴ - Schuller et al

⁵ - Shen et al

⁶ - Khan et al

⁷ - Shang and kamae

⁸ - Bartolo et al

⁹ - Zhang et al

¹⁰ - Shen et al

¹¹ - Ariza et al

¹² - Cleveringa and Oost

¹³ - Marine estuaries

¹⁴ - Billiones et al

¹⁵ - Angeles et al

¹⁶ - Daia et al

¹⁷ - Ristanovic et al

¹⁸ - Bass

¹⁹ - Daia et al

²⁰ - Estuary

²¹ - Peckham

^{۲۲} - Angeles

²³ - Bahia Blanca

^{۲۴} - Donadio

تحلیل فراکتال پرداختند و در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که بین بعد فراکتالی و پارامترهای‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی ارتباط مستقیم وجود دارد و بعد فراکتالی نیز مانند سایر روش‌های شناسایی الگوی رودخانه‌ها می‌تواند به عنوان پارامتر هندسی جدید وارد مدل‌های ریخت شناسی رودخانه‌های پیچانرودی گردد. ژونگ و همکاران (۲۰۱۷) در کار پژوهشی خود به عنوان، ویژگی‌های فرکتال تغییرات خط ساحلی که در معرض یک طوفان قرار دارد را در جزیره هاین در دریای چین جنوبی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که ویژگی فراکتالی تغییرات ساحلی ناشی از طوفان‌ها به صورت موقتی بر روی چشم اندازهای ساحلی، پیوسته و در حال تکرار است. کرم (1388) در مقاله‌ای به بررسی نظریه آشوب، فرکتال و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی پرداخت و به این نتیجه رسید که رفتار آشوبناک در سیستم‌های دینامیکی پیچیده‌ی طبیعی و ژئومورفیک دیده می‌شود. علمی زاده و ما پیکر (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی نظریه فرکتال در رودخانه زربینه رود با استفاده از روش شمارش جعبه‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بعد فراکتالی پایین رودخانه زربینه رود نشان از تاثیر زمینساخت بر الگوی پیچانرودی رودخانه زربینه رود دارد. فتاحی و کامیاب (۱۳۹۷) در مقاله با عنوان انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه به بررسی و ارزیابی حوضه آبریزی در جنوب شرق ایالت آریزونا آمریکا با استفاده از تحلیل چند فراکتال پرداختند و نتایج آنها نشان داد که نتایج و بررسی‌های مختلف نشان داد که ماهیت زیرحوضه‌ها بر الگوهای فراکتال و چندفراکتال استوار است و همچنین ماهیت غیرخطی شکل آبراهه بیش از آنکه برگرفته از تحلیل‌های تک فراکتال باشد نسبت به شاخص‌های چندفراکتال حساس می‌باشد. همچنین روابط معناداری بین شاخص‌های ژئومورفولوژیک و شاخص‌های چندفراکتالی وجود دارد.

منطقه مورد مطالعه

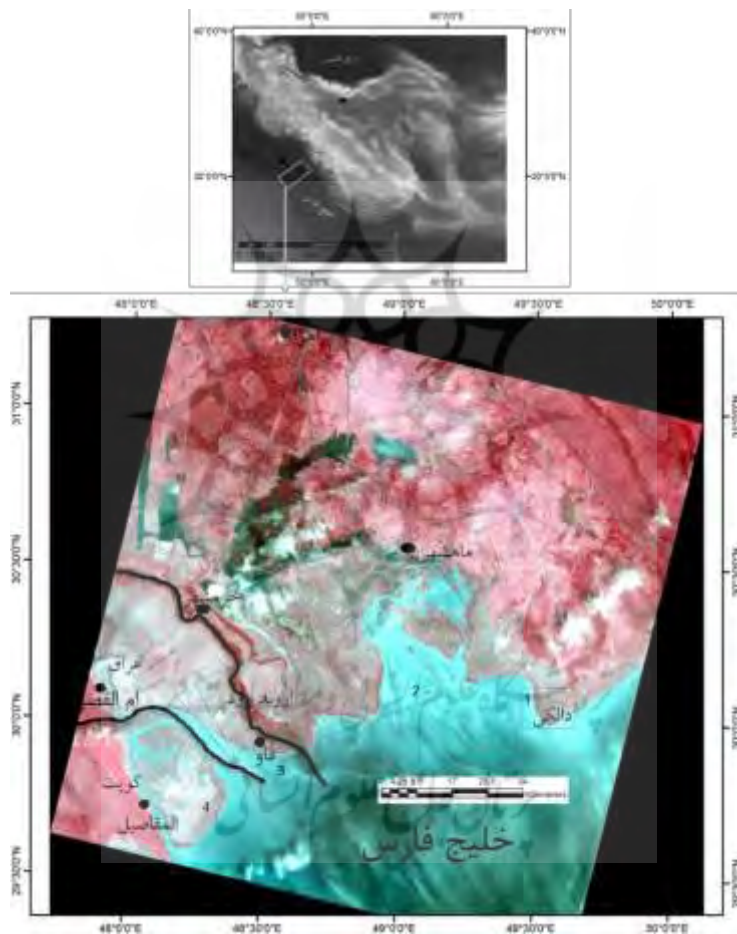
منطقه مورد در بخش شمالی خلیج فارس و در گستره بخش‌های جنوبی شهرستان بندر ماهشهر، دلتای اروند رود و بخش‌های از جنوب بصره عراق تا جزیره بوبیان^۱ کویت را شامل می‌شود. مختصات منطقه دارای طول جغرافیایی ۳۲° ۴۷' ۴۵ - ۴۹° و عرض ۲۹° ۳۰' ۲۹ - ۳۵° می‌باشد. محدوده مشخص شده در بین سه کشور ایران، عراق و کویت واقع می‌باشد که بالغ بر ۷۰٪ آن در مرزهای سیاسی و خاک ایران است. بخش‌های واقع در خاک ایران شامل: شاخاب‌های خلیج فارس در بندر ماهشهر که به خور موسی^۲ معروف است و محل پیوست رودخانه دالکی در جنوب شهرستان هندیجان، همچنین دلتای اروند رود تا ماهشهر می‌باشد. در بخش باختری منطقه که مرزهای سیاسی کشور عراق و کویت را تشکیل می‌دهد خور عبدالله^۳ در محدوده جنوب شهر بصره عراق تا شهر ام القصر و فاو را شامل می‌شود. در مرزهای سیاسی کشور کویت نیز در جزیره بوبیان و را شامل می‌باشد (شکل ۱). در واقع از دیدگاه ژئومورفولوژی، خورها مهمترین لندفرم موجود در بخش شمالی خلیج فارس می‌باشند. خور به بخش نیمه بسته‌ای از آب گفته می‌شود که یک راه آزاد ارتباطی به دریا دارد که در آن آب دریا با آب زهکشی شده از خشکی مخلوط می‌شود. جلگه خوزستان و بخش‌های شمالی خلیج فارس از دیدگاه زمین شناسی و توپوگرافی ادامه جلگه بین‌النهرین و بخش‌های باختری آن شامل: بندر ماهشهر، دلتای اروند رود و بخش‌های مورد مطالعه واقع در کشور عراق و کویت بخشی از صفحه عربی می‌باشند (آقانباتی، ۱۳۸۳، عیوضی، ۱۳۷۷، علایی طالقانی، ۱۳۸۸). رسوبات بخش مورد مطالعه از نوع آبرفتی بوده که در نقشه زمین شناسی سن عهد حاضر و کواترنری دارند. از نظر جنس، رسوبات از نوع ماسه‌ای ریزدانه و سیلتی همراه رس قرمز رنگ و قهوه‌ای می‌باشد که در آن کوراتر، رسوبات آهکی و فلدسپات، مواد ارگانیکی

