

تولید آبنگار واحد مصنوعی بر پایه‌ی ویژگی‌های فراکتال حوضه‌ی آبخیز

محمد هادی فتاحی^۱؛ زهرا طالب زاده^۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۶ صص: ۸۷-۹۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۸

چکیده

زمان تمرکز یکی از اصلی‌ترین مباحث در مطالعات گیتانگاری و آبشناسی حوضه‌های آبخیز می‌باشد، که تأثیر نسبتاً زیادی را در محاسبه‌ی دیگر فراسنجهای آبشناسی، خصوصاً بده اوج سیلاب، و در نهایت استخراج آبنگار واحد حوضه دارد. هندسه‌ی فراکتال، می‌تواند به عنوان ابزار کمی مناسب جهت بررسی زمین‌ریخت‌شناسی رودخانه‌ها و شبیه‌سازی بسیاری از پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعی بکار گرفته شود. مهمترین ویژگی فراکتالی، که در مورد این پدیده‌ها تحلیل می‌شود، بعد فراکتال است که اهمیت را زیادی در شناخت رفتار و پیش‌بینی تغییرات رودخانه دارد. این مقاله نیز با هدف یافتن روابطی برای زمان تمرکز بر اساس بعد فراکتال به تولید آبنگار واحد مثلثی فراکتالی در تمام زیر حوضه‌های حوضه‌ی وال نات گولچ می‌پردازد. بر این اساس، تمام زیر حوضه‌ها و آبراهه‌های حوضه‌ی وال نات گولچ با استفاده از نرم افزار ARC GIS تفکیک شد؛ زیر حوضه‌ها پردازش تصویری گردیدند و پردازش مربوط به آبراهه‌ها با الگوریتم شمارش جعبه‌ای تحلیل و بعد فراکتال محاسبه شد. سپس با برازش دادن منحنی بعد فراکتال حوضه با زمان تمرکز که با کاربرد روش کرپیچ محاسبه شد، و زمان تمرکز جدید با توجه به بعد فراکتال به‌دست آمد. در نهایت، با استفاده از زمان تمرکز جدید آبنگار واحد مثلثی فراکتالی تولید شد. نتایج نشان دادند که آبنگارهای واحد مثلثی تولید شده تطابق نسبتاً خوبی را با آبنگار واحد مثلثی NRCS داشتند، به جز در مواردی که، یک: رده‌ی آبراهه پایین باشد، مانند حوضه‌های ۴ و ۱۵ و دو: این که، گسترش، در راستای بلندترین طول آبراهه و اختلاف ارتفاع حوضه زیاد باشد، مانند حوضه‌های ۱ و ۱۰.

واژگان کلیدی: فراکتال، بعد فراکتال، زمین‌ریخت‌شناسی، آبنگار واحد مثلثی، وال نات گولچ

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

* نویسنده مسئول: fattahi.mh@miau.ac.ir

رود می‌شود، می‌توان تحت اداره قرارداد فیلیپس (۲۰۰۲) در نگاه اول، گرچه برخی از پدیده‌های طبیعی، همچون رودخانه‌ها، در ظاهر دارای پیچیدگی و بی‌نظمی هستند، ولی در واقع می‌توان با استفاده از روابطی در قالب هندسه‌ی درختان فراکتالی آنها را منظم، و بر اساس روال و منطق خاصی تعریف کرد (آریزا و همکاران، ۲۰۱۳).

در رابطه با فراکتال دانشمندان از کشورهای مختلف کارهای زیادی را انجام داده‌اند؛ در این میان نیکورا (۱۹۹۱) ساختار فراکتال شکل نقشه مسطحه رودخانه‌ها را بررسی نمود و پیشنهاد استفاده از بُعد فراکتال را به عنوان یک فرانسج جدید در تشریح ساختار درونی الگوهای نقشه مسطحه رودخانه‌های تک شاخه و شبکه آبراهه‌ها مطرح کرد. نیکورا و همکاران (۱۹۹۳) با مطالعه در مورد فراکتال به این نتیجه رسیدند که در حقیقت تمامی منحنی‌های پیچیده در طبیعت اندیشه‌ی تکرار الگو در درون خود را به همراه دارند، با این تفاوت عمده که در بعضی از منحنی‌های طبیعی، همانند رودخانه‌ها، الگوی تکرار شونده در سراسر رودخانه یکی نبوده و در بخش‌های مختلف الگوی متفاوتی تکرار شده است. این محققان، همچنین هندسه‌ی فراکتال رودخانه‌های تک شاخه را مورد بررسی قرار داده و رابطه‌ی آن را بدست آوردند که تغییرات بعد را در رابطه‌ی مشهور هک توضیح می‌داد. رودریگز و رینالدو (۱۹۹۷) کاربرد‌های فراکتال را برای حوضه‌های رودخانه‌ای بر اساس الگوهای سامانه هورتون بررسی نمودند، نتایج تحقیقات ایشان، دلالت بر وجود یک ماهیت آشفتگی جهت تشریح جزئیات فرآیند‌های آبشناسی را داشت. شن و همکاران (۲۰۰۲) قابلیت هندسه‌ی فراکتالی را در توجیه رفتار فیزیکی و پویایی رودخانه آزموده و ذات و طبیعت فراکتالی این فرایندها را نیز ثابت کرده‌اند. ژیانگانگ و همکاران (۲۰۰۹) روشی ارتقا یافته را بر مبنای روش جعبه‌شماری جهت محاسبه‌ی بعد فراکتال شبکه آبراهه‌ها بر مبنای تحلیل تصویر ارائه دادند. بی و همکاران (۲۰۱۲) از یک شبیه‌ساز سلولی فراکتالی برای تعیین بعد فراکتالی شبکه‌های رودخانه‌ای استفاده کرده و نشان دادند که این روش می‌تواند تغییرات ویژه‌ی خواص فراکتالی پستی و بلندی‌ها را نشان دهد. در این میان، مطالعات صورت گرفته در داخل کشور در زمینه‌ی نظریه هندسه فراکتال اندک است، که بخشی از آن به دلیل نبود

مقدمه

فراکتال‌ها اشیاء و یا فرآیندهایی می‌باشند که در مقیاس‌های مکانی و یا زمانی متعددی، شکل ظاهری و یا رفتار یکسانی را از خود بروز می‌دهند. این چنین اشیاء و یا فرآیندهایی دارای چنان پیچیدگی‌هایی در مقیاس‌های بسیار کوچکند که هندسه‌ی اقلیدسی قادر به تفسیر آنان نمی‌باشد. هر فراکتال می‌تواند به بخش‌هایی تقسیم شود که هر بخش شبیه جسم اصلی باشد؛ بسیاری از پدیده‌ها و فرایندهای طبیعی مبتنی بر الگوهای فراکتال می‌باشند.

