

## برآورد سیلاب مبتنی بر تخمین بارش با تئوری فرکتال و به کارگیری CN مستخرج از سنتینل ۲ در مدل HEC-HMS (حوزه آبخیز تیره در منطقه بروجرد - دورود)

طیبه سپهوند<sup>۱</sup>، مهدی سلیمانی مطلق<sup>۲\*</sup>، حسین زینی‌وند<sup>۳</sup>، امیر میرزایی موسیوند<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

### چکیده

برآورد بارش طرح از مهم‌ترین اصول در مدیریت رواناب حوزه آبخیز محسوب می‌شود. از سوی دیگر، استفاده از روش‌های با دقت بالا در محاسبه بارش و شماره منحنی و به کارگیری آن‌ها در مدل‌های هیدرولوژیکی، باعث کاهش خطاهای ورودی مدل و افزایش دقت شبیه‌سازی می‌شود. به این منظور در این تحقیق، از روش فرکتال برای برآورد بارش و از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای برآورد دبی اوج و حجم سیل استفاده شد. در این مدل، برای شبیه‌سازی زیرحوضه‌ها از روش شماره منحنی SCS با هدف برآورد میزان تلفات، از روش «بازگشتی» برای برآورد آب پایه و از روش هیدروگراف واحد SCS برای تبدیل بارش به رواناب استفاده شد. مدل براساس وقایع انتخابی بارش و دبی در تاریخ ۱۷ تا ۱۹ آوریل ۲۰۱۲ و ۱۱ تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۶ بر مبنای فرایند بهینه‌سازی خودکار با تابع هدف ریشه میانگین مربعات خطا و حداکثر تعداد ۱۰۰ تکرار با زمان توقف ۰/۰۱ و معرفی پارامترهای ورودی برای مراحل واسنجی و صحت‌سنجی اجرا شد. نتایج تحقیق در زمینه برآورد بارش براساس تئوری فرکتال و بررسی گشتاورهای آماری با استفاده از اطلاعات ۱۲ ایستگاه در ۷ دوره بازگشت نشان داد که داده‌های حداکثر شدت بارش دارای ماهیت مونوفراکتالی است. به عبارتی تغییرات توان مقیاس نسبت به مرتبه آن کاملاً خطی است و با استفاده از ماهیت مونوفراکتالی می‌توان بین داده‌ها در تداوم‌های مختلف ارتباط برقرار کرد. نتایج تحقیق در بخش شبیه‌سازی بارش رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS نشان داد که برآزش مناسبی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی وجود دارد؛ به طوری که ضریب نش سساتکلیف در ایستگاه خروجی حوضه (تیره دورود) در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۴۴ و ۰/۶۸۳ به دست آمد. پیش‌بینی مدل براساس هایتوگراف بارش با روش‌های فرکتال و «قهرمان» مبین برآزش بسیار مناسب مقادیر دبی اوج و حجم سیل ۶ ساعته با ضریب نش سساتکلیف بیش از ۰/۹۹ است. استفاده از CN حاصل از تصاویر سنتینل ۲ در قیاس با لندست ۸ به طور قابل توجهی روی هیدروگراف خروجی مدل HEC-HMS تأثیر داشته است؛ به طوری که باعث ارتقای ضریب نش سساتکلیف از ۰/۵۶ به ۰/۷۴ در مرحله واسنجی و از ۰/۳۹ به ۰/۶۸ در مرحله صحت‌سنجی شده است. در مجموع نتایج تحقیق می‌تواند کمک مؤثری به افزایش دقت و نتایج بهینه مدل بارش رواناب HEC-HMS نماید تا کارشناسان و مدیران اجرایی در مدیریت حوزه آبخیز به نحو مطلوب عمل کنند.

**کلیدواژه‌ها:** توان مقیاس، گشتاور وزنی، فیلتر دیجیتال بازگشتی، نرم‌افزار WHAT.

۱. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، soleimani.m@lu.ac.ir

۳. دانشیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۴. استادیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

## ۱. مقدمه

از جمله تحقیقات مهم و کاربردی برای طراحی سازه‌های آبی، محاسبه حداکثر شدت بارش است. منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی دارای فرضیات زیاد هستند و به تعداد پارامتر زیاد در دوره بازگشت‌های مختلف نیاز دارند؛ از این رو دقیق نیستند. هنگامی که حوضه دارای آمار ناقص باشد، روش‌های سستی دچار محدودیت می‌شوند. برای رفع این مشکل از روش فرکتال استفاده می‌شود که روشی خودمتشابه است و داده‌های بارش را در دوره تداوم‌های بلند و کوتاه ایجاد می‌کند (سچرتزر<sup>۱</sup> و لوجوی<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷).

سیلاب از مخرب‌ترین مخاطرات محسوب می‌شوند که هرساله خسارات جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد (عقیقی، ۲۰۲۰؛ حمصی و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به آمارهای موجود، کشور ایران رتبه هفتم را از نظر سیل‌خیزی در دنیا دارد (نصری و سلیمانی‌ساردو، ۲۰۱۱). در پنجاه سال اخیر در حدود ۳۷۰۰ واقعه سیل در کشور گزارش شده که حدود ۵۳٪ آن در سال‌های اخیر روی داده است (شریفی و همکاران، ۲۰۰۱). سیل از جمله خطرهای طبیعی است که فراوانی وقوع آن در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته و خسارت‌های ناشی از آن همه‌ساله بخشی از کشور را تحت تأثیر قرار داده است (شعبانی بازنشین و همکاران، ۲۰۱۷). سیل یک پدیده معمول و قابل انتظار برای رودخانه است؛ اما به دلیل اینکه کناره‌های رودخانه‌ها معمولاً دارای تراکم جمعیتی بالایی هستند، سیلاب‌های بزرگ‌تر خطرناک هستند (حاتمی‌نژاد، ۲۰۱۷). به طوری که قسمت‌های زیادی از کشور تحت تأثیر سیلاب هستند که باعث تخریب سازه‌های عمرانی، امکانات ارتباطی، کشاورزی و... خواهد شد. اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی و دخالت‌های انسان سبب افزایش تعداد دفعات و تشدید خسارات شده است (دفتری، ۲۰۱۳). با بررسی اطلاعات خسارات سالانه ناشی از سیلاب در ایران و جهان گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی را می‌توان مشاهده کرد (وهایی، ۲۰۰۶). مهار سیلاب و

کنترل سیل مستلزم آشنایی کامل به نحوه عملکرد سیستم هیدرولوژیکی منطقه است (رامشت و شاه‌زیدی، ۲۰۱۱).

یکی از معتبرترین مدل‌های هیدرولوژیکی و یا ابزارهای پرکاربرد برای برآورد بارش-رواناب و خصوصیات سیلاب در حوضه‌های آبخیز، مدل HEC-HMS است (رحیم‌زاده و حبیبی، ۲۰۱۸؛ حیدری چناری و همکاران، ۲۰۲۲). با استفاده از این مدل می‌توان رواناب حوضه را شبیه‌سازی و دبی اوج سیل را با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه کرد. پایه و اساس مدل‌های هیدرولوژیکی روابط بارش-رواناب است. به همین دلیل در این مدل‌ها از معادله‌های ریاضی و خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز استفاده می‌شود و جزء دسته مدل‌های مفهومی است. روندیابی سیل باعث آشنایی کامل با ویژگی‌های سیل زیرحوضه‌ها و چگونگی عملکرد آن‌ها باهم می‌شود (قنواتی، ۲۰۰۳). شبیه‌سازی بارش-رواناب در مطالعات هیدرولوژیکی، برنامه‌ریزی‌های منابع آب، پیش‌بینی سیلاب دارای اهمیت ویژه‌ای است (جهانبخش اصل و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از مهم‌ترین متغیرهای هیدرولوژیکی، رواناب است که در مطالعات منابع آب استفاده می‌شود که معمولاً شبیه‌سازی آن با کاربردی‌ترین مدل‌های بارش-رواناب نظیر مدل‌های سری HEC از جمله HEC-HMS انجام می‌شود (بالال<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۶). بنابراین استفاده از مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب‌های به‌وقوع پیوسته و پیش‌بینی براساس برآورد بارش در دوره بازگشت‌های مختلف بسیار مهم است. اهمیت این موضوع هنگامی است که از روش‌های جدید تخمین بارش با دقت بالاتر مثل روش فرکتال و در نهایت تخمین سیلاب با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شود. حوزه آبخیز تیره در منطقه بروجرد- دورود از جمله حوضه‌هایی است که در آن وقایع سیلابی به‌وفور رخ می‌دهد. لذا نیاز به بررسی شرایط و عملکرد حوزه آبخیز این منطقه با استفاده از مدل‌سازی بارش-رواناب است تا بتوان با مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار بارش-رواناب براساس روش‌های جدید، گزینه‌های مدیریتی را برای تخفیف و مدیریت سیلاب و رواناب به کار بست.