1 - Bubiyan Island

2 - Khowr Mousa

3 - Abd Allah

و کانی ژئیس بیشترین درصد فراوانی رسوبات را به خود اختصاص داده اند (بیت من^۱، ۱۹۹۴؛ هایپورت و بیت من^۲، ۲۰۰۷؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۵). رسوبات این بخش در سه محیط آبرفتی، ساحلی و مردابی تشکیل می‌شوند (هایپورت و همکاران^۳، ۲۰۰۷). منطقه مورد مطالعه از دیدگاه ژئومورفولوژی به ترتیب متأثر از سه فرایند: دریایی و ساحلی، رودخانه‌ای و بادی می‌باشد و بیشترین ارتفاع آن از سطح دریا کمتر از چهار متر می‌باشد. تنها در خور عبدالله دلیل وجود رسوبات ماسه سنگ پلیستوسن دیب دیباه^۴ در بخش باختری آن با برونزدگی کمی دیده می‌شود (میلتون^۵، ۱۹۶۳؛ سولایمی و رواج^۶، ۲۰۰۷؛ دین و همکاران^۷، ۲۰۰۷). جنس رسوبات خورهای شمالی خلیج فارس از رس، رس، رس سیلتی و مواد تبخیری است که بر روی سنگ و مارن سلزند آغاچاری در ژرفای ۸۰ متری قرار دارند (قنواتی و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه. خطوط سیاه درشت در بخش جنوب غربی در تصویر ماهواره‌ای مرزهای سیاسی کشورها می‌باشند. چهار گوش‌های با خط نازک درون تصویر ماهواره‌ای که با عدد مشخص گردیده‌اند موقعیت چهار منطقه مورد مطالعه شامل: ۱- خور موسی ۲- خور عبدالله ۳- رودخانه دالکی ۴- رودخانه ارونند رود.

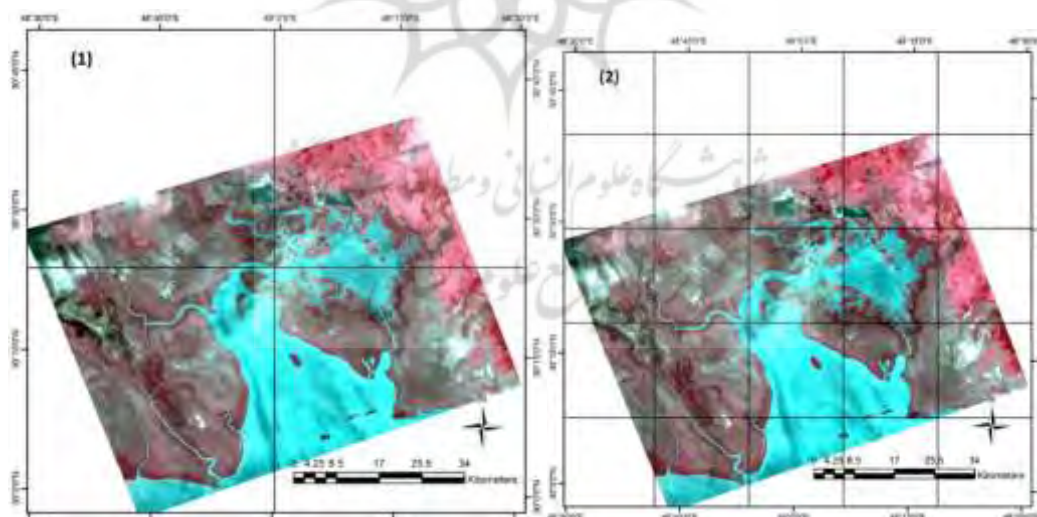
- 1 - Beatman
- 2 - Heyvaert and Beatman
- 3 - Heyvaert et al
- 4 - Dibdibah
- 5 - Milton
- 6 - Sulaimi and Ruwaih
- 7 - Din et al

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور دستیابی به بُعد فراکتال شاخاب‌های دریایی ساحلی و پیچانرودی رودخانه‌ای در بخش شمالی خلیج فارس از تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 ماه می ۲۰۱۶ استفاده گردید. از نرم افزار Arc GIS به منظور ایجاد شبکه‌های هاسدورف^۱ و همچنین بررسی و شمارش خانه‌های دارای پدیده ژئومورفولوژیکی مورد نظر (خور) برای اندازه‌های مساحتی مختلف استفاده گردید. روش کار بدین صورت می‌باشد که تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه را در GIS وارد می‌کنیم، سپس از گزینه فیش نت^۲ جهت ایجاد شبکه یا خانه‌های مربعی بر روی منطقه با تعریف و مشخص کردن اندازه هر خانه (ابعاد)، در مراحل لگاریتمی مختلف، برای هر مرحله شمار خانه‌ها و یا مربع‌های که دارای پدیده ژئومورفولوژیکی شاخاب‌های ساحلی می‌باشند، برآورد و محاسبه می‌گردد (شکل ۲). برای منطقه مورد مطالعه نخست شبکه به طول ۱۰۰ کیلومتر ترسیم شد (چرا که طول کل منطقه مورد مطالع در همین محدوده قرار داشت) و سپس دیگر شبکه‌ها به ترتیب به ۵۰، ۲۰، ۱۰، ۵، ۲، ۱، ۱/۲، ۱/۵، ۱/۱۰ و ۱/۱۰ کیلومتر کاهش داده شد (منظور از مقیاس یا شبکه ۱۰۰ کیلومتر یا ۵۰ کیلومتر این می‌باشد که تنها طول یا عرض چهارگوش ۱۰۰ یا ۵۰ کیلومتر می‌باشد. اما مساحت مربع هر خانه یا جعبه طول×عرض می‌باشد که برای مثال مساحت مقیاس ۱۰۰ کیلومتر می‌شود ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع)، این روش برای پیچانرودهای رودخانه‌ای شامل رودخانه دالکی و اروند رود برآورد گردید. برای خورهای دریایی شامل خور موسی در ایران و خور عبدالله در کویت جداگانه محاسبه گردید. در ادامه جهت بدست آوردن بُعد فراکتالی عناصر پدیده ژئومورفولوژیکی خورهای رودخانه‌ای و دریایی خلیج فارس از رابطه زیر استفاده گردید:

$$N_n = \frac{C}{R_n^D}$$

در این رابطه N_n شمار متغیرهای موجود برای یک پدیده، C ضریب ثابت، R_n بُعد ضریب خطی ویژه و D بُعد فراکتال می‌باشد.



شکل ۲: ایجاد شبکه‌های مربعی بر روی مناطق مورد مطالعه (خور ماهشهر). تصویر (۱) طول و عرض هر چهارگوش از تصویر (۱) با ابعاد ۵۰۰۰ متر شروع و تصویر (۲) به ۲۰۰۰ متر کاهش می‌یابد.

^۱ - Hausdorff

^۲ - Fishnet

برای محاسبه بُعد فراکتال^۱ روش‌های زیادی وجود دارد (کلینبرگ^۲، ۱۹۹۴) که از جمله آنها روش شمارش جعبه‌ای^۳ می‌باشد (گراسبرگر^۴، ۱۹۸۳). این روش یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های موجود جهت برآورد بُعد فراکتالی پدیده‌های است که رابطه دوسویه بین شمار پدیده - اندازه پدیده آنها وجود دارد. این روش سبب ارائه نتایج با اطمینان بالا می‌شود (لیبویچ و تیبور^۵، ۱۹۸۹؛ بوشکوسکی و همکاران^۶، ۱۹۹۸). سادگی و توانایی شمارش پذیری^۷ خودکار از ویژگی بارز آن می‌باشد (مندلبروت، ۱۹۸۲). برای محاسبه بعد فراکتالی به روش شمارش جعبه‌ای به صورت زیر عمل می‌گردد:

۱- نخست کل فضای مورد نظر یا مورد مطالعه بوسیله شبکه‌های چهارگوش یا مربعی پوشیده می‌شود.

