



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال سوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲

پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام)

نورالدین رستمی، مریم ربانی

۱-۱۵

تأثیر طول بازه گرم کردن مدل‌های هیدرولوژیک در شبیه‌سازی رواناب

شراره رشیدی شیخ تیمور، شهرام خلیقی سیگارودی، علیرضا مقدم‌نیا، خالد احمدالی

۱۶-۳۴

ارزیابی رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک در مراتع خشک شمال شرق کشور  
(مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه)

۳۵-۴۸

حمزه نور، محمود عرب‌خدری، علی دسترنج

پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست  
(مطالعه موردی: جنوب غرب ایران)

۴۹-۶۲

هادی اسکندری دامنه، سعید برخوردار، زهرا اژدری، عبدالوحید ناوکی، حامد اسکندری دامنه، حسن خسروی

نقش عوامل مؤثر مورفومتریک در دقت پهنه‌بندی فرسایش آب‌کندی با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز سراب هلیل استان کرمان)

۶۳-۸۳

حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی، سید شاهین آقامیرزاده، پیمان معدنچی

ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب MISDc و GR4J در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد

۸۴-۹۴

عاطفه امیری، سیامک بهاروند، مژگان راد



# مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال سوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲

۲۷۸۳-۴۵۸۱

شاپا الکترونیکی

دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبخیز ایران

صاحب امتیاز

دکتر نورالدین رستمی

مدیر مسئول

دکتر حاجی کریمی

سر دبیر

اعضای هیأت تحریریه

دکتر حسین ارزانی: استاد گروه آموزشی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر غلامرضا زهتابیان: استاد مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر فرود شریفی: استاد گروه پژوهشی هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

دکتر حاجی کریمی: استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر حمیدرضا ناصری: استاد گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دکتر حسن پوربابایی: استاد گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

دکتر محسن رضایی: استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر ضرغام محمدی: استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر حمیدرضا پورقاسمی: استاد گروه منابع طبیعی و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

دکتر اباذر اسمعیلی عوری: استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دکتر محسن توکلی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر نورالدین رستمی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر مرزبان فرامرزی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر مهدی حیدری: دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

دکتر لحسن بن عبیدات: استاد دانشکده علوم و تکنیک / محیط زیست، دانشگاه سید محمد بن عبدالله، مراکش

دکتر پدرو جی. ام. کاستا: استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه کویمبرا، پرتغال

دکتر مهدی حیدری

مدیر داخلی

محمد نجفی شعاع

ویراستار انگلیسی

دکتر نورالدین رستمی، دکتر نگار صادقی نژاد

ویراستار فارسی

دکتر رضا امیدپور

صفحه آرا و طراح جلد

نشانی: ایلام، بلوار پژوهش، دانشگاه ایلام، دبیرخانه مجلات علمی دانشگاه.

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

پست الکترونیک: [iwm@ilam.ac.ir](mailto:iwm@ilam.ac.ir)

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام)

نورالدین رستمی، مریم ربانی  
۱-۱۵

تأثیر طول بازه گرم کردن مدل‌های هیدرولوژیک در شبیه‌سازی رواناب

شراره رشیدی شیخ تیمور، شهرام خلیقی سیگارودی، علیرضا مقدم نیا، خالد احمدالی

۱۶-۳۴

ارزیابی رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک در مراتع خشک شمال شرق کشور  
(مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه)

حمزه نور، محمود عرب‌خداری، علی دسترنج

۳۵-۴۸

پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست  
(مطالعه موردی: جنوب غرب ایران)

هادی اسکندری دامنه، سعید برخوردار، زهرا اژدری، عبدالوحید ناوکی، حامد اسکندری دامنه، حسن خسروی

۴۹-۶۲

نقش عوامل مؤثر مورفومتریک در دقت پهنه‌بندی فرسایش آب‌کندی با استفاده از مدل پیشینه آنتروپی  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز سراب هلیل استان کرمان)

حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی، سید شاهین آقامیرزاده، پیمان معدنچی

۶۳-۸۳

در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد GR4J و MISDc ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب

عاطفه امیری، سیامک بهاروند، مزگان راد

۸۴-۹۴





۱-۱۰. متن داخل جداول و شکل‌ها و عناوین آن‌ها به دو زبان انگلیسی و فارسی نوشته شوند. اعداد داخل جدول‌ها و شکل‌ها به صورت انگلیسی نوشته شود.

۱-۱۱. مقاله باید سلیس، روان و از نظر دستور زبان صحیح باشد و واژه‌ها با دقت کافی انتخاب شده باشد؛ همچنین پاراگراف‌بندی متن مقاله و تمامی قواعد ادبی (آیین نگارش فارسی) و ویراستاری ادبی و علمی باید رعایت گردد.

۱-۱۲. حجم مقاله شامل متن، شکل‌ها، جدول‌ها، نقشه‌ها، منابع و چکیده لاتین، با رعایت استانداردهای نشریه باید حداکثر از ۱۵ صفحه بیشتر نشود.

۱-۱۳. مقالات برگرفته از پایان‌نامه و رساله دانشجویان با نام استاد راهنما، مشاور/مشاوران و دانشجو و با مسئولیت استاد راهنما منتشر می‌شود.

۱-۱۴. مسئولیت صحت و سقم مقاله، به لحاظ علمی و حقوقی بر عهده نویسنده یا نویسندگان است.

۱-۱۵. نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، در راستای همگامی با استانداردهای نشر بین‌المللی، بنا را بر داوری هم‌تراز و دسترسی آزاد گذاشته است. در همین راستا این نشریه رویه داوری دوسو ناشناس (Double Blind Peer Review) را برگزیده است.

۱-۱۶. لازم است نویسندگان محترم فرم تعارض منافع و تعهدنامه مجله را تنظیم و به همراه فایل اصلی مقاله در قسمت فایل‌های پیوست بارگذاری فرمایند. برای شروع فرآیندهای ارزیابی مقاله، بارگذاری این فرم‌ها الزامی است.

## ۲. نکات قابل توجه نویسندگان برای نگارش

### مقاله

#### ۱-۲. ساختار مقاله

ساختار مقاله بر اساس نوع آن تعیین می‌گردد. چهار نوع عمده مقالات عبارت‌اند از مقالات پژوهشی،

## ۱. نکات قابل توجه نویسندگان پیش از نگارش

### مقاله

۱-۱. اصول اخلاقی انتشار مقاله مندرج در اطلاعات نشریه را به دقت مطالعه فرمایید.

۱-۲. تمامی مقالات ارسالی به نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، پیش از ورود به فرآیند داوری با نرم‌افزار مشابهت‌یاب بررسی خواهند شد.

۱-۳. با توجه به قلمرو و چشم‌اندازهای بخش اطلاعات نشریه و به دلیل تخصصی بودن، تنها موضوعات مربوط به مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برای فصلنامه پذیرفته می‌شود.

۱-۴. نام و مشخصات نگارندگان باید به طور دقیق نوشته شود و نویسنده مسئول، هدایت اصلی نگارش مقاله را بر عهده دارد.

۱-۵. چاپ مقاله در این نشریه رایگان است.

۱-۶. نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز آمادگی خود را برای چاپ چهار نوع مقاله اعلام می‌کند؛ لذا خواهشمند است پیش‌تر نوع مقاله خود را تعیین کنید تا بتوانید عنوان‌بندی مقاله را بر اساس آن تنظیم کنید.

۱-۷. پذیرش مقاله تنها از طریق سایت فصلنامه ([iwm.ilam.ac.ir](http://iwm.ilam.ac.ir)) امکان‌پذیر است.

۱-۸. مقاله ارسال شده باید حاصل کار پژوهشی و علمی باشد و نباید در هیچ نشریه داخلی یا خارجی یا مجموعه مقالات خارجی چاپ شده باشد و نویسندگان محترم تا هنگامی که جواب پذیرش یا رد از این نشریه دریافت نکرده‌اند، نباید مقاله خود را به نشریه دیگری برای چاپ یا بررسی ارسال نمایند.

۱-۹. زبان رسمی نشریه فارسی است؛ با وجود این، تهیه چکیده مبسوط انگلیسی برای همه مقالات ضروری است.

در مقاله‌های مستخرج از پایان‌نامه از نگارش هر نوع فرضیه پژوهش یا آزمون آن‌ها در بحث یا نتایج پژوهش پرهیز شود و سعی بر آن باشد تا در سرتاسر مقاله، اهداف پژوهش دنبال شود.

## ۲-۲. سبک نگارش بخش‌های مختلف مقالات

به‌طور کلی متن هر بخش مقاله از مفاهیم ویژه‌ای و به‌منظور خاصی تشکیل می‌شود که نویسنده باید سعی کند در سرتاسر مقاله از خلط مطالب بپرهیزد، در هر جزء مطالب مربوط به آن را بیان کند و از حاشیه‌نویسی به‌منظور پُر کردن مطالب دوری کند.

### ۲-۲-۱. چکیده

چکیده به‌طور عمده مشتمل بر موضوع پژوهش، روش و نتایج است و باید در آن از مقدمه‌چینی پرهیز شود. چکیده فارسی در یک پاراگراف و حداقل ۲۵۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه است.

### ۲-۲-۲. واژه‌های کلیدی

کلیدواژه‌ها حاوی سه تا پنج واژه مهم مرتبط با متغیرهای پژوهش یا موضوع است که نگارنده می‌خواهد در صورت جست‌وجوی این واژگان توسط پژوهشگران دیگر در اینترنت، مقاله خود را در معرض مطالعه آن‌ها قرار دهد.

### ۲-۲-۳. مقدمه

در مقدمه، مبانی نظری همراه با پیشینه به‌گونه‌ای منسجم، یکپارچه و پیوسته بیان می‌شود تا در نهایت بتواند موضوع و مسئله موردنظر پژوهش و آنچه در بطنه ابهام است را مشخص کند. هدف نویسنده در نگارش این بخش از مقاله چینش پشت سرهم نقل‌قول‌ها به‌طور مجزا و نامربوط به هم نیست؛ بلکه هدف روایت یک جریان و بیان خلأ موجود است.

۲-۲-۳-۱. استفاده از اختصارات انگلیسی و فارسی در متن مقاله ایرادی ندارد؛ اما باید معادل فارسی و انگلیسی کامل آن در اولین باری که در متن آمده است، به‌صورت زیرنویس نوشته شود.

مقالات فنی و ترویجی، مقالات مروری و مقالات کوتاه. در این نشریه حداکثر تعداد کلمات مقاله‌های پژوهشی و فنی و ترویجی ۵۰۰۰، مقاله‌های مروری ۲۵۰۰ و مقاله‌های کوتاه ۲۵۰۰ کلمه در نظر گرفته شده است. تعداد منابعی که برای هر مقاله لازم است به‌ترتیب حداقل ۳۰، ۵۰ و ۵ مورد است. از نظر تعداد جدول‌ها و شکل‌ها تنها مقالات کوتاه محدودیت دارند و آن نیز در مجموع سه جدول یا شکل را شامل می‌شود.

ساختار همه مقاله‌ها از چکیده، کلید واژه‌ها، متن اصلی و منابع تشکیل می‌شوند، ولی متن آن‌ها بر اساس نوع مقاله فرق می‌کند. متن مقاله‌های پژوهشی و فنی و ترویجی باید دارای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری باشند، ولی متن اصلی مقالات مروری ساختار مشخصی ندارند؛ با وجود این، لازم است که در آن‌ها طرح مسئله، عنوان‌بندی بحث و نتیجه‌گیری، به‌خوبی و با روال مشخصی صورت گیرد. متن مقالات کوتاه نیز دارای بخش‌های عادی مانند مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث نیستند، ولی باید در آن‌ها طرح مسئله شود و توصیف مشاهدات به‌صورت منظم و پیوسته در قالب نتایج و بحث صورت گیرد.

در نوشتار باید توجه داشت که جملات، پاراگراف‌ها و حتی عنوان‌های مقاله باید از پیوستگی و انسجام برخوردار باشند. این امر به‌ویژه در مقدمه و بحث مقاله باید رعایت شود. شیوه طرح مسئله در مقدمه بسیار مهم است، لازم است نویسنده با سلیقه خود و با تکیه بر پیشینه و مبانی نظری پژوهش، خواننده را مجاب به ضرورت و نوآوری پژوهش خویش نماید. در بحث مقاله با استفاده از همین مبانی و پیشینه، مشاهدات مکمل، تجربیات دیگران، تجزیه و تحلیل‌های آماری و تفسیرهای منطقی به روایی و پایایی پژوهش بپردازد و در صورت امکان نشان دهد که پژوهش وی تا چه اندازه می‌تواند به محیط‌های دیگر تعمیم داده شود و در کدام نواحی می‌تواند کارایی داشته باشد.

**۲-۲-۴. مواد و روش‌ها**

نویسنده در روش پژوهش باید از بیان کلیات و تعاریف مربوط به روش پژوهش بپرهیزد و به تفصیل توضیح دهد که چگونه داده‌ها را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کرده است تا هدف یا اهداف پژوهش (حل خلأ علمی که در مقدمه بیان شد) را برآورد کند. این توضیحات باید به قدری دقیق باشد که هر خواننده‌ای در صورت نیاز بتواند مرحله به مرحله آن‌ها را انجام داده و به همان نتیجه‌ای برسد که نگارنده به آن رسیده است. منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند در این بند معرفی شود، ولی نویسنده می‌تواند در صورت ضرورت برای توضیحات تفصیلی، عنوان مستقلى به نام «منطقه مورد مطالعه» باز کند و این عنوان را در محل مناسب که به‌طور معمول پیش از مواد و روش‌ها است، قرار دهد.

**۲-۲-۵. نتایج**

در بخش نتایج، تنها باید مواردی بیان شود که درباره اهداف پژوهش است. از بیان روش پژوهش یا پیشینه یا هر موضوعی که ذهن خواننده را از موضوع دور می‌کند پرهیز شود. اگر نتایج پژوهش خیلی گسترده هستند، آن‌ها را به‌طور منظم طبقه‌بندی کرده و ذیل عنوان‌های مناسب، درباره آن‌ها توضیح دهید. در توضیحات خود از جدول‌ها و نمودارهای مناسب استفاده کنید و نتایج آماری را به شیوه‌ای گویا بیان کنید.

**۲-۲-۶. بحث**

بحث مقاله به دلیل سنگین بودن آن و نیاز به تفکری عمیق و شاید وقت‌گیر، به‌طور معمول در معرض خطر است. در این بخش، به استناد مشاهدات بیشتر، مبانی نظری علم، سابقه پژوهش‌ها و تجربیات گذشتگان و همچنین تجزیه و تحلیل‌های آماری یا هر تحلیلی که نویسنده فکر می‌کند مناسب است باید نشان داده شود که نتایج پژوهش تا چه حد به واقعیت نزدیک‌اند. در متن مقاله نوشتن این مطلب که با پژوهش دیگری همسویی دارد یا ندارد، مناسب نیست و این مسئله را تحلیل نویسنده باید نشان دهد نه ادعای وی؛

به‌عبارتی، نویسنده باید بکوشد با مقایسه پژوهش‌های متعدد نشان دهد که واگرایی‌ها و همگرایی‌های بین پژوهش‌وی با دیگران در کجاست و به چه دلیل رخ داده است.

**۲-۲-۷. نتیجه‌گیری کلی**

بخش پایانی متن مقاله، نتیجه‌گیری است. این مبحث چکیده یا تکرار نتایج پژوهش نیست؛ بلکه نویسنده در این بخش به استناد بحثی که انجام داده است، حکم قطعی خود را به‌صورت کلی صادر می‌کند؛ به‌عبارتی، اکنون نتایج پژوهش نویسنده از صافی ارزیابی‌ای به‌نام بحث گذشته‌اند و برد اثرگذاری و کاربرد آن مشخص شده است و نتیجه‌گیری بهترین مبحثی است که نویسنده فرصت می‌یابد تا نتیجه به‌دست آمده و میزان اثرگذاری آن را گزارش کند. اگر نویسنده بر اساس تجربه‌ای که به‌دست آورده است احساس کند می‌تواند پژوهش خود را به شیوه خاصی ارتقا داده و حجم تعمیم‌پذیری آن را گسترش دهد یا به مدل‌های جدیدی دست یابد یا حل مسئله‌ای را بهبود بخشد، می‌تواند پیشنهادهای خود را در نتیجه‌گیری ارائه دهد.

**۲-۲-۸. سپاسگزاری**

چنانچه نویسنده یا نویسندگان در تهیه مقاله از منابع مالی سازمان یا نهادهای خاصی استفاده کرده‌اند، یا قصد تشکر و قدردانی از کسانی را دارند که در نگارش مقاله از آن‌ها یاری گرفته‌اند، باید در بخش سپاسگزاری به این مطلب اشاره کنند.

**۲-۲-۹. نحوه ارجاع به منابع در متن**

در داخل متن، منابع فارسی باید به زبان انگلیسی ترجمه و ارجاع داده شوند. ارجاع، بسته به لحن بیان نویسنده ممکن است در شروع یا پایان جمله یا متن آورده شود. ارجاعات در متن مقاله باید به شیوه داخل پرانتز باشد، به‌گونه‌ای که ابتدا نام خانوادگی نویسنده یا نویسندگان و سال انتشار آورده شود. برای مثال، در صورت وجود یک نویسنده با ذکر نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار؛ مانند (Rostami, 2014)، برای دو نویسنده با ذکر نام خانوادگی هر دو نویسنده و سال انتشار؛ مانند (Rostami & Fathizad, 2021) باشد. در صورت

۲-۲-۱۰-۵. شیوه نگارش مشخصات منابع، در انتهای مقاله باید بر اساس شیوه‌نامه APA و مانند مثال‌های زیر باشد: در صورت استفاده از سایر منابع اطلاعاتی که در اینجا ذکر نشده از شیوه‌نامه APA استفاده کنید.

#### الف) کتاب

نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم. (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج‌نویسی). محل انتشار: ناشر.

Briggs, D., Smithson, P., Addison, K. & Atkinson, K. (1997). *Fundamentals of the physical environmental*. London: Routledge.

#### ب) کتاب ترجمه شده

نام خانوادگی، نام. (تاریخ انتشار ترجمه). نام کتاب (به صورت کج‌نویسی). مترجم: نام و نام خانوادگی مترجم. محل انتشار ترجمه: ناشر.

Mohseni Saravi, M. & Rostami, N. (2006). *Watershed management: issues and approaches*. (Timothy, R.). University of Tehran Press. (In Persian)

#### ج) مقالات نشریات

نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، نام نویسنده دوم و نام خانوادگی نویسنده چندم، نام نویسنده چندم. (سال انتشار). عنوان مقاله. نام نشریه (به صورت کج‌نویسی)، سال یا دوره (شماره)، صفحه آغاز مقاله- صفحه پایان مقاله. در صورت دارا بودن شناسه رقمی مقاله یا (doi)

Baghalani, M., Rostami, N. & Tavakoli, M. (2019). Identification of factors affecting urban flood in Ilam City Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2), 523-536. Doi:

وجود چندین نگارنده، ارجاع به منبع باید به صورت (نام خانوادگی نگارنده اول و همکاران، سال انتشار) مانند (Rostami et al., 2021) باشد. در صورتی که در شروع جمله به منبعی استناد شود به این صورت نگارش شوند: Rostami (۲۰۱۴) گزارش کرد ...

Mohseni Saravi و Rostami (۲۰۰۶) گزارش کردند ... Rostami و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند ...

#### ۲-۲-۱۰. منابع پایانی

نشریه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برای استناددهی یا شیوه ارجاع، سبک انجمن روان‌شناسی آمریکا که به اختصار (APA: American Psychological Association) گفته می‌شود را برگزیده است.

۲-۲-۱۰-۱. منابع مورد استفاده نباید از ۳۰ منبع کمتر باشد. ترجیحاً به منابعی که در ۱۰ سال اخیر چاپ شده‌اند (نه منابع قدیمی‌تر) ارجاع داده شود.

۲-۲-۱۰-۲. تنها منابعی باید در پایان مقاله ذکر شوند که در متن نیز استفاده شده باشند و از ذکر منابع مشابه و کم اهمیت خودداری شود.

۲-۲-۱۰-۳. همه منابع مورد استفاده اعم از فارسی و لاتین در پایان مقاله به زبان انگلیسی برگردانده و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شوند. در انتهای منابع فارسی عبارت (In Persian) نوشته می‌شود.

نکته ۱: برای ترجمه منابع فارسی، حتماً به چکیده انگلیسی مقاله، صفحه عنوان انگلیسی کتاب، صفحه عنوان انگلیسی پایان‌نامه و غیره مراجعه کنید یا از مترجم کمک بگیرید. برنامه "Google Translate" پاسخ مناسبی به شما نمی‌دهد.

نکته ۲: منابع با اسامی نویسندگان یکسان چنانچه دارای سال انتشار متفاوت باشند، به ترتیب صعودی سال انتشار و چنانچه مربوط به یک سال مشخص باشند با افزودن حروف "a"، "b" و "c" و غیره پس از سال انتشار آورده شوند.

۲-۲-۱۰-۴. آدرس هر منبعی که در متن آورده شده است باید در آخر مقاله نیز بیاید.

ر) نمونه تنظیم یک مقاله یا یک فصل در یک کتاب وابسته (Edited book)

Bradford, J. M. & R. F. Piest. (1978). Erosion development of valley-bottom gullies in the upper mid weastern United States. In D. R. Coates & J. D. Vitek (Eds.), *Thresholds in Geomorphology*. (pp. 75-101)

د) نمونه تنظیم یک سند از یک کنفرانس

Rostami, N. (2014). *Extraction of rainfall temporal patterns using Monte Carlo simulation technique (case study: Joustan Watershed, Iran)*. Second National Conference on Water Crisis, Shahrekord. September 9-10. (In Persian)

۲-۲-۱۱. چکیده مبسوط

چکیده مبسوط انگلیسی در حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه به ابتدای مقاله اضافه شود. این چکیده، باید خلاصه‌ای از مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و درنهایت واژگان کلیدی باشد.

“Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusion, Keywords”

شکل ظاهری مقاله

۳-۱. حروف چینی مقاله باید در برنامه Word (۲۰۰۳) یا (۲۰۰۷)، در کاغذ A4 و با رعایت حاشیه ۲/۵ سانتی‌متر از چپ، راست، بالا و پایین باشد و فاصله میان سطرها یک سانتی‌متر (Single) باشد.

۳-۲. لازم است متن فارسی مقاله با قلم B Nazanin 13 و متن لاتین با قلم Times New Roman 11 نوشته شود. متن چکیده فارسی با قلم B Nazanin 10 Bold نوشته شود. عنوان اصلی مقاله با قلم B Titr 14 و سایر عناوین با قلم B Nazanin 14 Bold تنظیم شوند. منابع پایانی با قلم Times New Roman 11 نوشته شوند. عناوین شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی (B Nazanin 11 به صورت Bold) و انگلیسی (Times New Roman 10 به صورت Bold) نوشته شود. اعداد داخل جدول‌ها به صورت انگلیسی (Times New Roman 9)

10.22092/ijwmse.2018.120069.1417 (In Persian)

Rostami, N., Sohrabi, T. & Kazemi, Y. (2021). Stability Analysis of Flood Spreading Systems in Arid Regions, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 1819-1829. Doi: 10.1007/s40996-020-00424-7.

Rostami, N. & Fathizad, H. (2021). Spatial and temporal changes of land uses and its relationship with surface temperature in western Iran. *Atmosfera*. <https://doi.org/10.20937/ATM.52985>

د) پایان‌نامه و رساله

نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده (تاریخ انتشار). عنوان پایان‌نامه/ رساله (به صورت کج نویسی). پایان‌نامه مقطع رشته، نام دانشگاه.

Rostami, N. (2013). *Modeling the relationship between effective precipitation and flood hydrograph by joint probability aproach*. Ph.D. Thesis of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tehran University. (In Persian)

ه) مجموعه مقالات

نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده (تاریخ انتشار). نام مقاله. در: نام ویراستار، نام مجموعه (به صورت کج نویسی)، (صص شماره صفحات). محل انتشار: ناشر.

و) کتاب منتشرشده در سازمان‌ها یا نهادها

نام سازمان یا نهاد. (سال انتشار). عنوان کتاب (به صورت کج نویسی). محل انتشار: ناشر.

ز) وبگاه اینترنتی

نام خانوادگی نویسنده، نام نویسنده. (در صورت وجود تاریخ انتشار). عنوان مطلب مورد استفاده (به صورت کج نویسی). برگرفته از: آدرس اینترنتی.