فراکتال‌ها از نگاه ریاضیاتی اجسامی به‌شمار می‌روند که رفتار یک معادله را به تصویر کشیده، از این نظر دارای ویژگی‌های زیرند: ۱- هر جسم فراکتال از قطعاتی تشکیل یافته‌است که هر قطعه کاملاً نماینده‌ی شکل و ویژگی‌های کل جسم است، به این پدیده خاصیت خودمتشابهی گفته می‌شود. ۲- فراکتال‌ها دارای ابعاد صحیح نبوده و بُعد آن‌ها به صورت کسری بیان می‌شود. ۳- این اجسام به وسیله‌ی یک فرآیند تکراری ساخته می‌شوند و می‌توان برای آنها یک تابع بازگشتی را در نظر گرفت که n بار تکرار می‌شود (باس، ۲۰۰۲). واژه‌ی فراکتال به وسیله‌ی مندلیورت (۱۹۶۷) برای توصیف اشیاء هندسی پیچیده‌ای که درجه‌ی بالایی را از خود تشابهی دارند ابداع شد. یک فراکتال، شکل هندسی چند پاره یا ناهموار است که می‌تواند به بخشهایی تقسیم شود که هر کدام از آنها یک نسخه تعدیل یافته از لحاظ اندازه، از کل شکل است.

یکی از مواردی را که به کمک خاصیت فراکتالی می‌توان مورد بررسی قرار داد، مهار کردن میزان بده رودخانه است، بدین طریق که با استفاده از درختان فراکتالی، ابتدا می‌توان شعبه‌های مختلف یک رودخانه را تعیین کرد. از آنجا که بعضی از این شعبه‌ها به صورت فصلی می‌باشند، با توجه به میزان بارش، حجم آبی را که وارد شاخه‌ی اصلی

است که ارتفاع رواناب در آن معادل یک واحد طول باشد، این آب‌نگار یا از روی آب‌نگارهای موجود حوضه، که قبلاً اندازه‌گیری شده اند استخراج می‌شود، و یا در صورتی که از حوضه هیچ گونه آمار اندازه‌گیری باران و بده وجود نداشته باشد، تا بتوان بر اساس آنها آب‌نگار واحد را ایجاد کرد، باید با کاربرد روش‌های تجربی اقدام به تهیه‌ی آب‌نگارهای واحد ساخته‌ای یا آب‌نگارهای مصنوعی، نمود. این نوع آب‌نگارها بر اساس خصوصیات فیزیکی حوضه ساخته می‌شوند، که در این مورد روش‌های زیادی ارائه شده‌اند، اما سه روش عمده، که در آشناسی کاربرد فراوان دارند، عبارت‌اند از روش اشنایدر، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SNRCS) و روش مثلثی (علی زاده، ۱۳۹۴).

اساس تولید آب‌نگار فراکتال ما نیز بر مبنای آب‌نگار مثلثی NRCS است که در طرح‌های نسبتاً کوچک آشناسی، که مساحت حوضه کوچکتر از ۲۵۰ کیلومتر مربع باشد، زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع آب‌نگار حالت ساده شده‌ی آب‌نگار NRCS بوده و بر این فرض استوار است که اگر بارانی به مدت t ساعت روی حوضه ببارد، رواناب حاصله از آن آب‌نگاری را تشکیل خواهد داد که شکل آن مانند یک مثلث است این آب‌نگار پس از T_1 ساعت از شروع بارندگی به نقطه‌ی اوج می‌رسد؛ سپس آب‌نگار نزول کرده و پس از T_2 ساعت بده آن به صفر کاهش می‌یابد، زمان پایه‌ی آب‌نگار (T_b) نیز حاصل جمع T_1 و T_2 است (شکل ۱).

با تجربیاتی که در مورد حوضه‌های آزمایشی به دست آمده‌اند روابط T_1 و T_b بر حسب ساعت به صورت زیر برقرار است.

$$T_1 = 0.5t + 0.6t \quad (1)$$

$$T_b = 1.34t + 1.6tc \quad (2)$$

چنانچه مساحت حوضه برابر A مایل مربع و رواناب برابر یک اینچ باشد، مقدار بده اوج بر حسب فوت مکعب بر ثانیه برابر است با:

$$Q_{PK} = \frac{484AR}{0.5t + 0.6tc} \quad (3)$$

که در آن:

A = مساحت حوضه بر حسب مایل مربع

R = رواناب برابر یک اینچ

Q = بده اوج بر حسب فوت مکعب بر ثانیه

t = ۵ ساعت

داده‌های دقیق در مورد پدیده‌ها، و بخش دیگر به دلیل نبود متخصصین در این زمینه می‌باشد. از جمله محققانی که در این زمینه فعالیت داشتند می‌توان به افراد زیر اشاره کرد:

فتاحی و جهانگیری (۱۳۹۳) یک تحقیق دو جانبه را در مورد خواص فراکتالی شبکه‌ی رودخانه و گروه زمانی جریان در رودخانه انجام دادند، نتایج به دست آمده نشان داد که این پدیده‌ها از خط مشی یکسانی در رابطه با خواص فراکتالشان پیروی می‌کنند، به طوری که بعد فراکتال برای هر دو پدیده به سمت مقادیر ثابت متمایل می‌گردند.

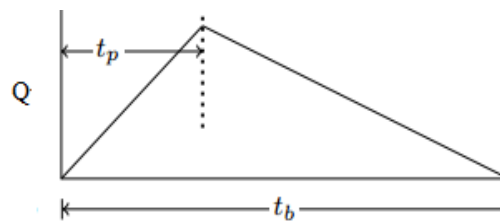
علمی زاده و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه ویژگی‌های زرينه رود با استفاده از نظریه هندسه فراکتال پرداخته و به این نتیجه رسیدند که این از خواص فراکتالی تبعیت می‌کند؛ همچنین، بعد فراکتالی بالای رودخانه معرف تراکم زهکشی بیشتر و زمان کمتر برای رسیدن به جریان دائمی است. به علاوه، سازندهای کواترنری و دامنه‌های پوشیده از پلمه سنگ و فلیش، تعداد زیادی شاخه رتبه‌ی اول و حتی دوم را بوجود آورده و به شبکه اضافه نموده‌اند که این امر در رتبه‌ی بقیه‌ی شاخه‌های رود نیز اثر مستقیمی دارد. همچنین، هرچه بعد فراکتالی بیشتر باشد، اوج آب‌نگار رودخانه نیز به همان نسبت بیشتر خواهد بود. به این ترتیب، تعداد انشعابات رودخانه از مرتبه‌های گوناگون، همچنین سطح و طول این انشعابات از رابطه‌ی توانی و فراکتالی پیروی می‌کنند.

ما نیز در این تحقیق تصمیم داریم با کمک بعد فراکتال آب‌نگار واحد مثلثی را بدون داشتن زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی، اختلاف ارتفاع و در کل خصوصیات زمین‌ریخت‌شناسی مورد نیاز برای محاسبه زمان تمرکز رسم کنیم.