۲- شمار مربع‌های که پدیده یا متغیر مورد نظر را پوشش می‌دهند شمرده می‌شود.

۳- زمانی که شمارش پدیده مورد نظر با کاهش اندازه چهارگوش و یا مساحت، روندی رو به کاهشی داشت، عمل شمارش و ایجاد شبکه بندی پایان می‌پذیرد.

یکی از روش‌های رایج در بررسی چگونگی پراکنش پدیده‌های مورد نظر استفاده از تابع نمایی، شمار پدیده - اندازه پدیده، در دستگاه لگاریتمی است که به فرم زیر می‌باشد.

$$\text{Log } N_s = a + K \text{ LOG } \left(\frac{1}{S}\right)$$

برای دست یابی به ابعاد فرکتالی (ضریب خط K)، از روش شمارش سلولی یا خانه‌ای به منظور تعیین پدیده‌های خور (N_s) در واحد سطح شبکه ایزومتریک ($1/S$) مطابق شکل (۲) استفاده می‌کنیم.

برای محاسبه بُعد جزئی فراکتال^۸ نیز از فرمول جبری زیر استفاده می‌کنیم:

$$FD = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

همچنین جامعه آماری بعد فرکتال در سه حالت یا وضعیت ۱- زمينه ۲- آستانه و ۳- ناهمساز می‌باشد (جدول ۱). جامعه آماری با وضعیت زمينه، یعنی تعداد بدهای فرکتالی یک پدیده که بصورت نرمال و بصورت میانگین در یک طبقه تعريف می‌شوند (برای مثال در مقیاس ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ کیلومتر از بررسی خورهای دریایی یک منطقه، بعد فرکتال آنها نزدیک بهم باشد زمينه گفته می‌شود ولی در مقیاس بعدی بعد فرکتال ناگهان یک نمره به دور از میانگین مقیاس‌های پیش از خود ارائه دهد، در واقع این نمره از بعد فرکتال یک آستانه و یا تغییر را در خورها و یا هر پدیده ژئومورفولوژی مورد بررسی نشان می‌هد که به آن آستانه گویند)، اما اگر یک بعد فرکتال از وضعیت میانگی زمينه خارج و به زبان ریاضی، دارای انحراف معیار زیادی باشد، آنوقت بعد فرکتالی به وضعیت آستانه وارد می‌شود. یه عبارتی نقطه شکست را در نمودار را وضعیت آستانه تعريف می‌کنند. به جامعه آماری و یا بدهای فرکتال پس از آستانه، که وضعیت غیر آستانه‌ای باشند، وضعیت آنومالی یا ناهمسازی گفته می‌شود که بیشتر - کمتر از بعد فرکتال آستانه است. مانند (جدول ۱). وضعیت بعد فرکتال نیز دارای ۴ حالت زیر می‌باشد (ترکوت، ۱۹۹۲):

1-	$0 < FD < 1$
2-	$1 < FD < 2$
3-	$2 < FD < 3$

¹ - Dimension fractal

² - Klinkenberg

³ - Box counting

^۴ - Grassberger

⁵ - Liebovitch and Tibor

⁶ - Buczkowski et al

⁷ - Computability

⁸ - Partial Fractal

$$4- \quad 3 < FD < 4$$

حالت ۱) این حالت در طبیعت کمیاب است و جامعه آماری بدون فرکتال نشانگر جوان بودن جامعه و پدیده مورد نظر می‌باشد که دارای روند ثابتی است. به عبارتی دگرش یا تغییرات اندک و قابل چشم پوشی است.
حالت ۲) یعنی جامعه آماری هنوز دارای نظم و الگو است ولی وارد لبه آشوبناکی و بی نظمی شده است.
حالت ۳) یعنی جامعه آماری دچار آشوبناکی است و پیش بینی آن سخت و دارای خطا است.
حالت ۴) یعنی جامعه آماری کاملاً آشوبناک و پارامترهای زیادی نقش بازی می‌کنند و همچنین ناتوان در پیش بینی است.

بحث و یافته‌ها

برای شناخت وضعیت نظم در بخش شمالی خلیج فارس نخست به بررسی داده‌های حاصله از وضعیت فراکتالی خورها شامل: خور موسی در بخش سرزمینی ایران و سپس خور عبدالله در محدوده سرزمینی عراق و کویت می‌پردازیم. در بخش دوم وضعیت فراکتالی رودخانه‌های: دالکی در شهرستان هندیجان و در ورودی خلیج فارس و سپس به وضعیت فراکتالی رودخانه اروند رود پرداخته می‌شود.

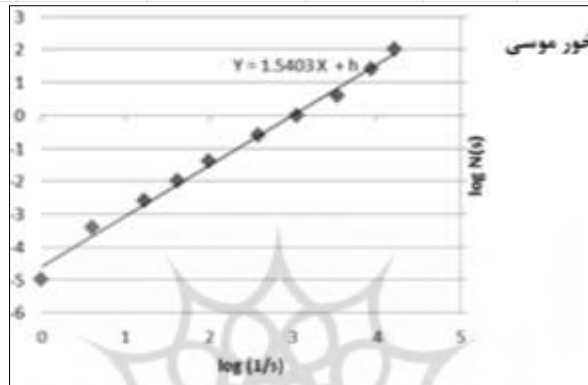
خور موسی

خور موسی دارای ابعاد ۱۰۰ کیلومتر طول و ۶۵ کیلومتر عرض می‌باشد. همانطور که در جدول (۱) دیده می‌شود برای بدست آوردن بُعد فراکتالی آن، شمار ده مقیاس آن از ۱۰۰ کیلومتر تا یک دهم کیلومتر آن در تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، شمارش شده است. نتایج واکاوی بُعد فراکتالی آن در جدول (۱) ارائه شده است. این نتایج نشان از وجود سه مرحله پیش زمینه، آستانه و مرحله ناهمسانی می‌باشد. مرحله آستانه و آنومالی (ناهمسانی) به ترتیب از مقیاس‌های ۲۰ و ۱*۱/۵ و با بُعد فراکتالی جزئی ۰.۶۵ و ۰.۴۶ شروع می‌شوند. در مرحله آستانه چهار بُعد فراکتال جزئی خود همانند می‌باشند که مقیاس‌های ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ کیلومتری با بُعدهای فراکتال جزئی به ترتیب: ۰.۶۵، ۰.۶۱، ۰.۷۴ و ۰.۷۶ می‌باشند (جدول ۱). جامعه زمینه و آنومالی به دلیل کوچک بودن چندان شناخته شده نمی‌باشند. رگرسیون فراکتال کلی برای هر سه جامع پیش زمینه، آستانه و آنومالی روی هم‌رفته حدود ۱،۵۴۰۳ می‌باشد (شکل ۳). از دیدگاه ژئومورفولوژی، مقیاس ۱*۱/۱۰ کیلومتر (یا مقیاس ۱۰۰ متر)، دارای بُعد فرکتالی ۲،۱ می‌باشد و بدین معناست که آشفتگی و آشوبناکی در این مقیاس (۱۰۰ متر) بسیار بارزتر از سایر مقیاس‌های بالاتر می‌باشد. این سطح آشوبناکی در خور خور موسی یک مقیاس خرد محسوب می‌شود که بوسیله فرایندهای مانند فرسایش، امواج دریایی، مه‌کشند و که‌کشند^۱ و بافت و ترکیب رسوب کنترل می‌شود، چرا که مقیاس زمینساختی هم در مقیاس‌های کوچک، متوسط و کلان کیلومتری قابل مشاهده می‌باشد.