Food and Agriculture Organization. (2000). *Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO*. Retrieved January 12, 2009, from <http://www.fao.org/biodiversity>.

۳-۳-۹. در متن نیز حتماً به شماره‌های جدول و شکل‌ها اشاره شود.

۳-۳-۱۰. بهتر است شکل‌ها و جدول‌ها بلافاصله پس از توضیحات متن و در نزدیکترین جای ممکن آورده شوند.

#### ارسال مقاله

۴-۱. مطمئن شوید اصول پیش گفته از جمله اصول اخلاقی، قلمرو و اهداف و همچنین اصول نگارش نشریه به‌ویژه عنوان‌های متن مقاله به‌درستی نوشته شده است.

۴-۲. با آدرس [iwm.ilam.ac.ir](http://iwm.ilam.ac.ir) وارد سامانه نشریه و سپس وارد صفحه شخصی شوید. ورود به صفحه شخصی با کلمه کاربری و رمز عبور امکان‌پذیر است؛ بنابراین، اگر پیش‌تر آن‌ها را دریافت نکرده‌اید، به‌سادگی می‌توانید با انتخاب محیط ثبت‌نام از طریق گزینه ورود به سامانه (واقع در بخش سمت چپ و بالای صفحه) اطلاعات درخواستی را وارد و کلمه کاربری و رمز عبور را در رایانامه‌ای که در حین ثبت‌نام اعلام کرده‌اید، دریافت کنید. در صورت تمایل به تغییر آن‌ها می‌توانید از خود سامانه کمک بگیرید. توجه داشته باشید که شما برای ورود به سامانه همواره به این دو کلمه نیاز دارید؛ بنابراین بکوشید تا آن‌ها را فراموش نکنید.

۴-۳. از نوار ارسال مقاله، گزینه ارسال مقاله جدید را انتخاب کرده و طی ۱۰ مرحله شامل انتخاب نوع مقاله، وارد کردن عنوان، اضافه کردن نویسندگان، وارد کردن چکیده، وارد کردن کلیدواژه‌ها، توضیحات تکمیلی، داوران پیشنهادی (حداقل سه داور)، اضافه کردن فایل‌ها، نامه به سردبیر و چک لیست و در نهایت تکمیل ارسال مقاله، اقدام به ارسال مقاله نمایید.

نوشته شوند و سایر اطلاعات داخل شکل‌ها و جداول به دو صورت فارسی (B Nazanin 10) و انگلیسی (Times New Roman 9) نوشته شوند.

#### ۳-۳ شکل‌ها و جداول

در تنظیم جدول‌ها، منحنی‌ها، شکل‌ها و تصاویر، رعایت نکات زیر الزامی است:

۳-۳-۱. در ترسیم نقشه‌ها سعی شود همه اصول کارتوگرافی رعایت شود. مختصات، مقیاس (ترجیحاً مقیاس خطی)، راهنما، جهت نقشه و به‌ویژه عناوین عوارض مهم متن نقشه باید به‌صورت خوانا در آن درج شوند، به‌گونه‌ای که حتی پس از کوچک شدن نقشه، از وضوح آن‌ها کاسته نشود.

۳-۳-۲. شکل‌ها و تصاویر باید به‌صورت رنگی یا سیاه و سفید و با کیفیت مناسب و مطلوب تهیه شده (رزولوشن ۳۰۰ dpi) و شماره و عنوان آن‌ها در پایین آورده شود.

۳-۳-۳. نقشه‌ها باید واضح، مطالب آن‌ها خوانا و دارای مقیاس باشند. ذکر مأخذ نقشه‌ها، عکس‌ها یا شکل‌هایی که از منابع دیگر اقتباس شده‌اند الزامی است.

۳-۳-۴. نمودارها به‌طور ساده ترسیم شوند، راهنمای عددی نمودارها باید انگلیسی باشد و بهتر است از ترسیم نمودارهای چندبُعدی خودداری شود.

۳-۳-۵. همه عنوان‌ها، اعداد، واحدها و مقیاس‌ها در جدول‌ها و شکل‌ها باید به انگلیسی باشند. واحدهای استفاده شده نیز بر اساس سیستم متریک ذکر شوند.

۳-۳-۶. ارائه تصویری جدول‌ها، معادلات، مرجع‌ها یا نوشته‌های مستقیم روی شکل‌ها امکان ویرایش را از ویراستار سلب می‌کند؛ از این‌رو لازم است این موارد به‌صورت تایپ شده در متن آورده شوند.

۳-۳-۷. شماره و عنوان هر جدول در بالای آن به‌صورت وسط‌چین با دو زبان فارسی و انگلیسی نوشته شود.

۳-۳-۸. عنوان شکل‌ها با دو زبان فارسی و انگلیسی در پایین تصاویر آورده شود.

### پیگیری فرایند انتشار مقاله

۵-۱. در صورت تأیید سردبیر و ارسال مقاله به داوری، نویسنده مسئول به صفحه شخصی خود در سامانه نشریه مراجعه کند و اگر تأخیری در فرآیند داوری (بیش از یک ماه) مشاهده کرد از طریق پست الکترونیکی یا تماس تلفنی با نشریه روند بررسی مقاله را پیگیری کند.

۵-۲. در صورتی که مقاله برای چاپ پذیرفته شود بعد از آماده شدن برای چاپ، در سامانه و در قسمت فهرست مقالات آماده به انتشار درج می‌گردد نویسنده می‌تواند فایل آماده شده را از کارشناس نشریه دریافت کند و قبل از چاپ اگر نیاز به هر گونه تغییر و اصلاحی بود موضوع را به کارشناس نشریه اطلاع دهد. بعد از چاپ مقاله امکان هیچ گونه تغییر و اصلاحی در مقاله وجود ندارد.

۵-۳. بعد از چاپ مقاله، اطلاعات آن در صفحه شخصی درج می‌گردد و نویسنده می‌تواند وضعیت مقاله خود را با عنوان مقاله منتشر شده به صورت الکترونیکی مشاهده کند.

۵-۴. نشریه «مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز» حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ می‌دارد و از بازگرداندن مقالات دریافتی معذور است.

۵-۵. مقالات رد یا انصراف داده شده، پس از سه ماه از مجموعه آرشیو نشریه خارج خواهد شد و نشریه هیچ‌گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهد داشت.

۴-۴. در بخش اضافه کردن فایل، لازم است دو فایل اصلی را بارگذاری کنید. ۱- فایل صفحه مشخصات نویسنده یا نویسندگان در محیط Word؛ ۲- فایل متن اصلی مقاله در محیط Word بدون مشخصات نویسندگان.

در فایل اول (فرم مشخصات نویسندگان)، مشخصات کامل مقاله و نام نویسنده یا نویسندگان به فارسی و انگلیسی (نام نویسنده مسئول مکاتبات با ستاره مشخص شود)؛ آخرین مدرک تحصیلی، مرتبه علمی و محل اشتغال به فارسی و انگلیسی؛ نشانی کامل نویسنده مسئول مکاتبات شامل آدرس پستی، شماره تلفن، شماره دورنگار، نشانی پیام‌نگار (پست الکترونیک) به فارسی و انگلیسی؛ نام مؤسسه تأمین‌کننده مخارج مالی پژوهش یا تهیه مقاله (در صورت وجود) در فایل جداگانه‌ای ارسال شود.

در فایل دوم (فایل متن اصلی مقاله بدون نام نویسندگان)، مقاله را که در ساختار مناسب بر اساس نوع مقاله تنظیم شده است بارگذاری می‌شود. سعی کنید در صفحه اول عنوان کامل مقاله به فارسی؛ چکیده فارسی در یک پاراگراف (حداقل ۲۵۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه) و کلیدواژه‌های فارسی (حداکثر پنج واژه) و در صفحات دوم عنوان کامل مقاله به انگلیسی؛ چکیده انگلیسی در یک پاراگراف (حداقل ۲۵۰ و حداکثر ۳۰۰ کلمه) و کلیدواژه‌های (حداکثر پنج واژه) آورده شود.

۴-۵. در بخش نامه به سردبیر قید شود که مقاله حاصل کدام یک از فعالیت‌های پژوهشی (فعالیت کلاسی، پایان‌نامه، طرح پژوهشی و غیره) است.



## Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam)

Noredin Rostami<sup>1\*</sup>, Maryam Rabbani<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- M.Sc. student of Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

\* Corresponding author: n.rostami@ilam.ac.ir

(Received: 13 June 2023

Revised: 22 July 2023

Accepted: 08 August 2023)

### Extended abstract

**Introduction:** Soil serves as the foundation for all human productive activities, and the rise and fall of numerous great and ancient civilizations can be attributed to the fertility and preservation of soil. Some civilizations have experienced downfall due to inadequate productivity and failure to sustain natural resources. Erosion can be classified into two main categories: geological erosion, which can lead to soil formation and accelerated erosion, which causes soil degradation. The study of erosion is of great significance. For instance, Asia currently faces a concerning erosion condition, while Africa is experiencing a highly dangerous level of erosion. Erosion is a globally destructive phenomenon, particularly water erosion, which directly and indirectly impacts human life by depleting fertile agricultural soils. In order to determine appropriate protective measures, it is crucial to assess the level of erosion in a given area. Thus, evaluating the severity of erosion becomes an essential task. This study aims to examine the erosion and sedimentation status in the Golan watershed of Ilam province, as well as determining the current state of soil erosion and sediment yield.

**Materials and methods:** The study focuses on Golan watershed in Mehran city, Ilam Province, which spans an area of 78.87 km<sup>2</sup>. To conduct this research, the following methodology was employed. First, a topographical map on a scale of 1:50000 and aerial photos of the study area were obtained. The topographic map was used to delineate the boundaries of the study area, while the aerial photos aid in understanding the natural features and assist in dividing the area into hydrological units. Next, Relevant information and statistics from previous studies related to the study area were collected. This data provide valuable insights and contribute to the analysis. Then, Base maps were prepared within a ArcGIS environment. These base maps include geological maps, soil types, vegetation cover, slope, direction, elevation classes, and other pertinent factors. To enhance accuracy, the base maps were verified in the field, and the necessary parameters for estimating erosion and sedimentation were scored through field surveys. After that, the MPSIAC model was utilized to estimate erosion and sedimentation. By inputting the collected data and factors from the base maps into the model, erosion and sedimentation rates were estimated. The model will help assess the vulnerability of the study area to erosion. Finally, Based on the estimations from the MPSIAC model, an erosion map was prepared. This map depicts the areas prone to erosion within the study area, providing valuable information for land management and erosion control strategies. By following this methodology, the research aims to evaluate erosion and sedimentation rates in the study area and generate an erosion map that can assist in effective land management and erosion prevention measures.

**Results:** In the Golan region, various types of erosion were observed, indicating the influence of different factors with varying intensities. These erosion factors can be categorized into two groups: natural factors and human-induced factors. The rocks in the study area were classified into five erosive groups. The geological factor score for the entire area was determined to be 6.15 based on the sensitivity map of rocks in the sub-areas. The soil factor score was calculated to be 3.71. Furthermore, the climate factor score was 17.8, the runoff factor score was 13.01, the topography factor score was 10.44, the land cover factor score was 9.62, the land use factor score was 15.67, the soil surface erosion factor score was 1.81, and the water erosion factor score was 15.41.

**Discussion and Conclusion:** In terms of erosion and sedimentation, the study area fell into the high erosion class, with a sediment yield of 541.26 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year. Field surveys identified 12 types of erosion in the watershed. By understanding the erosion factors, measures can be taken to control erosion. Based on the obtained zoning map, it is recommended to implement control and protective operations in erosive areas, while avoiding any activities or projects that may lead to accelerated erosion, such as road construction. Natural erosion occurs in nature and does not necessarily result in soil loss. However, human interventions in natural resources exacerbate erosion intensity, leading to accelerated erosion. Therefore, it is crucial to assess the intensity and types of erosion in different areas and implement appropriate planning and management measures. One proposed program to control soil erosion in the region is the implementation of land uses based on their capabilities, along with soil protection programs for agricultural lands. Additionally, techniques aimed at increasing the stability of soil grains should be considered to reduce erosion. In conclusion, understanding the factors contributing to erosion and implementing appropriate management strategies are vital to erosion control and soil conservation in the study area.

**Keywords:** Erosion types, Sediment, Erosion intensity, Land use, MPSIAC model.

Citation: Rostami, N., & Rabbani, M. (2023). Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 1-15. doi: 10.22034/iwm.2023.2004738.1084

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام)

نورالدین رستمی\*<sup>۱</sup>، مریم ربانی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

\*نویسنده مسئول: n.rostami@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

### چکیده

فرسایش به‌عنوان یک عامل ناپایدار کننده محیط، فرآیندی است که طی آن ذرات خاک توسط عوامل فرساینده همچون آب، باد و یا یخچال از بستر اصلی خود جدا شده و به مکان دیگری حمل می‌شود. فرسایش خاک، خطرات و عواقبی مثل انتشار خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها، کاهش نفوذپذیری خاک، پر شدن مخازن سدها، کاهش کیفیت آب‌ها، افزایش بیماری‌های تنفسی و... به دنبال دارد؛ بنابراین تهدید بزرگی علیه محیط‌زیست و انسان‌ها محسوب می‌شود. بر همین اساس در این مطالعه به‌منظور بررسی وضعیت فرسایش خاک، پس از تهیه نقشه‌های موردنیاز مثل زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش گیاهی و غیره در محیط ArcGIS با استفاده از مدل MPSIAC، فرسایش و رسوب منطقه برآورد و سپس نقشه فرسایش منطقه مورد مطالعه، تهیه شد. نتایج نشان داد حوزه آبخیز گلان از نظر کلاس فرسایش و رسوب‌دهی که بر اساس مجموع نمرات ۹ فاکتور در مدل MPSIAC مشخص گردید، با تولید رسوب ویژه ۵۴۱/۲۶ مترمکعب در کیلومترمربع در سال در کلاس زیاد واقع شده است. از آنجاکه عوامل متعددی بر فرسایش تأثیرگذار است در این مطالعه عوامل زمین‌شناسی، خاک، آب‌وهوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، استفاده از زمین، فرسایش سطحی خاک و فرسایش آبراهه‌ای بررسی شد که نتایج نشان داد بیش‌ترین امتیاز مربوط به عامل آب‌وهوا با امتیاز ۱۷/۸ و کم‌ترین امتیاز مربوط به عامل فرسایش سطحی خاک با امتیاز ۱/۸۱ است. همچنین با توجه به بازدیدهای صحرایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه، ۱۲ تیپ فرسایشی شناسایی و تفکیک شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، یکی از راهکارهای کنترل فرسایش خاک منطقه، رعایت کاربری اراضی بر اساس قابلیت اراضی و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در سطح منطقه و خصوصاً اراضی کشاورزی است.

واژگان کلیدی: تیپ‌های فرسایشی؛ رسوب؛ شدت فرسایش؛ کاربری اراضی؛ مدل MPSIAC

**استناد:** رستمی، ن؛ و ربانی، م. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۳، ۱۵-۱.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

خاک بستر کلیه فعالیت‌های تولیدی انسان به شمار رفته و بنیان بسیاری از تمدن‌های بزرگ و کهن جهان بر باروری و حفاظت خاک استوار و نابودی برخی از این تمدن‌ها ناشی از عدم بهره‌وری صحیح و کوتاهی در نگهداری از منابع طبیعی بوده است (Plieninger, 2008). فرسایش‌ها از نظر منشأ به دو دسته فرسایش زمین‌شناسی و فرسایش تشدید شونده تقسیم می‌شوند که فرسایش زمین‌شناسی موجب تشکیل خاک و فرسایش تشدید شونده موجب تخریب خاک می‌شود و مطالعه آن اهمیت زیادی دارد به طوری که وضعیت فرسایش در آسیا در مرحله خطر و در آفریقا در سطح خیلی خطرناک قرار دارد (FAO<sup>۱</sup> and ITPS<sup>۲</sup>, 2015). هیچ پدیده‌ای در مقیاس جهانی مخرب‌تر از فرسایش خاک نیست و فرسایش آبی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم حیات بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همین امر باعث از بین رفتن خاک‌های حاصلخیز کشاورزی می‌شود (Novara et al., 2018). وضعیت کنونی فرسایش در جهان خطرناک‌تر از هر زمان دیگری در تاریخ است (Jarrah et al., 2020). از آنجایی که فرسایش در هر منطقه تابع فاکتورهای متعددی است برای تعیین اقدامات حفاظتی موردنیاز باید وضعیت منطقه از نظر عوامل فرساینده و کلاس فرسایش مشخص گردد (Das et al., 2021; Borrelli et al., 2023); بنابراین تعیین شدت فرسایش امری حیاتی است. نتایج ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز الشتر نشان داد که بیش از ۵۰ درصد حوضه در معرض خطر فرسایش شدید قرار دارد (Haseli and Jalalian, 2015). پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه رودخانه بالخلوچای نشان داد که ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه دارای فرسایش خیلی زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ درصد مساحت حوضه دارای فرسایش کم و خیلی کم است (Yaghubnezhad

ASL and Abedini, 2018). پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی در سواحل شرقی دریاچه ارومیه نشان داد از بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها، مهم‌ترین بخش خاک همواره در معرض فرسایش قرار دارد و در تخمین فرسایش‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و هیچ رابطه‌ای بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و فرسایش‌پذیری وجود ندارد (Chakherlou et al., 2021). فرسایش‌پذیری خاک به عوامل مختلفی بستگی دارد که به‌عنوان مثال پایداری خاکدانه‌ها یکی از عوامل مؤثر بر فرسایش و رواناب است (Barthes and Roose, 2002). پایداری خاک تحت تأثیر عوامل مختلف مثل عوامل توپوگرافی از قبیل جهت و درجه شیب دامنه و... است که این عوامل بر پوشش گیاهی و فرسایش تأثیرگذار بوده و به‌طور غیرمستقیم ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bronick and Lal, 2005). نتایج مدل‌سازی پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخصی از فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک نشان داد که می‌توان از پارامترهای ژئومورفومتریک برای برآورد پایداری خاکدانه‌ها و همچنین برآورد میزان فرسایش‌پذیری خاک استفاده کرد (Khanifar et al., 2019). برای تخمین فرسایش و رسوب یک منطقه روش‌های متداولی وجود دارد و یکی از روش‌های قابل‌اعتماد مدل پسیاک اصلاح‌شده (MPSIC<sup>۳</sup>) است که از این مدل در مطالعات گسترده در کشورهای مختلف استفاده شده است. البته استفاده از این مدل و بهبود کارایی آن در نقاط مختلف جهان همچنان در حال گسترش است (Casabella-González et al., 2023). طی مطالعه‌ای در کشور کویت از سه روش برای تخمین میزان فرسایش استفاده شد و نتایج نشان داد مدل MPSIAC مدل دقیق‌تری برای برآورد میزان تولید رسوب منطقه است (Abdullah et al., 2017). در ایران نیز بررسی فرسایش در حوزه آبخیز دز با

2. Intergovernmental technical panel on soil  
3. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations

استفاده از مدل MPSIAC و مقایسه نتایج با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که مقادیر مشاهده‌ای ۳۸ درصد بیش‌تر از مقادیر به‌دست‌آمده از مدل MPSIAC است (Noori and *et al.*, 2018). با توجه به این امر که فرسایش در نهایت گریبان‌گیر انسان خواهد بود و مشکلات متعددی را به وجود می‌آورد نیاز است میزان تولید رسوب منطقه به دست آورده شود و متناسب با آن اقدامات آبخیزداری حفاظتی مانند اقدامات بیولوژیک، اقدامات مکانیکی و یا ترکیبی از این دو، اتخاذ شود. نتایج مطالعه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز بابل‌رود با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد که حوضه از نظر رسوب‌دهی در طبقه کم قرار گرفته و علت آن وجود مراتع متراکم، سنگ‌های آهکی و سنگ‌های دارای سختی متوسط تا زیاد است (Tabarestani *et al.*, 2022).

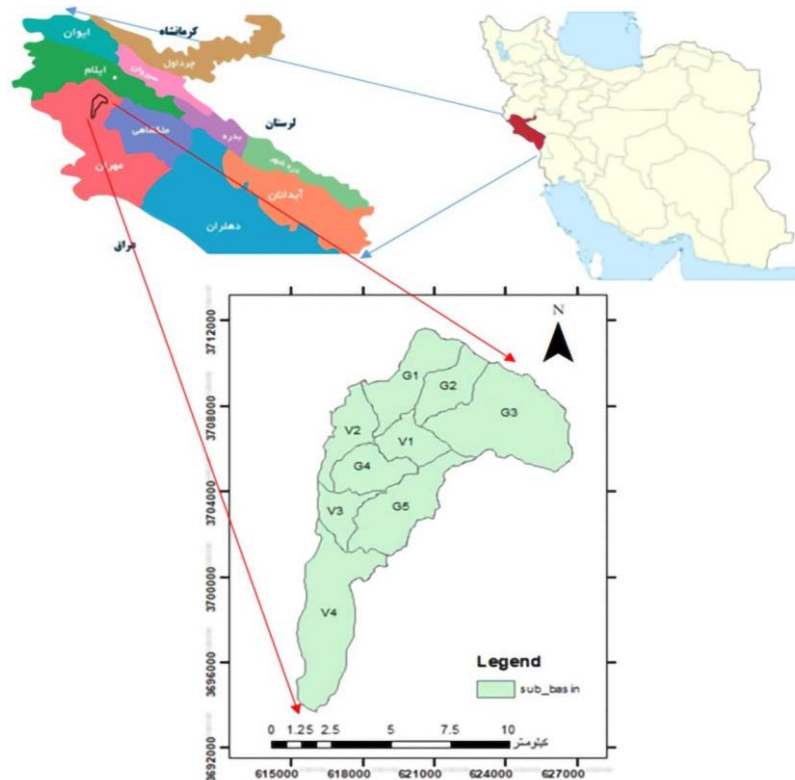
برای تخمین فرسایش و رسوب روش‌های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از مدل MPSIAC استفاده شده است زیرا مطالعات مختلف دقت این مدل را تأیید نموده است (Casabella-González *et al.*, 2023). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای به‌منظور تعیین مقدار تولید رسوب در حوزه آبخیز بیشه‌زار در جنوب غرب ایران پس از بررسی آنالیز حساسیت نتایج نشان داد از بین ۹ عامل مؤثر در روش MPSIAC عامل توپوگرافی و رواناب بیش‌ترین تأثیر را بر فرسایش منطقه مورد مطالعه داشته است (Zarei *et al.*, 2019). عوامل متعددی ممکن است بر فرسایش آبی تأثیرگذار باشند که با استفاده از مدل MPSIAC می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد. در تحقیقی دیگر نتایج برآورد فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبخیز بابل‌رود با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد حوضه مورد مطالعه از نظر شدت فرسایش در طبقه کم قرار دارد و علت آن وجود مراتع متراکم، سازندهای آهکی و سنگ‌های با سختی متوسط تا زیاد در حوضه است

همچنین بررسی میزان تأثیر آبیاری بارانی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز Wadi Kufranja با استفاده از روش RUSLE نشان داد میزان فرسایش در این منطقه خیلی زیاد است و مهم‌ترین عامل هدررفت خاک مرغوب، عدم مدیریت صحیح آب‌و‌خاک در تراست‌ها و گالی‌ها است (Demirci and Karaburun, 2012)؛ بنابراین به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی و همچنین محاسبه و طراحی دقیق حجم سدها ضرورت دارد حجم کل رسوب سالانه در یک حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد شود؛ بنابراین هدف از این مطالعه بررسی وضعیت فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز گلان استان ایلام و تعیین وضعیت فعلی فرسایش خاک و تولید رسوب است. لازم به ذکر است در این منطقه که در بالادست سد کنجانچم و سامانه گرمسیری واقع شده و سازندهای فرسایش‌پذیر آن حجم زیادی از رسوب را تولید می‌نماید تاکنون مطالعه جامعی صورت نگرفته است؛ بنابراین مطالعه دقیق منطقه از نظر فرسایش و رسوب و ارائه راهکار مناسب ضرورت دارد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

روستای گلان در شهرستان مهران با مساحت ۷۸/۸۷ کیلومتر مربع در مسیر جاده اصلی ایلام-مهران واقع شده است و در موقعیت جغرافیایی  $17^{\circ}46'14''$  تا  $21^{\circ}46'56''$  طول شرقی و  $33^{\circ}33'55''$  تا  $32^{\circ}33'15''$  عرض شمالی قرار دارد. فاصله این روستا از مرکز استان حدود ۵۳ کیلومتر است. متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه حدود ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دما ۲۴ درجه و متوسط حداقل دما ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

Figure 1- Location of study area in Iran and Ilam Province

روش تحقیق  
برای انجام این پژوهش ابتدا نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی منطقه تهیه شد. از نقشه‌های توپوگرافی برای مشخص کردن محدوده حوضه مورد مطالعه و از عکس‌های هوایی و برنامه گوگل ارث برای تطبیق آن با طبیعت و تقسیم‌بندی آن به واحدهای هیدرولوژیکی استفاده گردید. همچنین اطلاعات و آمار مرتبط با مطالعات قبلی جمع‌آوری شد. نقشه‌های پایه نیز در محیط GIS<sup>۱</sup> تهیه شد که عبارت‌اند از نقشه زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش گیاهی، شیب دامنه، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی. سپس برای کنترل نقشه‌های پایه، بازدید میدانی از منطقه صورت گرفت و فاکتورهای لازم جهت برآورد فرسایش و رسوب در مدل MPSIAC از طریق مطالعات صحرائی امتیازدهی شدند (Khalili Vavdareh *et al.*, 2022; Daneshvar & Bagherzadeh, 2012;

در نهایت فرسایش و رسوب با استفاده از این مدل برآورد و نقشه فرسایش حوضه تهیه شد. هر حوزه آبخیز از تعدادی زیرحوضه تشکیل شده است که جهت بررسی و شناخت دقیق‌تر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه به مطالعه آن‌ها پرداخته می‌شود. این تقسیم‌بندی با توجه به موقعیت منابع آبی، موقعیت روستاها، شبکه هیدروگرافی، خطوط توپوگرافی، بازدیدهای صحرائی و در نهایت نظر تلفیق‌گر انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که برآورد کمیت سیلاب‌ها و جریان‌های سطحی در خروجی زیرحوضه‌ها از طریق اندازه‌گیری دبی و بار رسوبی خروجی صورت می‌گیرد. برخی از زیرحوضه‌ها به صورت غیرمستقل بوده و جریان تولیدشده در آن‌ها علاوه بر خود حوضه شامل حوضه‌های بالادست نیز است. در جدول شماره (۱) مشخصات زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز گلان ارائه شده است.