مواد و روش:

آب‌نگار:

آب‌نگار نموداری است که تغییرات بده رواناب را نسبت به زمان نشان می‌دهد. از مهمترین قدم‌هایی که در تجزیه و تحلیل‌های آشناسی و تهیه‌ی آب‌نگارهای طرح برداشته شده است مفهوم آب‌نگار واحد است که برای اولین بار در سال ۱۹۳۲ به وسیله‌ی یک مهندس آمریکایی به نام شرمن پیشنهاد گردید. بر حسب تعریف، آب‌نگار واحد آب‌نگاری



شکل ۱- آبنگار واحد مثلثی بدون بعد.

ما به جهت استخراج فراسنج‌های ریخت‌شناسی حوضه از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، که از ذخیره و بایگانی، تا تهیه‌ی نقشه و شگردهای پیچیده پردازش و نمایش داده‌های مربوط به مسائل آبخیزشناسی را داراست استفاده کرده‌ایم. این سامانه قابلیت تجزیه و تحلیل مکان مورد بررسی را به صورت یکپارچه و همزمان داشته، همچنین خصوصیات مکانی تمامی عوامل مؤثر در آن مکان را در بانک اطلاعاتی ذخیره کرده، و با توجه به نیاز، نمایش خاصی از آنها را در قالب نقشه و جداول اطلاعاتی ارائه می‌نماید. استخراج فراسنج‌های ریخت‌شناسی حوضه نیز در این سامانه امکان پذیر است، به این صورت که با استفاده از نقشه DEM^2 اختلاف ارتفاع، شیب حوضه، لایه‌های جهت جریان، جهت جریان تجمعی، لایه‌ی طول جریان و رده‌ی آبراهه‌ها را با استفاده از نقشه آبراهه‌ها طول آبراهه‌ی اصلی (شکل ۲) برای تک تک زیر حوضه‌ها استخراج کرده، و با استفاده از نقشه‌ی حوضه‌ها مساحت و شکل حوضه را بدست آوردیم (شکل ۳).

از ویژگی‌های بارز زمین‌ریخت‌شناسی حوضه می‌توان به مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، شکل حوضه، شیب میانگین، ارتفاع مبه وسیله‌ی اشاره کرد که بده اوج و زمان تمرکز لازم جهت تولید آب‌نگار مثلثی بر پایه‌ی این خصوصیات محاسبه می‌شود. به منظور برآورد زمان تمرکز، فرمول‌ها و روش‌های تجربی زیادی به وسیله‌ی متخصصین پیشنهاد شده‌اند. ما در این تحقیق از معادله‌ی کرپیچ، که برای حوضه‌های کوچک قابلیت کاربردی خوبی دارد، استفاده کرده‌ایم (علی زاده، ۱۳۹۴).

$$(۴) \quad t_c = 0.494 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

که در آن :

t_c = زمان تمرکز بر حسب ساعت

L = طول مسیر آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر

H = اختلاف ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه

حوضه بر حسب متر

سامانه اطلاعات جغرافیایی ۱



شکل ۲- نقشه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی وال نات گولچ



شکل ۳- نقشه‌ی زیر حوضه‌های حوضه‌ی وال نات گولچ

¹Geographic Information System (GIS)

² Digital elevation model

هندسه‌ی فراکتالی

همان‌طور که در قبل بیان گردید، هندسه‌ی فراکتالی به اجسامی تعلق دارد که دارای یک الگوی تکرار شونده اما پیچیده می‌باشند. در واقع این مسأله در بعضی موارد آنقدر پیچیده است که تعیین این الگوی تکرار شونده در بعد زمانی و مکانی به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد. بیان مثالهایی معروف اما ساده از مجموعه‌های فراکتالی شامل مثلث سرپینسکی، منحنی کخ، مجموعه کانتور می‌باشد. برای بیان این هندسه، معمولاً از بعد فراکتالی استفاده می‌گردد. روش‌های محاسبه بعد فراکتالی براساس طبقه بندی این اجسام به دو دسته‌ی خود وابسته (ضریب بزرگ نمایی الگوی تکرار شونده در جهات مختلف برای رسیدن به شکل اصلی متفاوت باشد) و خود متشابه (ضریب بزرگ نمایی الگوی تکرار شونده در جهات مختلف برای رسیدن به شکل اصلی متفاوت باشد) صورت می‌پذیرد. برای محاسبه‌ی بعد فراکتالی در اشیاء خود متشابه از روشهایی مانند روش شمارش جعبه‌ای استفاده می‌شود. در این تحقیق از روش شمارش جعبه‌ای برای محاسبه بعد فراکتالی در بازه‌ی مورد نظر از رودخانه استفاده می‌شود.

روش شمارش جعبه‌ای

در این روش، همان‌گونه که در شکل ۴ می‌بینیم، مجموعه‌ی نقاط روی یک منحنی یا یک سطح با مربعاتی (همان جعبه‌ها) به طول ضلع ϵ پوشانده می‌شوند. در واقع، کل فضای مورد نظر با استفاده از این روش شبکه بندی می‌گردد. تعداد مربعاتی که هر قسمت از منحنی مورد نظر را پوشش می‌دهند محاسبه می‌شود. این کار برای مربعات با طول اضلاع مختلف تکرار می‌شود. حد نهایی این قسمت زمانی است که ϵ به صفر میل کند. در این صورت با استفاده از رابطه‌ی

$L = N \cdot \epsilon$ ، طول محاسبه شده به طول واقعی بسیار نزدیک می‌گردد. مقدار بعد فراکتالی با استفاده از این روش به صورت نظری با استفاده از رابطه زیر حاصل می‌شود:

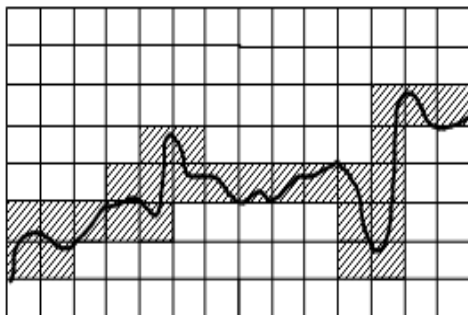
$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log \frac{1}{\epsilon}} \quad (5)$$

D: بعد فراکتالی، N: تعداد مربعات که شامل قسمتی

از جسم فراکتالی مورد نظر می‌باشد.