جدول (۱) داده‌های مربوط به شمار خورهای موسی همرا با لگاریتم آنها. در این جدول اندازه پدیده بیان کننده شمار و تعداد خانه‌ها و مربع‌های که پدیده ژئومورفولوژی خور، در هر شبکه با مقیاس مربوط به خود دارد. مساحت پدیده نیز مساحت کل خورها در سراسر شبکه و در هر مقیاس می‌باشد. بُعد کلی فراکتال نمره‌ای است که در آن مقدار ضریب رگرسیون جوامع آستانه و آنومالی محاسبه شده است و وضعیت جامعه آماری که به سه حالت زمینه، آستانه و ناهمسانی است، جوامع متناظر در منطقه می‌باشند.

جدول ۱: جدول فراکتالی خور موسی.

اندازه پدیده (km)	مساحت پدیده (km ²)	1/S	log (1/S)	شمار پدیده	log N	بعد جزئی فرکتال FD	وضعیت	بعد کلی فرکتال FD
۱۰۰	۱۰۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۱	-۵	۱	۰	۰.۳۷۵۸۰۳۶۴۹	زمینه	۱.۵۴۰۳
۵۰	۲۵۰۰	۰.۰۰۰۰۴	-۳.۳۹۷۹۴۰۰۰۹	۴	۰.۶۰۲۰۶	۰.۷۸۹۵۵۲۳۴		
۲۰	۴۰۰	۰.۰۰۲۵	-۲.۶۰۲۰۵۹۹۹۱	۱۷	۱.۲۳۰۴۴۸۹	۰.۶۵۲۴۲۷۲۹۱		
۱۰	۱۰۰	۰.۰۱	-۲	۴۲	۱.۶۳۳۲۴۹۳	۰.۶۱۸۵۱۹۵۹۹		
۵	۲۵	۰.۰۴	-۱.۳۹۷۹۴۰۰۰۹	۹۹	۱.۹۹۵۶۳۵۲	۰.۷۴۲۵۱۴۰۶۹		
۲	۴	۰.۲۵	-۰.۶۰۲۰۵۹۹۹۱	۳۸۶	۲.۵۸۶۵۸۷۳	۰.۷۶۹۰۵۶۶۶۳		
۱	۱	۱	۰	۱۱۲۱	۳.۰۴۹۶۰۵۶	۰.۸۰۲۹۱۵۶۴		
۱=۱/۲	۰.۲۵	۴	۰.۶۰۲۰۵۹۹۹۱	۳۴۱۲	۳.۵۳۳۰۰۹	۰.۵		
۱=۱/۵	۰.۰۴	۲۵	۱.۳۹۷۹۴۰۰۰۹	۸۵۳۰	۳.۹۳۰۹۴۹	۰.۴۶۲۹۹۹۷۰۹		
۱=۱/۱۰	۰.۰۱	۱۰۰	۲	۱۶۲۰۷	۴.۲۰۹۷۰۲۶	۲.۱۰۴۸۵۱۳۱۶	آنومالی (ناهمسانی)	



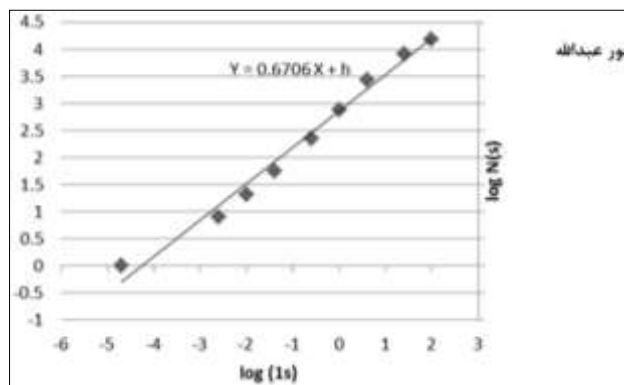
شکل ۳: نمودار بُعد فراکتالی خور موسی همراه با مقدار ضریب رگرسیون.

خور عبدالله

خور عبدالله واقع در کشور کویت و عراق می‌باشد که دارای طول ۵۰ و عرض ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد. در خور عبدالله جامعه آستانه و آنومالی در مقیاس‌های ۵ و ۱/۵* با بُعد فراکتالی جزئی ۰.۷۶، ۰.۴۳ و شروع می‌شوند. در جامعه پیش زمینه دارای دو خود همانندی در مقیاس ۲۰ و ۱۰ کیلومتری با بُعد فراکتالی جزئی به ترتیب: ۰.۶۹ و ۰.۶۹ می‌باشد (جدول ۲). در خور عبدالله در جامعه پیش زمینه و آستانه هم استقامت می‌باشند و جامعه آنومالی آن کوچک می‌باشد (جدول ۴) فراکتال کلی برای کل جامعه شامل، پیش زمینه، آستانه و آنومالی حدود ۰.۶۷۷ می‌باشد (شکل ۴). برای خور عبدالله می‌توان اینچنین گفت که با توجه به مقدار نمره کمتر از ۱ بعد فرکتال، خورهای این بخش جوان می‌باشند و از دیدگاه ژئومورفولوژی نیز می‌توان به نظم خورها و تکرار پذیری آنها در مقیاس‌های مختلف اشاره کرد که تاییدی بر جوان بودن خورها دارد. نمره بعد فرکتالی ۲ در مقیاس ۱۰۰ متری (۱/۱۰* کیلومتر) همانند خور موسی بیانگر آشوبناکی در این سطح مقیاس از خور عبدالله می‌باشد که نشانگر کارکرد نیروهای امواج دریایی و مه کشندها و که کشندها و همچنین بافت و ترکیب رسوبات ساحلی بر ایجاد خورها دانست. از دیدگاه آشوبناکی نیز خور عبدالله دارای نمره کمتر از ۱ می‌باشد که نشانگر جوان بودن این خور و نظم کلی در بین فرایندهای حاکم بر پدیده خورها دانست (جدول ۲).

جدول ۲: جدول فراکتالی خور عبدالله.

اندازه پدیده (km)	مساحت پدیده (km ²)	1/S	log (1/S)	شمار پدیده	log N	بعد جزئی فرکتال FD	وضعیت	بعد کلی فرکتال FD
۵۰	۵۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰۲	-۴.۶۹۸۹۷	۱	۰	۰.۴۲۰۶۷۶۵۵۸	زمینه	۰.۶۷۰۶
۲۰	۴۰۰	۰.۰۰۲۵	-۲.۶۰۲۰۶	۸	۰.۹۰۳۰۹	۰.۶۹۶۱۵۸۷۱۱		
۱۰	۱۰۰	۰.۰۱	-۲	۲۱	۱.۳۲۲۲۱۹	۰.۶۹۴۵۲۱۱۴۵		
۵	۲۵	۰.۰۴	-۱.۳۹۷۹۴	۵۵	۱.۷۴۰۳۶۳	۰.۷۶۸۷۳۳۷۴۸		
۲	۴	۰.۲۵	-۰.۶۰۲۰۶	۲۲۵	۲.۳۵۲۱۸۳	۰.۸۷۴۲۲۰۶۱۷		
۱	۱	۱	۰	۷۵۶	۲.۸۷۸۵۲۲	۰.۹۲۳۸۳۹۴۰۹		
۱=۱/۲	۰.۲۵	۴	۰.۶۰۲۰۶	۲۷۲۱	۳.۴۳۴۷۲۹	۰.۵۹۹۲۸۸۳۴۳		
۱=۱/۵	۰.۰۴	۲۵	۱.۳۹۷۹۴	۸۱۶۰	۳.۹۱۱۶۹	۰.۴۲۵۹۳۱۴۸۵		
۱=۱/۱۰	۰.۰۱	۱۰۰	۲	۱۴۹۳۳	۴.۱۷۴۱۴۷	۲.۰۸۷۰۷۳۵۳۳	آنومالی (ناهمسانی)	



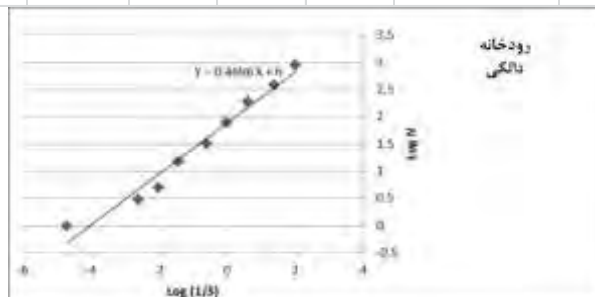
شکل ۴: نمودار فراکتالی خور عبدالله همراه با نقاط عطف آن.