1. Schertzer &amp; Lovejoy

2. Lovejoy

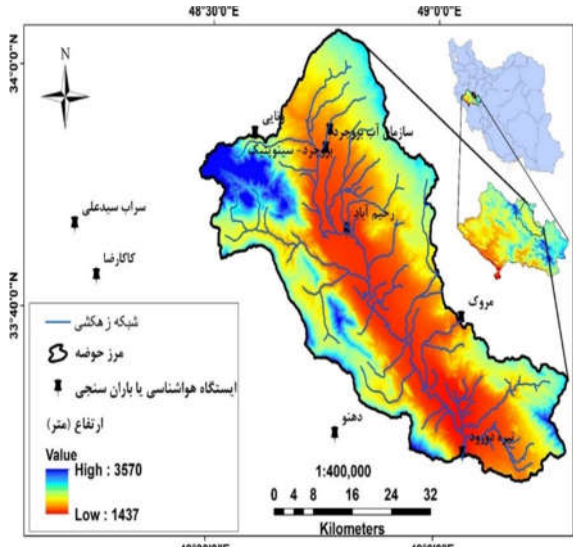
3. Bellal

۲. مواد و روش

۱-۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز تیره- بروجرد بخشی از شهرستان‌های دورود و بروجرد است که بین طول‌های ۲۸' ۴۸° تا ۱۷' ۴۹° شرقی و عرض‌های ۵۱' ۳۳° تا ۳۵' ۳۳° شمالی واقع شده است. این محدوده با مساحت ۲۱۲۷/۲۸ کیلومتر مربع در شمالی‌ترین قسمت حوزه آبریز کارون بزرگ و در جنوب محدوده مطالعاتی اشتربان است. حداقل و حداکثر ارتفاع این حوزه براساس لایه رقمی ارتفاعی با توان تفکیک ۱۲/۵ متر ALOS به ترتیب برابر ۱۴۳۷ و ۳۵۷۰ متر نسبت به سطح دریاست. دشت بروجرد- دورود در پهنه ایران مرکزی زیرپهنه سندج-سیرجان قرار دارد. این دشت حداقل ارتفاعات زاگرس مرتفع و ارتفاعات پهنه دگرگونی سندج- سیرجان و در راستای شمال غرب- جنوب شرقی قرار دارد (شرکت آب منطقه‌ای لرستان، ۲۰۱۴؛ امیر افضلی، ۲۰۱۶). در حوزه مورد مطالعه، متوسط بارش در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۶۱۱/۴ و ۴۱۰/۶ میلی‌متر محاسبه شده است. همچنین میانگین درجه حرارت سالانه دشت با متوسط ارتفاع ۱۴۹۳/۳ متر، ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد و در

ارتفاعات با متوسط ارتفاع ۲۰۲۵/۱ متر، ۸/۵ درجه سانتی‌گراد است (سنگاب زاگرس، ۲۰۱۷).  
 شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز تیره، نقشه رقمی ارتفاعی و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هواشناسی در حوزه آبخیز تیره در منطقه بروجرد- دورود  
 figure (1): The location of rain gauge and meteorological stations in Tirah watershed in Borujerd-Dorud area

- روند نمای تحقیق



شکل (۲): روند نمای تحقیق  
 Figure (2): Research view process

در این مطالعه، حداکثر بارش طراحی در دوره بازگشت و تداوم معین با استفاده از تئوری فراکتال و توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم یافته (Generalized extreme value) نوع ۲ برآورد می شود. مراحل محاسبه این روش به صورت زیر است:

۲-۲. محاسبه بارش به روش فهران (علیزاده، ۲۰۰۶)

$$P_{10}^{60} = 2.2598X_1^{1.1374}X_2^{-0.3072} \quad (3)$$

$$P_T^t = (0.4524 + 0.2471Ln(T - 0.6000))(0.3710 + 0.6184t^{0.4484})P_{10}^{60} \quad (4)$$

که در آن، T دوره بازگشت به سال و t مدت دوام بارندگی به ساعت و  $P_T^t$  مقدار بارندگی با مدت دوام t و دوره بازگشت T سال برحسب میلی متر است. همچنین  $X_1$  متوسط بارندگی حداکثر روزانه و  $X_2$  متوسط بارندگی سالانه برحسب میلی متر است.

### ۳-۲. مدل سازی بارش-رواناب با HEC-HMS

#### ۳-۲-۱. تنظیمات اولیه و تعریف زیرمدل ها

در اولین گام، مدل بارش-رواناب برای حوضه و زیرحوضه ها ایجاد می شود. در این مرحله با معرفی مرز حوضه و زیرحوضه ها، عناصر انشعاب و آبراهه تعریف و تنظیمات اولیه مدل انجام می شود. پس از ایجاد چهار عنصر زیرحوضه (زیرحوضه دورود، زیرحوضه سیلاخور، زیرحوضه ونایی، زیرحوضه سازمان آب بروجرد)، لازم است ارتباط آن ها با یکدیگر از طریق آبراهه و انشعاب برقرار شود. بدین صورت که هر جا دو رودخانه در یک تقاطع به هم می پیوندند، یک عنصر انشعاب (Junction) ایجاد شده است. چهار انشعاب برای حوضه مورد مطالعه تعریف شده است. علاوه بر این، سه عنصر آبراهه (Reach) که وظیفه آن انتقال آب با تأخیر زمانی است، برای حوضه تعریف شده است.

#### ۳-۲-۲. مساحت زیرحوضه

جدول (۱): مساحت زیرحوضه های مربوط به حوضه آبخیز تیره

Table (1): The area of the sub-basins related to the Tيره watershed

زیر حوضه	۱	۲	۳	۴
مساحت (km <sup>2</sup> )	۱۵۷۰/۳۳	۳۲۷/۱۴۵۶	۳۵/۸۰۷	۱۹۳/۷۴۸

۱. استخراج داده های حداکثر مقدار بارش در تداوم های مختلف ۱، ۲ و ... روزه؛

۲. تعیین حداکثر شدت بارش سالانه با تقسیم مقادیر حداکثر مقدار بارش در مرحله قبل بر تداوم آن ها؛

۳. محاسبه گشتاور وزنی داده ها ( $\beta_{r,d}$ ) در مراتب مختلف r و تداوم d و سپس ترسیم نمودارهای خطی در مقیاس لگاریتمی (لگاریم گشتاور وزنی مرتبه r نسبت به لگاریتم تداوم بارش)

$$\beta_{r,d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)(i-3) \dots (i-r)}{(n-1)(n-2)(n-3) \dots (n-r)} (y_i) \quad (1)$$

که در آن، n تعداد داده ها،  $y_i$  حداکثر شدت بارش سالانه به ترتیب صعودی و i شماره ردیف است.

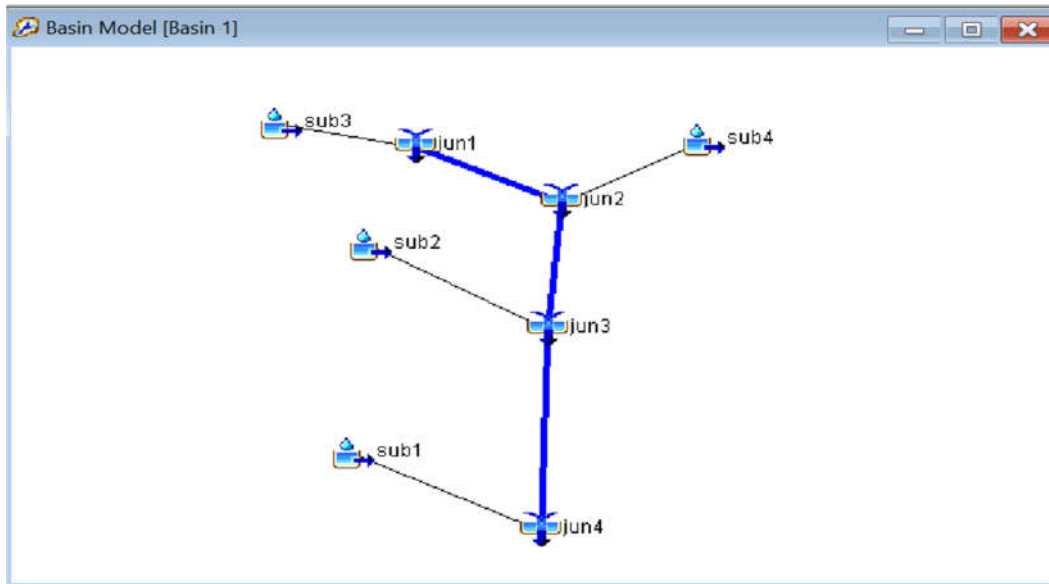
۴. با تعیین شیب های روابط خطی در نمودار قبل، نمودار توان مقیاس (شیب) نسبت به مرتبه گشتاور ترسیم خواهد شد.

۵. با استفاده از رابطه زیر، بارش حدی در تداوم و دوره بازگشت مورد نظر محاسبه خواهد شد:

$$I_t(T) = \left\{ \mu_{24} + \frac{\sigma_{24}}{k_{24}} \left( 1 - \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{k_{24}} \right) \right\} \left( \frac{t}{24} \right)^{\theta} \quad (2)$$

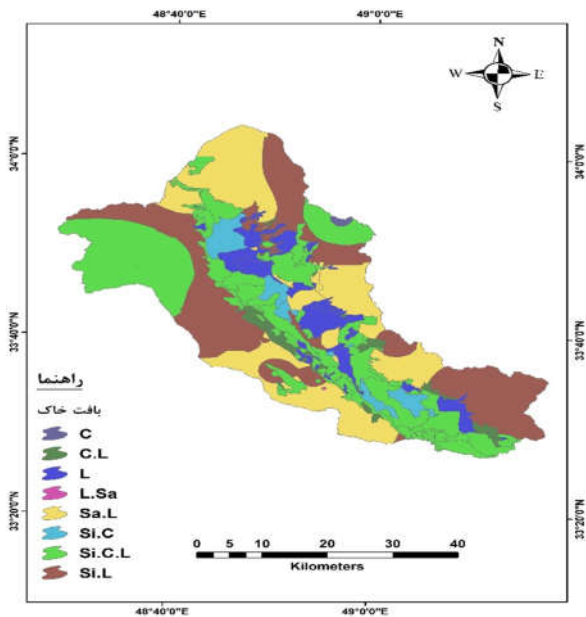
در فرمول بالا  $I_T^t$  حداکثر شدت بارش در تداوم t و دوره بازگشت T است. پارامترهای  $\mu_{24}$ ،  $\sigma_{24}$  و  $k_{24}$  به ترتیب میانگین، انحراف معیار و پارامتر شکل داده های حداکثر شدت بارش روزانه هستند که با برآزش توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته بر روی داده ها در نرم افزار EasyFit برآورد می شوند و پارامتر  $\theta$  مقدار توان مقیاس است.