با توجه به اعداد بدست آمده، نموداری به صورت لگاریتمی که محورهای افقی و عمودی آن به ترتیب معرف $\log(\frac{1}{\epsilon})$ و $\log(N(\epsilon))$ می‌باشند رسم می‌گردد. شیب خط

عبوری از نقاط حاصله در منحنی لگاریتمی، بعد فراکتالی‌ی مورد نظر را بیان می‌نماید. (مالتنو، ۱۹۹۳؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴- نحوه‌ی محاسبه بعد به روش شمارش جعبه‌ای

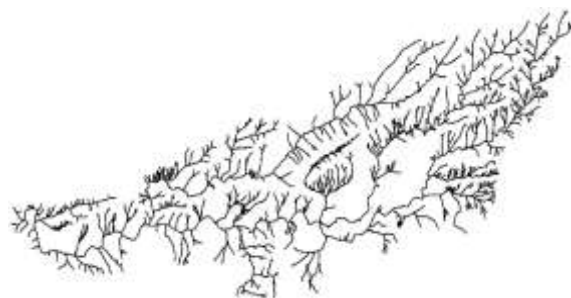
پردازش تصویر:

پردازش تصویر به ما کمک می‌کند تا از کل تصویر پشت زمینه تنها تصویر آبراهه را بگیریم؛ سپس تصاویر شبکه‌ی رودخانه‌ی پردازش شده تجزیه و تحلیل فراکتالی شده، و خصوصیات فراکتال آن استخراج می‌گردد. در روند پردازش تصویر، ابتدا تصاویر آبراهه‌ها برای تجزیه و تحلیل فراکتال آماده می‌شوند؛ این مرحله شامل چندین گام می‌باشد که بر روی تصاویر آبراهه‌ها، از طریق رمز تهیه شده در متلب به کار گرفته می‌شوند. این گام‌ها شامل مراحل زیر می‌باشند:

- ۱ - خواندن و نشان دادن تصویر به حالت سیاه و سفید (شکل a- ۵).
- ۲ - روشنایی پشت زمینه‌ی تصویر با استفاده از پنجره‌ی ریخت‌شناسی تخمین زده می‌شود (شکل b- ۵).
- ۳ - در این مرحله پشت زمینه‌ی ایجاد شده در مرحله‌ی ۲ به عنوان یک سطح فراسنجی رنگی، که رفتار ریاضی شکل را در منطقه‌ی مستطیلی تعیین شده نشان می‌دهد، به دست می‌آید.
- ۴ - پشت زمینه از تصویر برداشته می‌شود و شدت تعدیل می‌یابد؛ در نهایت، تصویر با یک پشت زمینه‌ی واحد به دست می‌آید (شکل c- ۵).
- ۵ - نسخه دودویی تصویر به کمک آستانه سازی تولید می‌شود.

با انتخاب مقداری که به منطقه‌ی نشانه گذاری شده اختصاص می‌یابد، شخص می‌تواند رمز اختصاص داده شده به شبکه‌ی آبراهه را استخراج کند (شکل f-۵).
۸ - با استفاده از تبدیل هو استاندارد (SHT) بر روی تصویر دودویی می‌توان طولانی‌ترین امتداد مسیر آبراهه را مشخص نمود (g-۵).

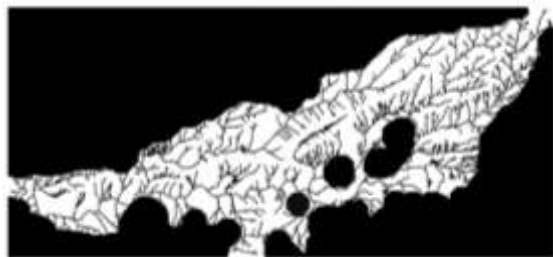
۶ - لبه یابی: از روش لبه یابی کنی برای کشیدن نقشه‌ی لبه استفاده می‌شود. لبه‌ها مرزهایی هستند که در اطراف نواحی تصویر می‌باشند (شکل d-۵).
۷ - مناطق مختلف مشخص شده در تصویر نشانه گذاری گردیده (یک مقدار به آنها اختصاص داده می‌شود) و با رنگ‌های متفاوت پوشیده می‌شوند تا شبکه‌ی رودخانه از دیگر قسمت‌های تصویر مشخص گردند (شکل e-۵).



(a)



(b)



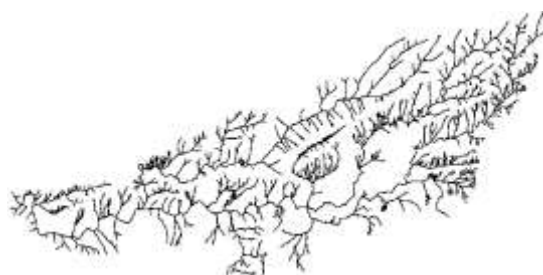
(c)



(d)



(e)



(f)

شکل ۵: مراحل پردازش تصویر؛ (a) خواندن تصویر به صورت سیاه و سفید؛ (b) روشن سازی پشت زمینه؛ (c) تصویر با پشت زمینه ثابت؛ (d) لبه یابی؛ (e) اختصاص دادن رنگ و مقدار به منطقه؛ (f) استخراج رمز اختصاص داده شده به شبکه آبراهه.

محدوده‌ی جغرافیایی (۳۱ و ۴۲ شمالی، ۱۱۰ و ۱۰۳ غربی) واقع شده است. این آبخیز نمونه‌ای از حوضه‌های موجود در منطقه‌ی نسبتاً کم آب جنوب غرب به شمار می‌رود که از علف و بوته پوشیده شده است، در واقع ناحیه‌ی عبوری بین صحراهای چیهواخوان و سونوران می‌باشد.

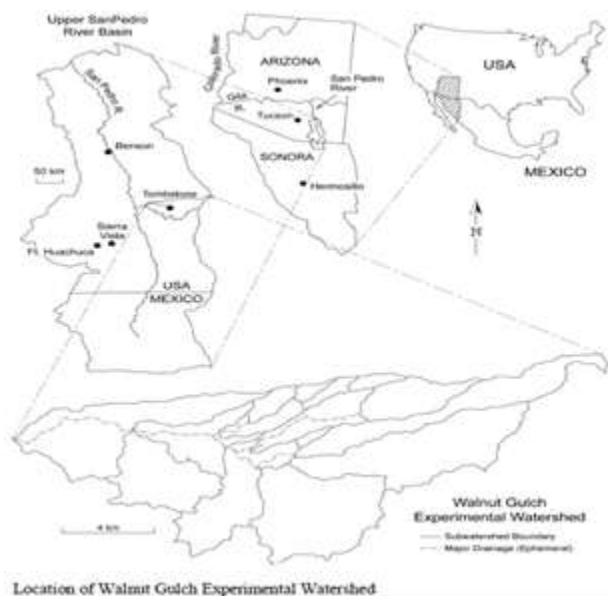
نتایج و بحث:

منطقه‌ی مورد مطالعه:

حوضه‌ی وال نات گولچ^۲ در جنوب شرق ایالت آریزونا، آمریکا (شکل ۶) با مساحت ۱۵۰ کیلومتر مربع در