رودخانه دالکی

رودخانه دالکی همانند خور موسی و عبدالله دارای سه جامعه پیش زمینه، آستانه و آنومالی می‌باشد. در رودخانه دالکی جامعه آستانه و آنومالی در مقیاس‌های ۵ و $1/5$ با بُعد فراکتالی جزئی ۰٫۴۱ و ۰٫۶ شروع می‌شوند. در مرحله آستانه دو خود همانند با بُعد فراکتالی جزئی ۰٫۶۵ و ۰٫۶۶ در مقیاس به ترتیب ۲ و ۱ کیلومتری دیده می‌شود (جدول ۳). بُعد کلی فراکتال رودخانه دالکی ۰٫۴۶ می‌باشد (شکل ۵). از دیدگاه بعد فرکتالی ژئومورفولوژی، پیچانورد رودخانه دالکی در ۱۵ کیلومتری بخش پایانی رودخانه در ورود به خلیج فارس دارای نظم کلی می‌باشد و هیچگونه آشوبناکی ندارد. تنها در مقیاس ۱۰۰ متری پیچانوردهای رودخانه دالکی دارای کمی آشفتگی می‌باشند که دلیل آن هم رسوبات نرم و ریزدانه جلگه بستر رودخانه می‌باشد و بوسیله فرایند رسوبی و هیدرودینامیکی خود جریان رودخانه و زیستی (گیاهان کنار رودخانه) ایجاد شده است (جدول ۳).

جدول ۳: جدول فراکتالی رودخانه دالکی.

اندازه پدیده (km)	مساحت پدیده (km ²)	1/S	شمار پدیده log (1/S)	log N	بعد جزئی فرکتال FD	وضعیت	بعد کلی فرکتال FD	
۵۰	۵۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۲	-۴٫۶۹۹	۱	۰٫۲۲۷۵۳۵۳۹۸	زمینه	۰٫۴۶۹۶	
۲۰	۴۰۰	۰٫۰۰۲۵	-۲٫۶۰۲	۳	۰٫۴۷۷۱			۰٫۳۶۸۴۸۲۷۹۷
۱۰	۱۰۰	۰٫۰۱	-۲	۵	۰٫۶۹۹			۰٫۷۹۲۴۸۱۲۵
۵	۲۵	۰٫۰۴	-۱٫۳۹۸	۱۵	۱٫۱۷۶۱	۰٫۴۱۳۴۵۲۶۷۱		
۲	۴	۰٫۲۵	-۰٫۶۰۲	۳۲	۱٫۵۰۵۱	۰٫۶۵۱۸۹۰۳۷۴		
۱	۱	۱	۰	۷۹	۱٫۸۹۷۶	۰٫۶۳۶۸۲۴۰۴		
$1/2$	۰٫۲۵	۴	۰٫۶۰۲۱	۱۹۱	۲٫۲۸۱	۰٫۳۸۲۵۰۴۰۹۱		
$1/5$	۰٫۰۴	۲۵	۱٫۳۹۷۹	۳۸۵	۲٫۵۸۵۵	۰٫۶۰۰۴۰۹۵۰۵		
$1/10$	۰٫۰۱	۱۰۰	۲	۸۸۵	۲٫۹۴۶۹	۱٫۴۷۳۴۷۱۶۳۵		
						آنومالی (ناهمسانی)		



شکل ۵: نمودار فراکتالی رودخانه دالکی همراه با نقاط عطف آن.

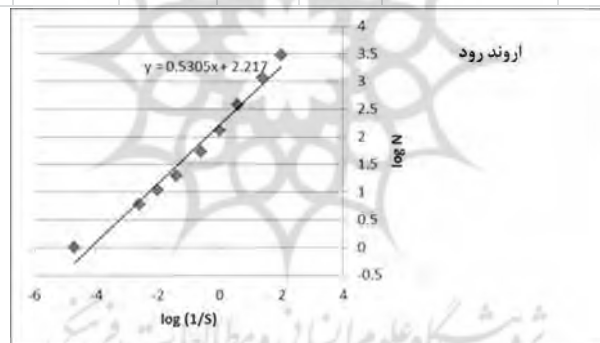
رودخانه اروند رود

رودخانه اروند رود دارای سه جامعه یا مرحله عمده می‌باشد که جامعه آنومالی آن بسیار کوچک و جامعه پیش زمینه و آستانه آن هم استقامت می‌باشند. (جدول ۴). در جامعه پیش زمینه دو خود همانند با بُعد فراکتالی ۰٫۴۳ و ۰٫۴۳ وجود دارد. جامعه

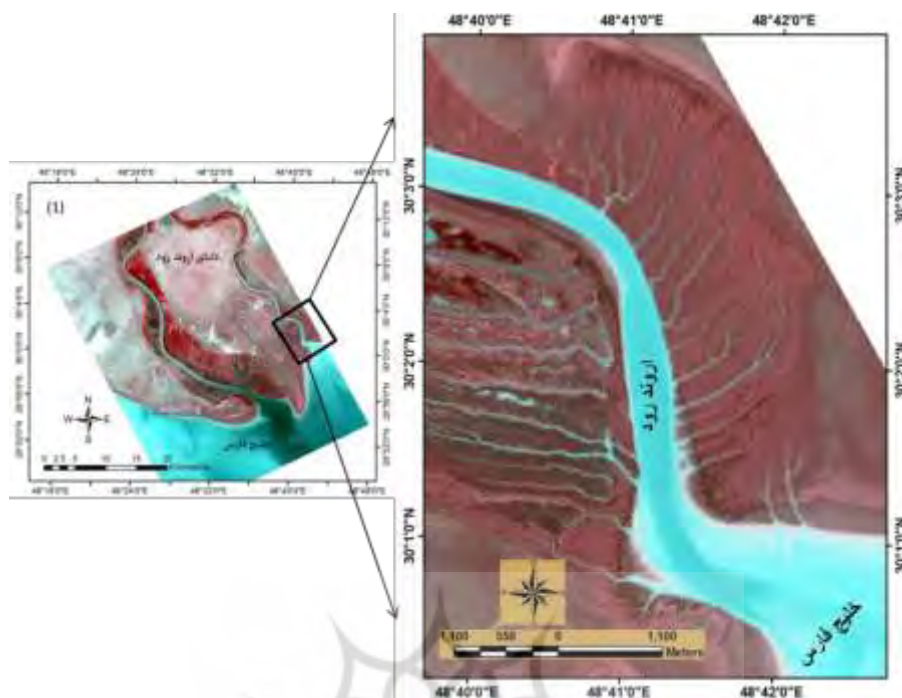
آستانه رودخانه ارونند رود با بُعد فراکتال جزیی ۰,۵۴ و در مقیاس ۵ کیلومتری آغاز می‌شود و در آن دو خود همانند با بُعد فراکتالی ۰,۶۲ و ۰,۶۱ وجود دارد. جامعه آنومالی نیز با بُعد فراکتالی جزیی ۰,۶۸ و در مقیاس $1 \times 1/5$ آغاز می‌شود (جدول ۴). بُعد کلی فراکتالی رودخانه ارونند رود ۰,۵۳۰۵ می‌باشد (شکل ۶). از دیدگاه ژئومورفولوژی نیز رودخانه ارونند رود در بخش ۲۰ کیلومتری پایانی در ورود به خلیج فارس دارای مسیر مستقیم - سینوسی می‌باشد. بعد کلی فرکتال آن کمتر حدود ۰,۵ می‌باشد که می‌توان گفت رودخانه دارای نظم کلی است و تنها در مقیاس ۱۰۰ متری دارای کمی آشوبناکی می‌باشد که دلیل آن شاخاب شاخاب شدن رودخانه در محدوده مه کشند - که کشند می‌باشد که نقش بارز نیروی امواج و مه کشند و که کشند را در این بی نظمی آشکار می‌کند (شکل ۷).