1. Geographic Information System

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

Table 1- characteristics of sub-watersheds in study area

حوضه	زیرحوضه	نوع زیرحوضه	محیط (km)	مساحت (km <sup>2</sup> )
گلان	G1	مستقل	15.9	8.33
	G2		11.49	5.6
	G3		19.38	18.51
	G4		11.01	5.61
	G5		18.52	10.53
	V1	وابسته	9.77	4.54
	V2		14.34	5.57
	V3		11.37	3.83
	V4		3.24	35.16
	کل حوضه	-	54.33	78.87

### مدل MPSIAC

از آنجایی که بهره‌گیری از محیط GIS باعث افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی فرسایش می‌گردد (Aksoy and Kavvas, 2005)، استفاده از مدل MPSIAC با توجه به لحاظ نمودن فاکتورهای بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برای برآورد فرسایش و رسوب در محیط GIS در نظر گرفته شد و همین امر باعث کاهش خطا در محاسبه میزان رسوب تولیدشده در منطقه نسبت به سایر روش‌ها می‌شود (Refahi, 2015). در مدل‌های تجربی که برای بررسی فرسایش و رسوب بکار گرفته می‌شوند سعی می‌شود رابطه معنی‌داری بین عوامل مؤثر در فرسایش و میزان فرسایش‌پذیری منطقه به دست آید. تمامی این مدل‌ها هرکدام در شرایط محلی خاصی تجربه شده‌اند، لذا قابلیت کاربردی وسیعی ندارند. به همین دلیل در این مطالعه سعی بر این است تا ضمن استفاده از این روش در حوزه آبخیز مورد بررسی، کلیه عوامل مؤثر در فرسایش خاک و پتانسیل رسوب‌دهی در مدل MPSIAC در تیپ‌های همگن و سپس واحدهای هیدرولوژیک و حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مدل MPSIAC، بیشترین و مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در محاسبات وارد می‌گردد و برای محاسبه مقدار رسوب تولیدی نیاز به ضریب خاص هیدرولوژیکی منطقه یا رسوب‌زایی نمی‌باشد. در این مدل، ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب برخلاف برخی مدل‌ها

نظیر FAO و B.L.M<sup>1</sup> با کمیت بیان می‌گردد که این امر مهم‌ترین عامل برای انتخاب این مدل است. برای استفاده از مدل MPSIAC در برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از واحدهای کاری و نهایتاً واحد هیدرولوژیک، نه عامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب برحسب شدت و ضعف آن‌ها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. نمره نهایی مربوط به عوامل فوق‌الذکر در هر یک از واحدهای کاری بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌زایی در آن واحد است. مدل پیشنهادی اولیه (PSIAC)، جهت هر فاکتور حدود تغییراتی را مشخص کرده است که تا حدودی انتخابی بوده و متناسب با فاکتور رسوب‌دهی نیاز به قضاوت کارشناسی دارد. در سال ۱۹۸۲ طی تحقیقی جانسون و گمبهارت (Johnson & Gembhart, 1982) فاکتورهای نه‌گانه این روش را به صورت معادلات عددی درآورده‌اند؛ بنابراین جهت برآورد فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه به روش MPSIAC باید نه فاکتور به طور جداگانه بررسی و بر اساس مجموع نمرات این فاکتورها، درجه رسوب‌دهی و با توجه به آن کلاس رسوب‌دهی مشخص گردد که به دنبال آن نقشه کلاس رسوب‌دهی در حوزه آبخیز و زیرحوضه‌های آن تهیه گردد. پس از تعیین درجه رسوب‌دهی با توجه به روابط ریاضی ارائه‌شده، میزان رسوب و فرسایش ویژه در هر واحد کاری مشخص خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروری است که مدل MPSIAC

مؤثر روابطی ارائه شده است که در جدول (۲) به این روابط اشاره شده است (Safamanesh *et al.*, 2006). سپس برای تعیین بار رسوبی در منطقه مورد مطالعه از آمار رسوب استفاده گردید. بدین ترتیب که پس از مشخص شدن گل‌آلودگی واحدهای هیدرولوژیکی و در نظر گرفتن تغییرات غلظت رسوب از جدول (۳) برای تعیین میزان درصد بار معلق و بار کف استفاده شد.

جدول ۲- معادلات مدل MPSIAC

Table 2- Equation of MPSIAC model

شماره رابطه	رابطه
1	$Y_1 = X_1$
2	$Y_1 = 16.67X_1$
3	$Y_2 = 0.2 X_2$
4	$Y_3 = 0.2X_3$
5	$Y_4 = 0.33X_4$
6	$Y_5 = 0.2X_5$
7	$Y_6 = 20-0.2X_6$
8	$Y_7 = 0.25X_7$
9	$Y_8 = 1.67X_8$

جدول ۳- رابطه بین بار کف و بار معلق با استفاده از روش مادوک (Mahdavi, 2006)

Table 3- Relation of bed load and suspended load using Maddock method (Mahdavi, 2006)

ردیف	غلظت رسوب معلق (ppm)	بافت مواد معلق	مواد بستر رودخانه	درصد بار کف نسبت به وزن مواد معلق
1	کمتر از 1000	ماسه	شن و ماسه	25-150
2	کمتر از 1000	درصد کم ماسه	سنگریزه، سنگ، رس	5-12
3	1000-7500	همانند مواد بستر	شن و ماسه	10-35
4	1000-7500	کمتر از 25 درصد ماسه	سنگریزه، سنگ، ماسه	5-12
5	بیشتر از 7500	همانند مواد بستر	شن و ماسه	5-15
6	بیشتر از 7500	کمتر از 25 درصد ماسه	سنگریزه، سنگ، رس	2-8

ضرب در ۰/۰۳ با دبی پیک سالانه ضرب در عدد ۵۰ است. رابطه (۵) برای تعیین امتیاز عامل توپوگرافی است که در آن  $Y_4 =$  امتیاز عامل توپوگرافی و  $X_4 =$  مقدار شیب برحسب درصد است که برای هر یک از واحدهای کاری به صورت شیب میانگین وزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۶) برای تعیین امتیاز عامل پوشش زمین است که در آن  $Y_5 =$  امتیاز عامل پوشش زمین و  $X_5 =$  درصد زمین لخت است که در منطقه مورد مطالعه بر اساس مطالعات پوشش گیاهی تعیین و سپس این عامل برآورد گردید. رابطه (۷) برای تعیین امتیاز عامل استفاده از زمین ارائه شده است که در آن  $Y_6 =$  امتیاز عامل استفاده از زمین و  $X_6 =$  درصد پوشش

میزان رسوب خروجی در هر واحد هیدرولوژیک را بررسی می‌نماید. فاکتورهای مورد ارزیابی که به عنوان ورودی مدل MPSIAC هستند عبارت‌اند از زمین‌شناسی سطحی (Surface geology)، خاک (Soil)، آب‌وهوا (Climate)، رواناب (Runoff)، توپوگرافی (Topography)، پوشش زمین (Ground cover)، استفاده از زمین (Land use)، فرسایش سطحی اراضی بالادست (Upland Erosion) و فرسایش آبراهه‌ای (Channel Erosion) و خروجی این مدل، میزان فرسایش و رسوب منطقه است.

جهت تهیه نقشه اشکال فرسایش در حوزه آبخیز در ابتدا با تفسیر عکس‌های هوایی منطقه، نقشه اولیه اشکال فرسایشی تهیه شد. سپس این نقشه با نقشه ژئومورفولوژی، حساسیت واحدهای سنگی و اجزاء اراضی حوزه آبخیز تلفیق و پلی‌گون‌های همگن استخراج و طی عملیات صحرایی اقدام به تکمیل فرم‌های BLM در هر یک از واحدهای همگن گردید. در مدل MPSIAC برای تعیین امتیاز عوامل

در جدول (۲) رابطه (۱) برای به دست آوردن امتیاز زمین‌شناسی سطحی استفاده می‌شود که در آن  $X_1 =$  عامل حساسیت سنگ به فرسایش و مقدار آن بین ۱۰-۰ است. رابطه (۲) برای به دست آوردن امتیاز خاک استفاده می‌شود که در آن  $Y_1 =$  امتیاز رسوب‌دهی خاک و  $X_1 =$  عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در فرمول جهانی فرسایش است. رابطه (۳) برای تعیین امتیاز عامل آب‌وهوا ارائه شده است که در آن  $Y_2 =$  امتیاز عامل آب‌وهوا و  $X_2 =$  ارتفاع بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله برحسب میلی‌متر است. رابطه (۴) برای تعیین امتیاز عامل رواناب است که در آن  $Y_3 =$  امتیاز عامل رواناب و  $X_3 =$  مجموع ارتفاع رواناب سالانه

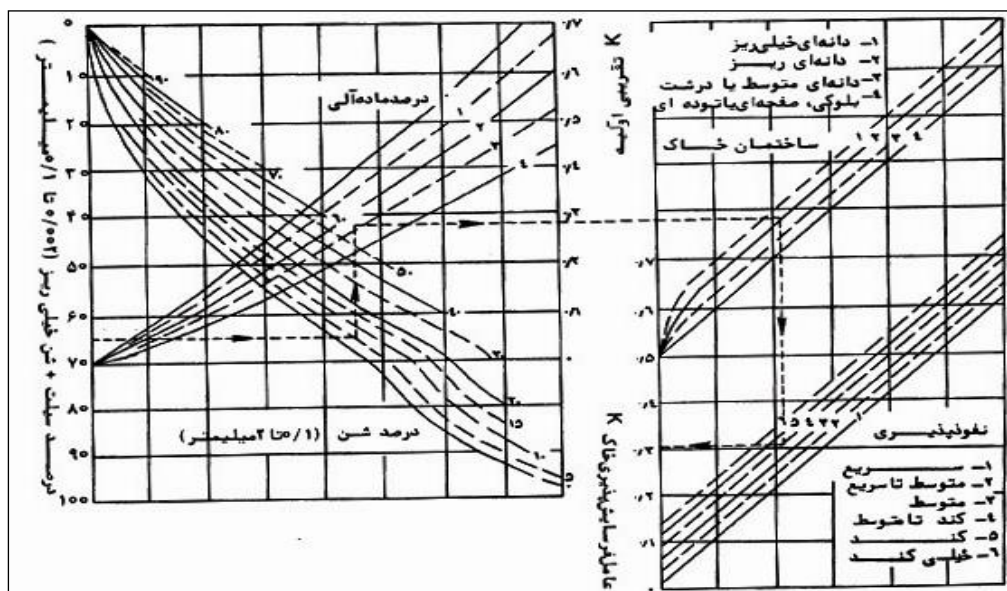
فرسایش‌پذیری) و گروه فرسایشی خیلی زیاد (سنگ‌های سست). با توجه به انطباق نقشه حساسیت سنگ‌ها بر روی نقشه زیرحوضه‌ها امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی برای کل منطقه ۶/۱۵ تعیین شده است (جدول ۴).

در منطقه مورد مطالعه نتایج حاصل از مطالعات خاکشناسی با لحاظ نمودن وضعیت خاک از نظر بافت، ساختمان، نفوذپذیری (گروه هیدرولوژیکی خاک) و مواد آلی تعیین گردید. لازم به ذکر است که برای تعیین درصد سیلت به علاوه شن خیلی ریز و درصد شن از تجزیه اندازه ذرات خاک برای تعیین بافت خاک، با این فرض که توزیع این ذرات به صورت یکنواخت و نرمال است، استفاده شده است. بدین ترتیب که درصد سیلت به علاوه شن خیلی ریز و درصد شن، به ترتیب پنج و پنجاه درصد مقدار شن به دست آمده از تجزیه‌های آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. ضریب فرسایش‌پذیری خاک، از روش‌های مختلفی به دست می‌آید که در این مطالعه از طریق نمودراف بین‌المللی به دست آمده است. شکل (۲) نمودراف تعیین ضریب فرسایش‌پذیری خاک منطقه بر اساس پنج فاکتور نفوذپذیری خاک، ساختمان خاک، مقدار ماده آلی، درصد شن (ذرات با قطر ۰/۰۵ - ۰/۰۰۲ میلی‌متر) و درصد سیلت (ذرات با قطر ۰/۰۵ - ۰/۱ میلی‌متر) را نشان می‌دهد.

گیاهی است که با توجه به نقشه پوشش گیاهی منطقه، درصد تاج پوشش گیاهی مشخص و سپس برای هر زیرحوضه و واحد هیدرولوژیک به تفکیک و به صورت وزنی عامل استفاده از زمین محاسبه و برآورد می‌شود. رابطه (۸) برای تعیین امتیاز فرسایش سطحی اراضی بالادست پس از تعیین فاکتور سطحی خاک برای هر واحد کاری استفاده می‌شود و در آن  $Y_7 =$  امتیاز عامل فرسایش سطحی خاک و  $X_7 =$  فاکتور سطحی خاک است که بر اساس روش BLM به دست می‌آید. رابطه (۹) برای تعیین عامل فرسایش آبراه‌های استفاده می‌شود که در آن  $Y_8 =$  امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های و  $X_8 =$  وضعیت فرسایش آبراه‌های است.

### نتایج

در منطقه گلان انواع خاصی از فرسایش ظهور و بروز دارد که نمایانگر تأثیر فاکتورهای مختلف با شدت و ضعف‌های متفاوت در کنار تأثیر عوامل انسانی است که در کل به دو دسته عوامل طبیعی و عوامل غیرطبیعی تشدیدکننده قابل تفکیک می‌باشند. سنگ‌های موجود در منطقه را می‌توان در پنج گروه فرسایشی تقسیم کرد: گروه فرسایشی خیلی کم (سنگ‌های خیلی مقاوم)، گروه فرسایشی کم (سنگ‌های مقاوم)، گروه فرسایشی متوسط (سنگ‌های نسبتاً فرسایش‌پذیر)، گروه فرسایشی زیاد (سنگ‌های



شکل ۲- نمودراف ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)

Figure 2- Nomograph of soil erodibility factor (K)

محاسبه گردید که خلاصه محاسبات در جدول (۵) ارائه شده است. طبق محاسبات انجام شده امتیاز عامل خاک برای

بدیهی است برای این منظور ابتدا مقدار K در هر یک از اجزاء واحد اراضی و سپس برای هر یک از زیرحوضه‌ها

عامل فرسایش سطحی خاک ۱/۸۱ (جدول ۱۱) و امتیاز عامل فرسایش آبراهه‌ای ۱۵/۴۱ (جدول ۱۲) تعیین گردید. لازم به ذکر است در تمام جداول اعداد تا دو رقم اعشار محاسبه شده‌اند.

کل حوزه آبخیز ۳/۷۱ تعیین گردید. در ادامه محاسبات انجام شده امتیاز عامل آب‌وهوا ۱۷/۸ (جدول ۶)، امتیاز عامل رواناب ۱۳/۰۱ (جدول ۷)، امتیاز عامل توپوگرافی ۱۰/۴۴ (جدول ۸)، امتیاز عامل پوشش زمین ۹/۶۲ (جدول ۹)، امتیاز عامل استفاده از زمین ۱۵/۶۷ (جدول ۱۰)، امتیاز

جدول ۴- امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 4- Score of surface geology factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
6.15	7.89	8.72	7.27	6.01	7.50	7.45	3.91	3.96	4.79	عامل زمین‌شناسی

جدول ۵- امتیاز عامل خاک در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 5- Score of soil factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
0.22	0.19	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.21	0.25	0.26	X <sub>1</sub>
3.71	2.24	3.56	3.88	3.89	3.94	4.01	3.43	4.12	4.39	Y <sub>1</sub>

جدول ۶- امتیاز عامل آب‌وهوا در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 6- Score of climate factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	X <sub>2</sub>
17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	Y <sub>2</sub>

جدول ۷- امتیاز عامل رواناب در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 7- Score of runoff factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
65.05	37.81	58.70	66.94	85.91	66.31	70.25	90.91	185.14	100.40	X <sub>3</sub>
13.01	7.56	11.74	13.39	17.18	13.26	14.05	18.18	37.03	20.08	Y <sub>3</sub>

جدول ۸- امتیاز عامل توپوگرافی در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 8- Score of topography factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
31.64	20.38	17.70	41.73	39.49	33.89	30.60	31.33	24.32	34.87	X <sub>4</sub>
10.44	6.73	5.84	13.77	13.03	11.18	10.10	10.34	8.03	11.51	Y <sub>4</sub>

جدول ۹- امتیاز عامل پوشش زمین در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 9- Score of land cover factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
48.10	69.00	66.80	58.64	64.65	60.00	65.60	29.30	48.05	31.95	X <sub>5</sub>
9.62	13.80	13.36	11.73	12.93	13.00	13.12	5.86	9.61	6.39	Y <sub>5</sub>

جدول ۱۰- امتیاز عامل استفاده از زمین در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 10- Score of land use factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
21.65	2.55	6.30	15.35	14.40	12.90	11.85	31.55	17.95	31.45	X <sub>6</sub>
15.67	19.49	18.74	16.93	17.12	17.42	17.63	13.69	16.41	13.71	Y <sub>6</sub>

جدول ۱۱- امتیاز عامل فرسایش سطحی خاک در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 11- Score of surface erosion factor in study area

زیرحوضه	G1	G2	G3	G4	G5	V1	V2	V3	V4	کل حوزه آبخیز
X <sub>7</sub>	8.33	5.60	18.51	5.61	10.53	4.54	5.57	3.83	16.35	7.25
Y <sub>7</sub>	2.08	1.40	4.63	1.40	2.63	1.13	1.39	0.96	4.09	1.81

جدول ۱۲- امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 12- Score of river erosion factor in study area

زیرحوضه	G1	G2	G3	G4	G5	V1	V2	V3	V4	کل حوزه آبخیز
X <sub>8</sub>	7	7	6	14	14	14	14	14	6	9.23
Y <sub>8</sub>	11.69	11.69	10.02	23.38	23.38	23.38	23.38	23.38	10.02	15.41

گرفته‌اند. جدول (۱۳) حساسیت واحدهای سنگی منطقه به فرسایش را نشان می‌دهد. حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر کلاس فرسایش و رسوب‌دهی با تولید رسوب ۵۴۱/۲۶ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال در کلاس زیاد واقع شده است.

حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی در قالب جدولی مرکب از ۵ رده فرسایش‌پذیری (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) و ۱۰ کد حساسیت نسبت به فرسایش (هر رده شامل ۲ کد) تقسیم گردید که واحدهای سنگی و رسوبی در ۴ رده حساسیت نسبت به فرسایش (کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) و ۷ کد (۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹ و ۱۰) جای

جدول ۱۳- راهنمای نقشه حساسیت نسبت به فرسایش در منطقه مورد مطالعه به روش MPSIAC

Table 13- The guide of soil erodibility map in study area by MPSIAC model

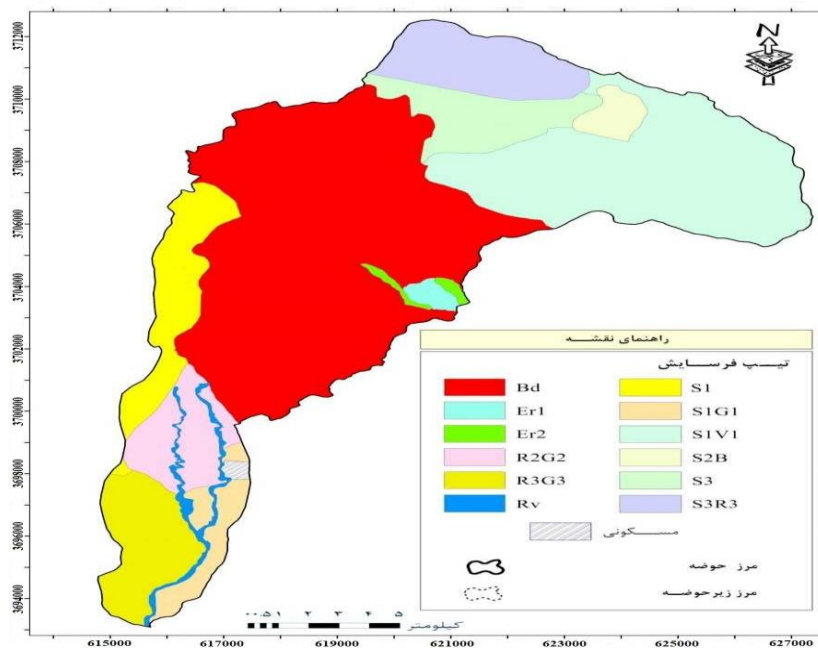
حساسیت به فرسایش	کد واحد	واحد سنگی	لیتولوژی
بسیار کم	1		-----
	2		-----
کم	3	Sv	سنگ آهک خاکستری تا سیاه توده‌ای تا نازک لایه چرت‌دار (سازند سروک)
	4	Il	سنگ آهک خاکستری تا سفیدرنگ متوسط تا نازک لایه و میان لایه‌های شیل (سازند ایلام)
متوسط	5	As-KL As	سنگ آهک نازک لایه تا توده‌ای کرم تا سفیدرنگ (سازند آسماری)
	6	Sg	شیل خاکستری تیره پیریت‌دار و لایه‌های سنگ آهک زردرنگ (سازند سروگاه)
زیاد	7	Aj, Aj-Lb	متشکل از مارن و ماسه‌سنگ (سازند آغاچاری)
	8	Q	رسوبات آبرفتی
بسیار زیاد	9	Pb, Pb-T Gu, Gu-S Gs	تناوب شیل خاکستری تا شیری و آهک مارنی و مارن (سازند پابده) تناوب شیل و آهک مارنی و مارن (سازند گورپی) ایندریت و مارن قرمز تا خاکستری (سازند گچساران)
	10	---	-----

سطحی ناچیز)، تیپ S3 (فرسایش سطحی شدید در دیم‌زارها)، تیپ S3R3 (فرسایش سطحی و شیاری شدید)، تیپ S1G1 (فرسایش سطحی کم در دیم‌زارها همراه با گالی‌های محدود)، تیپ S1V1 (فرسایش سطحی کم به همراه واریزه)، تیپ S2B (فرسایش سطحی کم به همراه واریزه)، تیپ R2G2 (تیپ فرسایش شیاری و گالی

با توجه به باز دیده‌های صحرایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه ۱۲ تیپ فرسایشی شناسایی و تفکیک گردید که عبارت‌اند از تیپ Er1 (تخریب شیمیایی همراه با هوازدگی مکانیکی محدود)، تیپ Er2 (تخریب شیمیایی و مکانیکی همراه با واریزه‌های مختلط)، تیپ Bd بدلند (تخریب مکانیکی شدید همراه با فرسایش شیاری و خندقی)، تیپ S1 (فرسایش

۱۴ ارائه شده است. همچنین میزان فرسایش ویژه (میزان فرسایش در واحد سطح که از تقسیم میزان فرسایش کل بر مساحت حوضه به دست می‌آید) و رسوب ویژه (میزان رسوب در واحد سطح که از تقسیم میزان رسوب کل بر مساحت حوضه به دست می‌آید) و میزان فرسایش و رسوب کل حوزه آبخیز مورد مطالعه به روش MPSIAC در جدول (۱۴) آورده شده است. اکثر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه دارای فرسایش شدید هستند. شکل (۴) شدت فرسایش در حوزه آبخیز گلان را نشان می‌دهد.