^۲Walnut Gulch

^۱ Canny

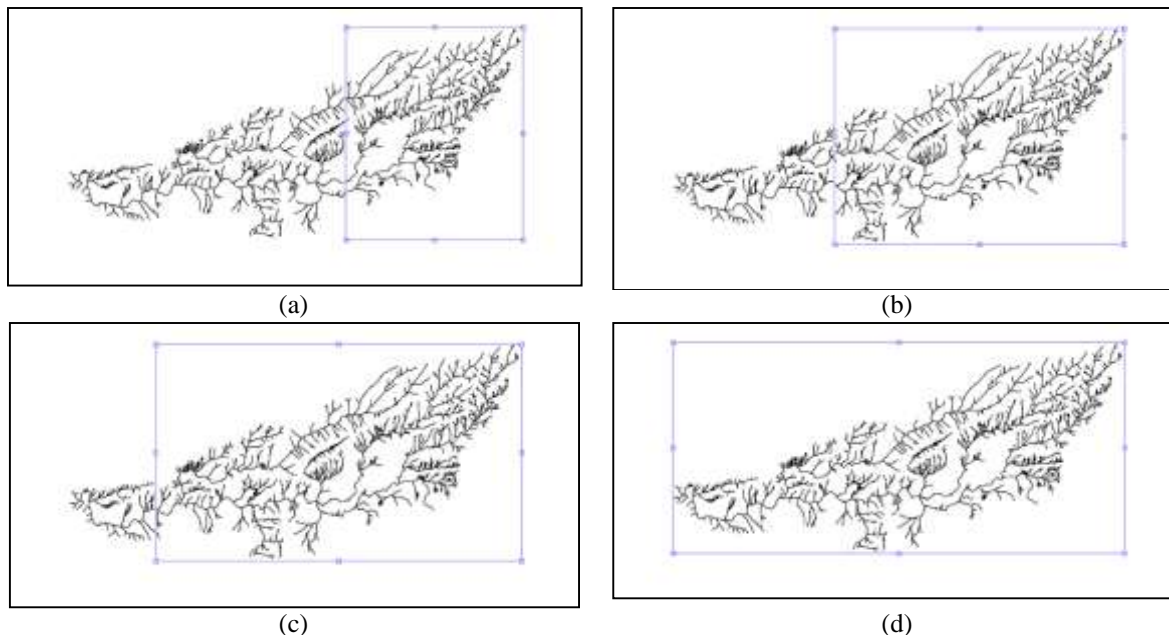


شکل ۶- موقعیت حوضه‌ی وال نات گولچ.

ابعاد زیر حوضه‌ها:

با در نظر گرفتن پنجره‌هایی با ابعاد مختلف، بعد فراکتال محدود به هر پنجره با کاربرد روش جعبه‌شماری که در متلب رمز نویسی کردیم محاسبه گردید. پنجره‌های انتخاب شده با

ابعادی با روند افزایشی از بالا دست حوضه به سمت خروجی در نظر گرفته شده‌اند، به گونه‌ای که آخرین پنجره‌ی کل محدوده‌ی حوضه را در بر دارد (شکل ۷). با افزایش ابعاد پنجره انتخابی، بعد فراکتال محاسبه شده افزایش یافته و در نهایت به سمت مقداری ثابت میل می‌کند.



شکل ۷- ابعاد زیر حوضه‌ها: (a) : نحوه‌ی انتخاب پنجره‌ی ۱ در محاسبه‌ی بعد فراکتال؛ (b) نحوه‌ی انتخاب پنجره‌ی ۲ در محاسبه‌ی بعد فراکتال؛ (c) نحوه‌ی انتخاب پنجره‌ی ۳ در محاسبه‌ی بعد فراکتال؛ (d) نحوه‌ی انتخاب پنجره‌ی ۴ در محاسبه‌ی بعد فراکتال.

را برای بارش ۵ ساعته رسم ، پس از آن زمان‌های تمرکز تمام زیر حوضه ها را در مقابل ابعاد فراکتالشان قرار داده، یک منحنی را برازش داده، و با عدد وایزی 0.761 و معادله

$$t_c = 103.09x^2 - 341.02x + 283.23 \quad (۶)$$

جدول ۲- نتایج محاسبه‌ی زمان تمرکز برای ۱۲ زیر حوضه

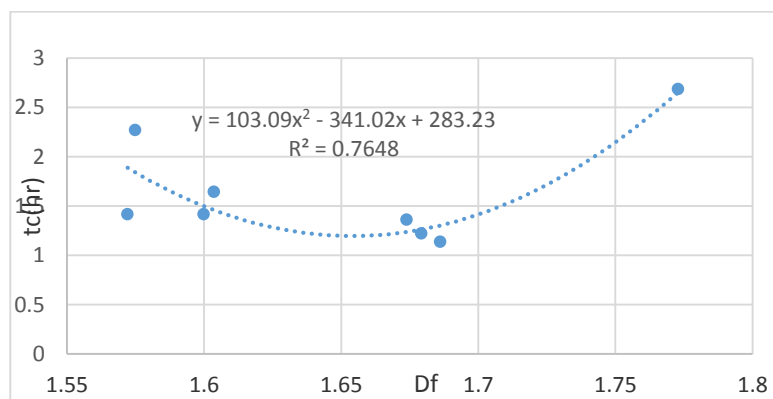
شماره زیر حوضه	زمان تمرکز با کاربرد روش کریچ بر حسب ساعت
۱	۱/۱۶
۲	۰/۷۴
۳	۱/۱۸
۴	۰/۴۳
۵	۱/۲۲
۶	۰/۷۴
۷	۰/۶۰
۸	۱/۶۴
۹	۱/۴۰
۱۰	۱/۳۸
۱۱	۰/۷۱
۱۵	۰/۳۳

به این ترتیب، بعد فراکتال تک تک زیر حوضه ها را بدست آوردیم که در جدول ۱ مشاهده می شود:

جدول ۱- نتایج محاسبه‌ی بعد فراکتال شبکه آبراهه های حوضه ی وال نات گولچ با کاربرد روش جعبه

شماره زیرحوضه	بعد فراکتال
۱	۱/۶۸۱۴
۲	۱/۵۷۲۱
۳	۱/۵۷۴۹
۴	۱/۵۷۹۰
۵	۱/۶۷۹۲
۶	۱/۵۹۹۸
۷	۱/۶۸۶۱
۸	۱/۶۰۳۶
۹	۱/۷۷۲۹
۱۰	۱/۶۰۹۶
۱۱	۱/۶۷۳۸
۱۵	۱/۷۲۵۱

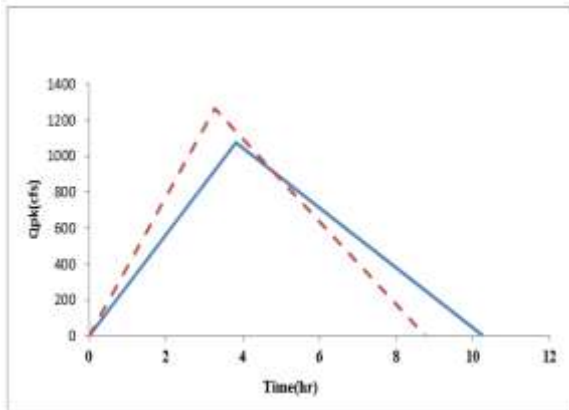
سپس برای تمام زیر حوضه ها زمان تمرکز را با کاربرد روش کریچ محاسبه کرده (جدول ۲)، آبنگار واحد مثلثی