۲-۳-۳. تعیین نقاط پایین دست زیر حوضه



شکل (۳): طرح‌واره حوضه در محیط HEC-HMS و موقعیت انشعاب و آبراهه‌ها

Figure (3): Schematic of the watershed in the HEC-HMS environment and the location of the branch and waterways



شکل (۴): نقشه بافت خاک حوضه بروجرد-دورود

Figure (4): soil texture map of Borujerd-Dorud watershed

پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی مدل بارش- رواناب

۲-۳-۴. تهیه شماره منحنی (CN)

شماره منحنی یک پارامتر تجربی برای پیش‌بینی مقادیر رواناب و نفوذ به دنبال یک بارش است. شماره منحنی رواناب بر مشخصات گروه هیدرولوژیکی خاک، نوع کاربری اراضی، وضعیت هیدرولوژیکی و رطوبت پیشین خاک منطقه استوار است. در ادامه، لایه‌های مورد نیاز برای تهیه پارامتر CN ارائه شده‌اند.

۲-۳-۵. تهیه نقشه بافت خاک

بر اساس نقشه‌های اولیه دریافت‌شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، نقشه بافت خاک در محیط نرم‌افزار GIS به شکل زیر تهیه شده است:

جدول (۲): نوع خاک و درصد مساحت آن‌ها در حوضه آبخیز تیره- بروجرد

Table (2): soil type and their area percentage in Tيره-Boroujerd watershed

Si.L	Si.C.L	Si.C	Sa.L	L.Sa	L	C.L	C	نوع خاک
لوم سیلتی	لوم رسی سیلتی	رس سیلتی	لوم شنی	شنی لومی	لومی	لوم رسی	رسی	
۲۷/۹۴	۳۳/۰۵	۴/۲۵	۲۴/۰۷	۰/۰۱۵	۷/۹۶	۲/۵	۰/۲۱	مساحت (%)

۲-۳-۶. گروه هیدرولوژیکی خاک

تقسیم شده است. گروه‌های اصلی خاک تعیین شده برای حوضه مورد مطالعه توسط SCS شامل سه گروه A، گروه B، گروه D است.

خصوصیات خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر دارد. تمام خاک‌ها براساس توان ایجاد رواناب و نرخ نفوذ در چهار گروه

جدول (۳): گروه هیدرولوژیکی خاک و درصد مساحت آن‌ها در حوضه آبخیز بروجرد-دورود

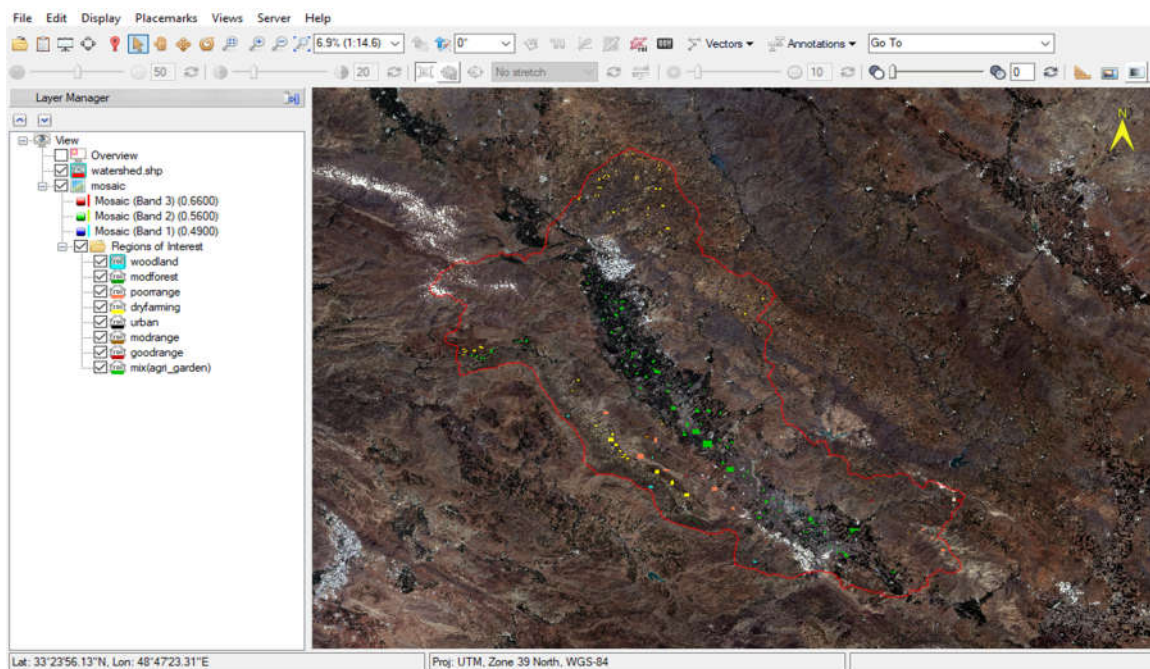
ویژگی	مساحت (%)	نوع خاک	کلاس بافت خاک آمریکا	گروه‌های هیدرولوژیکی خاک
دارای پتانسیل رواناب کم، نرخ نفوذ بالا، عمدتاً تشکیل شده از ماسه‌ها یا شن با زهکشی بیش از حد	۳۴	L.Sa, SaL	۳ و ۲ و ۱	A
میزان نفوذ متوسط، تشکیل شده از خاک‌های با بافت نسبتاً ریز تا نسبتاً درشت	۲۹/۷۹	L.Sil	۶ و ۵ و ۴	B
دارای بالاترین پتانسیل رواناب، نرخ نفوذ بسیار کم، عمدتاً تشکیل شده از خاک‌های رسی	۳۶/۲۱	Si.C, C C.L, Si.C.L	۱۲ و ۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۸	D

تاریخ ۲۰۲۲/۰۵/۱۸ براساس نقاط آموزشی و امضاها طیفی در محیط ENVI 5.6 تهیه گردید. شکل‌های (۶) و (۷) نتایج طبقه‌بندی دو تصویر براساس روش حداکثر احتمال مبین دقت با ضریب کاپای ۵۵ و صحت کلی ۶۴/۸۷ برای ستینل ۲ و ضریب کاپای ۷۳ و صحت کلی ۸۱/۹۷ برای لندست ۸ است.

با توجه به جدول (۳) بیشترین درصد سطح مربوط به گروه هیدرولوژیکی D است.

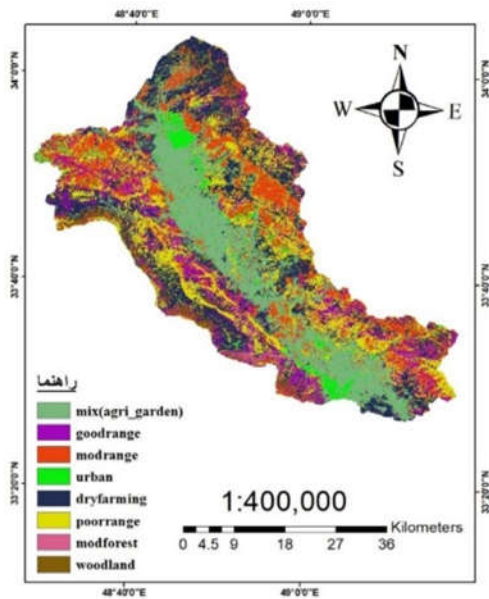
۲-۳-۷. تهیه نقشه کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی براساس تصاویر تولیدشده از ماهواره ستینل ۲ در تاریخ ۲۰۲۲/۰۵/۱۵ و لندست ۸ سنجنده OLI در

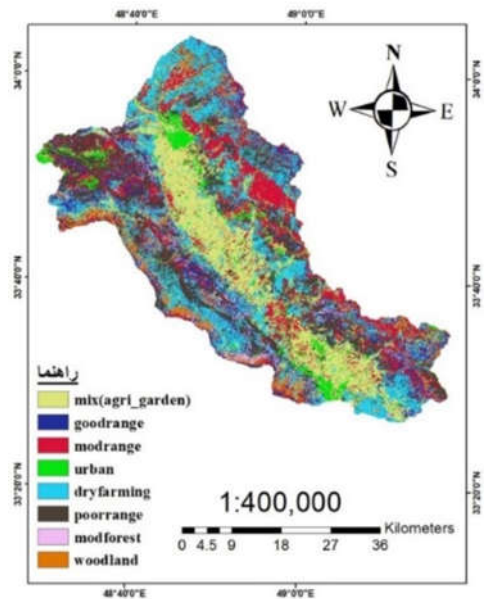


شکل (۵): موقعیت نقاط آموزشی و امضاها طیفی در محیط ENVI 5.6

Figure (5): Location of training points and spectral signatures in the environment ENVI 5.6



شکل (۷): نقشه کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر لندست ۸  
Figure (7): Land use map prepared from Landsat 8 images



شکل (۶): نقشه کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر سنتینل ۲  
Figure (6): Land use map prepared from Sentinel 2 images

جدول (۴): نوع کاربری اراضی و درصد مساحت آنها براساس تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در حوضه آبخیز تیره- بروجرد

Table (4): Type of land use and percentage of their area based on Sentinel 2 and landsat 8 images in Tيره-Boroujerd watershed