جدول ۴: جدول فراکتالی رودخانه ارونند رود.

بعد کلی فرکتال FD	وضعیت	بعد جزیی فرکتال FD	log N	شمار پدیده	log (1/S)	1/S	مساحت پدیده (km ²)	اندازه پدیده (km)
۰,۵۳۰۵	زمینه	۰,۳۷۱۰۹۴۲۵۱	۰	۱	-۴,۶۹۹	۰,۰۰۰۰۲	۵۰۰۰۰	۵۰
		۰,۴۳۷۲۳۴۵۵۹	۰,۷۷۸۲	۶	-۲,۶۰۲۱	۰,۰۰۲۵	۴۰۰	۲۰
		۰,۴۳۱۲۴۸۲۳۸	۱,۰۴۱۴	۱۱	-۲	۰,۰۱	۱۰۰	۱۰
۰,۵۳۰۵	آستانه	۰,۵۴۱۹۹۵۹۷۳	۱,۳۰۱	۲۰	-۱,۳۹۷۹	۰,۰۴	۲۵	۵
		۰,۶۲۸۱۶۹۸۷۷	۱,۷۲۲۴	۵۴	-۰,۶۰۲۱	۰,۲۵	۴	۲
		۰,۷۶۷۸۳۳۶۰۲	۲,۱۱۰۶	۱۲۹	۰	۱	۱	۱
		۰,۶۱۷۱۹۳۳۲۴	۲,۵۷۲۹	۳۷۴	۰,۶۰۲۰۶	۴	۰,۲۵	$1 \times 1/2$
آنومالی (ناهمسانی)		۰,۶۸۹۳۹۹۴۲۵	۳,۰۶۴۱	۱۱۵۹	۱,۳۹۷۹۴	۲۵	۰,۰۴	$1 \times 1/5$
		۱,۷۳۹۵۷۱۶۲۴	۳,۴۷۹۱	۳۰۱۴	۲	۱۰۰	۰,۰۱	$1 \times 1/10$



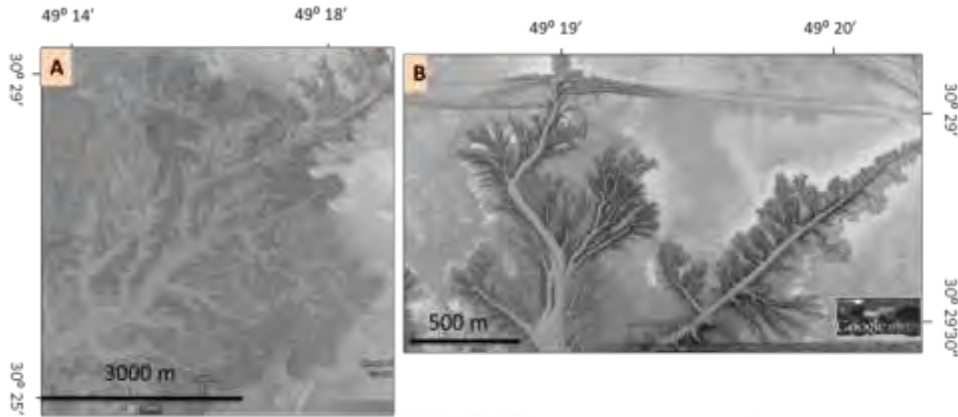
شکل ۶: نمودار فراکتالی رودخانه ارونند رود همراه با نقاط عطف آن.



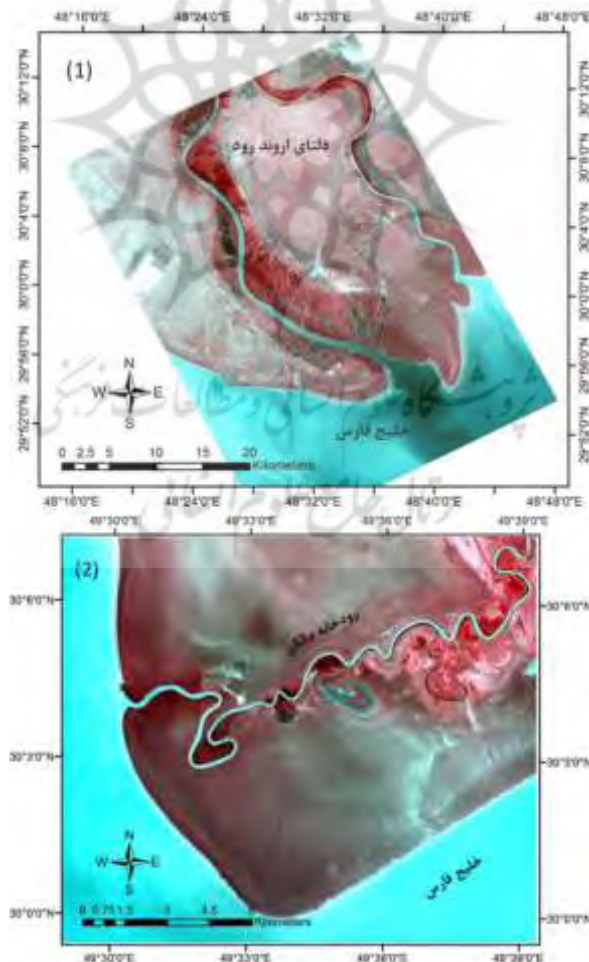
شکل ۷: بی نظمی در مقیاس پایین (۱۰۰ متر) در ورودی رودخانه اروند رود به خلیج فارس که بصورت شاخاب‌های نیزه‌ای عمود بر رودخانه اروند رود دیده می‌شود که سبب افزایش نمره بعد فرکتالی در این مقیاس شده است که نقش بارز فرایندهای دریایی مانند که کشند - مه کشند، امواج و فرسایش پذیری رسوبات را نشان می‌دهد.