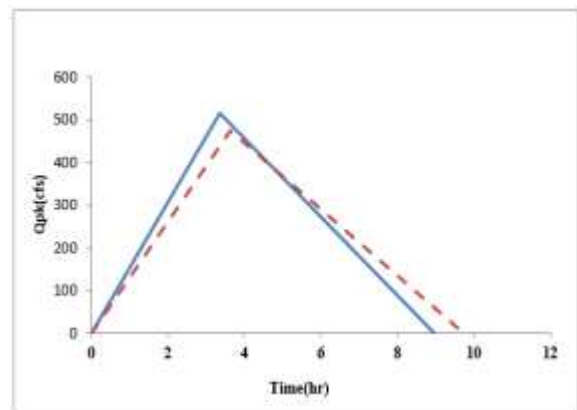
شکل ۸- منحنی برازش داده شده زمان تمرکز و بعد فراکتال.

استفاده شد (شکل ۱۰). در نمودارهای زیر آبنگار های ۱۲ زیر حوضه به همراه آبنگار فراکتالی تولید شده آورده شده‌اند، همان طور که در شکل ۹ مشخص است، آبنگارها انطباق‌های خوبی را با هم دارند، به صورتی که در برخی زیر حوضه؛ نمودارها کاملاً منطبق می‌باشند.

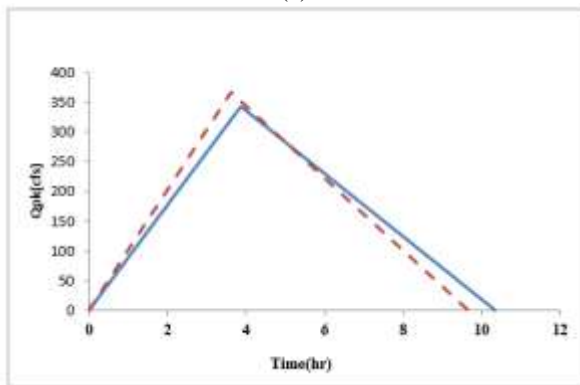
در ادامه، معادله جدید را به جای معادله‌ی زمان تمرکز کریچ قرار داده و زمان تمرکز جدید را با احتساب بعد فراکتال به دست آورده. در نهایت، زمان اوج، زمان پایه و بده اوج را با استفاده از زمان تمرکز جدید محاسبه، آبنگار مثلثی جدید را رسم نموده، سپس با آبنگار قبلی مقایسه کرده. در آخر، جهت صحت سنجی کار از حوضه ی کسپیلان



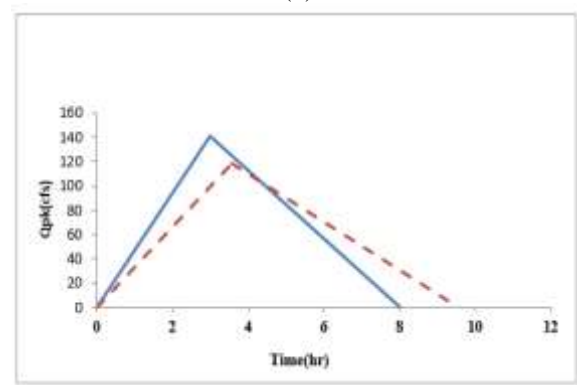
(a)



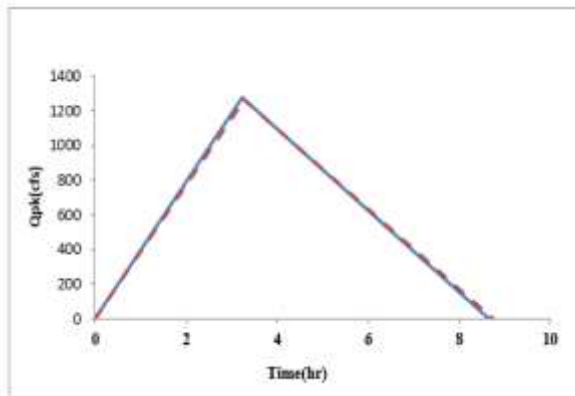
(b)



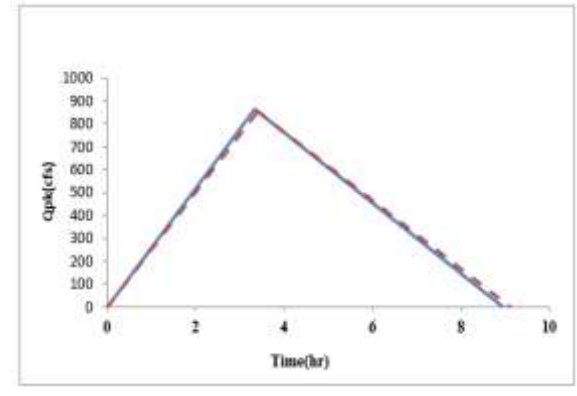
(c)



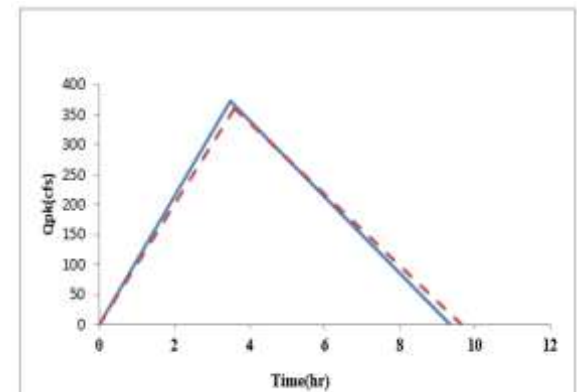
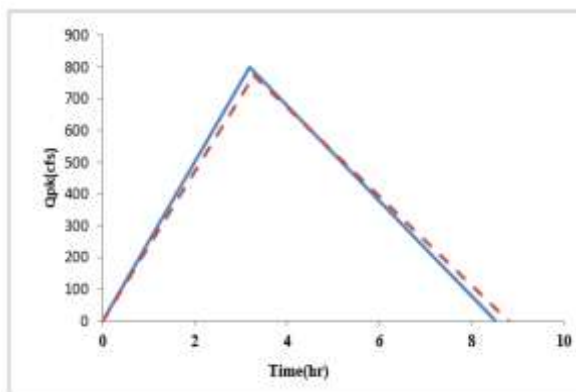
(d)