نوع کاربری اراضی	اراضی آبی و باغ	مرتع خوب	مرتع متوسط	اراضی شهری	اراضی دیم	مرتع فقیر	جنگل	بیشه زار	بوته زار
اراضی	Mix (agri_garden)	Goodrng	Modrang	Urban	Dryfarming	Poorange	Modforest	Woodland	Woodland
مساحت (٪) سنتینل ۲	۲۰	۸	۱۵	۵	۲۱	۲۱	۴	۶	
مساحت (٪) لندست ۸	۲۴	۱۱	۱۶	۳	۲۱	۱۹	۱	۵	

لندست ۸ تهیه شد. مقادیر CN در هر زیرحوضه برای کاربری های نام برده، در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): مقدار شماره منحنی برآورد شده از تصاویر سنتینل ۲ و

لندست ۸ برای زیرحوضه های تیره

Table (5): Curve number value estimated from Sentinel 2 and Landsat 8 images for Tيره sub-watersheds

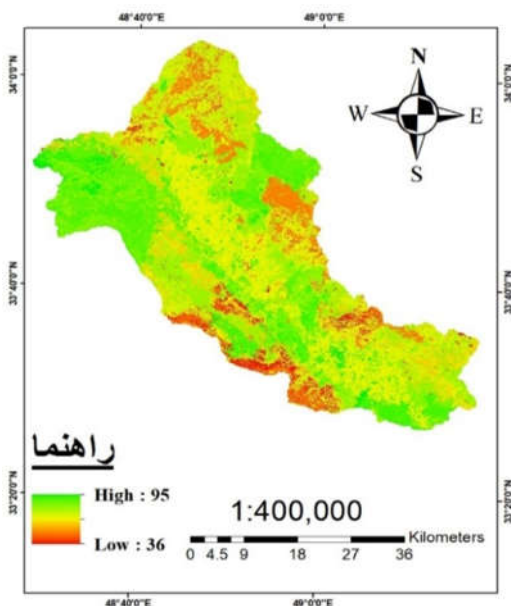
زیرحوضه ها	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>
سنتینل ۲ CN	۷۱/۷۵	۷۷/۳۶	۸۱/۴۵	۶۵/۹۰
لندست ۸ CN	۷۲/۳	۷۰/۴۶	۷۹/۲۶	۶۳/۳۸

## ۲-۳-۸. وضعیت هیدرولوژیکی مراتع

وضعیت هیدرولوژیکی بیانگر توان ایجاد رواناب در یک منطقه بوده است و چنانچه این توان کم باشد شرایط هیدرولوژیکی خوب است که براساس نقشه کاربری اراضی و بازدیدهای میدانی و مشاهده ی حوضه در محیط گوگل ارث وضعیت هیدرولوژیکی زیر حوضه ها تعیین شد.

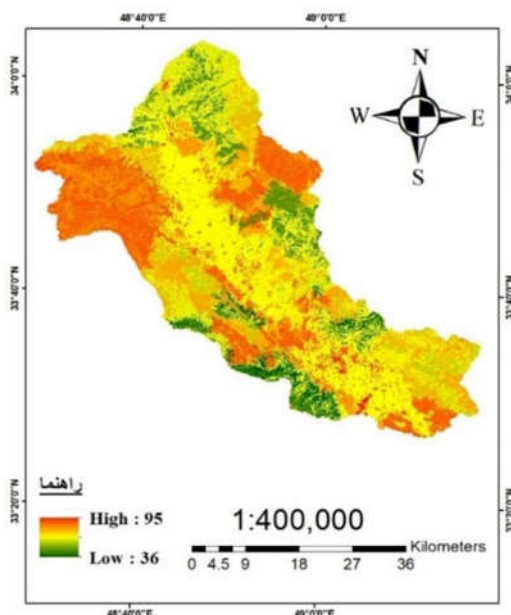
## ۲-۳-۹. نقشه CN

در ادامه براساس لایه های مورد نیاز، نقشه CN براساس کاربری های اراضی منتج از تولیدات ماهواره سنتینل ۲ و



شکل (۹): نقشه مقدار CN تهیه شده از تصاویر لندست ۸ برای حوضه آبخیز تیره

Figure (9): Curve number value map prepared from landsat 8 images for Tيره watershed



شکل (۸): نقشه مقدار CN تهیه شده از تصاویر سنتینل ۲ برای حوضه آبخیز تیره

Figure (8): Curve number value map prepared from Sentinel 2 images for Tيره watershed

برنامه بارش مازاد را در طول یک رگبار از طریق محاسبه حجم نفوذ در انتهای هر بازه زمانی محاسبه می‌کند؛ به طوری که نفوذ در طول بازه زمانی برابر با اختلاف حجم در دو بازه زمانی همجوار است. میزان تلفات اولیه در مدل HEC-HMS برای حوضه مطالعه مطابق جدول (۷) تعیین شده است. همچنین زمان تأخیر براساس روش SCS برای چهار زیرحوضه مورد مطالعه محاسبه شده است.

جدول (۷): مقدار تلفات و زمان تأخیر در زیرحوضه‌های تیره

Table (7): The amount of losses and lag time in the Tيره sub-watersheds

Lag Time (Min)	Impervios (%)	Initial Abstraction (mm)	زیرحوضه
۱۵۰۰	۹	۹	۱
۸۰۰	۴۵	۲۰	۲
۱۰۰	۲۵	۸	۳
۴۰۰	۱۰	۱۶	۴

### ۱۲-۳-۲. تنظیم روش تبدیل بارش به رواناب

برای تبدیل بارش به رواناب برای تمامی زیرحوضه‌ها از روش‌های هیدروگراف واحد SCS استفاده شده، که یک روش ساخت هیدروگراف واحد بی‌بعد مصنوعی است.

### ۱۰-۳-۲. روش چالاب

در این پروژه برای زیرحوضه ۱ و ۲ روش Simple Surface نظر گرفته شده است که یک روش ساده برای اعمال چالاب در حوضه است و مقادیر آن طبق جدول (۶) است:

جدول (۶): مقدار چالاب در زیرحوضه‌های تیره

Table (6): The amount of surface storage in the Tيره sub-watersheds

Max storage(mm)	Initial storage(%)	زیر حوضه
۵۰	۲۰	۱
۵۰	۲۰	۲

### ۱۱-۳-۲. تنظیم روش تلفات

با توجه به اینکه در گزینه چالاب به طور غیرمستقیم نفوذ در نظر گرفته می‌شود، گزینه تلفات برای محاسبه میزان نفوذ واقعی در زیر حوضه به کار گرفته شده است. در این تحقیق از روش SCS Curve Number برای محاسبه میزان نفوذ واقعی استفاده شده است. روش شماره منحنی سرویس حفاظت خاک در اصل بر کل نفوذ در طول یک رخداد بارش دلالت می‌کند، ولی این



### ۲-۳-۱۴. تنظیم روش روندیابی جریان

علت انجام فرایند روندیابی جریان در یک آبراهه، محاسبه تأخیر زمانی و نیز میزان تضعیف جریان از محل ورودی جریان به آبراهه تا محل خروج جریان از آبراهه است. علت این تأخیر زمانی، طول و شیب و نیز خصوصیات دیگر آبراهه است. در این تحقیق، روندیابی جریان براساس روش تأخیری (Lag) صورت گرفت، که نشان دهنده انتقال موج سیلاب است. در این روش، فرایند تضعیف جریان یا پخشودگی در نظر گرفته نشده است. این روش برای آبراهه‌های کوتاه با زمان سفر قابل پیش‌بینی که در آن زمان سفر با عمق جریان تغییر نمی‌یابد، به کار رفته است. تنها پارامتری که در این روش به مدد معرفی می‌شود، زمان تأخیر برحسب دقیقه است؛ در نتیجه با انتخاب این روش، جریان ورودی به آبراهه بدون تأخیر و فقط با تأخیر زمانی با اندازه زمان تأخیر تبدیل به جریان خروجی از آبراهه می‌شود.

جدول (۱۰): پارامتر روش روندیابی روش تأخیری برای هر یک از آبراهه‌های حوضه تیره

Table (10): The parameters of the routing method of the delay method for each of the streams of the Tیره watershed

۳	۲	۱	Reach
۱۴۷۲	۶۸۷	۸۰	Lag (min)

### ۲-۳-۱۵. تنظیم تلفات آبراهه

در این تحقیق، تلفات برای آبراهه‌ها در نظر گرفته نشده است. مدل هواشناسی حوضه برای وارد کردن اطلاعات بارش‌ها، زمان، شدت و مدت کل بارش معرفی می‌شود و در منطقه مورد مطالعه میزان بارش اثرگذار روی حوضه با روش Specified Hydrograph تنظیم شده است. روش هیتوگراف تعریف شده به ما این اجازه را داد که یک سری زمانی مشخص را به‌عنوان هیتوگراف برای هر زیرحوضه به مدد معرفی و طبق جدول (۱۱) تنظیمات را ثبت نماییم:

شکل هیدروگراف واحد برای همه زیرحوضه‌ها Peak Rate Factor 200 است. مقدار زمان تأخیر طبق جدول (۸) ارائه شده است. زمان تأخیر عبارت است از فاصله زمانی میان مرکز ثقل هیدروگراف و زمان پیک هیدروگراف متناظر با آن بارش است. زمان تأخیر براساس روش SCS برای چهار زیرحوضه مورد مطالعه، مطابق فرمول (۵) محاسبه شده است.

$$T_{Lag} = \frac{L^{0.8}(S + 1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \quad (5)$$

که در آن  $T_{Lag}$  زمان تأخیر حوضه (hr)،  $L$  طول رودخانه اصلی (ft)،  $Y$  شیب متوسط حوضه (درصد) و  $S$  نمایه نگهداشت آب در سطح حوضه است.