متوسط)، تیپ R3G3 (تیپ فرسایش شیاری و گالی شدید)، تیپ Rv (فرسایش کنار رودخانه‌ای محدود). شکل (۳) تیپ‌های مختلف فرسایش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است تیپ فرسایشی Bd بیشترین سطح و تیپ‌های فرسایشی Er1 و Er2 کمترین سطح از منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. نتایج برآورد میزان نسبت تحویل رسوب (SDR<sup>۱</sup>) که مبین میزانی از فرسایش است که به خروجی می‌رسد و از تقسیم میزان رسوب به فرسایش حاصل می‌گردد در جدول



شکل ۳- انواع تیپ‌های فرسایش در منطقه مورد مطالعه

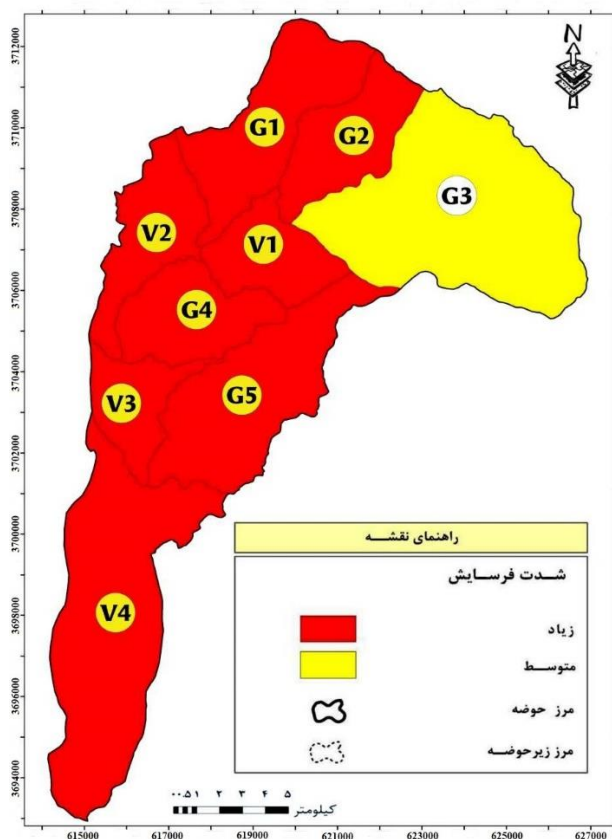
Figure 3- Erosion types in study area

جدول ۱۴- میزان SDR، فرسایش ویژه و رسوب ویژه به استفاده از مدل MPSIAC

Table 14- SDR, specific erosion and sediment by MPSIAC model

فرسایش کل (ton/y)	فرسایش ویژه (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /y)	SDR (%)	رسوب کل (ton/y)	رسوب‌دهی ویژه (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /y)	واحد هیدرولوژیکی
12713.27	1016.88	51	6483.77	518.61	G1
15775.93	1879.21	52	8203.48	977.19	G2
25439.82	916.17	48	12211.11	439.76	G3
15191.88	1805.82	52	7899.78	939.03	G4
30961.2	1960.09	50	15480.6	980.05	G5
13705.46	2012.71	53	7263.89	1066.73	V1
15435.47	1846.05	52	8026.44	959.95	V2
8387.11	1460.94	54	4529.4	788.91	V3
24803.09	1011.34	48	11905.48	485.44	V4
152467.13	1288.71	42	64036.2	541.26	کل حوزه آبخیز

## 1. Sediment Delivery Ratio



شکل ۴- نقشه شدت فرسایش در منطقه مورد مطالعه

Figure 4- Erosion intensity map of study area

### بحث و نتیجه‌گیری

است و فرسایش انحلالی آهک‌های توده‌ای در آن به چشم می‌خورد؛ بنابراین به دلیل عدم وجود خاک سطحی در این تیپ فرسایشی، فرسایش خاک در آن اهمیتی نداشته و صرفاً به خاطر هوازگی مکانیکی است که شواهد آن بسیار محدود است. در تیپ Er2 تخریب شیمیایی (انحلال آهک) به همراه تخریب مکانیکی نسبتاً شدید بخصوص در قسمت‌های برون‌زدگی سنگی آن قابل مشاهده است که منجر به تولید واریزه‌های ریز تا درشت شده است. در تیپ فرسایشی Bd، علاوه بر تخریب مکانیکی شدید که در قسمت‌های برون‌زدگی سنگی مناطق مرتفع‌تر فعال است و منجر به بروز واریزه‌های سنگی فراوان در سطح این تیپ شده، در قسمت‌های پایین‌تر دامنه‌ها فرسایش سطحی و شیاری نیز به وقوع پیوسته که شدت آن‌ها نسبتاً زیاد است. تیپ S1 دارای فرسایش سطحی ناچیز است و این تیپ فرسایشی غالباً در اراضی زراعی با شیب بسیار کم دیده می‌شود که اغلب تحت کشت گندم و جو بوده و فرسایش بسیار کمی در آن اتفاق می‌افتد. تیپ S3 دارای فرسایش سطحی شدید در دیمزارها است. این تیپ فرسایشی

در حوزه مورد مطالعه بیش‌ترین امتیاز مرتبط با عامل آب‌وهوا (۱۷/۸) و کم‌ترین امتیاز مرتبط با عامل فرسایش سطحی خاک (۱/۸۱) است. از نظر شدت فرسایش، در منطقه فرسایش متوسط تا زیاد وجود دارد. قسمتی از حوزه که دارای فرسایش‌پذیری متوسط است شامل واحدهای سنگی‌ای است که به لحاظ ترکیب لیتولوژیکی و کانیایی حالت حد واسطی دارند و میزان درز و شکاف آن‌ها نیز متعادل است. از میان واحدهای سنگی موجود در حوزه سازند آسماری، آسماری کلهر و سورگاه در این مجموعه واقع می‌گردند. مناطق با فرسایش‌پذیری زیاد نیز دارای واحدهای لیتولوژیک نامقاوم و دارای درز و شکاف فراوان هستند و معمولاً سنگ‌های این مجموعه از خاصیت انحلال‌پذیری بالایی برخوردارند. از میان واحدهای سنگی موجود در حوزه سازندهای آبرفت، پابده، پابده تله زنگ، آغاچاری، آغاچاری لهری در این مجموعه قرار می‌گیرند. از بین تیپ‌های فرسایشی منطقه مورد مطالعه، تیپ Er1 دارای تخریب شیمیایی همراه با هوازگی مکانیکی محدود

نشان‌دهنده مناطقی است که کشت دیم در اراضی با شیب بالا انجام گرفته و غالباً شخم اراضی در جهت شیب صورت گرفته است. تیپ S3R3 دارای فرسایش سطحی و شیاری شدید است و این تیپ فرسایش در شمال حوضه و بر روی سازندهای سروک و سورگاه واقع شده است. به دلیل شیب بالای این اراضی و حساسیت زیاد خاک سطحی، شدت فرسایش سطحی و شیاری در آن بالا است. تیپ S1G1 دارای فرسایش سطحی کم در دیمزارها همراه با گالی‌های محدود است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های جنوبی حوضه و غالباً در اراضی کم شیب رخ داده و به همین دلیل شدت فرسایش سطحی در آن‌ها کم است ولی به دلیل خصوصیات خاک این اراضی، تعداد محدودی گالی نیز در آن‌ها به وجود آمده‌اند. تیپ S1V1 دارای فرسایش سطحی کم به همراه واریزه است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های شمال‌شرقی حوضه و غالباً بر روی سازند ایلام واقع شده است. در این تیپ، واریزه‌های ریز به دلیل فرسایش مکانیکی و نوع سازند به وجود می‌آیند. تیپ S2B دارای فرسایش سطحی کم به همراه واریزه است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های شمال حوضه و بر روی سازند ایلام واقع شده است. در این تیپ فرسایش سطحی متوسط به همراه واریزه‌های بلوکی وجود دارند. تیپ R2G2 دارای فرسایش شیاری و گالی متوسط است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های جنوبی حوضه و در مجاورت روستای گلان و بر روی سازند کواترنر واقع گردیده است، شدت فرسایش شیاری در آن‌ها متوسط است و به دلیل خصوصیات خاک این اراضی، تعدادی گالی نیز در آن‌ها به وجود آمده‌اند. تیپ R3G3 که دارای فرسایش شیاری و گالی شدید است در قسمت‌های جنوبی حوضه و بر روی سازندهای آغاچاری و لهری واقع شده و به همین دلیل شدت فرسایش شیاری و گالی در آن‌ها شدید است. تیپ Rv دارای فرسایش کنار رودخانه‌ای محدود است. این تیپ فرسایشی در مناطقی که میزان دبی رودخانه زیاد می‌گردد، مخصوصاً در مواقع سیلابی و در هنگام عبور از مصالح حساس به زیرشویی اتفاق می‌افتد. این تیپ فرسایشی، حاشیه‌های رودخانه اصلی داخل حوضه را پوشش می‌دهد.

با توجه به نتایج این تحقیق مهم‌ترین عواملی که در حوزه آبخیز مورد مطالعه منجر به فرسایش می‌شوند عبارت‌اند از:

- ۱- خاک منطقه که کمبود مواد آلی آن از عوامل عمده فرسایش‌پذیری خاک است.
- ۲- بافت خاک حوضه که با توجه به بررسی انجام گرفته دارای فرسایش‌پذیری زیادی است.
- ۳- چرای مفرط مراتع منطقه با توجه به اینکه بیش از ۹۰٪ منطقه از اراضی مرتعی کم تراکم تشکیل شده است.
- ۴- تبدیل اراضی مرتعی به زراعت دیم بدون رعایت اصول حفاظت خاک.

یکی از مسائل مهم و برنامه‌های پیشنهادی برای کنترل فرسایش خاک در منطقه، رعایت کاربری اراضی بر اساس قابلیت آن‌ها و همچنین اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در اراضی کشاورزی است (Durán Zuazo & Rodríguez, 2008; Pleguezuelo, 2008). از طرف دیگر یکی از عوامل اثرگذار بر فرسایش، پایداری خاک‌دانه‌ها است که با استفاده

با شناخت عوامل تأثیرگذار بر فرسایش می‌توان جهت کنترل فرسایش تدابیری اندیشید (Das et al., 2023; )

سرزمین منطقه انجام داد و میزان فرسایش را کاهش داد (Ebabu, 2022).

از فنونی می‌توان این پایداری خاکدانه‌ها را ارزیابی کرده و جهت پیش‌تر شدن پایداری خاکدانه‌ها اقداماتی از قبیل رعایت الگوی کشت و تناسب اراضی مطابق با طرح آمایش

## References

- Abdullah, M., Feagin, R. & Musawi, L. (2017). The use of spatial empirical models to estimate soil erosion in arid ecosystems. *Environ. Monit. Assess.* 189(2), 78.
- Aksoy, H. & Kavvas M. L. (2005). A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64, 247–271.
- Barthes, B. & Roose, E. (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion validation at several levels. *Catena*, 47, 133-149.
- Borrelli, P., Alewell, Ch., Alvarez, P., Alexandre, J., Anache, A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A.M., Gessesse, G.D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Freppaz, M., Gentile, F., Gericke, A., Haregeweyn, N., Hu, B., Jeanneau, A., Kaffas, K., Kiani-Harchegani, M., Villuendas, I.L., Li, Ch., Lombardo, L., López-Vicente, M., Lucas-Borja, M.E., Märker, M., Matthews, F., Miao, Ch., Mikoš, M., Modugno, S., Möller, M., Naipal, V., Nearing, M., Owusu, S., Panday, D., Patault, E., Patriche, C.V., Poggio, L., Portes, R., Quijano, L., Rahdari, M.R., Renima, M., Ricci, G.F., Rodrigo-Comino, J., Saia, S., Nazari Samani, A.A., Schillaci, C., Syrris, V., Kim, H.S., Spinola, D.N., Oliveira, P.T., Teng, H., Thapa, R., Vantas, K., Vieira, D., Yang, J.E., Yin, Sh., Zema, D.A., Zhao, G., & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis, *Science of The Total Environment*, 780, 146494, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494.
- Bronick, C.J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124 (1), 3-22.
- Casabella-González, M.J., Borselli, L. & García-Meza, J.V. (2023). Improved MPSIAC model for soil erosion rate assessment in semiarid zones, *Journal of Arid Environments*, 212, 104946, doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104946.
- Chakherlou, S., Jafarzadeh, A., Ahmadi, A., Feizizadeh, B. & Shahbazi, F. (2021). Soil Wind Erodibility Zonation of the Urmia Lake Eastern shores. *Water and Soil Science*, 31(3), 1-14. doi: 10.22034/ws.2021.12189. (In Persian).
- Chen, S., Zhu, S., Wen, X., Shao, H., He, C., Qi, J., Lv, L., Han, L. & Liu, S. (2023). Mapping Potential Soil Water Erosion and Flood Hazard Zones in the Yarlung Tsangpo River Basin, China. *Atmosphere*. 14(1), 49. <https://doi.org/10.3390/atmos14010049>.
- Daneshvar, M.R.M. & Bagherzadeh, A. (2012). Evaluation of sediment yield in PSIAC and MPSIAC models by using GIS at Toroq Watershed, Northeast of Iran. *Front. Earth Sci.* 6, 83–94. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0189-7>
- Das, S., Sangode, S.J., Kandekar, A.M., Meshram, D.C. & Tarolli, P. (2023). Interrelation between factors controlling sediment yield in the largest catchment of Peninsular India. *Journal of Hydrology*, 622, Part B, 129680. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129680.
- Demirci, A. & Karaburun, A. (2012). Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed. *northwest Turkey, Environmental Earth Sciences*, 66(3), 903-913.
- Durán Zuazo, V.H. & Rodríguez Pleguezuelo, C.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 65–86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>.
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Adgo, E., Fenta, A.A., Meshesha, D.T., Berihun, M.L., Sultan, D., Vanmaercke, M., Panagos, P., Borrelli, P., Langendoen, E.J. & Poesen, J. (2022). Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International*

- Soil and Water Conservation Research*. 10(2), 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002>.
- FAO & ITPS. (2015). Status of the world's soil resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Haseli, M. & Jalalian, H. (2015). "Soil Erosion Risk Assessment and Zoning in the Aleshtar". *Catchment Spatial Analysis of Risks Journal*. 1(4), 91-104. (In Persian).
- Jarrah, M. Mayel, S. Tatarko, J. Funk, R. & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *Catena*, 187.
- Jenny, J.P., Koirala, S., Gregory-Eaves, I., Francus, P., Niemann, C., Ahrens, B., Brovkin, V., Baud, A., Ojala, A.E.K., Normandeau, A., Zolitschka, B. & Carvalhais, N. (2019). Human and climate global-scale imprint on sediment transfer during the Holocene. *Environmental Sciences*, 116(46), 22972-22976. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1908179116>
- Johnson, N.W. & Gembhart, C. (1982). Predicting sediment yield from sagerbrush range lands. *USDA-SEA-ARM western series*. No.26.
- Khalili Vavdareh, S., Shahnazari, A. & Sarraf, A. (2022). Investigating Anzali Wetland Sediment Estimation Using the MPSIAC Model. *Front. Earth Sci*. 10:736125. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.736125>
- Khanifar, J. Khadim al-Rasul, A.S. & Amirikhah, H. (2019). Modeling the stability of soil grains as an indicator of soil erodibility using geomorphometric parameters. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 43(1), 48-59. (In Persian).
- Mahdavi, M. (2006). Introduction to Hydrology. *Elm va Adab Publishers, Tehran, Iran*. (In Persian).
- Noori H., Karami H., Farzin S., Siadatmousavi. S.M., Mojaradi B. & Kisi O. (2018). Investigation of RS and GIS techniques on MPSIAC model to estimate soil erosion. *Nat. Hazard.*, 91(1), 221–238. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3123-9>.
- Novara, A., Pisciotta, A., Minacapilli M., Maltese, A., Capodici F., Cerdà A. & Gristina, L. (2018). The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor. A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches. *Science of the Total Environment*, 622, 474-480.
- Plieninger, T. (2008). Running Out of Soil, *BioScience*, 58(4), 363–364. <https://doi.org/10.1641/B580417>
- Refahi H.G. (2015). Water erosion and conservation. *Tehran: University of Tehran Publication* (In Persian).
- Safamanesh, R., Sulaiman, W.N.A. & Ramli, M.F. (2006). Erosion Risk Assessment using an Empirical Model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed, Iran. *Journal of Spatial Hydrology*, 6, 105-120.
- Sima, R.J. (2019). A dirty truth: Humans began accelerating soil erosion 4,000 years ago. *Eos*, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO137634>.
- Tabarestani, E.S., Afzalimehr, H. & Sui, J. (2022). Assessment of Annual Erosion and Sediment Yield Using Empirical Methods and Validating with Field Measurements. A Case Study. *Water*, 14, 1602. <https://doi.org/10.3390/w14101602>
- Yaghubnezhad ASL, N. & Abedini, M. (2018). Assessment and Zoning of the Soil Erosion Risk in Balekhli River Watershed of Yamci dam, Using Fuzzy Model. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 137-155.
- Zangane asadi, M.A. taghavi Moghadam. E. & beramali, F. (2019). Evaluating and estimating the risk of erosion and sediment in Karaj basin using morphometric and experimental methods. *Environmental Erosion Research*, 33(9:1), 105-125.
- Zarei, A.R., Mokarram M. & Shabani A. (2019). Evaluation of sediment yield (Qs) in Bishezard watershed located southwest of Iran, using PSIAC and MPSIAC models. *Int. J. Global Environ*. 18(1), 1-23.
- Zhao, L. & Hou, R. (2019). Human causes of soil loss in rural karst environments: a case study of Guizhou, China. *Sci Rep*, 9, 3225. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35808-3>.

## The Impact of Warm-Up Period Length of Hydrological Models on Runoff Simulation

Sharareh Rashidi Sheykhteymoor, Shahram Khalighi Sigaroudi\*, Alireza Moghaddamia, Khaled Ahmadauli

Department of Arid and Mountainous Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

\* Corresponding author: khalighi@ut.ac.ir

(Received: 11 July 2023

Revised: 12 August 2023

Accepted: 03 September 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Hydrological modeling is an essential tool in water resources management, and its accuracy and reliability are critical to successful design, planning, and decision-making processes. Calibration and validation are two essential processes used to evaluate the performance of hydrological models. The warm-up period is a crucial component of hydrological modeling that allows the model to reach an equilibrium state by representing the initial system conditions accurately. This study aimed to investigate the impact of the length of the warm-up period on the performance of four different hydrological models, namely AWBM, Sacramento, SimHyd, and TANK, in the Kashkan watershed. The study used different optimization methods in the RRL software package during the calibration and validation periods. The proposed warm-up periods of 5%, 7%, and 10% of the initial data length were used without considering drought and wet conditions. The findings of this study provide valuable insights into the impact of the warm-up period on hydrological modeling performance. The study showed that the length of the warm-up period does have a significant impact on model performance, with the best results obtained when the warm-up period was set to 5% or 7% of the initial data length. These findings have important implications for the design and implementation of hydrological models, as they highlight the importance of carefully selecting the warm-up period length to ensure accurate and reliable modeling results. Overall, this study adds to the body of knowledge on hydrological modeling and provides useful guidance for future research and practical applications.

**Materials and methods:** The Kashkan River watershed, with an area of over 9,000 hectares, was selected as the study area for this research. The Kashkan River is an important sub-watershed of the Karkheh River watershed, and daily rainfall, potential evapotranspiration, and potential evapotranspiration for the Kashkan watershed were used in this study, with a statistical period of 29 years (1988-2018). Since the rainfall-runoff process was investigated for the entire watershed, the Thiessen polygon method was used to obtain the weighted average of rainfall and evapotranspiration for the entire study area. Additionally, the Hargreaves-Samani (H-S) method was used to obtain potential evapotranspiration data.

The data used in this study were divided into two parts, training and testing, based on trial and error and a review of sources. The training data accounted for 70% of the total data, while the remaining 30% was used for testing. The AWBM, Sacramento, SimHyd, and TANK models in the RRL software package were investigated, along with seven optimization methods using the Nash-Sutcliffe objective function.

The findings of this study provide insights into the application of different hydrological models and optimization methods in the Kashkan River watershed. The study highlights the importance of accurately representing initial system conditions during modeling and the impact of the length of the warm-up period on model performance. These findings have important implications for water resource management, particularly in the design and implementation of hydrological models for the Kashkan River watershed and other similar regions.

**Results and Discussion:** This study examined the influence of different durations for the warm-up period on the calibration and validation of RRL software package models. Seven optimization methods and the Nash-Sutcliffe criterion were utilized in the analysis. Specifically, the warm-up phase of the software, which constitutes the initial segment of the statistical period, was investigated during the calibration and validation processes. Durations of 5%, 7%, and 10% were selected from the onset of the statistical period. The study involved conducting over 4000 iterations for all the examined models and optimizers. Given the characteristics of the optimizers, up to 5 iterations were performed for each optimizer in each model. The resulting average NSE value (Nash-Sutcliffe Efficiency) was analyzed and examined. The findings indicate that, on average, configuring the warm-up period to account for 5% and 7% of the complete dataset in the calibration and validation processes enhances the efficiency of the model compared to the recommended period suggested by the software. However, it is important to note that the outcomes may vary depending on the specific problem and prevailing conditions. Therefore, these results should be interpreted cautiously and in conjunction with other factors. Overall, this study offers a practical guideline for selecting an appropriate warm-up duration in the calibration and validation of RRL software package models.

**Keywords:** Rainfall-Runoff, Hydrological Models, RRL, Warm-Up

Citation: Rashidi Sheykhteymoor, S., Khalighi sigaroodi, S., Moghaddamia, A., & Ahmadauli, K. (2023). The Impact of Warm-Up Period Length of Hydrological Models on Runoff Simulation. *Integrated Watershed Management*, 3(3), 16-34. doi: 10.22034/iwm.2023.2006721.1091

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## تأثیر طول بازه گرم کردن مدل‌های هیدرولوژیک در شبیه‌سازی رواناب

شراره رشیدی شیخ تیمور، شهرام خلیقی سیگارودی\*، علیرضا مقدم نیا، خالد احمدالی

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

\*نویسنده مسئول: khalighi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

### چکیده

تخمین مؤلفه‌های چرخه آب در طبیعت از اهمیت زیادی برخوردار است که مدل‌سازی فرآیند ابزار مربوط به آن است. در مدل‌های هیدرولوژیک، دوره گرم کردن (Warm-Up) به دوره اولیه شبیه‌سازی اطلاق می‌شود که قبل از تحلیل یا دوره پیش‌بینی اصلی انجام می‌شود. به عبارت دیگر بخشی از داده‌ها به‌طور معمول قبل از استفاده در مدل، در دوره گرم کردن قرار می‌گیرند تا خطاهای مربوط به شرایط اولیه و نقص مدل کمتر شوند. در این تحقیق، تأثیر طول دوره آماده‌سازی مدل بر عملکرد آن، در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی توسط بهینه‌سازهای مختلف در نرم‌افزار RRL با مدل‌های AWBM, Sacramento, SimHyd و TANK در حوزه آبخیز کشکان مورد بررسی قرار گرفت. در این ارزیابی از دوره‌های گرم کردن ۵، ۷ و ۱۰ درصد ابتدای طول داده‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط خشک‌سالی و ترسالی دوره و مقدار پیشنهادی نرم‌افزار (۱/۲ درصد کل داده‌ها) استفاده شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی، در مدل‌ها و بهینه‌سازهای مختلف، انتخاب ۵ و ۷ درصد از کل طول داده‌ها در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، موجب بهبود کارایی مدل نسبت به میزان پیشنهادی نرم‌افزار می‌گردد. به نظر می‌رسد علت اینکه دوره‌های طولانی‌تر آماده‌سازی باعث کاهش دقت عملکرد مدل می‌گردد این است که به همان میزان از طول دوره واسنجی و صحت‌سنجی کاسته می‌شود. از طرف دیگر بر اساس معیار ارزیابی نش ساتکلیف بهترین مدل برای شبیه‌سازی رواناب در این حوضه مدل SimHyd با روش بهینه‌ساز روزنبروک (واسنجی: ۰/۵۷۲ و صحت‌سنجی: ۰/۵۴۴) است. نتایج این تحقیق گام مهمی برای بررسی یکی از منابع عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژیک بسته RRL است که می‌تواند به کاربران این نرم‌افزار کمک شایانی کند.