یافته‌های این پژوهش بر روی پدیده ژئومورفولوژی فرکتال خور موسی و عبدالله و پیچانرودهای رودخانه‌ای شامل رودخانه دالکی و اروند رود در بخش شمالی کرانه‌های خلیج فارس نشان از تفاوت‌ها و همانندی‌های می‌باشد. خور موسی واقع در بخش سرزمینی ایران، از دیدگاه فرکتال وارد لبه آشوبناکی (بعد فرکتال ۱٫۵) شده است و در مقیاس ۱۰۰ متری، پدیده ژئومورفولوژی خور، دچار یک بی نظمی و آشفتگی می‌شود که دلیل آن مقیاس کارکرد فرایندهای آبی مانند مه کشند - که کشند و نیروی امواج دریایی می‌باشد. البته نقش ترکیب و بافت رسوبات کرانه‌های ساحلی شمال خلیج فارس مانند خور موسی که از رسوبات دانه ریز آبرفتی اروند رود بوجود آمده‌اند نیز در فرسایش پذیری این خورها نقش اساسی بازی می‌کند بویژه آنکه بخش زیادی از رسوبات دارای منشا آهکی از حوضه‌های بالادستی مانند زاگرس می‌باشند که این نیز خود سبب افزایش روند فرسایش آبی و شیمیایی در رسوبات خورها می‌شود. بعد فرکتالی خور عبدالله واقع در کویت و عراق کمتر از ۱ می‌باشد که نشان از محیط آرام و نظم طبیعی در این خور می‌باشد خور عبدالله همانند خور موسی در بررسی پدیده خور در مقیاس ۱۰۰ متری دچار آشوبناکی است که دلایل این بی نظمی در این مقیاس همانند خور موسی کارکرد فرایندهای آبی مانند مه کشند - که کشند و نیروی امواج دریایی می‌باشد. مقایسه این دو خور نیز بیانگر این می‌باشد که خور موسی قدیمی‌تر از خور عبدالله است و به همین خاطر نیز از دیدگاه هندسه ژئومورفولوژی خور موسی گسترده‌تر، بزرگ‌تر و دارای شاخاب‌های بسیار بیشتری نسبت به خور عبدالله می‌باشد (شکل ۸). مقایسه دو پیچانرود دالکی و اروند در ۱۵ کیلومتری بخش پایانی و در ورود به خلیج فارس نشان از آن دارد که هر دو رودخانه از دیدگاه پدیده ژئومورفولوژی (بعد فرکتال ۰٫۵)، دارای نظم معمولی می‌باشند که این را از نظر هندسه پیچانرودها نیز می‌توان فهمید. تنها در مقیاس ۱۰۰ متری هر دو رودخانه بویژه رودخانه اروند رود دچار آشوبناکی کمی بیشتر از دالکی می‌شود که دلیل آن شاخاب شاخاب شدن رودخانه در محدوده مه کشند - که کشند می‌باشد که نقش بارز نیروی امواج و مه کشند - که کشند و همچنین فرسایش پذیری رسوبات می‌باشد. دلیل ایجاد لبه آشوبناکی برای رودخانه دالکی نیز رسوبات نرم و ریزدانه جلگه بستر رودخانه، فرایند رسوبی و هیدرودینامیکی خود جریان رودخانه و فرایندهای زیستی (گیاهان کنار رودخانه) است. در مجموع رودخانه دالکی از نظر

هندس‌ه پیچانرودی تکامل یافته‌تر از ارونر رور می‌باشر، بطوریکه در رورخانه رالکی پیچانروردهای شاخ گای در نزدیکی دهانه ورور به خلیج فارس ریده می‌شور ولی مسیر ۱۵ کیلورمتری پایانی ارونر رور به صورر مسرریم - سینوسی اسر ولی ررلیل ایجرار شاخاب‌های نیزه‌ای عمور بر جریان اصلی رارای کمرری نسبت به رورخانه رالکی می‌باشر (شکل ۹).



شکل ۸: ناهمسای و آنومالی ریخت شناسی خور موسی در دو مقیاس متفاوت (شکل A نظم و یکنواختی هندسی خور موسی شکل B آشوبناکی و نظم کمتر هندسی خور موسی).



شکل ۹: الگوی هندسی رورخانه ارونر رور با جریانی تقریباً مسرریم (۱) و الگوی پیچانرودی رورخانه رالکی در ورور به خلیج فارس (۲).

نتیجه گیری

نتیجه گیری این پژوهش نشان می‌دهد که خور دریایی موسی با بُعد کلی فراکتال ۱٫۵ نسبت به خور دریایی عبدالله با بُعد فراکتالی ۰٫۶۷ در لبه آشوبناکی می‌باشد که این می‌تواند جوان‌تر بودن خور دریایی عبدالله نسبت به خور موسی را نشان دهد، بطوریکه خور موسی ۲۴٪ بزرگتر از خور عبدالله می‌باشد. در خور موسی جامعه آستانه بسیار بزرگ می‌باشد که در آن خورها میل زیادی به خود همانندی دارند و جامعه پیش زمینه و آنومالی آن کوچک می‌باشند. در خور عبدالله جامعه پیش زمینه دارای خود همانندی می‌باشد و جامعه آنومالی آن کوچک می‌باشد. در خور عبدالله جامعه پیش زمینه و آستانه هم استقامت می‌باشند. بُعد فراکتالی پیچانرودهای رودخانه در مقایسه با یکدیگر، نشان از جوان بودن و نبود مرحله آشوبناکی در آنها می‌باشد، بطوریکه بُعد فراکتالی کلی رودخانه دالکی و رودخانه اروند رود تقریباً ۰٫۵ می‌باشد. در رودخانه دالکی جامعه پیش زمینه و آستانه هم استقامت می‌باشند که در جامعه آستانه آن، خورها میل به خود همانندی را نشان می‌دهند. در رودخانه اروند رود همانند رودخانه دالکی، جامعه پیش زمینه و آستانه هم استقامت می‌باشند که در آن هم جامعه پیش زمینه و هم جامعه آستانه میل به خود همانندی زیادی دارند.

از دید ژئومورفولوژی، خور موسی و خور عبدالله در مقیاس ۱۰۰ متری دچار آشوبناکی می‌شوند که دلیل آن را می‌توان میدان عمل فرایندهای آبی مانند مه کشند - که کشند، امواج ساحلی، فرسایش رسوبی (آبی و شیمیایی) می‌باشد. نبود آشوبناکی در ابعاد و اندازه‌های کیلومتری (بیشتر از ۱ کیلومتر به بالا) نشان از پویا نبودن فرایندهای زمینساختی در ایجاد این خورها در شمال خلیج فارس می‌باشد. چرا که میدان عمل فرایندهای زمینساختی مانند گسلش یا چین خوردگی سبب بی نظمی در ژئومورفولوژی هندسه خورها در اندازه‌های چند کیلومتری می‌شود. در مورد پیچانرودهای رودخانه‌ای دالکی و اروند رود نیز در مقیاس ۱۰۰ متری لبه آشوبناکی دیده شده است که دلیل آن نیز برای رودخانه اروند رود عمل فرایند آبی مانند مه کشند - که کشند، امواج ساحلی، فرسایش رسوبی (آبی و شیمیایی) می‌باشد ولی در رودخانه دالکی فرایند هیدرودینامیک جریان خود رودخانه و ریزدانه بودن و فرسایش پذیر بودن رسوبات بستر و دیواره رودخانه و همچنین گیاهان کناره رودخانه سبب ایجاد این لبه آشوبناکی در پیچانرودهای رودخانه دالکی گردیده است. این آشوبناکی نیز در هندسه ژئومورفولوژی پیچانرودهای رودخانه دالکی نیز آشکار می‌باشد، بطوریکه پیچانرودهای کامل و همراه با پیچانرودهای شاخ گاو و متروک در مسیر پایانی رودخانه در بخش ورود به خلیج فارس دیده می‌شود. پیچانرودهای اروند رود هرچند تکامل نیافته و بصورت سینوسی دیده می‌شوند ولی شاخاب شاخاب شدن‌های نیزه‌ای عمود بر جریان رودخانه سبب ایجاد آشوبناکی بیشتر رودخانه اروند رود نسبت به دالکی شده است که نظم رودخانه را از حالت طبیعی خود خارج می‌کند و به همین دلیل بعد فرکتالی رودخانه اروند رود کمی بیشتر از رودخانه دالکی می‌باشد. نتیجه گیری این پژوهش نشان می‌دهد که خورهای دریایی شمال خلیج فارس بوسیله کارکرد فرایندهای آبی (مه کشند - که کشند، امواج و فرسایش پذیری رسوبات) کنترل می‌شوند و نیروهای زمین ساختی نقشی در ایجاد و کنترل خورها ندارند. از دید هندسه فرکتال، خور موسی میل به بی نظمی بیشتری نسبت به خور عبدالله دارد که نشان از شدت کارکرد فرایندهای ایجاد کننده و برهم زنده در خور موسی دارد. همچنین پیچانرودهای رودخانه‌ای شمال کرانه‌های خلیج فارس نیز بوسیله، فرایندهای دریایی و جریان هیدرودینامیک رودخانه و رسوبات بستر رودخانه کنترل می‌شوند. از دید بعد فرکتال نیز رودخانه اروند رود گرایش به بی نظمی بیشتری نسبت به رودخانه دالکی دارد که نشان از کارکرد و کارایی بیشتر فرایندهای دریایی بخاطر سطح اساس پایین زیاد بستر در رودخانه اروند رود دارد.