جدول (۸): پارامتر زمان تأخیر برای هر یک از زیرحوضه‌های حوضه بروجرد-دورود

Table (8): The parameters of the Lag time method for each of the Tیره sub-watersheds

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴
Lag Time(min)	۱۵۰۰	۸۰۰	۱۰۰	۴۰۰

### ۲-۳-۱۳. تنظیم روش جریان پایه

برای تنظیم روش پایه، از روش بازگشتی (Recession) استفاده شده است. روش بازگشتی برای زمانی که رفتار مشخصی در حوضه مشاهده می‌شود و جریان کانالی پس از رخداد بارش به‌صورت نمایی عقب‌نشینی می‌کند، استفاده می‌شود. این روش یک روش رخدادی است، ولی با داشتن قابلیت خودکار بازگشت به شرایط قبل از رخداد بارش پس از اتمام هر بارش، برای شبیه‌سازی‌های پیوسته نیز قابل استفاده است. در این روش از روش دبی (Discharge) برای گزینه نوع اولیه (Initial Type) و از روش نسبت به پیک (Ratio to peak) برای گزینه نوع آستانه (Threshold Type) استفاده شده است.

جدول (۹): پارامترهای روش جریان پایه بازگشتی برای هر یک از زیرحوضه‌های تیره

Table (9): parameters of the recursive base flow method for each of the Tیره sub-watersheds

زیرحوضه	Initial Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Recession constant	Ratio
۱	۱۱۶	۰/۷	۰/۲
۲	۷۹/۹۴	۰/۷	۰/۲
۳	۷	۰/۸۵	۰/۵
۴	۲۰	۰/۷	۰/۵

جدول (۱۱): شمای تنظیمات مدل با روش هیدروگراف واحد حوزه آبخیز تیره

Table (11): Schematic of model settings with unit hydrograph method of Tireh watershed

Gage2_Silakhor	Gage2_Silakhor	Gage2_Silakhor	Gage1_dourod	ایستگاه
Subbasin4	Subbasin3	Subbasin2	Subbasin 1	زیرحوضه

در این رابطه،  $P$  بارش ۲۴ ساعته و  $Q_p$  دبی حداکثر لحظه‌ای و  $Y$  آب پایه است.

در مرحله بعد، آب پایه در دوره بازگشت‌های مختلف براساس رابطه فوق و برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای (برآورد آن براساس برازش توزیع‌های مختلف در محیط نرم‌افزار easyfit استخراج بهترین توزیع است) و تعیین بارش ۲۴ ساعته که از روش‌های مختلف قهرمان و فرکتال محاسبه شد، به دست آمد. بهترین توزیع برای ایستگاه دورود یا خروجی حوضه، توزیع پیرسون نوع ۳ به دست آمد.

#### ۴-۲. واسنجی و بررسی کارایی مدل

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS از داده‌های چند رخداد بارش حادی و اطلاعات سیلاب‌های متناظر به آن‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه استفاده می‌شود. سپس با استفاده از معیارهای آماری نظیر  $R^2$ ، RMSE و نش‌ساکلیف، مدل ارزیابی و کارایی آن بررسی شده است.

#### ۵-۲. پیش‌بینی سیلاب

پس از بررسی کارایی مدل بارش-رواناب HEC-HMS، سیلاب ناشی از بارش حداکثر مبتنی بر روش فراکتال با استفاده از تصاویر ستینل ۲ در دوره بازگشت‌های مختلف تعیین شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. برآورد شدت بارش مبتنی بر تئوری فرکتال

برای تعیین نوع فراکتال و بررسی بازه زمانی آن از روش گشتاور آماری استفاده شد. به همین منظور با استفاده از داده‌های بارش روزانه، داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ...، ۷ روز استخراج و سپس گشتاور  $(\beta_{r,d})$  در مراتب مختلف  $(r)$  و تداوم  $(d)$  محاسبه شد. برای نمونه، نمودار توان مقیاس در برابر مرتبه گشتاور و منحنی شدت مدت فراوانی

#### ۳-۲. ۱۶-۱۶. مقادیر مشاهداتی برای واسنجی و صحت‌سنجی

##### مدل بارش-رواناب

برای حوضه مورد مطالعه، داده‌های دبی چهار ایستگاه هیدرومتر در نظر گرفته شده است و برای خروجی حوضه فرایندهای واسنجی و صحت‌سنجی صورت گرفت. تاریخ و زمان شروع و پایان و نیز بازه زمانی شبیه‌سازی در این پروژه طبق جدول (۱۲) برآورد شده است.

جدول (۱۲): نحوه زمان‌بندی اجرای پروژه

Table (12): How to schedule the implementation of the project

دوره	تاریخ و ساعت شروع شبیه‌سازی	تاریخ و ساعت پایان شبیه‌سازی	فاصله زمانی (ساعت)
واسنجی	۱۷ آوریل ۲۰۱۲ ساعت ۸:۰۰	۱۹ آوریل ۲۰۱۲ ساعت ۲۲:۰۰	۲
صحت‌سنجی	۱۱ آوریل ۲۰۱۶ ساعت ۸:۰۰	۱۶ آوریل ۲۰۱۶ ساعت ۲۲:۰۰	۲

#### ۳-۳. ۱۷-۱۷. محاسبه آب پایه در زمان پیش‌بینی

مقدار آب پایه برای هر ایستگاه هیدرومتری و یا در خروجی زیرحوضه‌ها براساس داده‌های سیلاب در محیط نرم‌افزار WHAT با روش فیلتر دیجیتال بازگشتی (Recursive Digital Filter) به دست آمد. از آنجاکه در این مطالعه برای تبدیل بارش به رواناب از مدل SCS استفاده شد و این مدل آب پایه را لحاظ نمی‌کند. لذا برای برآورد و پیش‌بینی دبی پیک و حجم سیل در دوره بازگشت‌های مختلف براساس مدل شبیه‌سازی شده نیاز به برآورد مقدار آب پایه است. مقدار این متغیر براساس روش فیلتر دیجیتال بازگشتی در نرم‌افزار WHAT برای رخدادهای مختلف سیل در یک دوره زمانی ۱۰ ساله (از ۱۳۸۸-۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷-۱۳۹۸) برآورد شد. در مرحله بعد براساس همبستگی خطی چندگانه بین مقادیر برآوردشده آب پایه و دبی حداکثر لحظه‌ای و مقادیر بارش ۲۴ ساعته در زمان سیل، یک رابطه رگرسیونی با ضریب همبستگی ۰/۹۹ حاصل شد.

$$y = 0.128 \times P + 0.517 \times Q_p - 5.03 \quad (6)$$

شبیه‌سازی سیلاب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده کردند. ضریب نش-ساتکلیف در این شبیه‌سازی در گام زمانی ۳ و ۶ ساعته معادل ۰/۵۸ و ۰/۵۶ به دست آمد که در قیاس با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۴ در مرحله واسنجی و ۰/۶۸ در مرحله صحت‌سنجی برای حوزه آبخیز تیره بیانگر دقت نسبتاً پایین شبیه‌سازی مدل بارش-رواناب آن تحقیق نسبت به مطالعه حاضر است.

جدول (۱۳): نتایج مقایسه مقادیر دبی اوج شبیه‌سازی شده با مقادیر

مشاهداتی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل در خروجی

Table (13): The results of comparing the simulated peak discharge values with the observed values in the model calibration and validation stage at the outlet of the watershed (Tirch station)

دوره	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه) ضریب نش-ساتکلیف	
	مشاهداتی	شبیه‌سازی
واسنجی	۴۵/۴	۴۶/۹
صحت‌سنجی	۲۷۲	۲۳۷/۴

### ۳-۲-۳. نتایج پیش‌بینی سیلاب مبتنی بر های توگراف بارش

#### منتج از روش فرکتال و قهرمان

پیش‌بینی سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف بر مبنای های توگراف بارش حاصل از دو روش فرکتال و قهرمان و برآورد آب پایه براساس تعیین رابطه همبستگی خطی چندگانه با متغیرهای حداکثر بارش ۲۴ ساعته و دبی حداکثر لحظه‌ای (رابطه ۷) و سپس معرفی سایر پارامترهای بهینه به مدل بارش-رواناب انجام شد. نتایج پیش‌بینی مدل HEC-HMS براساس نتایج جدول (۱۴) و شکل (۱۲) و بر مبنای های توگراف بارش حاصل از تئوری فرکتال و روش قهرمان مبین تخمین خیلی نزدیک مقادیر دبی اوج حاصل از این دو روش در دوره بازگشت‌های مختلف از ۲ تا ۲۰۰ سال است. براساس شکل (۱۲) نمودار دبی اوج حاصل از های توگراف بارش فرکتال استفاده شده در مدل HEC-HMS کاملاً منطبق بر نمودار قهرمان است. بررسی نمودار تغییرات حجم سیل ۶ ساعته در ابتدای دوره پیش‌بینی حاصل از تئوری فراکتال نیز مبین تبعیت روند آن از نمودار منتج از های توگراف قهرمان است.

ایستگاه رحیم‌آباد نمایش داده شد. همان‌طور که در شکل های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، رابطه بین توان مقیاس (شیب متوسط خطوط لگاریتم گشتاور وزنی نسبت به لگاریتم تداوم بارش در مرتبه‌های مختلف) و مرتبه گشتاور وزنی، خطی است. بنابراین داده‌ها دارای ماهیت مونوفرکتالی هستند. در تحقیقات اژدری مقدم و هروی (۲۰۱۷) و نوری قیداری (۲۰۱۲) همانند تحقیق حاضر خواص بارش از فرضیه مونوفرکتالی تبعیت می‌کند و نتایج حاصل دارای خطای کمتری نسبت به روابط قدیمی مثل قهرمان هستند.