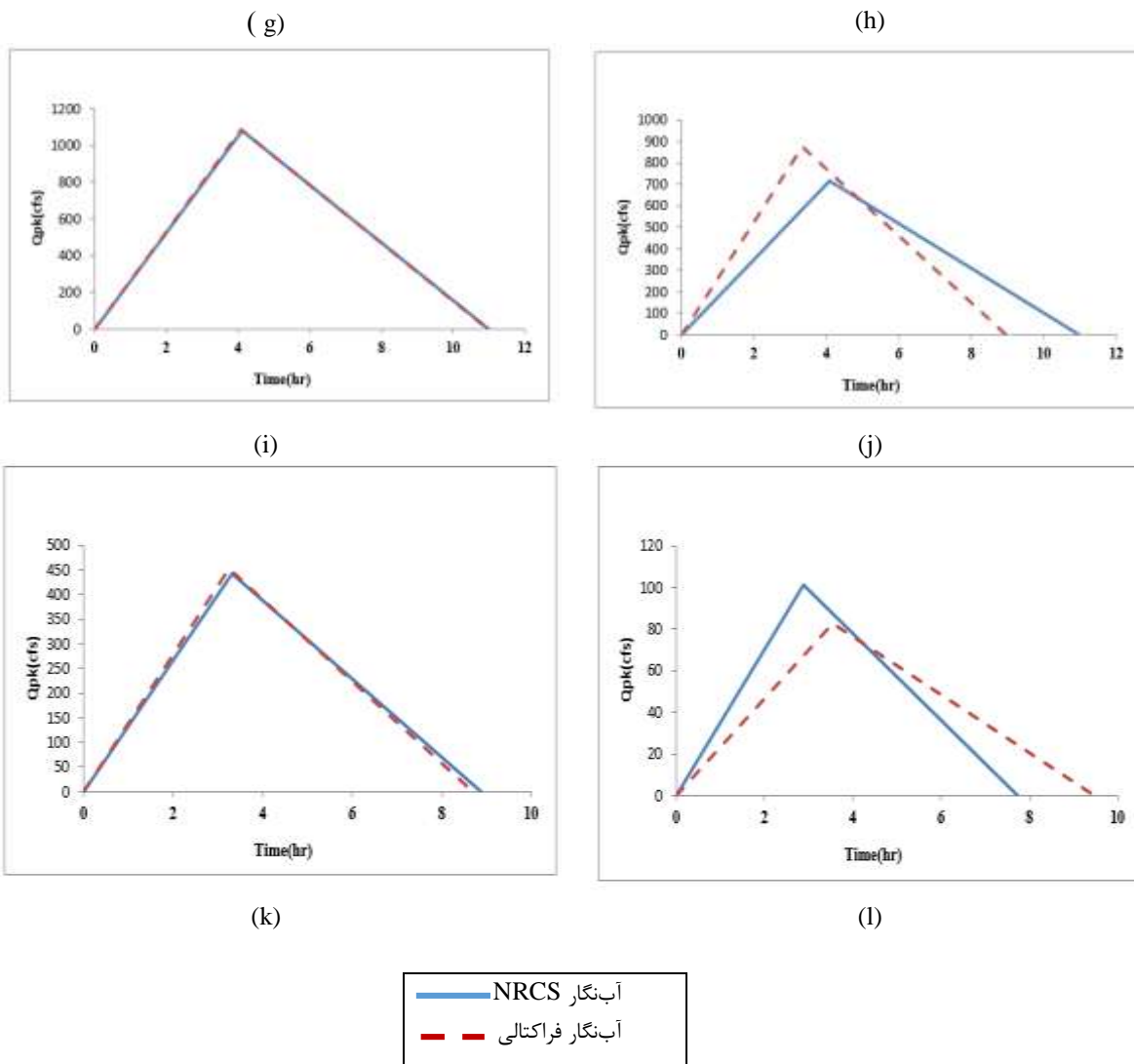


(e)

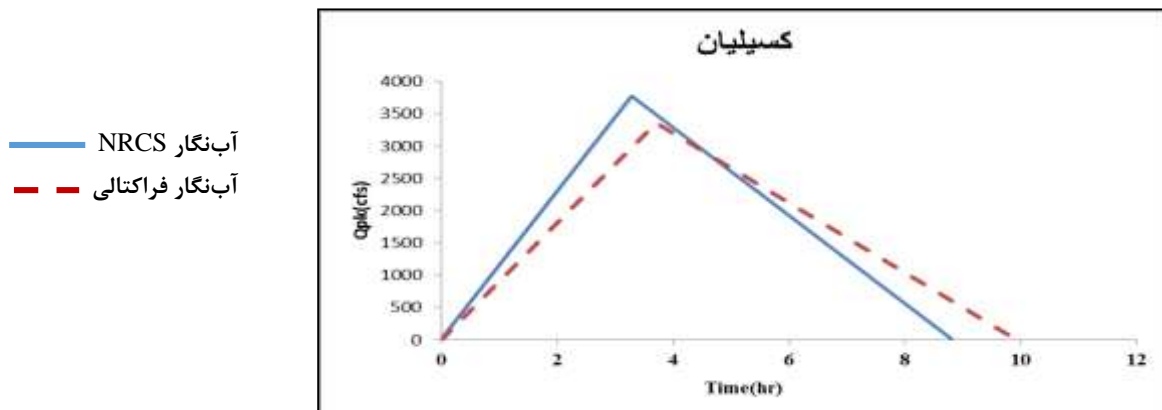


(f)





شکل ۹: مقایسه آب‌نگار واحد مثلثی NRCS و آب‌نگار واحد مثلثی فراکتالی حوضه‌ی وال نات گولچ؛ (a) زیر حوضه‌ی شماره ۱؛ (b) زیر حوضه‌ی شماره ۲؛ (c) زیر حوضه‌ی شماره ۳؛ (d) زیر حوضه‌ی شماره ۴؛ (e) زیر حوضه‌ی شماره ۵؛ (f) زیر حوضه‌ی شماره ۶؛ (g) زیر حوضه‌ی شماره ۷؛ (h) زیر حوضه‌ی شماره ۸؛ (i) زیر حوضه‌ی شماره ۹؛ (j) زیر حوضه‌ی شماره ۱۰؛ (k) زیر حوضه‌ی شماره ۱۱؛ (l) زیر حوضه‌ی شماره ۱۵.



شکل ۱۰- مقایسه آب‌نگار واحد مثلثی NRCS و آب‌نگار واحد مثلثی فراکتالی حوضه‌ی کسیلیان.