واژه‌های کلیدی: بارش-رواناب، مدل‌های هیدرولوژیک، RRL، Warm-Up

استناد: رشیدی شیخ تیمور، ش.، خلیقی سیگارودی، ش.، مقدم نیا، ع. ر. و احمدآلی، خ. (۱۴۰۲). تأثیر طول بازه گرم کردن مدل‌های هیدرولوژیک در شبیه‌سازی رواناب. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۳۴-۱۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

مدل‌های بارش-رواناب به‌طور وسیع و گسترده‌ای در پیش‌بینی جریان‌های رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. عملکرد این مدل‌ها به‌طور کامل به ساختار مدل، مقادیر پارامترها و شرایط اولیه بستگی دارد (Shahrban *et al.*, 2018). مدل‌های هیدرولوژیک موجود برای پیش‌بینی جریان، از مدل‌های ساده مفهومی تا مدل‌های توزیعی و فیزیکی دسته‌بندی شده‌اند. مدل‌های مفهومی که نمایش ساده شده‌ای از فرآیندهای فیزیکی چرخه هیدرولوژیک را شامل می‌گردند، به خوبی می‌توانند فرایند بارش رواناب را شبیه‌سازی کنند (Aubert *et al.*, 2003). شبیه‌سازی رواناب در مقیاس حوزه آبخیز برای درک بهتر چرخه هیدرولوژیک و شناسایی اطلاعات ضروری برای مدیریت حوزه آبخیز امری بسیار مهم و اساسی است (Carlos Mendoza, *et al.*, 2021). مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری RRL<sup>۱</sup> از مجموعه نرم‌افزارهای eWater با هدف انتخاب مدل مناسب بر شبیه‌سازی رویدادهای جریان‌های حدی و غیر حدی روزانه و تغییرات زمان بر جریان استفاده می‌شوند. محققان بسیار در سراسر جهان به بررسی این مدل‌ها در حوضه‌های مختلف پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال Vidyarthi و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی مدل‌های نیمه‌توزیعی اختصاصاً RRL و مدل Lump با داده‌های بارش، رواناب و دما در حوضه‌های مختلف به این نتیجه دست یافتند که ادغام ویژگی‌های فیزیوگرافی از مهم‌ترین جنبه‌های توسعه مدل‌های نیمه‌توزیعی است و همچنین نشان دادند مدل‌های نیمه‌توزیعی بهتر از مدل‌های Lump عمل می‌کنند.

Trivedi و همکاران (۲۰۲۰) در حوزه آبخیز رودخانه شیپرا با چهار زیرحوضه به بررسی و ارزیابی مدل AWBM<sup>۲</sup> در بسته نرم‌افزاری RRL با معیارهای ضریب همبستگی، ضریب تعیین، مجذور مربعات خطا

و نش-ساتکلیف<sup>۳</sup> پرداختند که در این ارزیابی ضریب نش در دوره واسنجی ۸۲/۳۰ درصد و در دوره صحت‌سنجی ۶۴/۵۷ درصد گزارش شده است که حاکی از شبیه‌سازی و عملکرد خوب این مدل در حوضه مذکور است.

Sheikh Godarzi و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی با هدف مقایسه عملکرد مدل‌های TANK, AWBM و SimHyd<sup>۴</sup> در شبیه‌سازی جریان دبی حوزه آبخیز بابلرود واقع در استان مازندران با کاربرد الگوریتم ژنتیک و توابع هدف نش-ساتکلیف، مجذور مربعات خطا، به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده سطح خطا و آستانه‌های توقف شبیه‌سازی بکار گرفته شد و نتایج نشان داد که به‌جز مدل TANK مدل‌های مذکور پس از انجام تست‌های مقدماتی در شرایط متفاوت اقلیمی کشور می‌توانند به‌عنوان شبیه‌سازهایی قابل قبول جهت مدیریت منابع آبی خصوصاً در حوضه‌های فاقد اطلاعات آماری مورد استفاده قرار گیرند.

علاوه بر واسنجی مدل، اعتبارسنجی یک روش استاندارد برای تست عملکرد مدل با داده‌های پردازش نشده است (Andréassian *et al.*, 2009). جهت به حداقل رساندن تفاوت بین داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر شبیه‌سازی شده از توابع میانگین مربعات خطا (RMSE) و کارایی نش-ساتکلیف (NSE) استفاده می‌شود. همچنین در برخی مدل‌ها بخشی از داده‌ها به‌عنوان دوره گرم کردن مدل (Warm-Up) در نظر گرفته می‌شوند که به بهبود مقادیر توابع ذکرشده تأثیر می‌گذارد. گرم کردن مدل یک فرایند تنظیم مدل به حالت بهینه است به‌عبارت‌دیگر این دوره سبب می‌شود پارامترها از شرایط اولیه تخمین زده شده به سمت حالت بهینه حرکت کنند (Kim *et al.*, 2018). مطالعات متعددی تأثیر دوره گرم کردن مدل‌ها را بررسی کرده‌اند (Cosgrove *et al.*, 2003; De Gooijer & Hyndman, 2006; Yang *et al.*, 1995) با این حال رفتار گرم کردن مدل‌های

3. Nash-Sutcliffe

4. Simulation of Hydrology using Digital Computer

1. Rainfall-Runoff Library

2. Australian Water Balance Model

عدم تغییرپذیری داده‌های مشاهده‌ای می‌دانند. آن‌ها کوتاه کردن دوره گرم کردن و ترکیب آنالیز عدم قطعیت را برای بهبود عملکرد مدل پیشنهاد کردند. Mein و همکاران (۲۰۱۳) نیز در استرالیا به نتایج مشابه با نتایج García-Sanabria و همکاران (۲۰۱۶) دست یافتند.

Akkouche-Tabi و همکاران (۲۰۱۸) در الجزایر با اجرای مدل HVB و تأثیر طول دوره گرم کردن در بهبود عملکرد مدل به این نتیجه رسیدند با افزایش طول دوره گرم کردن عملکرد مدل کاهش می‌یابد و برای بهبود عملکرد مدل استفاده از دوره‌های متعدد واسنجی و اعتبارسنجی پیشنهاد کردند.

Kim و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه بر روی دوره گرم کردن در مدل HYMOD و IHACRES در جنوب غربی انگلستان به این نتیجه رسیدند که هم رطوبت اولیه و هم مقدار بارندگی بر زمان موردنیاز برای گرم کردن مدل HYMOD تأثیرگذار بود و در شرایطی که رطوبت اولیه اشباع باشد زمان کمتری برای گرم کردن نیاز است، در صورتی که این شرایط در IHACRES متفاوت است و شرایط اولیه مرطوب یا خشک تأثیر کمی بر دوره گرم کردن داشته؛ و در نمونه‌های دیگر از مطالعات که بر تأثیر وزن برف بهبود نسبی شبیه‌سازی توسط Sleziak و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تغییر در وزن برف بیشترین تأثیر در بهبود شبیه‌سازی مدل را در پی دارد. همچنین Li و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل SimHyd و روش بهینه‌ساز ازدحام ذرات (PSO) به ارزیابی اثر طول دوره واسنجی بر عملکرد مدل در حوضه‌هایی با داده محدود به این نتیجه رسیدند که لزوماً سری داده‌های طولانی و اسنجی منجر به بهبود عملکرد مدل نمی‌شود. آن‌ها همچنین نشان دادند اکثر حوضه‌های مرطوب در صورتی که دوره واسنجی کمتری داشته باشند به بهبود عملکرد مدل تأثیر بیشتری می‌گذارند. Merz و

هیدرولوژیک به‌طور کامل موردبررسی قرار نگرفته و در مورد معیار ارزیابی دوره گرم کردن و روش بهینه آن اجماع وجود ندارد (Shrestha & Houser, 2010; Yang et al., 1995). به‌گونه‌ای که Heo و Kim (۲۰۱۸) در تحقیقی مبنی بر تأثیر دوره گرم کردن در مدل‌های هیدرولوژیک به این نتیجه رسیدند که دوره گرم کردن یک جزء مهم در واسنجی است و اجازه می‌دهد مدل به تعادل برسد. آن‌ها با بررسی اثر دوره‌های گرم کردن با استفاده از ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) به این نتیجه رسیدند دوره‌های طولانی گرم کردن منجر به بهبود عملکرد واسنجی می‌شود باین‌حال مدت‌زمان بهینه دوره آماده‌سازی بسته به هدف واسنجی و ویژگی‌های حوضه متفاوت است.

Duan و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند دوره گرم کردن بخش ضروری مدل‌سازی هیدرولوژی است که به‌طور قابل‌توجهی بر دقت و قابلیت اطمینان نتایج مدل‌سازی اثر می‌گذارد. آن‌ها پیشنهادی مبنی بر ترکیب تجزیه تحلیل آماری و تحلیل حساسیت برای ارزیابی عملکرد مدل ارائه دادند که با این پیشنهاد می‌توان با کاهش طول دوره گرم کردن مدل را در حالت پایدار قرار داد و نتایج حاصله از مدل‌سازی صحت و دقت قابل‌قبول داشته باشند. Xue و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر دوره گرم کردن در دو بخش واسنجی و صحت‌سنجی مدل در حوزه رودخانه قرمز به این نتیجه رسیدند که هرچند طولانی کردن دوره گرم کردن منجر به بهبود نتایج می‌شود اما طول دوره گرم کردن بستگی به هدف و ویژگی حوضه مورد مطالعه دارد.

García-Sanabria و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی اثر دوره گرم کردن بر واسنجی مدل SWAT در اسپانیا نشان دادند طولانی‌تر شدن دوره گرم کردن منجر به عملکرد ضعیف مدل می‌گردد و علت آن را تناسب بیش‌ازحد مدل با داده‌های دوره گرم کردن و در نتیجه

هفت روش بهینه‌سازی در مدل‌های AWBM، Sacramento، SimHyd و TANK مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های بسته نرم‌افزاری RRL با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی و زمان کم، می‌توانند نتایج مناسبی را در شبیه‌سازی بارش-رواناب ارائه دهند (Kim et al., 2005). این مدل‌ها با مجموعه برنامه‌های بارش رواناب توسط CRC برای هیدرولوژی حوضه (CRCCH<sup>1</sup>) توسعه یافته است. حوزه آبخیز کشکان در سال‌های اخیر شاهد سیل‌های ویرانگری بوده است. لذا به لحاظ پیش‌بینی بارش و رواناب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

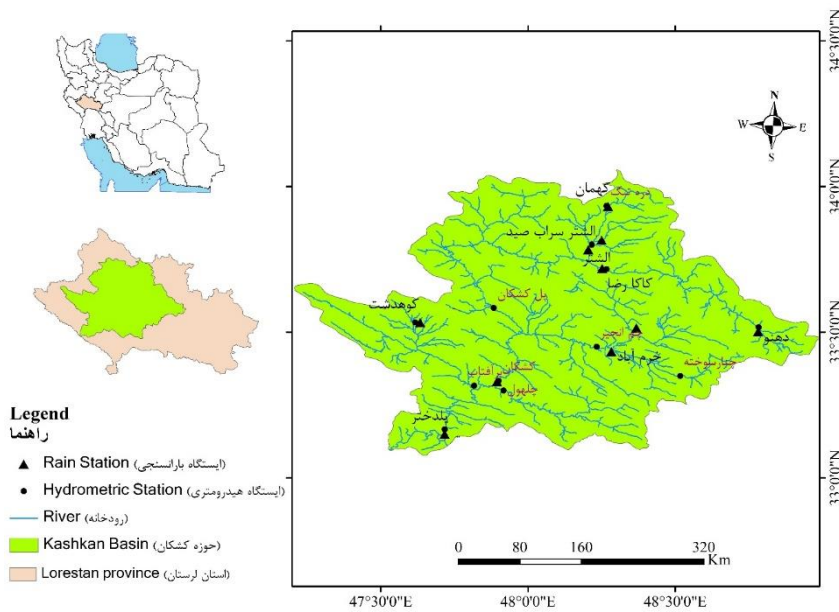
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه کشکان با مساحتی بیش از ۹ هزار هکتار یکی از زیرحوضه‌های مهم حوزه آبخیز کرخه است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه ۳۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی این حوضه ۶۱۹ میلی‌متر است و از نظر طبقه‌بندی جهانی دارای اقلیم معتدل است. متوسط دمای حوزه آبخیز کشکان ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Hassangavyar et al., 2022). از نظر کاربری اراضی بیش از ۷۰ درصد منطقه دارای مراتع با درخت‌های پراکنده است.

همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی اثر مساحت و مقیاس زمان بر روند بهبود عملکرد مدل پرداختند نتایج نشان داد کاهش مساحت و طول دوره آماری تأثیر مثبتی بر عملکرد مدل دارد. همچنین افزایش طول دوره واسنجی سبب بهبود شبیه‌سازی می‌شود. اکثر این مطالعات بر اساس ویژگی‌های مختلف بارندگی، ویژگی‌های حوضه و شرایط رطوبتی بوده است؛ اما نتایج نشان‌دهنده این بود که تعاملات بین این ویژگی‌ها پیچیده است و تعمیم این موضوعات دشوار است. در همه مدل‌های هیدرولوژیک عدم قطعیت ناشی از انتخاب پارامترها، ورودی‌ها و... باعث تغییر در نتایج یا خطای آریبی می‌گردد. یکی از منابع عدم قطعیت، انتخاب طول دوره گرم کردن مدل است که در تحقیقات کمتر به آن پرداخته شده است. این در حالی است که نقش آن در ضرایب کارایی مدل‌ها حائز اهمیت است.

در راستای این مفهوم، هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر تغییرات در دوره گرم کردن مدل بر کارایی مدل‌های هیدرولوژیک بسته نرم‌افزاری RRL است. به این منظور، میزان گرم کردن مدل را در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی در چهار حالت مختلف، بازه ۵، ۷ و ۱۰ درصد ابتدایی طول داده‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط خشک‌سالی و ترسالی طول دوره آماری و مقدار پیشنهادی نرم‌افزار (در این تحقیق ۱/۲ درصد کل داده آماری است به عبارت دیگر چهار ماه و هفت روز از ۲۹ سال) در نرم‌افزار RRL با



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 1- Location of the studied watershed

دبی روزانه در ایستگاه‌های مذکور، بازسازی نواقص آماری و حذف داده‌های پرت انجام شد.

## جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه

Table 1- Geographical Coordinate of Stations

نام ایستگاه Station	مختصات جغرافیایی Geographical Coordinate	
	طول Longitude	عرض Latitude
پل دختر PolDokhtar	47-43-2	33-09-41
برافتاب BarAftab	47-48-56	33-18-30
چم انجیر ChamAnjir	48-14-38	33-26-38
چنار خشکه ChenarKhoshkeh	48-31-01	33-21-17
دره تنگ-کهمان DereTangKahman	48-16-36	33-56-09
سراب صید علی SarabSeidAli	48-12-26	33-47-12
دهنو Dehno	48-46-58	33-30-31
کاکا رضا KakaReza	48-15-27	33-43-12

## روش تحقیق

در این مطالعه از داده‌های بارندگی روزانه، تبخیر و تعرق پتانسیل حوزه آبخیز کشکان با طول دوره آماری ۲۹ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۸) استفاده شد. همچنین مقادیر دبی روزانه کشکان که در انتهای حوضه قرار دارد، به‌عنوان نماینده کل حوضه در واکنش به بارش در نظر گرفته شد. این اطلاعات از سازمان تحقیقات منابع آب و سایت سازمان هواشناسی کشور به دست آمد. در مجموع از ۷ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک که با پراکنش مناسب در اطراف و داخل حوضه قرار دارند برای بررسی متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، دما و تبخیر استفاده شد (جدول ۱). برای داده مشاهده‌ای دبی نیز ۱۲ ایستگاه هیدرومتری در داخل حوضه وجود دارد که دارای طول آماری متفاوتی هستند؛ اما ایستگاه هیدرومتری پل دختر در خروجی این حوضه از طول آماری مناسب‌تری برخوردار است. پس از جمع‌آوری داده‌های خام بارندگی، دما، تبخیر و

## اطلاعات ورودی

مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری RRL نیازمند داده‌های اقلیمی در پایه زمانی روزانه است. این اطلاعات شامل بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی روزانه است.

با توجه به اینکه فرآیند بارش - رواناب برای کل حوضه برر سی می‌گردد، میانگین وزنی بارش و تبخیر به روش تیسن (Brassel & Reif, 1979) برای کل حوضه به دست آمد. همچنین مدل‌های مذکور نیازمند داده تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشند، جهت حصول این امر از روش هارگریوز-سامانی ( $H-S^1$ ) استفاده شد، این فرمول نیازمند داده‌های دمای حداقل، حداکثر و متوسط دمای روزانه و همچنین تابش خورشیدی ( $R_a$ ) است. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش هارگریوز-سامانی از رابطه (۱) استفاده شد:

$$ET_0 = 0.023R_a(T + 17.8)\sqrt{TR} \quad (1)$$

در این رابطه، TR تفاوت حداکثر و حداقل دما برحسب درجه سانتی‌گراد، T متوسط دمای هوا و  $R_a$  تابش خورشیدی در محدوده بیرونی اتمسفر است (Alizadeh, 2014).

بسته نرم‌افزاری RRL دارای پنج مدل و هفت روش بهینه‌ساز است. هر مدل دارای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی است. ۷۰ درصد طول دوره آماری برای واسنجی و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای صحت‌سنجی استفاده شد. انتخاب این درصد بر اساس سعی و خطا و همچنین نتایج تحقیقات گذشته صورت گرفت. درصدهای مختلف گرم کردن مدل از ابتدای هر بازه (واسنجی و صحت‌سنجی) انتخاب شد. به عبارت دیگر این دوره از سال‌های ابتدایی دوره آماری انتخاب می‌گردد.

برخی مدل‌ها قبل از رسیدن به وضعیت آماده‌به‌کار خود، نیاز دارند تا زمان مشخصی را صرف آماده شدن یا اصطلاحاً گرم شدن (Warm-Up) مدل کنند. تعیین بازه این دوره در دقت و کارایی مدل اثرگذار است. در این تحقیق درصدهای متفاوتی شامل مقدار پیشنهادی نرم‌افزار، ۵، ۷ و ۱۰ درصد از کل داده‌ها به‌عنوان زمان گرم شدن مدل در دوره‌های واسنجی (به ترتیب برابر یک سال، یک سال و پنج ماه و دو سال) و صحت‌سنجی (به ترتیب برابر پنج ماه، هفت ماه و ده ماه) مدل‌ها و با هفت روش بهینه‌سازی موردبررسی قرار گرفت.

## مدل‌های موردبررسی

## مدل تعادل آب استرالیایی (AWBM)

مدل AWBM بر اساس نظریه جریان از سطوح جزئی اشباع که مشابه نظریه جریان سطحی اشباع است، توسعه داده شده است. به‌طورکلی این مدل با در نظر گرفتن سه سطح ذخیره (C1 تا C3) با مساحت‌های (A1 تا A3) برای شبیه‌سازی ضریب رواناب استفاده می‌کند (Podger, 2004).

## مدل Sacramento

مدل Sacramento یک مدل مفهومی بارش رواناب است که توسط NWSRFS<sup>۲</sup> برای پیش‌بینی سیلاب در ایالت متحده توسعه پیدا کرده است. این مدل از رطوبت موجود در خاک جهت شبیه‌سازی بیلان آبی در حوزه آبخیز استفاده می‌کند. ذخیره رطوبتی موجود در خاک به وسیله بارش افزوده می‌شود و به وسیله تبخیر و جریان خروجی آب از سطح ذخیره کاهش می‌یابد (Podger, 2004).

## مدل Tank

ساگووارا اولین بار در سال ۱۹۷۴ مدل تانک را به‌منظور شبیه‌سازی رواناب سیلاب با توجه به نقش هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده آن شامل رواناب سریع (رواناب مستقیم)، زیرسطحی سریع، زیرسطحی

**بهینه‌ساز جستجوی الگوی چند شروعی****(Multi start pattern search)**

در این روش داده‌های اولیه بدون در نظر گرفتن نقاط شروع از پیش تعیین شده انتخاب می‌شوند. برای هر یک از این نقاط شروع، یک جستجوی الگو انجام می‌شود و در نهایت بهترین بهینه از جستجوی الگوها به‌عنوان بهینه جهانی در نظر گرفته می‌شود.

**بهینه‌ساز Rosenbrock**

این روش یک روش جستجوی محلی است که شباهت‌هایی با روش جستجوی الگو دارد. این روش به‌عنوان یک آزمون عملکرد بهینه‌سازی الگوریتم‌ها معرفی شده است (Rosenbrock, 1960)، هدف آن پیدا کردن حداقل و بهینه کردن تابع سهمی‌وار تعریف شده است. این تابع را می‌توان با تطبیق سیستم مختصات بدون هرگونه اطلاعات گرادیان بهینه‌سازی کرد (Podger, 2004).

**بهینه‌ساز Multi start Rosenbrock search**

تفکر اصلی در این الگوریتم به این صورت است که بعد از مقداری جستجو، جستجو را رها کرده و به نقطه‌ی دیگری از فضای حالت برود و جستجو را از آن نقطه شروع شود و باعث می‌گردد که از یک بهینه‌ی محلی خارج شده و راه‌حل‌های دیگر مسئله نیز کشف شوند. در این روش داده‌های اولیه بدون در نظر گرفتن نقاط شروع از پیش تعیین شده انتخاب می‌شوند. در نهایت بهترین بهینه از جستجوی Rosenbrock به‌عنوان بهینه کلی در نظر گرفته می‌شود (Podger, 2004).

**بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک (Genetic****algorithm)**

یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی است. این الگوریتم از

تأخیری و رواناب زیرزمینی در قالب چهار مخزن سری با روزه‌های جانبی ارائه کرد (Sugawara, 1995).

در این مدل داده‌های ورودی شامل داده‌های بارش، رواناب و تبخیر و تعرق روزانه است (Podger, 2004).

**تشریح روش‌های بهینه‌سازی**

هدف از بهینه‌سازی، یافتن بهترین جواب قابل قبول با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است. برای یک مسئله ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آن‌ها و جواب بهینه نیازمند تابع هدف هستیم که انتخاب آن به طبیعت مسئله بستگی دارد. در این پژوهش تابع هدف مان‌نش-ساتکلیف است و هدف از بهینه‌سازی، افزایش مقدار نش-ساتکلیف به بیشترین مقدار خود است (NSE=1). در زیر توضیح مختصری از بهینه‌سازهای استفاده‌شده در مدل‌های موجود در نرم‌افزار RRL ارائه شده است.

**بهینه‌ساز جستجوی تصادفی یکنواخت****(Uniform random search)**

این روش از بهینه‌سازی، روشی بسیار ساده است که در آن بهینه‌سازی با انتخاب تصادفی از داده‌ها برای هر پارامتر شروع و سپس اجرای مدل و ارزیابی تابع هدف ادامه می‌یابد. این تکرار به دفعات صورت می‌گیرد تا بهترین مقدار تابع هدف به‌عنوان راه‌حل بهینه در نظر گرفته شود. (Podger, 2004).

**بهینه‌ساز جستجوی الگو (Pattern search)**

جستجوی الگو از ساده‌ترین روش‌های جستجو است و بسیار سریع به جواب بهینه می‌رسد که می‌توان از مزیت‌های این روش دانست؛ اما بجای بهینه جهانی از بهینه‌های محلی استفاده می‌کند؛ که این موضوع سبب می‌شود در مدل در موارد غیرخطی به مشکل برخورد کند (Podger, 2004).

عملگرهایی برای تکامل جمعیت اولیه استفاده می‌کند رشته‌های تصادفی، طراحی مسئله یا به عبارت دیگر، متغیرهای تصمیم مرتبط با یک مسئله را نمایش می‌دهند. سپس، جمعیت اولیه تحت تأثیر سه دسته عملگر اصلی در الگوریتم ژنتیک قرار می‌گیرند تا جمعیت جدیدی از نقاط در فضای جواب مسئله تولید شود؛ جمعیت جدید، متشکل از موجودیت‌ها یا جواب‌های جدید خواهد بود.