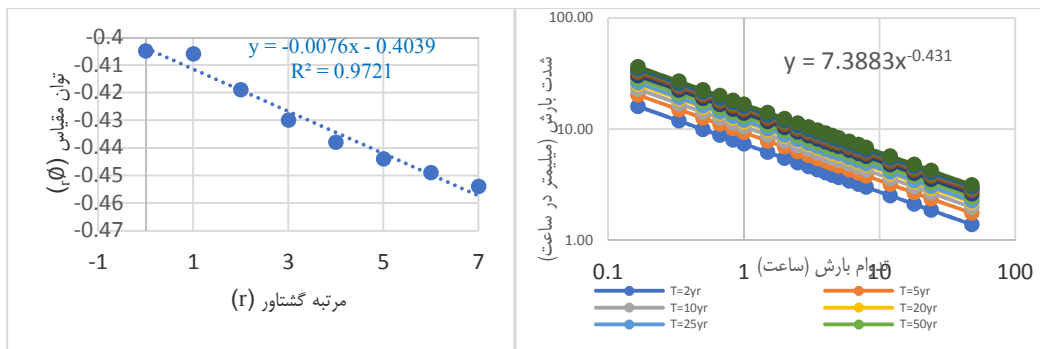
### ۲-۳. نتایج مدل‌سازی بارش-رواناب با HEC-HMS

#### ۱-۲-۳. واسنجی مدل

مدل با معرفی پارامترهای ورودی برای واقعه سیلاب در تاریخ ۱۷ تا ۱۹ آوریل ۲۰۱۲ اجرا شد و واسنجی مدل براساس فرایند بهینه‌سازی خودکار با حداکثر تعداد ۱۰۰ تکرار و زمان توقف ۰/۰۱ و تعریف ۱۶ پارامتر صورت گرفت. در این روش تابع هدف، کمینه‌سازی ریشه میانگین مربعات خطا انتخاب شد. نتایج شبیه‌سازی در خروجی حوضه در جدول (۱۳) نشان داده شده است. براساس این جدول مشاهده می‌شود ضریب نش-ساتکلیف برای خروجی حوضه در ایستگاه تیره نسبتاً بالا و مبین دقت بالای شبیه‌سازی مدل است.

#### ۲-۲-۳. صحت‌سنجی

مدل با معرفی پارامترهای ورودی برای واقعه سیلاب در تاریخ ۱۱ تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۶ اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی در ایستگاه تیره در جدول (۱۳) نشان داده شده است. براساس این جدول مشاهده می‌شود که ضریب نش-ساتکلیف برای خروجی حوضه (ایستگاه تیره) نسبتاً بالا و بیانگر دقت شبیه‌سازی مدل بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی است. در تحقیق مشابه، شعبانی بازنشین و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز نکا با مدل HEC-HMS را با به کارگیری تابع هدف درصد خطای دبی اوج به منظور یافتن بهترین برازش مقادیر برآوردی و مشاهداتی و پارامترهای بهینه شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه نشان دادند و نتایج نشان داد که مدل کارایی پیش‌بینی را دارد. همچنین علم‌شاهی و همکاران (۲۰۲۰) برای



شکل (۱۱): منحنی های شدت-مدت-فرآوانی استخراج شده به روش مونوفرنکتال در ایستگاه رحیم آباد

Figure (11): Linear relationship of scale power changes against the order of moment in Rahimabad station

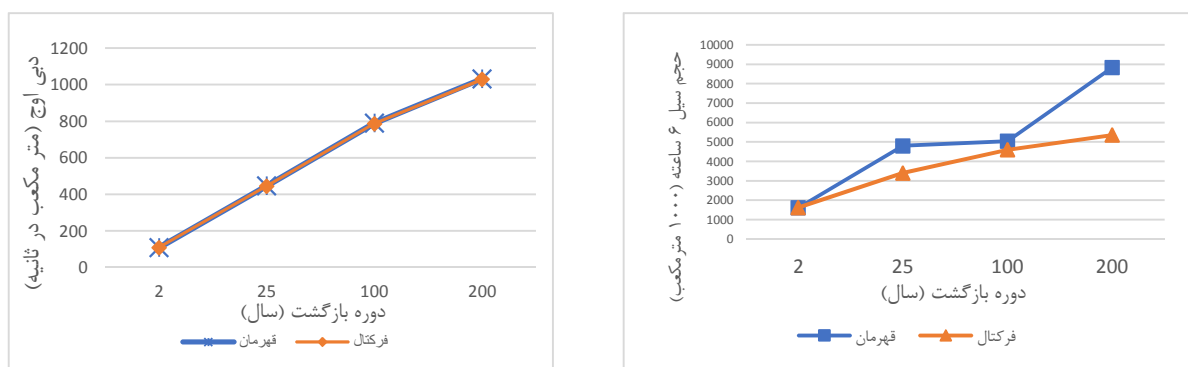
شکل (۱۰): رابطه خطی تغییرات توان مقیاس در برابر مرتبه گشتاور در ایستگاه رحیم آباد

Figure (10): Linear relationship of scale power changes against the order of moment in Rahimabad station

جدول (۱۴): نتایج دبی اوج و مبتنی بر هایتوگراف بارش حاصل از روش فرکتال و قهرمان در مدل HEC-HMS برای ایستگاه خروجی حوضه تیره

Table (14): The results of peak discharge and flood volume based on the precipitation hyetograph obtained from the fractal and Kahraman method in the HEC-HMS model for the outlet station of the Tیره watershed

قهرمان		فرکتال		دوره بازگشت
دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیل ۶ ساعته در ابتدای دوره پیش بینی (۱۰۰۰ m <sup>3</sup> )	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیل ۶ ساعته در ابتدای دوره پیش بینی (۱۰۰۰ m <sup>3</sup> )	
۱۰۸	۱۶۱۷/۸۴	۱۰۹/۱	۱۶۲۱/۴۴	۲
۴۴۶/۲	۴۸۰۶	۴۴۴/۸	۳۴۰۸/۴۸	۲۵
۷۸۹/۴	۵۰۴۵/۷۶	۷۸۷	۴۶۰۳/۶۸	۱۰۰
۱۰۳۲	۸۸۴۰/۸۸	۱۰۲۹	۵۳۶۱/۸۴	۲۰۰



شکل (۱۲): مقایسه دبی اوج و حجم سیل حاصل از روش های فرکتال، قهرمان و حجم سیل ۶ ساعته

Figure (12): Comparison of peak discharge and flood volume resulting from Fractal, Ghahreman and volume of 6-hour flood methods

بر مبنای نقشه کاربری اراضی منتج از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ در مدل در مراحل واسنجی و صحت سنجی برای ایستگاه تیره در جدول (۱۵) نشان داده شده است. براساس

۳-۲-۴- مقایسه نتایج شبیه سازی مدل حاصل از CN برآورده شده از تولیدات سنتینل ۲ و لندست ۸ نتایج مقایسه ضریب نش-ساتکلیف حاصل از CN برآورده شده

اراضی است، می‌تواند باعث دقت بیشتر در تهیه لایه شماره منحنی و در نهایت هیدروگراف سیلاب حاصل از آن گردد.

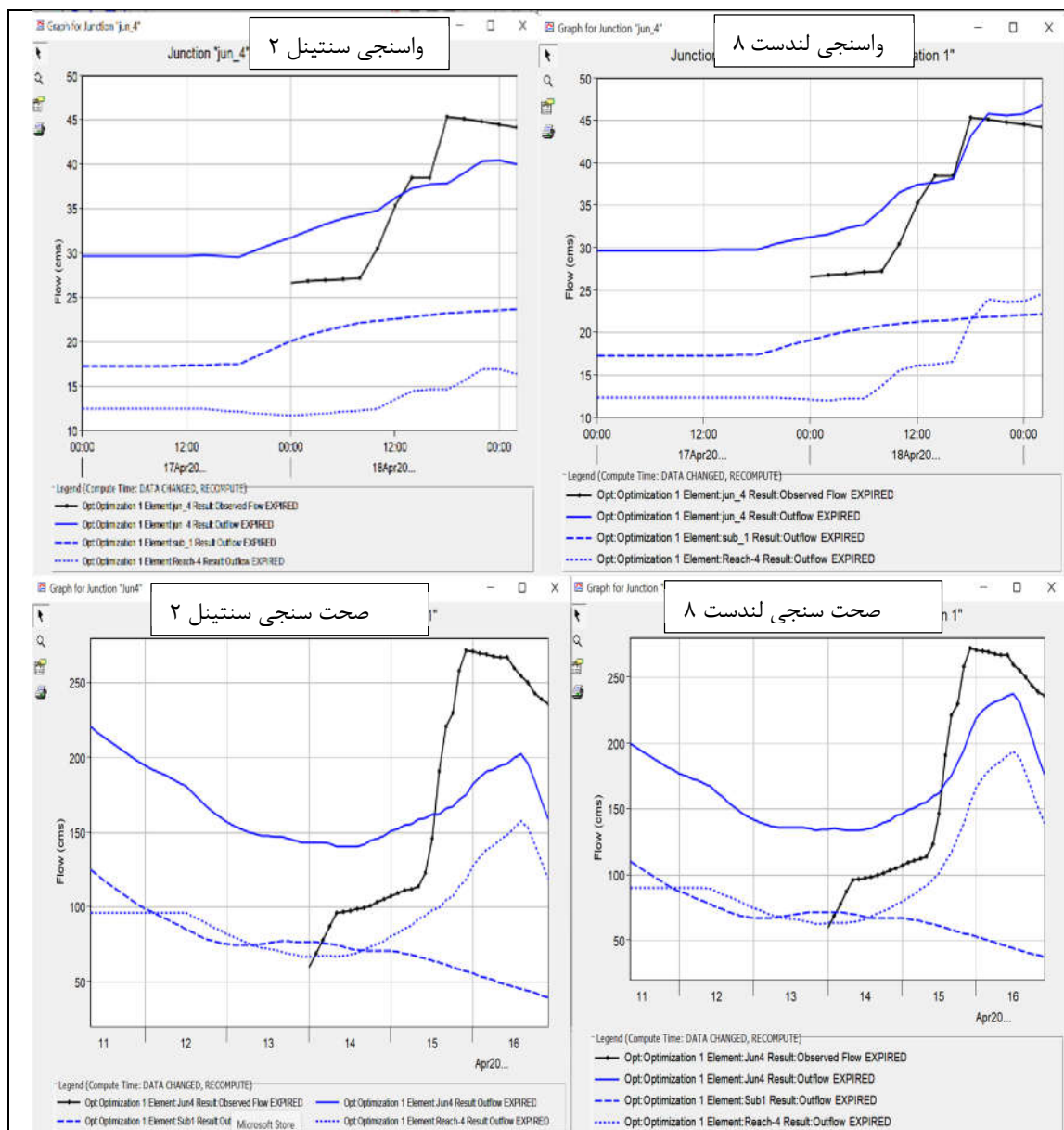
جدول (۱۵): نتایج مراحل شبیه‌سازی مدل HEC-HMS بر مبنای CN حاصل از تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در خروجی حوضه  
**Table (15): Comparison of the results of the HEC-HMS model simulation steps based on curve number obtained from Sentinel 2 and Landsat 8 images at the outlet of the watershed**