تحلیل آب‌نگارها

نتیجه‌گیری:

از آنجا که برآورد آب‌نگار سیل اولین و مهمترین قدم در طراحی و اجرای طرح‌های هیدرولیکی و آشناسی است، و در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری برآورد آب‌نگار واحد مصنوعی بر مبنای ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی حوضه‌ها صورت می‌گیرد، همچنین با توجه به این که به جهت تولید آب‌نگار واحد مصنوعی لازم به داشتن زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی، اختلاف ارتفاع و در کل خصوصیات زمین‌ریخت‌شناسی مورد نیاز برای محاسبه‌ی زمان تمرکز است، و این فراسنج‌ها نیاز به محاسبه آشناسی دارند، بر این اساس ما در این تحقیق کاری کرده‌ایم که بتوان آب‌نگار واحد مثلثی NRCS را تنها با داشتن عکس آبراهه‌ها، و بدون نیاز به محاسبات GIS و زمین‌ریخت‌شناسیکی رسم کرد. همان گونه که در بخش نتایج مشاهده شد، ابتدا آب‌نگار واحد مثلثی را با استفاده از روابط پیشین رسم کردیم، سپس با استفاده از روابط به دست آمده از بعد فراکتال آب‌نگار جدید را ترسیم نموده و با هم مقایسه کردیم.

نتایج حاکی از آن می‌باشند که آب‌نگارها تطابق خوبی دارند و روش ابداعی آب‌نگار واحد مصنوعی بر پایه‌ی ویژگی‌های فراکتال حوضه، که دیگر نیازی به محاسبات زمین‌ریخت‌شناسیکی ندارد، جواب خوبی را می‌دهد، به جز در موارد استثنا، که یا رده آبراهه‌ها پایین باشد، مانند زیر حوضه‌های ۴ و ۱۵، یا اختلاف ارتفاع و گسترش حوضه در بلندترین طول آبراهه زیاد باشد مانند زیر حوضه‌های ۱ و ۱۰.

منابع:

- ۱) علمی زاده، ه. ا. ماه اوچر و م سعادتمند. ۱۳۹۳. بررسی نظریه‌ی فراکتال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ها (مطالعه‌ی موردی زیرینه رود). پژوهش‌های زمین‌ریخت‌شناسی کمی. صص ۱۴۱-۱۳۰:۳.
- ۲) فتاحی م. ه. و ح جهانگیری. ۱۳۹۳. بررسی ارتباط ویژگی‌های برخال شبکه‌ی رودخانه و سریهای زمانی جریان رودخانه، مجله‌ی مهندسی منابع آب. صص ۱-۱۰:۷.
- ۳) علی زاده ا. ۱۳۹۴. اصول آشناسی کاربردی، چاپ چهلیم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد، صص ۶۷۰-۶۱۵.
- 4) Ariza V.A, F Jiménez-Hornero & E Gutiérrez de Ravé. 2013. Multi-fractal analysis applied to the study of the accuracy of DEM-based stream derivation, *Geomorphology*. 197:85-95.

۱- با توجه به شکل b-۹، که مربوط به زیر حوضه ۲ می‌باشد، و جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که آب‌نگار واحد NRCS و آب‌نگار واحد فراکتالی تطابق خوبی را با هم دارند؛ این امر برای شکل‌های c-۹، e-۹، f-۹، g-۹، h-۹، i-۹، k-۹ که به ترتیب مربوط به حوضه‌های ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱ می‌باشند نیز حاکم است.

۲- با توجه به شکل d-۹، که مربوط به زیر حوضه ۴ می‌باشد، و جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که آب‌نگار NRCS و آب‌نگار فراکتالی تطابق نسبتاً خوبی ندارند. این موضوع می‌تواند به دلیل پایین بودن رده‌ی آبراهه باشد. این امر برای شکل l-۹، که مربوط به زیر حوضه‌ی ۱۵ می‌باشد، نیز صادق است.

۳- با توجه به شکل a-۹، که مربوط به زیر حوضه ۱ می‌شود، و با توجه به جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که هر چه اختلاف ارتفاع بیشتر باشد تطابق آب‌نگار واحد NRCS و آب‌نگار واحد مثلثی کمتر است. این امر برای شکل j-۹، که مربوط به حوضه‌ی ۱۰ می‌باشد، نیز صادق است.

جدول ۴- اختلاف ارتفاع به همراه اختلاف فراسنج‌های آب‌نگار فرکتالی و NRCS مربوط به هر زیر حوضه

شماره حوضه	اختلاف فراسنج‌های آب‌نگار فرکتالی و NRCS		
	اختلاف دبی پیک (cfs)	اختلاف زمان اوج (hr)	اختلاف زمان پایه (hr)
۱	۱۸۴/۹۷	۰/۵۶	۱/۵۰
۲	۴۱/۱۱	۰/۲۹	۰/۷۷
۳	۲۳/۷۸	۰/۲۵	۰/۶۷
۴	۲۲/۷۱	۰/۵۸	۱/۵۳
۵	۱۳/۶۷	۰/۰۴	۰/۰۹
۶	۱۴/۴۶	۰/۰۶	۰/۱۵
۷	۲۵/۹۷	۰/۱۱	۰/۲۸
۸	۱۲/۲۳	۰/۱۲	۰/۳۱
۹	۳/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۳
۱۰	۱۵۹/۹۹	۰/۷۵	۲/۰۰
۱۱	۹/۲۳	۰/۰۷	۰/۱۸
۱۵	۱۸/۶۳	۰/۶۵	۱/۷۴

- 5) Baas A.C.W. 2002. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Geomorphology*. 48: 309 – 328.
- 6) Bi L, H He, Z Wei & F Shi. 2012. Fractal properties of landform in the Ordos Block and surrounding areas, China *Geomorphology*. 175:151–162.
- 7) Li J, Q Du & C Sun. 2009. An improved box-counting method for image fractal dimension estimation. *Pattern Recognition*. 42: 2460-2469.
- 8) Mandelbrot B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*. 156: 636 – 638.
- 9) Molteno T.C.A. 1993. Fast O (N) box-counting algorithm for estimating dimensions. *Physical Review*. 48: R3263– R3266.
- 10) Nikora V. I. 1991. Fractal structures of river plan forms. *Water Resour*. 27: 1327-1333.
- 11) Nikora V. I, V.B Sapozhnikov & D.A Noever. 1993. Fractal geometry of individual river channels and its computer simulation. *Water resource*. 29:3561-3568.
- 12) Phillips J.D. 2002. Interpreting the fractal dimension of river networks. In: N.S.N Lam & L Decola (eds.): *Fractals in geography*. PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey: 142–157.
- 13) Rodriguez-Iturbe I and A Rinaldo. 1997. *Fractal river basins, chance and Self-Organization*, Cambridge: Cambridge University Press.
- 14) Shen XH, L Zou & H Li. 2002. Successive shift box counting method for calculating fractal dimension and its application in identification of fault. *Acta geologica sinica*. 76:257-263.
- 15) Sherman LK. 1932. Streamflow from rainfall by the unit Graph Method. *Engineering news-record*. 108: 501-505.
- 16) Turcotte D.L. 2007. *Fractal and chaos in geology and geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 398.
- 17) Zhu J, X Yu, J Li & Z Zhang. 2009. Improved method for computing fractal dimension of river networks based on image analysis and its application. *Geo-Information Science*. 11:610-616.