منابع

- آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشور، صص ۴۵۶.
- اصغری ساسکانرود، ص.، زینالی، ب.، ۱۳۹۴، بررسی الگوی پیچانرودی رودخانه گرمی چای استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی و تحلیل فراکتال. مجله تحقیقات جغرافیایی. جلد ۳۰ شماره ۴، صص ۷۹-۶۴.
- جدار عیوضی، ج.، ۱۳۹۶، ژئومورفولوژی ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور، صص ۱۱۰.
- علائی طالقانی، م.، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی ایران. نشر قومس، چاپ پنجم، تهران.
- علمی زاده، ه.، ماه پیکر، ا.، ۱۳۹۶، بررسی نظریه فرکتال در رودخانه زرینه رود با استفاده از روش شمارش جعبه ای. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. سال هفدهم، شماره ۱، صص ۲۷۰-۲۵۵.
- فتاحی، م.، کامیاب، س.، ۱۳۹۷، انطباق سنجی خواص ژئومورفولوژیک حوضه آبریز و ویژگی‌های چند فراکتال شکل آبراهه. مجله تحقیقات منابع آب، سال چهاردهم، شماره ۵، صص ۳۲۶-۳۱۱.
- قنوتی، ع.، ضیائیان فیروز آبادی، پ.، علوی نژاد، س.، ۱۳۸۶. آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیک و کاربری اراضی خور موسی با استفاده از *RS* و *GIS*. نشریه زمین شناسی مهندسی. جلد دوم، شماره ۲.
- کرم، ا.، ۱۳۸۹. نظریه آشوب فرکتال (برخال)، و سیستم‌های غیر خطی در ژئومورفولوژی. مجله جغرافیای طبیعی، شماره ۸، صص ۸۲-۶۷.
- مقصودی، م.، احمدی، ا.، شایان، س.، ۱۳۹۵، تاثیر نو زمینساخت در تحول پهنه‌های ماسه‌ای در شمال خاوری اهواز. مجله ژئومورفولوژی کمی. سال پنجم، شماره ۱، صص ۴۷ - ۳۲.
- *Asvestas, P. Matsopoulos, G, K. Nikita, K, S., 1998. A power differentiation method of fractal dimension estimation for 2-D signals, J. Vis. Commun. Image Represent. 9, pp 392-400.*
- *Angeles, G, R. Gerardo M, E. Perillo, M, C. Piccoloa, J. Pierini, O., 2004. Fractal analysis of tidal channels in the Bahi'a Blanca Estuary (Argentina). Geomorphology 57, pp 263-274.*
- *Ariza, V, A. Jiménez-Hornero, F. Gutiérrez de Ravé, E., 2013. Multi-fractal analysis applied to the study of the accuracy of DEM-based stream derivation, Geomorphology, Volume 197, pp 85-95.*
- *Andreas, C. W, Baas., 2002. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. Geomorphology 48. pp 309-328.*
- *Baeteman, C., 1994. Subsidence in coastal lowlands due to groundwater withdrawal: the geological approach. J. Coast. Res. Special Issue 12, pp 61-75.*
- *Buczkowski, S. Hildgen, P. Cartilier, L., 1998. Measurement of Fractal Dimension by Box-Counting a Critical Aanalysis of Data Scatter. Physica A 252(1), pp 23-34.*
- *Cleveringa, J. Oost, A, P., 1999. The fractal geometry of tidal-channel systems in the Dutch wadden Sea. Geologie in Mijnbouw 78, pp 21 - 30.*
- *Beauvais, A. Montgomery, D, R., 1996. Influence of Valley Type on the Scaling Properties of River Plan Forms. Water Resour, Res. 32, pp 1441-1448.*
- *Bartolo, S, G. Veltri, M. and Primavera L., 2006. Estimated generalized dimensions of river networks, Journal of Hydrology, 322, pp 181-191.*
- *Billiones, R, G. Tackx, M, L. Daro, M, H., 1999. The Geometric Features, Shape Factors and Fractal Dimensions of Suspended Particulate Matter in the Scheldt Estuary (Belgium). Estuarine, Coastal and Shelf Science. Volume 48, Issue 3, pp 293-305.*
- *Chen, W, S. Yuan, S, Y. Hsieh, C, M., 2003. Two algorithms to estimate fractal dimension of gray-level images, Opt. Eng. 42, pp 2452-2464.*

- Dusan, R. Stefanovic, B. D. Puska, N., 2014. Fractal analysis of dendrite morphology using modified box-counting method. *Neuroscience Research* 84, pp 64–67.
- Din, S, U. Dousari, A, A. Ghadban, A, N, A., 2007. Sustainable fresh water resources management in northern Kuwait-A remote sensing view from Raudatain basin, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9(1), pp 21-31.
- Daia, Z, J. Lib, H, C. Zhang, Q, L., 2004. Fractal analysis of shoreline patterns for crenulate-bay beaches, Southern China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61. pp 65-71.
- Donadio, C. Magdaleno, F. Mazzarella, A. Kondolf, G, M., 2014. Fractal dimension of the hydrographic pattern of three large rivers in the Mediterranean morphoclimatic System: geomorphologic interpretation of Russian (USA), Ebro (Spain) and Volturno (Italy) *Fluvial Geometry, Pure and Applied Geophysics*, 172. pp. 1975-1984.
- Grassberger, P., 1983. On efficient Box Counting Algorithms, *Int. J. Mod. Phys. C* 4, pp 515-523.
- Heyvaert, V, M, A. Weerts, H, J, T., 2007. Development of the Holocene Karun megafan, Lower Khuzestan, southwest Iran. *Sedimentary geology*.
- Khan, S. Ganguly, A, R. and Saigal, S. 2005. Detection and Predictive Modeling of Chaos in Finite Hydrological Time Series, *Nonlinear Processes in Geophysics* 12: 41-53.
- Klinkenberg, B. 1994. A Review of Methods Used to Determine the Fractal Dimensions of Linear Features. *Mathematical Geology*, Vol 26(1). pp 23-46.
- Kaplan, L, M. Kuo, C, C, J., 1995. Texture segmentation via Haar fractal feature estimation, *J. Vis. Commun. Image Represent.* 6, pp 387–400.
- Li, J. Du, Q. Sun, C., 2009. Counting method for image fractal dimension *Pattern Recognition* 42, pp 2460-2469.
- La Barbera. P. and Ross, R. 1989. On the Fractal Dimension of Stream Networks. *Water Resources Research*, 25(4) pp 735-741.