دوره	ضریب نش- ساتکلیف با CN	ضریب نش- ساتکلیف با CN
واسنجی	۰/۷۴۴	۰/۵۶۷
صحت‌سنجی	۰/۶۸۳	۰/۳۹۸

در تحقیق رستمی فتح‌آبادی و همکاران (۲۰۲۰) که تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان را بررسی قرار کردند، از تصاویر سنتینل ۱ و مدل HEC-RAS برای بررسی سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه استفاده نموده است که دلیل استفاده از این تصاویر، قدرت عکس‌برداری پدیده‌ها و عوارض در شب و روز بدون در نظر داشتن شرایط آب‌وهوایی ذکر شده است؛ در صورتی که تصاویر سنتینل ۲ وضوح و توان تفکیکی بالایی برای بررسی پدیده‌های آب، خاک، پوشش گیاهی و... نشان می‌دهد. در نتیجه، برآورد نتایج مدل بارش-رواناب دقت بالایی از مخاطرات طبیعی را نشان می‌دهند.

شکل (۱۳) برآزش بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی براساس CN مستخرج از تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در برآورد CN برآزش مناسب‌تری بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی مدل در خروجی حوضه نسبت به هیدروگراف‌های حاصل از تصاویر لندست ۸ نشان داد. در نتیجه، تصاویر سنتینل ۲ دقت بالاتر و دارای خطای کمتری در برآورد نتایج مدل دارند.

این جدول مشاهده می‌شود که استفاده از CN حاصل از تصاویر سنتینل ۲ در قیاس با CN مستخرج از لندست ۸ به‌طور قابل توجهی روی هیدروگراف خروجی مدل HEC-HMS تأثیر داشته است؛ به طوری که باعث ارتقای ضریب نش-ساتکلیف از ۰/۵۶ به ۰/۷۴ در مرحله واسنجی و از ۰/۳۹ به ۰/۶۸ شده است. قابل توجه است دقت کاپا و صحت کلی نقشه کاربری اراضی برای تولید شماره منحنی براساس تصاویر لندست ۸ نسبت به سنتینل ۲ بیشتر است؛ در صورتی که براساس نتایج فوق، هیدروگراف مبتنی بر CN مستخرج از تصاویر سنتینل ۲ دقیق‌تر است. این موضوع می‌تواند به دلیل استفاده از نوع الگوریتم طبقه‌بندی تصاویر باشد، به طوری که دقت لندست ۸ براساس الگوریتم حداکثر احتمال در قیاس با سنتینل ۲ بیشتر است. این نتایج با نتایج فرزین (۲۰۲۱) منطبق است؛ به طوری که در پژوهش ایشان بیشترین دقت کل و ضریب کاپا برای ماهواره لندست ۸ به ترتیب ۰/۷۴/۱۸ و ۰/۶۹ مربوط به الگوریتم حداکثر احتمال و برای سنتینل ۲ به ترتیب ۰/۷۲/۸۴ و ۰/۶۷ مربوط به الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی است. دلیل دیگر تفاوت در دقت طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی و نتایج هیدروگراف سیلاب حاصل از CN می‌تواند به علت تداخل طیفی کاربری‌های مختلف باشد. در لندست ۸ به دلیل توان تفکیکی (۳۰ متر) کمتر نسبت به سنتینل ۲ (۱۰ متر)، هنگام انتخاب نقاط آموزشی و امضاها، طیفی، دارای جزئیات طیفی کمتری است. لذا این امر می‌تواند دقت طبقه‌بندی پیکسل‌ها در کلاس‌های مختلف کاربری اراضی را تا حدودی به دلیل نادیده گرفتن جزئیات طیفی افزایش دهد. برعکس، در مورد سنتینل ۲ به دلیل توان تفکیک مکانی بیشتر، احتمال تداخل طیفی کاربری‌های مختلف هنگام انتخاب نقاط آموزشی و امضاها، طیفی، بیشتر است؛ در نتیجه دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی مبتنی بر این داده‌ها نسبت به لندست ۸ تا حدودی کاهش می‌یابد. اما از آنجاکه نقشه حاصل این تصاویر دارای جزئیات انعکاس طیفی بیشتر در تفکیک کاربری



شکل (۱۳): برازش هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی در مراحل شبیه‌سازی براساس CN مستخرج از تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸  
 Figure (13): fitting of observed and calculated hydrograph in the simulation stages based on Curve number extracted from Sentinel 2 and Landsat 8 images

#### ۴. نتیجه‌گیری

برای پیش‌بینی تأیید شد. استفاده از CN حاصل از تصاویر سنتینل ۲ در قیاس با لندست ۸ به‌طور قابل توجهی روی هیدروگراف خروجی مدل HEC-HMS تأثیر داشته است؛ به‌طوری‌که باعث ارتقای ضریب نش سائکلیف از ۰/۵۶ به ۰/۷۴ در مرحله‌ی واسنجی و از ۰/۳۹ به ۰/۶۸ در مرحله‌ی صحت‌سنجی شده است. در کل، تخمین دبی و حجم سیل با مدل HEC-HMS در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف براساس تخمین بارش مبتنی بر تئوری فرکتال به‌دلیل دقت این روش و در دسترس بودن و استفاده از داده‌های حداکثر روزانه بارش و

با تحلیل و بررسی گشتاورهای آماری مشاهده شد که داده‌های حداکثر شدت بارش دارای ماهیت مونوفرکتالی است. به عبارتی تغییرات توان مقیاس نسبت به مرتبه آن کاملاً خطی است و با استفاده از این خصوصیت می‌توان بین داده‌ها در تداوم‌های مختلف ارتباط برقرار کرد. نتایج شبیه‌سازی بارش-رواناب مبین دقت بالای شبیه‌سازی هیدروگراف محاسباتی نسبت به مشاهداتی با ضریب نش سائکلیف ۰/۷۴ و ۰/۶۸ به‌ترتیب در مرحله‌ی واسنجی و صحت‌سنجی است. بنابراین صحت مدل

نسبت به روش‌های تجربی برای مناطق دارای کمبود آمار جهت برآورد سیلاب با مدل HEC-HMS مناسب‌تر است. در تحقیق فتح آبادی و همکاران (۲۰۲۰) که تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان را بررسی کردند، از تصاویر ستینل ۱ و مدل HEC-RAS برای بررسی سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه استفاده نموده است. دلیل استفاده از این تصاویر، قدرت عکس‌برداری پدیده‌ها و عوارض در شب و روز بدون در نظر داشتن شرایط آب‌وهوایی است. اما تحقیق حاضر از تصاویر ستینل ۲ با توان تفکیک نسبتاً بالا برای تهیه نقشه کاربری اراضی و تولید CN استفاده نموده و این روش توانسته است در برآورد نتایج مدل بارش-رواناب دقت بالایی در شبیه‌سازی سیلاب نشان دهد. در نتیجه با توجه به تحقیق انجام‌شده در مناطقی که دارای کمبود آمار و پارامترهای ناقص هستند، استفاده از روش فرکتال نتایج بهتری در برآورد سیلاب از طریق مدل HEC-HMS به ما ارائه می‌دهد. استفاده از تولیدات سنجش از دور و ماهواره‌ای با دقت مکانی و زمانی بالا می‌تواند باعث ارتقای نتایج شبیه‌سازی مدل HEC-HMS شود.