### کارایی مدل‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بر اساس سعی و خطا و همچنین مرور منابع به دو بخش واسنجی (۷۰ درصد) که در این مطالعه برابر سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ و بخش صحت‌سنجی (۳۰ درصد) از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ تقسیم شدند. تابع هدف مورد استفاده در تحقیق حاضر نمایه نش ساتکلیف است. انتخاب این نمایه بر اساس نتایج حاصل و پیشنهادهای سایر پژوهشگران در موقعیت‌های مختلف انجام شده است (De Gooijer & Hyndman, 2006; Nash & Sutcliffe, 1970) تابع هدف مذکور به عنوان عامل تعیین‌کننده سطح خطا در گام‌های واسنجی و اعتبارسنجی اعمال و بهینه‌سازی را تا رسیدن به آستانه مطلوب مدیریت می‌کنند. بر این اساس فرمول تابع هدف مورد بررسی به صورت رابطه (۳) ارائه می‌گردد.

$$NSE = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2} \right] \quad (3)$$

که  $S_i$  دبی شبیه‌سازی شده،  $O_i$  دبی مشاهداتی و  $O_{mean}$  میانگین دبی مشاهداتی است. لازم به ذکر است که به

دلیل ناپایداری نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار مورد استفاده در شرایط یکسان پارامتری و داده‌ای، در این تحقیق پس از تنظیم هر حالت، پنج تکرار در اجرای مدل صورت گرفت و میانگینی از نتایج برای آن حالت تنظیم شده استخراج گردید که در مجموع بیش از ۴۰۰۰ اجرا در بسته نرم‌افزاری صورت گرفت. با این کار ناپایداری نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار که در روش‌های مانند هوش مصنوعی نیز وجود دارد برطرف گردید و همگرایی نتایج قابل پذیرش شد.

### نتایج و بحث

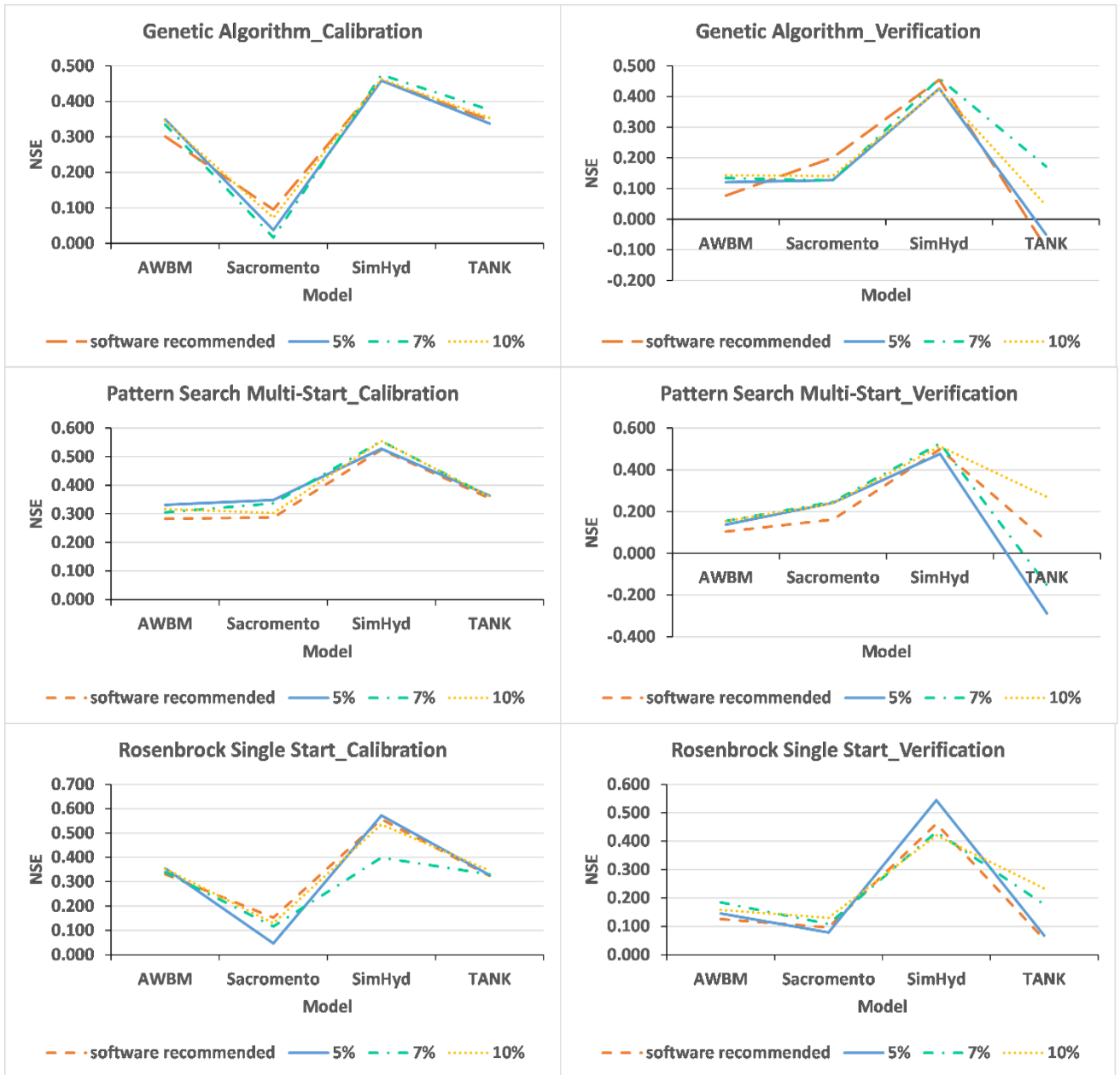
در این مطالعه از مدل‌های موجود در نرم‌افزار RRL برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز کشکان با طول آماری ۲۹ سال (۱۹۸۸-۲۰۱۸) استفاده شد. ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان دوره واسنجی (۲۰ سال از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸) و ۳۰ درصد به عنوان دوره صحت‌سنجی (۹ سال از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸) انتخاب شد. از آنجایی که در این بسته نرم‌افزاری برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی بازه‌ای از داده‌ها جهت گرم کردن مدل انتخاب می‌شوند، در این تحقیق سعی در بررسی بازه‌های مختلف دوره گرم کردن شد. این بازه‌ها در چهار حالت (پیشنهادی خود نرم‌افزار، ۵، ۷ و ۱۰ درصد بازه ابتدایی) از دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها با بهینه‌سازهای موجود در نرم‌افزار بررسی شدند که نتایج آن به تفکیک مدل‌ها و بهینه‌سازها در جدول (۱) و شکل (۲) آورده شده است.

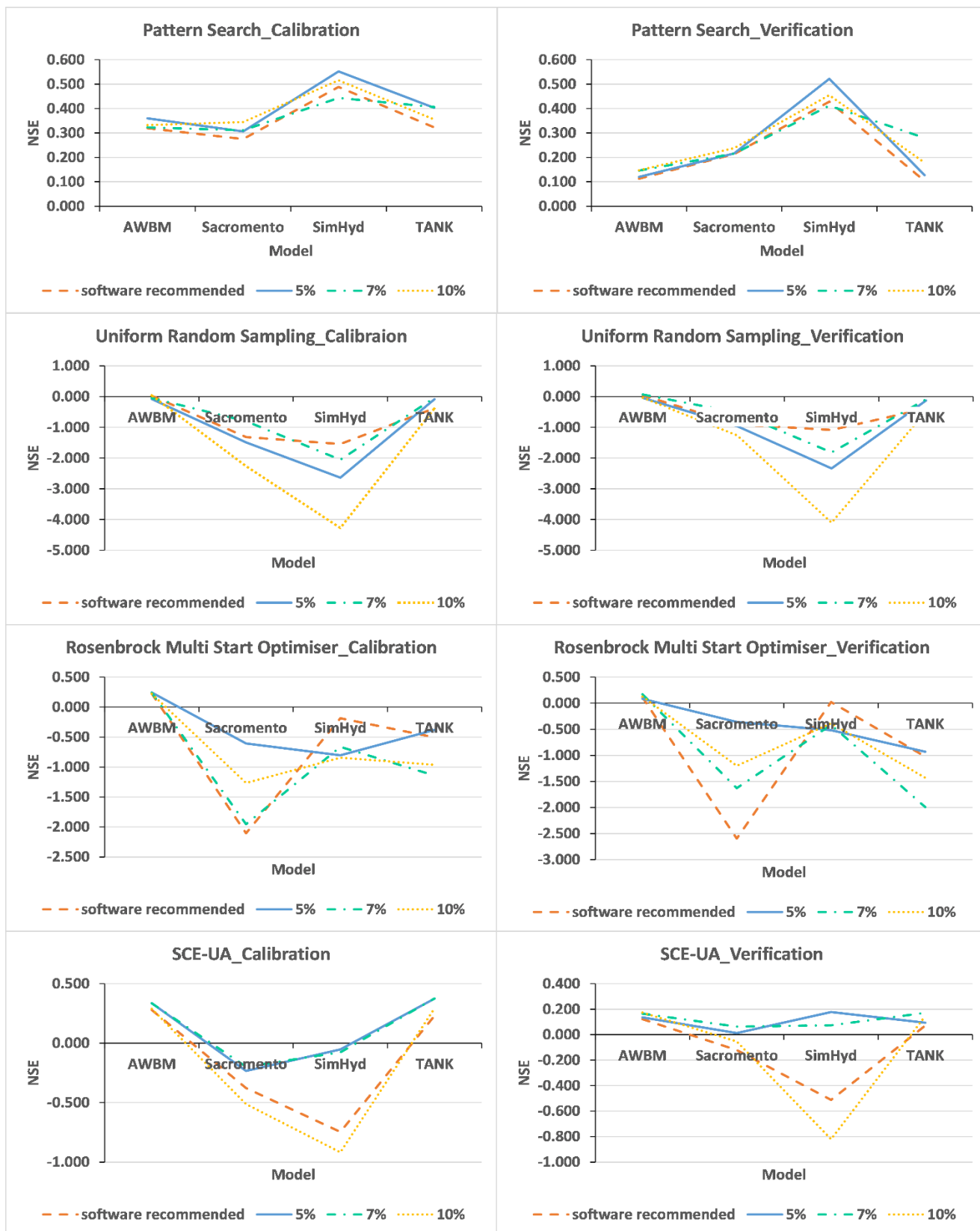
## جدول ۲- نتایج مقادیر NSE در Warm-Up های مختلف در مدل‌ها با بهینه‌سازهای بسته نرم‌افزار RRL

Table 2- The results of NSE values in different Warm-Ups in models with RRL software package optimizers

Genetic Algorithm								Warm-Up-گرم کردن مدل -Model
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	*1.2%	
0.144	0.134	0.121	0.077	0.345	0.335	0.349	0.301	AWBM
0.141	0.126	0.128	0.201	0.072	0.017	0.038	0.095	Sacramento
0.424	0.460	0.426	0.455	0.463	0.475	0.459	0.458	SimHyd
0.045	0.172	-0.050	-0.093	0.353	0.376	0.338	0.348	TANK
Pattern Search Multi-Start								Warm-Up-گرم کردن مدل -Model
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
0.154	0.154	0.137	0.105	0.317	0.305	0.332	0.283	AWBM
0.240	0.246	0.242	0.162	0.303	0.337	0.348	0.287	Sacramento
0.512	0.526	0.476	0.499	0.554	0.555	0.527	0.524	SimHyd
0.270	-0.153	-0.288	0.058	0.360	0.360	0.364	0.354	TANK
Uniform Random Sampling								Warm-Up-گرم کردن مدل -Model
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
-0.036	0.069	-0.040	0.042	0.036	-0.045	-0.081	0.024	AWBM
-1.264	-0.519	-0.965	-0.905	-2.263	-0.798	-1.489	-1.314	Sacramento
-4.102	-1.814	-2.337	-1.087	-4.273	-2.052	-2.637	-1.540	SimHyd
-0.480	-0.087	-0.126	-0.391	-0.376	-0.039	-0.086	-0.381	TANK
*مقدار پیشنهادی نرم‌افزار RRL برای این حوضه مقدار ۱/۲ درصد ابتدای دوره (چهار ماه و هفت روز) در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی است.								
ادامه جدول (۲): نتایج مقادیر NSE در Warm-Up های مختلف در مدل‌ها با بهینه‌سازهای بسته نرم‌افزار RRL								
Rosenbrock Multi Start Optimiser								Warm-Up-گرم کردن مدل -Model
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
0.127	0.171	0.083	0.112	0.220	0.238	0.243	0.223	AWBM
-1.199	-1.629	-0.360	-2.595	-1.268	-1.955	-0.607	-2.105	Sacramento
-0.384	-0.416	-0.518	0.022	-0.845	-0.665	-0.805	-0.188	SimHyd
-1.429	-1.990	-0.932	-1.025	-0.963	-1.141	-0.381	-0.504	TANK

<b>Rosenbrock Single Start</b>								
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				Warm-Up-گرم کردن Model-مدل
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
0.158	0.184	0.145	0.125	0.352	0.339	0.355	0.331	<b>AWBM</b>
0.130	0.108	0.078	0.096	0.129	0.116	0.046	0.152	<b>Sacramento</b>
0.420	0.432	0.544	0.461	0.535	0.399	0.572	0.557	<b>SimHyd</b>
0.233	0.177	0.068	0.054	0.345	0.330	0.327	0.324	<b>TANK</b>
<b>SCE-UA</b>								
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				Warm-Up-گرم کردن Model-مدل
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
0.174	0.164	0.136	0.122	0.289	0.335	0.336	0.279	<b>AWBM</b>
-0.053	0.064	0.013	-0.121	-0.513	-0.199	-0.234	-0.378	<b>Sacramento</b>
-0.821	0.073	0.178	-0.512	-0.918	-0.077	-0.053	-0.747	<b>SimHyd</b>
0.146	0.171	0.093	0.071	0.292	0.376	0.374	0.230	<b>TANK</b>
<b>Pattern Search</b>								
Verification-صحت‌سنجی				Calibration-اعتبارسنجی				Warm-Up-گرم کردن Model-مدل
10%	7%	5%	1.2%	10%	7%	5%	1.2%	
0.147	0.146	0.121	0.113	0.332	0.323	0.360	0.320	<b>AWBM</b>
0.238	0.216	0.216	0.213	0.345	0.311	0.306	0.275	<b>Sacramento</b>
0.455	0.412	0.522	0.428	0.516	0.444	0.552	0.489	<b>SimHyd</b>
0.179	0.280	0.127	0.104	0.355	0.406	0.403	0.323	<b>TANK</b>





شکل ۲- نمودار مقادیر NSE بر اساس Warm-up، مدل و بهینه‌ساز

Figure 2-Graph of NSE values based on Warm-up, model and optimizer

### نتایج مدل‌های مختلف

با توجه به جدول (۲) و شکل (۲) نتایج به دست آمده به صورت زیر تحلیل شد.

#### مدل AWBM

در این مدل مقادیر نش ساتلکیف بر اساس تغییر درصد گرم کردن در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی بررسی شد و نتایج نشان داد، افزایش درصد گرم کردن دوره‌ها و استفاده از بهینه‌سازهای Genetic Algorithm، Pattern Search Multi-Start، Rosenbrock Single Start، SCE-UA و Rosenbrock Multi Start Optimiser سبب بهبود مقادیر نش ساتلکیف و در نتیجه کارایی بهتر مدل در شبیه‌سازی رواناب نسبت به مقدار پیشنهادی نرم‌افزار شد؛ اما در بهینه‌ساز Rosenbrock Multi Start Optimiser بیشترین بهبود کارایی مدل در دوره واسنجی با در نظر گرفتن ۵ درصد داده‌ها به عنوان بخش گرم کردن قابل مشاهده است؛ اما این میزان در دوره صحت‌سنجی کاملاً برعکس شد. علت این امر تطبیق بیش از حد مدل با داده‌های مشاهده‌ای است. همچنین بهینه‌ساز Uniform Random Sampling نسبت به دیگر بهینه‌سازها رفتار متفاوتی با افزایش درصد گرم کردن مدل در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی داشت به طوری که در دوره واسنجی در درصد‌های ۵ و ۷ درصد از گرم کردن مدل نسبت به میزان پیشنهادی نرم‌افزار میزان عملکرد مدل کاهش یافت؛ اما در سطح ۱۰ درصد نسبت به مقدار گرم کردن پیشنهادی سبب بهبود کارایی مدل شد. این رفتار در دوره صحت‌سنجی بدین گونه تغییر کرد که در سطح ۵ و ۱۰ درصد میزان کارایی مدل نسبت به سطح پیشنهادی کاهش و در ۷ درصد از دوره گرم کردن افزایش یافت. در نهایت با توجه جدول (۲) بهترین کارایی مدل در سطح ۵ درصد از آماده‌سازی مدل در دوره واسنجی و در سطح ۷ درصد دوره صحت‌سنجی حاصل شد.

### مدل Sacramento

بررسی درصد‌های مختلف از گرم کردن در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، همچنین استفاده از هفت روش بهینه‌سازی در این مدل نشان داد، افزایش درصد گرم کردن مدل در روش‌های بهینه‌سازی Rosenbrock Multi-Start، Pattern Search Multi-Start و Start Optimiser موجب بهبود کارایی مدل در هر دو دوره شد؛ اما این میزان افزایش در Genetic Algorithm تأثیری بر بهبود مدل نداشت. این رفتار همچنین در دوره واسنجی روش Rosenbrock Single Start نیز مشاهده شد، بهبود عملکرد مدل این روش در دوره صحت‌سنجی مربوط به گرم کردن‌های ۷ و ۱۰ درصد بود. دوره صحت‌سنجی روش SCE-UA با درصد گرم کردن ۵، ۷ و ۱۰ درصد نسبت به مقدار پیشنهادی نرم‌افزار باعث بهبود کارایی مدل شد. دوره واسنجی در این روش تا ۷ درصد دوره گرم کردن سبب افزایش عملکرد مدل گردید. روش Uniform Random Sampling در سطح ۷ درصد از گرم کردن دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی سبب افزایش مقدار نش ساتلکیف می‌شود. به طور کلی سطح ۷ درصد از دوره آماده‌سازی مدل در دوره صحت‌سنجی به میزان ۴۳ درصد نسبت به سایر سطح‌های گرم کردن سبب کارایی بهتر مدل است.

#### مدل SimHyd

در این مدل استفاده از درصد‌های متفاوت از گرم کردن در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نسبت به مدل‌های دیگر رفتاری متفاوت داشت. به طوری که در بهینه‌سازهای Uniform Random Sampling و Rosenbrock Multi Start Optimiser افزایش درصد گرم کردن سبب کاهش کارایی مدل می‌گردد؛ و تنها در دوره واسنجی بهینه‌سازهای Genetic Algorithm و Pattern Search Multi-Start و افزایش میزان گرم کردن باعث بهبود مقدار نش ساتلکیف شده‌اند. در

دوره صحت‌سنجی روش Genetic Algorithm در سطح ۷ درصد و روش Pattern Search Multi-Start در سطح‌های ۷ و ۱۰ درصد سبب عملکرد بهتر مدل شد. روش Rosenbrock Single Start در سطح ۵ درصد، روش SCE-UA در سطح ۵ و ۷ درصد و روش Pattern Search در سطح ۵ و ۱۰ درصد سبب افزایش کارایی مدل نسبت به میزان پیشنهادی نرم‌افزار در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی شدند. در این مدل میزان تأثیرگذاری گرم کردن ۵ درصد ابتدای بازه آماری نسبت به سایر سطح‌ها در واسنجی و صحت‌سنجی بیشتر بود و باعث ایجاد روند مثبت در مقدار NSE گردید.

#### مدل TANK

در این مدل، افزایش گرم کردن مدل تا ۱۰ درصد در روش‌های بهینه‌سازی Rosenbrock Single Start، SCE-UA و Pattern Search سبب بهبود عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب در هر دو دوره شد. همچنین روش Uniform Random Sampling و Pattern Search Multi-Start در دوره واسنجی نیز شاهد این بهبود بود؛ اما Uniform Random Sampling در دوره صحت‌سنجی کارایی مدل تا سطح ۷ درصد بهبود یافت و Pattern Search Multi-Start فقط در سطح ۱۰ درصد سبب بهبود کارایی مدل می‌گردد. در روش بهینه‌ساز Genetic Algorithm افزایش کارایی مدل در دوره واسنجی در سطح‌های ۷ و ۱۰ درصد دیده شد و در دوره صحت‌سنجی افزایش میزان درصد گرم کردن نسبت به میزان پیشنهادی نرم‌افزار موجب کارایی بهتر مدل می‌شود. بهینه‌ساز Rosenbrock Multi Start Optimiser در سطح ۵ درصد سبب بهبود نتایج در هر دو دوره شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مدل می‌توان دریافت بیشترین میزان اثرگذاری گرم کردن در سطح ۷ درصد دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی است. با توجه به جدول (۲) و شکل (۲) می‌توان دریافت که از بین مدل‌های مذکور مدل SimHyd بهترین عملکرد

را در مقایسه با سایر مدل‌های نرم‌افزار RRL دارد. این نتایج با نتایج Daechini و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر ارزیابی کارایی مدل‌های هیدرولوژیک بر رودخانه گرگانرود و همچنین با نتایج Yonesi و همکاران (۲۰۲۰) و Sheikh Godarzi و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت. همچنین نتایج نشان داد بیشترین مقدار نش سائکلیف در دوره واسنجی و صحت‌سنجی در سطح ۵ درصد از روش بهینه‌سازی Rosenbrock Single Start رخ داده است که با مطالعه Sharifi و همکاران (۲۰۲۳) در حوزه کوزه تیراچی اردبیل تطابق داشت؛ اما مدل Sacramento ضعیف‌ترین کارایی را در مقایسه با سایر مدل‌ها داشت و در سطح ۵ درصد از روش بهینه‌سازی Rosenbrock Single Start کمترین مقدار نش سائکلیف را در واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد.

#### نتایج بهینه‌سازی‌های مختلف

با توجه به بررسی مقادیر آماده‌سازی در مدل‌ها و بهینه‌سازهای مختلف نتایج نشان داد که در بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک در مدل‌ها و سطح‌های مختلف از دوره گرم کردن، در ۵۷ درصد از موارد، زمانی که ۷ درصد از کل داده‌ها به‌عنوان بازه گرم کردن مدل در واسنجی و صحت‌سنجی انتخاب شود، کارایی و عملکرد مدل بهبود می‌یابد. تأثیر این بازه از گرم کردن در بهینه‌ساز Pattern Search Multi-Start و SCE-UA نتایج مشابه را در پی داشت.

۷۱ درصد از موارد نشان داد بهینه‌ساز Uniform Random Sampling در سطح انتخاب ۷ درصد از طول بازه آماری برای گرم کردن بهترین عملکرد مدل را در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی ایجاد می‌کند. بهینه‌ساز Rosenbrock Multi Start Optimiser بهترین کارایی خود را در مواقعی که ۵ درصد از طول داده به گرم کردن مدل اختصاص داده شود نشان داد. در این حالت در ۷۱ درصد موارد در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی ارتقاء عملکرد مدل‌ها را شاهد هستیم.