همچنین برآورد CN بر مبنای تصاویر ستینل ۲ به دلیل قدرت بالای تفکیک مکانی این ماهواره می‌تواند باعث بهبود تصمیم‌گیری و ارتقای سیستم مدیریت سیلاب گردد. مقایسه آماری دبی اوج حاصل از روش‌های فرکتال و قهرمان به‌کاررفته در مدل HEC-HMS برای ایستگاه خروجی حوضه (تیره) نشان‌دهنده ضریب همبستگی معنی‌دار و نش-ساتکلیف نزدیک به ۱ بین آن‌هاست. در واقع نتایج این دو روش بسیار نزدیک به هم و مبین دقت و کارایی روش فرکتال در پیش‌بینی دبی اوج سیل است. باباعلی و همکاران (۲۰۱۹) در برآورد سیلاب از تئوری فرکتال استفاده کردند که همانند تحقیق حاضر، دلیل استفاده و انتخاب تئوری فرکتال نسبت به روش‌های متداول، برآزش بهتر داده‌های بارش و در نتیجه دقت بالاتر در انجام نتایج است. همچنین از دری‌مقدم و هروی (۲۰۱۷) روش‌های استخراج منحنی شدت-مدت-فراوانی را با رابطه مبتنی بر تئوری فرکتال بارش بررسی کردند و همانند تحقیق حاضر نتیجه گرفتند که برای افزایش کاربرد روابط منحنی شدت-مدت-فراوانی با توجه به شرایط هیدرولوژیکی محل، روش فرکتال

## منابع

1. Afifi, M.E. 2020. Simulation of rainfall-runoff and flood potential using model HEC-HMS and Fuzzy Logic Case Study of Rudbal Watershed in Fars Province. *Natural Geography Quarterly*. The twelfth year, No. 46, winter 98. pp. 111-127.
2. AlamShahi, H., azizian, A., & Brocca, L. (2020). Integration of HEC-HMS Model with the Satellite-based High Spatiotemporal Resolution Dataset for Applying in Flood Simulation. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(3), 724-739.
3. Alizadeh, A. 2006. Principles of applied hydrology. 26<sup>th</sup> Edition. Imam Reza Publications.
4. Amirafazli, M. 2016. Investigating the effect of Durood fault on Chalan Cholan aquifer (Lorestan province) in order to explore underground water by geoelectric method. Master's thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran.
5. Azhdari Moghadam, M., & Hervey, Z. 2017. Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation. *Journal of Water and Soil Conservation Research*. 24(6): 271- 282.
6. Babaali, H., Ramak, Z., & Sepahvand, R. 2019. Flood estimation of watershed design using fractal theory and HEC-HMS runoff rainfall model, a case study of Khorramabad watershed. *Journal of Water and soil*.32(6): 1107-1097.
7. Bellal, M., Sillen, X and Zeck, Y. 1996. Coupling GIS with a distributed hydrological model for studying the effect of various urban planning options of rainfall-runoff relationship in urbanized basins, In: Kovar, K. and H.P. Nachtnebel, (eds.). Application of geographic Information Systems in hydrology and water resources management; 99-106 pp. International Association of Hydrological Sciences, Series of Proceedings and Reports.
8. Daftari, B. 2013. Settlement of victims of accidents and accidents and management of camps. Red Crescent Education and Research Center. P. 12. Tehran.
9. Farzin, M. 2021. Comparison of Landsat 8 and Sentinel 2 Satellite Data Accuracy for Land Use

- Classification. Environment and Water Engineering, 7(1), 38-49.
10. Ghanavati, A. 2003. Geomorphological model of flood in Gamasiab basin. Geographical Researches. No. 71.
  11. Hatami Nejad H, Atashafrooz N, Arvin M. 2017. Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS (case study: Izeh Township). Disaster Prev. Manag. Know. 7 (2) :44-57
  12. Heidari Chenari F, Fazloulou R, Nikzad Tehrani E. 2022. Calibration and Evaluation of HEC-HMS Hydrological Model Parameters in Simulation of Single Rainfall-Runoff Events (Case Study: Tajan Watershed). jwmr. 13(26), 69-81.
  13. Hemmesy, M. S., Yarahmadi, D., Ownegh, M., & Shamsipour, A. A. 2019. Reducing the Flood Hazard Zone in the Kashan Plain Watershed through the Implementation of the Risk Land use Planning Scenario. Environmental Management Hazards, 6(3), 271-285.
  14. Jahanbakhsh Asl, S., Rezaee Banafshe, M., Rostamzadeh, H., & Aalinejad, M. H. 2018. Continuous Simulation of Rainfall-Runoff of Shahrchay Basin of Urmia Using HEC-HMS Model. *Hydrogeomorphology*, 5(16), 101-118.
  15. Lorestan Regional Water Organization. 2014. Water level data of observation wells and groundwater quality monitoring data in Borujerd-Dorud.
  16. Nasri, M., & Soleimani Sarud, F. 2011. Prioritizing effective areas for peak flood discharge using the HEC-HMS hydrological model in Sheikh Bahai Dam watershed. Quarterly Journal of Natural Resources Sciences and Techniques, 6(3): 1-15.
  17. Nouri Gheidari, M. H. 2012. Determine of Design Maximum Intensity of Precipitation by Combined Fractal Theory and Generalized Extreme Value Distribution. Engineering and Irrigation Sciences 35(2), 83-90
  18. Rahimzadeh, Z., & Habibi, M. 2018. Simulation of hydrograph of flood with hydrological model HEC-HMS and prediction of return period in Kermanshah Ravansar Basin. Geography and Development, 16(53), 175-194..
  19. Rostami Fathabadi, M., Jafar Biglo, M., & Moghimi, E. (2020). Spatial analysis of flooded and flood-prone areas and it's hazards in Nourabad city of Lorestan. *Environmental Management Hazards*, 7(3), 313-329.
  20. Ramesht, M, H., & Shah Zaidi., S. 2011. Applications of geomorphology in national, regional, economic, tourism planning Esfahan. 2<sup>nd</sup> Edition, Isfahan University Publications.
  21. Sangab Zagros Consulting Engineers; 2017. Explanatory report on the allocation of water resources in the Dorud-Broujerd study area. Code 2339, Sangab Zagros Consulting Engineers, 81 pages.
  22. Schertzer, D., & Lovejoy, S. 1987. Physical modeling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. *Journal of Geophysical Research*, 92:9693-97140.
  23. Sharifi, F., Thaqfian, B., & Talwari, A. 2001. Causes and consequences of the great flood of 1379 in Golestan province, Iran. Proceedings of the International Conference on Flood Estimation. pp. 263-271.
  24. Shabani Bazanshin, A., Emadi, A. & Fazloulou R. 2017. Investigation the Flooding Potential of Basins and Determination Flood Producing Areas (Case Study: NEKA Basin). jwmr. 7(14), 28-20.
  25. Vahhabi, J; 2006. Flood risk zoning using hydrological and hydraulic model (case study of Taleghan River). *Journal of Research and Construction in Natural Resources*. No. 71.



## Extracted from Sentinel 2 in HEC-HMS Model: A Case Study of Thireh Watershed in Borujerd-Dorud Region

Tayebeh Sepahvand<sup>1</sup>, Mahdi Soleimani-Motlagh<sup>2\*</sup>, Hossein Zeinivand<sup>3</sup>, Amir Mirzaei Mosivand<sup>2</sup>

Received: 16/10/2023

Accepted: 07/01/2023

### Extended Abstract

**Introduction:** Calculating the maximum precipitation intensity is a crucial practical aspect of designing water structures. However, considering the large number of parameters required for different return periods, the traditional method of using intensity-duration-frequency curves faces some practical constraints. Moreover, the issue gets more complicated when there are insufficient statistical data concerning the intended basin. Therefore, maximum precipitation intensity is commonly calculated via the fractal method that generates precipitation data for both long and short continuity periods as a self-similar method. On the other hand, as a commonly occurring phenomenon in rivers, flooding may bring about hazardous consequences, considering the fact that riverbanks are typically densely populated. Therefore, having a profound knowledge of the hydrological system of the intended regions is required to prevent flooding. In this regard, HEC-HMS is commonly used as the most reliable hydrological model available to estimate the rainfall-runoff of watersheds, enabling the researchers to simulate watershed runoff and calculate the peak flood discharge for different return periods.

**Material and Methods:** Tیره watershed is located in the northernmost part of the Karun watershed and the southern part of the Ashtrinan study area (in Dorud and Boroujerd counties) between 28°48' to 17°49' eastern longitude and 51°33' to 35°33' northern latitudes, covering an area of 2127.28 square kilometers. This study estimated the maximum design rainfall throughout the designated return, continuity, and certain continuity periods using the fractal theory and probability distribution of the generalized limit values of type 2. Moreover, the downstream points of the sub-watershed were determined. Also, the soil, vegetation, soil hydrological group, and land use maps were prepared and the pastures' hydrological status was determined. Finally, the value of the curve number of Tیره basin's sub-watersheds was estimated using the Sentinel 2 images.

The loss method was also calculated using the SCS Curve Number model. On the other hand, the recession method was used to set the base flow method, and the Routing was performed through the Lag method. Then, the rainfall-runoff model was calibrated from April 17 to 19, 2012, and the model was validated for the April 11 to 16, 2016 period. Furthermore, the data regarding the extreme precipitation events and the hydrograph of the floods were used to calibrate and validate the HEC-HMS hydrological model. The model was then evaluated using  $R^2$ , RMSE, and Nash-Sutcliffe criteria. Finally, the flood was estimated based on the modified parameters of the HEC-HMS model, and the precipitation data concerning different return periods were obtained via fractal theory.

**Results and discussion:** The results of the rainfall-runoff simulation suggested that the simulated hydrograph enjoyed a higher accuracy than the observed hydrograph, with the Nash-Sutcliffe coefficient being 0.74 and 0.68 during the calibration and validation periods, respectively. Therefore, the accuracy of the model was confirmed for the prediction period. Moreover, it was found that compared to the images collected from Landsat 8, the application of CN that was obtained from Sentinel 2 images significantly affected the output hydrograph of the HEC-HMS model, with the Nash-Sutcliffe coefficient increased from 0.56 to 0.74 and from 0.39 to 0.68 during the calibration and validation periods, respectively.

**Conclusion:** The findings of the study indicated that based on the fractal theory of precipitation estimation, the application of HEC-HMS model for estimating the flow rate and flood volume over various return periods can help improve decision-making and the flood management system. It should be noted that as the fractal method uses the daily-produced maximum rainfall data, it offers highly accurate information. Moreover, due to their high spatial resolution, the Sentinel 2 images are highly accurate, too. This approach can provide valuable insights for enhancing flood management strategies.

**Keywords:** Scale Power, Weight Moment, Recursive Digital Filter, What Software.

1. Master's degree, Department of Rangeland and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran, soleimani.m@lu.ac.ir

3. Associate Professor, Rangeland and Watershed Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, Iran

DOI: 10.22052/DEEJ.2024.253747.1028