برف و ذخیره مخزن است. در این مطالعه به بررسی بازه‌های مختلف دوره گرم کردن مدل در واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های بسته نرم‌افزاری RRL با استفاده از هفت روش بهینه‌سازی و معیار نش-ساتکلیف پرداخته شد. به سبب ماهیت بهینه‌سازها که در بخش مواد و روش به آن اشاره شد، در هر مدل به تفکیک بهینه‌سازها تا پنج تکرار اجرا صورت گرفت و در نتیجه میانگین مقدار NSE به دست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. از نتایج حاصله می‌توان چنین استنباط کرد که به طور متوسط میزان آماده‌سازی در مدل‌ها و بهینه‌سازهای مختلف در سطح‌های ۵ و ۷ درصد از کل داده‌ها در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی موجب بهبود کارایی مدل نسبت به میزان پیشنهادی نرم‌افزار می‌شود. طول دوره گرم کردن به پیچیدگی سیستم هیدرولوژیک در حال مدل‌سازی و مقیاس‌های زمانی موردعلاقه بستگی دارد. این مقدار توسط عواملی مانند ظرفیت ذخیره‌سازی خاک، زمان پاسخ فرآیندهای هیدرولوژیک مختلف و در دسترس بودن داده‌های تاریخی برای مقاردهی اولیه تعیین می‌شود. معمولاً برای حوزه‌های رودخانه‌ای بزرگ یا هنگام شبیه‌سازی الگوهای هیدرولوژیک بلندمدت، دوره‌های گرم شدن طولانی‌تر مورد نیاز است؛ بنابراین نمی‌توان در یک بازه آماری کوتاه درصد دوره گرم کردن را بیشتر کرد. به طور کلی، دوره گرم شدن در مدل‌های هیدرولوژیک یک مرحله ضروری برای اطمینان از دقیق بودن مدل در نشان دادن شرایط اولیه و رسیدن پیش‌بینی‌ها به حالت تعادل و همگرایی نتایج است. این حالت به بهبود قابلیت اطمینان و دقت خروجی‌های مدل برای برنامه‌های بعدی کمک بسیاری می‌کند. جهت بررسی‌های بیش‌تر تأثیر دوره گرم کردن مدل، توصیه می‌شود پارامترهای مدل‌ها، شرایط آب و هوایی و خصوصیات فیزیکی حوضه و همچنین تغییر بازه دوره گرم کردن به بخش دیگر طول داده آماری مورد

میزان بهبود کارایی در بهینه‌سازهای Rosenbrock Single Start و Pattern Search در سطح‌های ۵ و ۱۰ درصد از آماده‌سازی مدل نیز باعث شد که در ۴۳ درصد حالت‌ها عملکرد بهبود یابد. به طور کلی نتایج نشان داد که در مدل‌های مختلف بارش و رواناب موجود در نرم‌افزار کتابخانه بارش و رواناب، انتخاب بازه‌های آماری مختلف برای گرم کردن مدل با هم‌دیگر متفاوت است. همچنین با انتخاب دوره‌های مختلف گرم کردن می‌توان اثرات گذرای ناشی از تغییرات ناگهانی در شرایط اولیه داده‌ها را در نظر گرفت و به مدل اجازه داده می‌شود تا در یک رفتار بلندمدت نماینده کل داده‌ها باشد. همچنین علت برتری مدل SimHyd نسبت به سایر مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری با توجه به شرایط حوضه مورد مطالعه، استفاده از پارامترهای کمتر نسبت به مدل‌های پیچیده موجود در RRL است چراکه یک اصل در مدل‌های هیدرولوژی اصل پارسیمونی (خلاصه‌سازی) است که این مدل نسبت به سایر مدل‌ها از این اصل بیشتر تبعیت کرده است. در واقع هر پارامتر مربوط به هر مدل در یک بازه قرار می‌گیرد که انتخاب بازه مناسب مربوط به هر پارامتر یکی از منشأهای تولید عدم قطعیت در خروجی مدل‌ها است؛ بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که هر چه مدل پیچیده‌تر شود نتایج آن بهتر گردد.

### نتیجه‌گیری

مدل‌های هیدرولوژیک رفتار چرخه آب را با نمایش فرآیندهای مختلف مانند بارش، تبخیر، نفوذ، رواناب و جریان آب زیرزمینی شبیه‌سازی می‌کنند. برای به دست آوردن نتایج دقیق، بسیار مهم است که پارامترهای مدل را با شرایط اولیه مناسب که منعکس‌کننده شرایط دنیای واقعی سیستم است، مقاردهی اولیه کنیم. این شرایط اولیه شامل متغیرهایی مانند رطوبت خاک، سطح آب زیرزمینی،

بنابراین توصیه می‌شود بررسی‌های اولیه مانند آزمون همگنی و داده‌های پرت با حساسیت و دقت بیشتر انجام گردد.

همچنین از دیگر مواردی که به‌عنوان محدودیت در این مدل‌ها می‌توان به آن اشاره کرد وجود ایستگاه‌هایی خارج از حوضه، وسعت زیاد حوضه مورد مطالعه و همچنین تنوع بارش و رژیم بارندگی با توجه به وسعت حوضه است که سبب کاهش کیفیت شبیه‌سازی در این مدل‌ها می‌گردد.

ارزیابی قرار گیرند. همچنین، بررسی تأثیر حوضه‌ها با طول دوره آماری مختلف نیز می‌تواند گام مهمی باشد، زیرا کوتاه بودن طول بازه آماری در حوزه‌های آبخیز کشورهای توسعه‌نیافته یا در حال توسعه یک چالش مهم برای هیدرولوژیست‌ها است. لازم به یادآوری است مهم‌ترین محدودیت در اجرای این مدل‌ها تهیه بانک داده صحیح از بارندگی، تبخیر و دبی است. هر کدام از این سه ورودی دارای عدم قطعیت‌هایی هستند که نتایج مدل‌ها را دستخوش تغییر می‌کنند؛

## References

- Akkouche-Tabi, A., Benmamar, S. & Bouanani, A. (2018). The impact of warm-up time on the performance of a hydrological model: A case study of a Mediterranean catchment. *Journal of Water and Land Development*, 38(1), 15-21. doi.org/10.2478/jwld-2018-0002
- Alizadeh, A. (2014). *Principles of Applied Hydrology*. 36<sup>th</sup> Edition, Imam Reza Publication, Mashhad.
- Andréassian, V., Perrin, C., Berthet, L., Le Moine, N., Lerat, J., Loumagne, C. & Valéry, A. (2009). HESS Opinions: Crash tests for a standardized evaluation of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(10), 1757-1764.
- Aubert, D., Loumagne, C. & Oudin, L. (2003). Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 280(1-4), 145-161.
- Brassel, K. E. & Reif, D. (1979). A procedure to generate Thiessen polygons. *Geographical analysis*, 11(3), 289-303.
- Carlos Mendoza, J. A., Chavez Alcazar, T. A. & Zuñiga Medina, S. A. (2021). Calibration and uncertainty analysis for modelling runoff in the Tambo River Basin, Peru, using Sequential Uncertainty Fitting Ver-2 (SUFI-2) algorithm. *Air, Soil and Water Research*, 14(1-13), 1178622120988707 .
- Cosgrove, B. A., Lohmann, D., Mitchell, K. E., Houser, P. R., Wood, E. F., Schaake, J. C., Robock, A., Sheffield, J., Duan, Q. & Luo, L. (2003). Land surface model spin-up behavior in the North American Land Data Assimilation System (NLDAS). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), GCP6(1-19).
- Daechini, F., Vafakhah, M., Moosavi, V. & Zabihi Silabi, M. (2022). Performance Assessment of Five Water Balance Models for Runoff Simulation in the Gorganrood Watershed. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 26(2), 263-281. (In Persian) Paper
- De Gooijer, J. G. & Hyndman, R. J. (2006). 25 years of time series forecasting. *International journal of forecasting*, 22(3), 443-473 .
- Duan, Z., Sun, Y. & Liang, X. (2018). Optimizing the Use of Warm-Up Periods in Hydrological Modeling. *Water Resources Management*, 32(6), 1979-1992. doi.org/10.1007/s11269-018-1952-2.
- García-Sanabria, M. A., Pulido-Velázquez, M. & Giraldez, J. V. (2016). The effect of warm-up time on the calibration of hydrological models. *Hydrological Processes*, 30(6), 913-924.
- Hassangavyar, M. B., Damaneh, H. E., Pham, Q. B., Linh, N. T. T., Tiefenbacher, J. & Bach, Q.-V. (2022). Evaluation of re-sampling methods on performance of machine learning models to predict

- landslide susceptibility. *Geocarto International*, 37(10), 2772-2794. (In Persian)
- Heo, J. & Kim, C. (2018). The effect of warm-up period on hydrologic model calibration. *Water*, 10(6), 771. doi: 10.3390/w10060771.
- Kim, K. B., Kwon, H. H. & Han, D. (2018). Exploration of warm-up period in conceptual hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 556, 194-210.
- Kim, S., Vertessy, R., Perraud, J. & Sung, Y. (2005). Integration and application of the rainfall runoff library. *Water science and technology*, 52(9), 275-282 .
- Li, C. Z., Wang, H., Liu, J., Yan, D. H., Yu, F. L. & Zhang, L. (2010). Effect of calibration data series length on performance and optimal parameters of hydrological model. *Water Science and Engineering*, 3(4), 378-393.
- Mein, R. G., Capon, S. J. & Powell, B. (2013). The importance of appropriate warm-up periods in hydrologic modelling: Lessons from a case study of a wetland catchment in Australia. *Environmental Modelling & Software*, 47, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.016> .
- Merz, R., Parajka, J. & Blöschl, G. (2009). Scale effects in conceptual hydrological modeling. *Water resources research*, 45(9), W09405(1-15).
- Nash, J. E & „Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Podger, G. (2004). Rainfall Runoff Library User Manual (Version 1.0.5 Non-beta release). CRC for Catchment Hydrology. <https://www.toolkit.net.au/rrl>
- Rosenbrock, H. (1960). An automatic method for finding the greatest or least value of a function. *The computer journal*, 3(3), 175-18.
- Shahrban, M., Walker, J. P., Wang, Q. J. & Robertson, D. E. (2018). On the importance of soil moisture in calibration of rainfall–runoff models: Two case studies. *Hydrological Sciences Journal*, 63(9), 1292-1312.
- Sharifi, Z., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Hazbavi, Z. & Golshan, M. (2023). Comparing optimization methods of SIMHYD model parameters to simulate daily flow discharge in the Kouzetopraghi Watershed, *Ardabil. Hydrogeomorphology*, 10(34), 51-33. (In Persian)
- Sheikh godarzi, M., Jabbarian Amiri, B. & Azarnivand, H. (2018). A comparison of conceptual models for simulating river hydrology. *Journal of Natural Environment*, 71(4), 509-521. Doi:10.22059/jne.2018.227408.1339 (In Persian)
- Shrestha, R. & Houser, P. (2010). A heterogeneous land surface model initialization study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D19), 111-121.
- Sleziak, P., Szolgay, J., Hlavčová, K., Danko, M. & Parajka, J. (2020). The effect of the snow weighting on the temporal stability of hydrologic model efficiency and parameters. *Journal of hydrology*, 583, 124639, (1-14).
- Sugawara, M. (1995). Tank model. *Computer models of watershed hydrology* .
- Trivedi, A., Galkate, R. V., Gautam, V. K. & Pyasi, S. K. (2021). Development of RRL AWBM model and investigation of its performance, efficiency and suitability in Shipra River Basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 20(2), 160-167.
- Vidyarthi, V. K. & Jain, A. (2023). Development of simple semi-distributed approaches for modelling complex rainfall–runoff process. *Hydrological Sciences Journal*, 68(7), 998-1015
- Xue, X., Zhang, K., Hong, Y., Gourley, J. J., Kellogg, W., McPherson, R. A. & Austin, B. N. (2016). New multisite cascading calibration approach for hydrological models: Case study in the red river basin using the VIC model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(2), 05015019, (1-9).

Yang, Z. L., Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. & Pitman, A. (1995). Preliminary study of spin-up processes in land surface models with the first stage data of Project for Intercomparison of Land Surface Parameterization Schemes Phase 1 (a). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D8), 16553-16578 .

Yonesi, H. A., Yousefi, H., Arshia, A. & Yarahmadi, Y. (2020). Runoff rainfall simulation using RRL toolkit (Case study: Rahim Abad Station - Silakhor Plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1348-1361. [magiran.com/p2196838](http://magiran.com/p2196838) (In Persian).

## Evaluation of the Sediment Yield in Small Watersheds of Arid Rangeland in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Soil Conservation Research Station)

Hamzeh Noor<sup>1\*</sup>, Mahmood Arabkhedri<sup>2</sup>, Ali Dastranj<sup>1</sup>

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Centre, Mashhad, Iran

2- Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

\* Corresponding author: H.Noor@areeo.ac.ir

(Received: 24 June 2023

Revised: 05 August 2023

Accepted: 09 September 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Accelerated soil erosion and severe sediment production disrupt the natural balance in watersheds and have off-site impacts on river channels and downstream reservoirs. There are different estimates of soil erosion and sediment yield in Iran. However, what the researchers agree on is that it is more than tolerable erosion. Rangelands cover more than half of Iran, and poorly covered lands play a large role in flood and sediment production. Therefore, the study of hydrology and soil erosion is necessary for sustainable use of pastures. The prerequisite for these studies is long-term monitoring of sediment, runoff, vegetation, soil, etc. A careful review of previous studies on rangeland hydrology shows that most studies have focused on the effect of grazing management at the plot scale or have used simulation approaches and experimental models, as well as in a short period of time. Therefore, it is very necessary to conduct scientific research using long-term monitoring data in experimental watersheds. In this regard, the present study was proposed with the aim of evaluating the sediment yield of small watersheds in pastures with grazing exclusion vs. overgrazing. The results of this research can provide useful information to researchers, promoters, planners, and ranchers.

**Materials and methods:** Sanganeh Soil Conservation Research Station (SSCRS) with an area of 30 ha was established about 25 years ago in Kalat County (Razavi Khorasan Province, Iran). In addition to measuring erosion in plots and monitoring vegetation, by building several ponds at the outlets of six small watersheds (SWs), their runoff and sediment yields have also been recorded since 2006. The present study was conducted with the aim of evaluating the erosion and sediment production of these SWs (1200 to 17000 m<sup>2</sup>). For this purpose, the runoff and sediment of 69 events were collected at the outlets of six SWs. Also, the time series of NDVIs were calculated for SSCRS, adjacent rural and nomadic (outside the village) rangelands on a seasonal scale. To determine the time series of NDVIs, all satellite images of the study area were downloaded and after pre-processing and corrections, the images were processed. Then, the soil erosion amounts of SWs were estimated in terms of the sediment delivery ratio of the study area (Noor, 2020) based on the average sediment yields (according to their long period of 15 years). In the next step, the amounts of soil erosion obtained were compared to the amounts of tolerable soil erosion for arid climate rangelands proposed by Skouti Oskouei and Arabkhedri (2018). Finally, the soil erosion of two similar watersheds, one in the overgrazing area (E6) and the other in the grazing exclusion area (E4), were compared.

**Results and Discussion:** The results showed that NDVI is influenced by livestock grazing intensity. The highest value of this index was observed in the grazing exclusion area (E1 to E5 SWs), then in the Sanganeh village rangeland (E6 SW), and the lowest value was observed in the nomadic rangelands. In terms of time scale, the biggest difference in NDVIs between overgrazing and grazing exclusion areas was observed in spring. The results of the investigation of sediment production indicated an inverse and non-linear relationship between the specific sediment yield and the area of SWs. This study showed that the amount of soil erosions in E2, E3 and E6 SWs are more than tolerable erosions which suggests the need for more conservation measures. Finally, the comparison of two similar SWs (E4 vs. E6) indicate a significant reduction in annual sediment yield (582%) due to grazing exclusion in the area. Also, the results showed that the sediment productions of E6 SW in the spring and autumn seasons are significantly higher than E4 at 1% and 5% levels, respectively. Furthermore, it is remarkably (but non significant) higher than the E4 SW in the winter season.

**Conclusion:** Grazing exclusion in SSCRS rangeland led to a significant reduction in erosion and sediment production compared to overgrazing condition outside the station. However, in some SWs, the erosion amounts were still more than the tolerable values, which indicates the difficulty of restoration of destroyed rangelands on steep slopes with sensitive formations in arid climate. Implementation of management measures including scientific grazing (especially in spring) is necessary to reducing damage caused by floods and sediments.

**Keywords:** Experimental watersheds, NDVI, Rangeland exclusion, Sanganeh, Specific sediment yield

Citation: Noor, H., Arabkherdi, M., & Dastranj, A. (2023). Evaluation of the Sediment Yield in Small Watersheds of Arid Rangeland in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Soil Conservation Research Station). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 35-48. doi: 10.22034/iwm.2023.2005363.1088

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## ارزیابی رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک در مراتع خشک شمال شرق کشور (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه)

حمزه نور<sup>۱\*</sup>، محمود عرب‌خداری<sup>۲</sup>، علی دسترنج<sup>۱</sup>

۱- استادیار، بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان

رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی حفاظت آب‌و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول: H.Noor@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳

### چکیده

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی فرسایش و تولید رسوب در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه واقع در شمال شرق استان خراسان رضوی طرح‌ریزی شد. برای این منظور، رواناب و رسوب ۶۹ واقعه در خروجی شش زیرآبخیز کوچک مرتعی (با مساحت حدود ۱۲۰۰ الی ۱۷۰۰۰ مترمربع) جمع‌آوری شد. هم‌چنین شاخص NDVI برای پایگاه مذکور و مراتع روستایی و عشایری مجاور آن محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار NDVI تحت تأثیر شدت چرای دام قرار دارد. به‌گونه‌ای که حداکثر مقدار این شاخص در منطقه قرق (زیرحوضه‌های E1 تا E5)، سپس در مرتع متعلق به روستائیان سنگانه (زیرحوضه E6) و حداقل آن نیز در مراتع مورد چرای دام عشایر (خارج از محدوده روستا) مشاهده شد. از نظر زمانی، بیش‌ترین اختلاف NDVI بین دو منطقه قرق و تحت چرای دام به فصل بهار مربوط بود. نتایج بررسی رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها، دلالت بر رابطه معکوس و غیرخطی بین رسوب‌دهی ویژه و مساحت زیرحوضه‌ها داشت. در ادامه، مقدار فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نسبت تحویل رسوب و داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده، محاسبه و با استاندارد نسبت تحویل رسوب بومی کشور، مقایسه شد. نتایج نشان داد که در زیرحوضه‌های E2، E3 و E6 میزان فرسایش خاک بیش‌تر از فرسایش قابل تحمل است. در نهایت، نتایج مقایسه دو زیرحوضه قرق و تحت چرای دام (E4 و E6) دلالت بر کاهش معنی‌دار رسوب‌دهی سالانه در اثر قرق مرتع (۵۸۲ درصد) داشت. هم‌چنین، نتایج نشان داد که تولید رسوب زیرحوضه تحت چرای E6 در فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب در سطوح ۱٪ و ۵٪ و در فصل زمستان به‌صورت غیر معنی‌دار از زیرحوضه قرق E4 بیش‌تر است.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز آزمایشی، NDVI، قرق مرتع، سنگانه، رسوب ویژه

استناد: نور، ح.، عرب‌خداری، م.؛ و دسترنج، ع. (۱۴۰۲). ارزیابی رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک در مراتع خشک شمال شرق کشور (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۴۸-۳۵.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

فرسایش خاک نتیجه برهم‌کنش عوامل متعددی شامل خصوصیات بارش، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات مدیریتی است (Bennett, 2001; Arabkhedri, 2014). در این میان نوع کاربری و بهره‌برداری از اراضی عامل بسیار مهمی در کنترل فرآیندهای هیدرولوژی در زیست‌بوم‌های مختلف است (Refahi, 2001). مراتع بیشترین مساحت را در میان انواع کاربری‌ها در کشور تشکیل می‌دهند، این اراضی توان تولید علوفه برای حدود ۳۷ میلیون واحد دامی را دارند و از این نظر اهمیت اقتصادی فراوانی دارند (Mesdaghi, 2003). از سوی دیگر با توجه به موقعیت مکانی مراتع که عمدتاً در اراضی شیب‌دار باقی مانده‌اند، نقش آن‌ها در تعدیل جریان‌های سطحی و کنترل فرسایش خاک مشخص می‌گردد. با این حال بین مراتع مختلف از نظر پاسخ هیدرولوژی با توجه به نوع مدیریت و بهره‌برداری از آن‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. پژوهش‌های پیشین در داخل و خارج از کشور بر اهمیت شیوه‌های مختلف مدیریت مرتع بر میزان رسوب حوزه‌های آبخیز دلالت دارد. در این زمینه تاکنون تحقیقات بسیاری به ارزیابی اثر مدیریت مختلف مراتع بر خصوصیات خاک (Akhzari et al., 2016; Jeffrey, 2005) و پوشش گیاهی (Khaledi Darvishan et al., 2018; Li et al., 2011; Liu et al., 2017; Parvini et al., 2018; Samadi-Khangah et al., 2021; Sanjari et al., 2010; Trueblood, 2007) پرداختند. نتایج این محققین وابسته به شرایط محیطی منطقه، طول مدت و نحوه مدیریت مرتع گزارش شده است. از سوی دیگر، بررسی دقیق پژوهش‌های پیشین در رابطه با اثر شیوه‌های مدیریت اراضی مرتعی بر نحوه پاسخ هیدرولوژیک نشان می‌دهد که اغلب مطالعات به بررسی اثر مدیریت چرا و قرق در مقیاس کرت با ابعاد مختلف (Bartley et al., 2010; Hawdon et al., 2008; Khaledi et al., 2016) و یا استفاده از رویکردهای شبیه‌سازی و مدل‌های تجربی (Ghoddousi et al., 2006; Parvini et al., 2018) و هم‌چنین طی دوره زمانی کوتاه

پرداخته‌اند. این در حالی است که مطالعات محدودی در سطح جهان اثر این اقدامات مدیریتی بر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی توأم با تغییرات پاسخ هیدرولوژیک در مقیاس آبخیزهای کوچک (Bartley et al., 2010; Pilon et al., 2017; Sanjari et al., 2010) را مدنظر داشته‌اند؛ بنابراین ضروری است تحقیقات علمی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده و طولانی‌مدت حاصل از حوزه‌های آبخیز کوچک مدنظر قرار گیرد تا از این طریق اثر قرق و چرای دام بر تولید رسوب با داده‌های ثبت‌شده روشن شود. اطلاعات طولانی‌مدت پایش حوزه‌های آبخیز از طریق حوضه‌های تحقیقاتی میسر است. باید توجه داشت که تأسیس ایستگاه‌های تحقیقاتی و حوضه‌های آزمایشی که در واقع نوعی آزمایشگاه صحرایی هستند به‌عنوان یک ضرورت در سطح جهان و ایران شناخته شده است. در این آبخیزها با توجه به وسعت و سامانه‌های اندازه‌گیری موجود در آن‌ها می‌توان انواع فرسایش خاک و فرآیندهای حمل و ترسیب رسوب را با استفاده از انواع کرت‌ها، فلوم‌ها و میخ‌های فرسایشی، مطالعه نمود (Toy et al., 2002). در این میان آغاز فعالیت‌های علمی در پایگاه تحقیقات سنگانه کلات با اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رواناب در مقیاس کرت در سال ۱۳۷۵ همراه بود. با گذشت زمان و ایجاد نیازهای تحقیقاتی جدید، ثبت داده در مقیاس آبخیزهای کوچک درون محدوده قرق و سپس احداث کرت‌های فرسایشی در منطقه غیر قرق و تجهیز یک حوضه به سامانه جمع‌آوری رواناب و رسوب در دستور کار محققین قرار گرفت.

با توجه به اندازه‌گیری رسوب‌دهی در مقیاس رگبار در حوضه‌های قرق و تحت چرای دام، امکان بررسی طولانی‌مدت رسوب‌دهی در این منطقه فراهم است. در این راستا، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی رسوب‌دهی از آبخیزهای کوچک مرتعی تحت چرای دام و قرق در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه کلات طرح‌ریزی شده است. ارزیابی مقایسه‌ای عرصه‌های مرتعی قرق شده و تحت چرای

آزادانه دامها می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار محققین، مروجین، برنامه‌ریزان و بهره‌برداران قرار دهد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه با نصب ۸۰ کرت فرسایش در سال ۱۳۷۵ در عرصه‌ای به مساحت حدود ۳۰ هکتار احداث شد (شکل ۱). زمین‌شناسی پایگاه تحقیقات سنگانه مربوط به ناحیه کپه داغ است. سازندهای سرچشمه و سنگانه بخشی از سازند رسوبی یال‌های شمالی و جنوبی این چین‌خوردگی (ناودیس) را تشکیل می‌دهند (Rangavar, 2006). مراتع پایگاه سنگانه و مناطق مجاور (شکر کلات) قشلاقی بوده و استفاده‌کنندگان آن عشایر و روستائیان منطقه هستند. دامداران عشایر معمولاً دام‌های خود را از ۲۵ آذرماه هر سال تا ۲۵ فروردین‌ماه سال بعد در این مراتع چرا می‌دهند و در بقیه سال فقط مورد استفاده دام‌های روستایی قرار می‌گیرد (Noor & Arabkhedri, 2023). بر اساس مطالعات انجام‌شده (Abbasi, 2015) تپ غالب پوشش گیاهی حوضه، درمنه بوده است. درصد پوشش گیاهی در شیب‌های شمالی و جنوبی به ترتیب ۶۰ و ۲۵ درصد تخمین زده شده است.

متوسط بارش این منطقه طی دوره ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۰ و بر اساس داده‌های ثبت‌شده توسط باران‌نگار، ۱۹۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. بارش در این منطقه به‌صورت پراکنده و طی دوره ۵ ماهه (دی‌ماه الی اردیبهشت‌ماه) ریزش می‌نماید. دوره خشک در این منطقه از اواسط اردیبهشت‌ماه آغاز شده و گاهی تا اواخر پاییز ادامه دارد. بر اساس گزارش Abbasi (2015)، اقلیم منطقه خشک است.

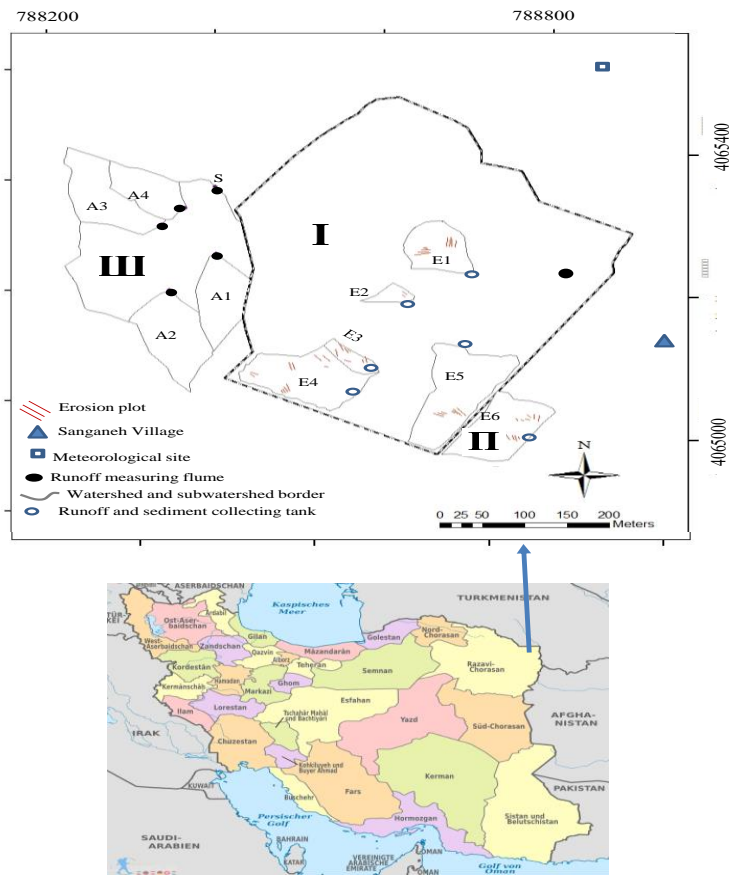
با توجه به بررسی‌های صحرایی و نتایج آزمایشگاهی و نیز رژیم رطوبتی و حرارتی، به روش Soil

Taxonomy دو رده خاک انتی‌سول و اریدی‌سول در محل شناسایی و تفکیک شدند. تحت گروه‌های تشخیص داده شده از این رده‌ها Lithicxerorthents, Haplic xerorthents و Haplic calciorthids هستند. تغییرات اسیدیته بین ۷/۲ تا ۸/۳، هدایت الکتریکی ۱ تا ۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر، میزان آهک ۰/۳ تا ۱۰/۴ درصد و گچ این اراضی صفر تا ۱۹ درصد است (Rangavar, 2006).

### سامانه‌های اندازه‌گیری رواناب و رسوب در پایگاه تحقیقات سنگانه

در سال ۱۳۸۵ پنج حوزه آبخیز کوچک به‌گونه‌ای در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه انتخاب شدند که تعداد مناسبی کرت فرسایشی در محیط داخلی آن‌ها وجود داشته باشد. همچنین در این سال به‌منظور بررسی اثرات ناشی از چرای دام بر رواناب و رسوبدهی آبخیزها، در خارج و هم‌جوار پایگاه نیز یک حوضه انتخاب و در داخل آن ۱۲ کرت اندازه‌گیری رواناب و تلفات خاک نصب شد. به‌منظور جمع‌آوری رواناب و رسوب تولیدی، در انتهای آبخیزهای شش‌گانه نیز مخازن جمع‌آوری رواناب و رسوب با ظرفیت مناسب نصب گردید. به‌این ترتیب، در این پایگاه تحقیقاتی تعداد شش حوضه کوچک (مشتمل بر ۳۴ کرت از ۹۲ کرت موجود) برای اندازه‌گیری هدررفت خاک، تولید رواناب و رسوبدهی وجود دارد که یک حوضه کوچک به همراه ۱۲ کرت فرسایشی در منطقه چرای آزاد و سایر مناطق، قرق هستند. شکل ۲ نمایی از آبخیزهای کوچک را نشان می‌دهد.

شش حوضه کوچک مذکور از مساحت‌های متفاوتی برخوردارند. مساحت کوچک‌ترین حوضه E2، ۱۱۹۰ مترمربع و بزرگ‌ترین آن‌ها حوضه E5، ۱۶۹۱۷ مترمربع است. متوسط شیب حوضه‌ها از ۲۷ درصد (E6) تا ۶۳/۵ درصد (E2) متغیر است. جدول ۱ مشخصات فیزیوگرافی این حوضه‌ها را نشان می‌دهد.

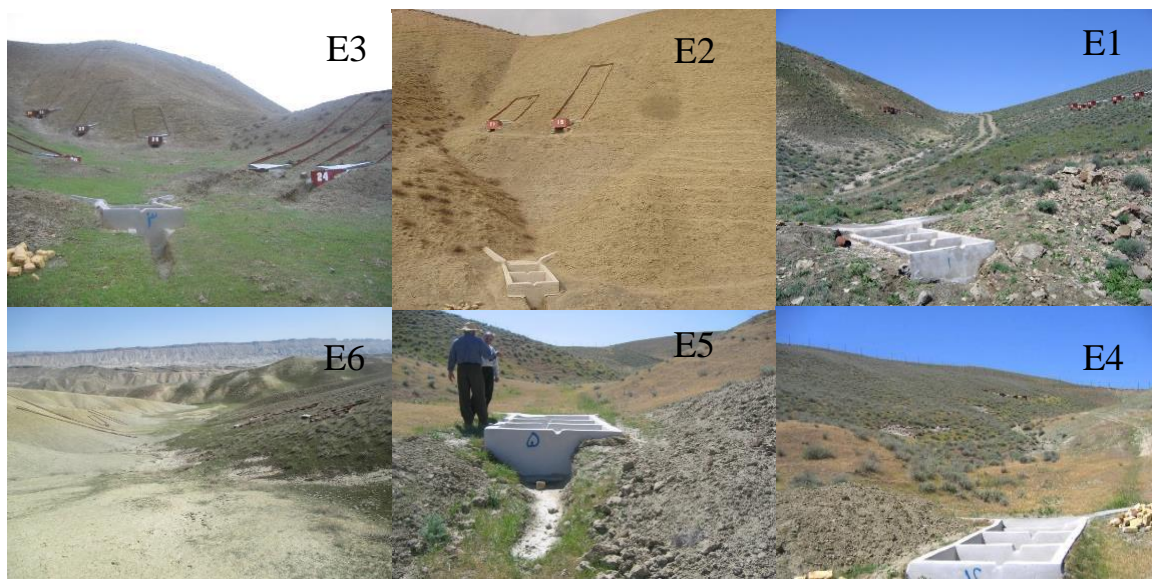


شکل ۱- موقعیت پایگاه تحقیقاتی سنگانه در شهرستان کلات، استان خراسان رضوی و اجزاء اصلی آن  
 Figure 1-Location of Sanganeh research station in Kalat county, Razavi Khorasan province and its main components

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های شش‌گانه پایگاه تحقیقات سنگانه کلات  
 Table 1- Physiographic characteristics of the six watersheds of sanganeh kalat station

نحوه مدیریت Management type	شیب متوسط (درصد) Average slope (%)	طول آبراهه (متر) Length of waterway (m)	محیط (متر) Perimeter (m)	مساحت (مترمربع) Area (m <sup>2</sup> )	حوضه Watershed
قرق*	40	79	287	4308	E1
قرق*	63	42	162	1190	E2
قرق*	47	67	190	1468	E3
قرق*	31	92	482	11996	E4
قرق*	29	179	592	16917	E5
چرای مفراط**	27	79	412	10397	E6

\* Grazing enclosure \*\* Excessive grazing



شکل ۲- نمایی از شش آبخیز کوچک در پایگاه تحقیقات سنگانه  
Figure 2- The pictures of studied watersheds in Sanganeh research station

### روش تحقیق

به منظور نیل به اهداف تحقیق در ابتدا به بررسی شاخص پوشش گیاهی منطقه قرق و تحت چرای دام پرداخته شد. در ادامه، تحلیل کلی داده‌های هدررفت خاک و رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مدنظر قرار گرفت. در نهایت، مقایسه هدررفت خاک و تولید رسوب در حوضه تحت چرای آزاد دام (E6) و یک حوضه قرق با شرایط مشابه (E4) صورت پذیرفت.

### الف) تعیین سری زمانی شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

به منظور تعیین سری زمانی شاخص NDVI تمامی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه دانلود و پس از پیش‌پردازش و انجام تصحیحات، اقدام به پردازش تصاویر شد. انجام این مراحل توسط کاربر، مستلزم صرف زمان بسیار زیادی است. در سال‌های اخیر برنامه تحت وب Google Earth Engine تمامی مراحل فراخوان تصاویر، پردازش و محاسبات موردنیاز را طی بازه زمانی تعریف‌شده توسط کاربر، انجام می‌دهد. لازم به توضیح است سه نوع مدیریت در مراتع منطقه شکرکلات (پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه نیز جزو آن است) وجود دارد که شامل قرق مرتع (عرصه

پایگاه و ۵ حوضه آبخیز کوچک آن)، عرضه مورد بهره‌برداری توسط دام‌های روستائیان (حوضه E6) و منطقه تحت چرای دام عشایر است؛ بنابراین در این تحقیق به مقایسه سری زمانی شاخص NDVI در این سه بخش پرداخته می‌شود.

### ب) ارزیابی کلی رسوب‌دهی در منطقه مورد مطالعه

داده‌های ثبت‌شده در حوضه‌های کوچک از سال ۱۳۸۵ تاکنون (به جز دو سال که داده‌برداری صورت نگرفته است) در دسترس است. مقدار تولید رسوب در هر شش حوضه کوچک موجود در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. به عبارتی اطلاعات رسوب‌دهی از منطقه قرق و همچنین محدوده تحت چرای دام روستائیان در دسترس است. باین حال اطلاعات اندازه‌گیری فرسایش خاک و رسوب‌دهی در منطقه تحت چرای دام عشایر موجود نمی‌باشد.

### ج) مقایسه مقادیر فرسایش خاک منطقه با میزان فرسایش قابل تحمل خاک

به این منظور از مقادیر فرسایش قابل تحمل خاک تعیین شده برای مراتع خشک و نیمه‌خشک ایران که به‌وسیله Sokouti Oskouei and Arabkhedri (2018) با استناد به میزان خاکسازگی و دو معیار عمق خاک و نوع عامل

### نتایج

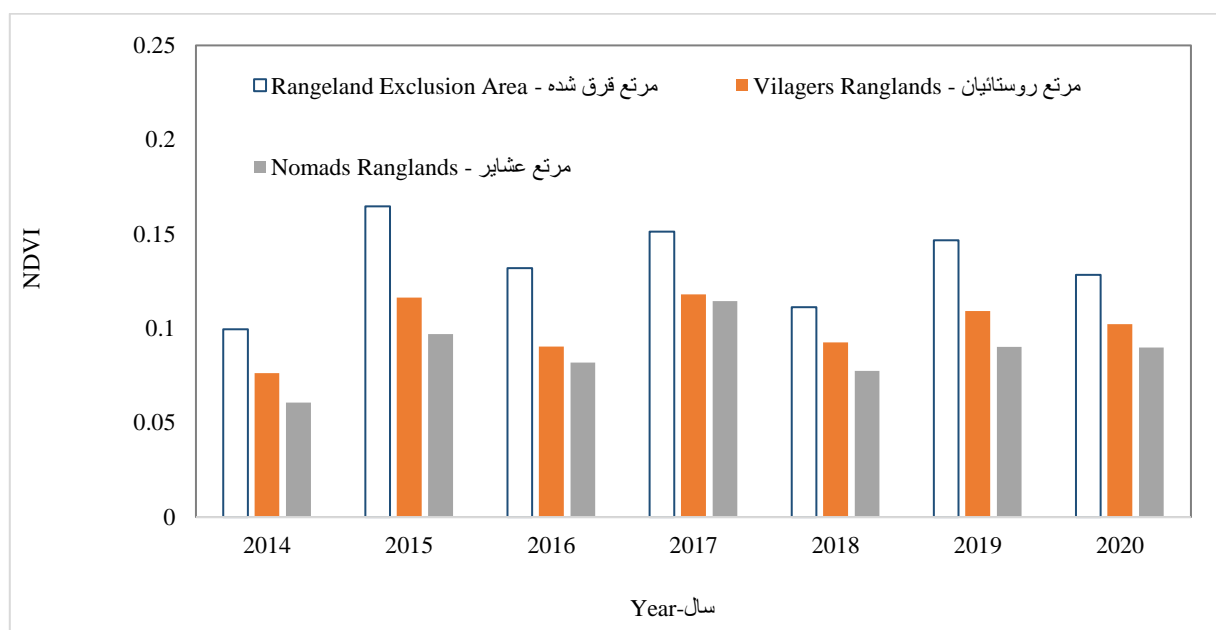
#### نتایج پایش شاخص پوشش گیاهی

همان‌گونه که بیان شد، با توجه به شرایط نحوه مدیریت مراتع در منطقه شکرکلات، در این بخش از تحقیق تمامی تصاویر موجود ماهواره لندست ۸ برای محدوده پایگاه سنگانه، محدوده تحت مدیریت روستائیان و محدوده تحت بهره‌برداری عشایر، مورد تحلیل قرار گرفت و NDVI این سه محدوده برای هر تصویر محاسبه شد. لازم به توضیح است بیش از ۲۵۰ تصویر لندست ۸ از اواسط سال ۲۰۱۳ تا ابتدای سال ۲۰۲۱ (کل تصاویر موجود ماهواره لندست ۸) برای محدوده مورد مطالعه فراخوانده و مورد تحلیل قرار گرفت.

محدودکننده بومی‌سازی شده است، استفاده شد. همچنین به‌منظور برآورد میزان فرسایش خاک در هر یک از آبخیزهای کوچک موردبررسی از داده‌های رسوب‌دهی (با توجه به دوره طولانی ۱۵ سال آن‌ها) و نسبت تحویل رسوب برای منطقه مورد مطالعه (Noor, 2020) استفاده شد.

#### د- مقایسه فرسایش خاک و تولید رسوب در اراضی قرق و تحت چرای دام

یکی از اهداف این تحقیق بررسی تفاوت رسوب‌دهی در دو منطقه قرق و تحت چرای آزاد دام در وقایع بارش مشابه است. برای این منظور آبخیز قرق E4 با شرایط تقریباً مشابه حوضه تحت چرای آزاد دام E6 (از نظر مساحت، شیب و شرایط زمین‌شناسی)، انتخاب و هدررفت خاک و تولید رسوب آن‌ها با استفاده از آزمون آماری t-جفتی مقایسه شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین NDVI سالانه مراتع مختلف منطقه مورد مطالعه

Figure 3- Comparing the average annual NDVI of different rangelands in the study area

جدول ۲ مقایسه تغییرات فصلی NDVI در هر سه منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، شاخص NDVI در تمامی فصل‌ها در منطقه قرق بالاتر از دو منطقه تحت چرای دام‌ها است. همچنین در تمامی مناطق، فصل بهار بالاترین مقدار NDVI و فصل پاییز کم‌ترین مقدار را دارا می‌باشند.

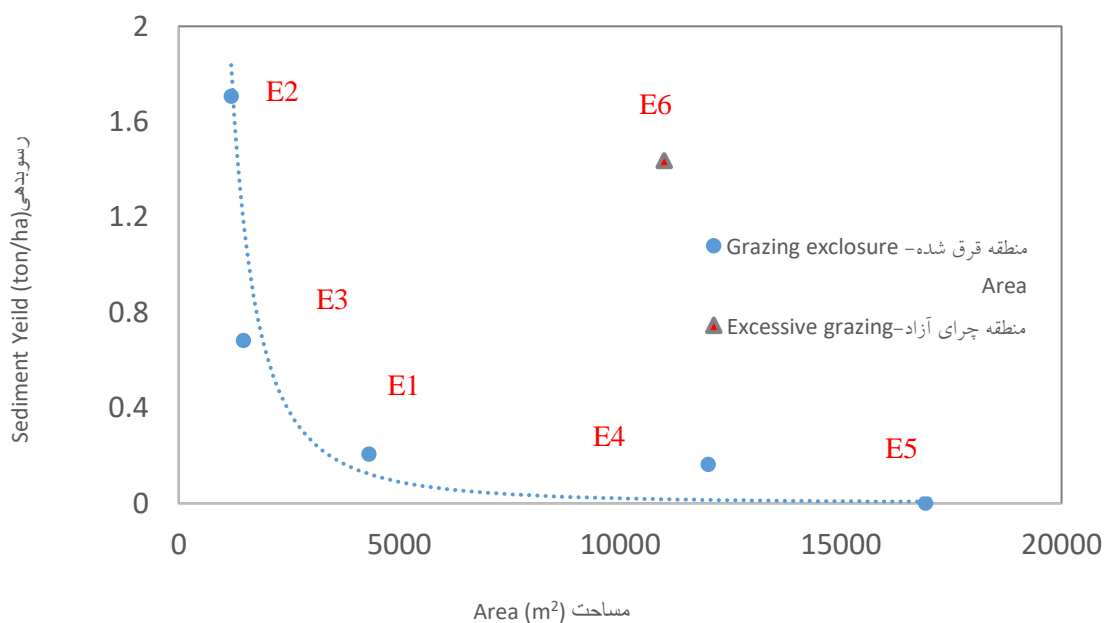
جدول ۲- میانگین فصلی شاخص NDVI در سه مرتع مورد مطالعه  
Table 2- Seasonal NDVI values in three studied rangelands

NDVI			فصل
محدوده چرای دام‌های عشایر Nomads' Ranges	محدوده چرای دام‌های روستائیان Villagers Ranges	محدوده قرق Grazing enclosure Area	Season
0.112	0.124	0.178	بهار Spring
0.085	0.091	0.126	تابستان Summer
0.069	0.075	0.110	پاییز Fall
0.076	0.108	0.127	زمستان Winter

اطلاعات باران-نگار مستقر در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه، متوسط بارش سالانه و متوسط عامل فرسایش باران به ترتیب ۱۹۳ میلی‌متر و ۱۰/۳ MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) به دست آمد. شکل ۴ رابطه رسوبدهی ویژه (متوسط رسوب سالانه در واحد سطح) و مساحت در شش حوضه کوچک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

#### تحلیل رسوبدهی در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه

طی دوره ۱۳۸۵ تاکنون در مجموع ۶۹ واقعه بارش منجر به تولید رواناب حداقل در یکی از آبخیزهای کوچک موجود در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه ثبت شده است. بر اساس



شکل ۴- ارتباط رسوبدهی ویژه و مساحت در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه

Figure 4- Relationship between specific sediment yield - area in Sanganeh soil conservation research station

## ارزیابی فرسایش قابل تحمل

مقادیر داده‌های ثبت شده رسوبدهی، فرسایش خاک برآورد شده و فرسایش قابل تحمل مربوط به اراضی مرتعی در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه متوسط فرسایش سالانه آبخیزهای آزمایشی سنگانه با مقدار قابل تحمل فرسایش خاک برای اراضی مرتعی

Table 3- Comparison of the average annual erosion of Sanganeh experimental watersheds to the tolerable soil erosion for rangelands

فرسایش قابل تحمل (تن در هکتار در سال)** Tolerable soil erosion (ton/ha/y)	فرسایش (تن در هکتار در سال) Soil erosion (ton/ha/y)	نسبت تحویل رسوب (درصد)* SDR (%)	رسوبدهی (تن در هکتار در سال) Sediment yield (ton/ha/y)	حوضه Watershed
0.50	0.35		0.20	E1
0.75	2.87		1.70	E2
0.50	1.15	56.33	0.68	E3
0.50	0.27		0.16	E4
1.00	0.00		0.00	E5
0.50	2.42		1.43	E6

Based on Noor (2020)\*

Based on Sokouti Oskoe and Arabkhedri (2018)\*\*

انتخاب شدند. در این میان حوضه E4 قرق بوده و حوضه E6 مورد چرای دام‌های روستائیان قرار می‌گیرد. نتایج ارزیابی اثر نوع مدیریت مرتع این دو آبخیز بر رسوبدهی متوسط سالانه و رسوبدهی متوسط برخی از فصول تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۴).

### ارزیابی مقایسه‌ای رسوبدهی در محدوده تحت چرا و قرق

همان‌گونه که در روش تحقیق بیان شد، به‌منظور ارزیابی اثر قرق بر هدررفت خاک و رسوبدهی، دو حوضه تقریباً مشابه (E4 و E6) در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه

جدول ۴- مقایسه آماری میزان رسوبدهی اندازه‌گیری شده در دو آبخیز کوچک مورد مطالعه

Table 4- Statistical comparison of the amount of sediment yield measured in two small watersheds

تعداد واقعه Number of Events	سطح معنی‌داری The significance level	زمان Time
31	0.001**	بهار Spring
1	-	تابستان Summer
21	0.004*	پاییز Fall
16	0.123 <sup>ns</sup>	زمستان Winter
69	0.003*	کل داده‌ها Total

\* و \*\*: وجود اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد -ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

\* and \*\*: Significant at 5 and 1 percent levels respectively-ns: Non significant

## بحث

نتایج ارائه شده در شکل ۳ به خوبی نشان می‌دهد که مقدار عددی NDVI با افزایش شدت چرای دام‌ها کاهش یافته است به گونه‌ای که مقدار متوسط سالانه NDVI در محدوده قرق بیش‌ترین و در منطقه چرای دام عشایر کم‌ترین است. این نتایج با یافته‌های (Kamali Maskooni et al., 2020) در مراتع محمدآباد جیرفت و (Salmanbayati et al., 2018) در مراتع عباس‌آباد همدان هماهنگی دارد. به گونه‌ای که درصد پوشش گیاهی در منطقه قرق از منطقه چرای متوسط (مربوط به دام روستائیان) بیش‌تر است. همچنین در منطقه چرای متوسط نیز درصد پوشش گیاهی وضعیت بهتری نسبت به منطقه چرای شدید (مربوط به دام عشایر) دارد.

طبق نتایج مندرج در جدول ۲ بیش‌ترین اختلاف مقدار NDVI بین منطقه قرق و مناطق تحت چرای دام‌ها در فصل بهار و پاییز اتفاق افتاده است. در فصل بهار میزان پوشش گیاهی مراتع منطقه به حداکثر خود می‌رسد، در این حالت در منطقه قرق، چرای دام‌ها وجود ندارد ولی در منطقه محدوده روستائیان و عشایر (خروج عشایر از منطقه نیمه اردیبهشت است) چرای دام‌ها وجود دارد و باعث کاهش تراکم پوشش گیاهی در منطقه خواهد شد. از سوی دیگر در فصل پاییز در منطقه قرق، بقایای پوشش گیاهی پس از دوره تابستان (دوره خشک) سطح خاک را تا حدی محافظت می‌کند، ولی در مناطق تحت چرای دام، سطح خاک تقریباً لخت می‌ماند. باید توجه داشت که در فصل پاییز، NDVI هر سه منطقه در حداقل خود هستند و پس از آن با شروع بارش، به تدریج مقدار پوشش گیاهی و NDVI در فصل زمستان در حال افزوده شدن است.

شکل ۴ نشان‌دهنده آن است که با افزایش مساحت آبخیز، میزان رسوب‌دهی ویژه به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در تحقیقات پیشین نیز، در اغلب موارد، با افزایش مساحت، مقدار رواناب و رسوب ویژه (در واحد سطح) روند کاهشی گزارش شده است (Noor et al., 2018; Noor & Arabkhedri, 2020). با این حال شکل ۴ به خوبی نشان

می‌دهد که چرای دام در حوضه E6 باعث شده است تا رابطه بین مساحت - رسوب ویژه تغییر نماید. به گونه‌ای که حوضه E6 (چرای آزاد دام‌ها) به دلیل شرایط مدیریتی متفاوت از پنج حوضه دیگر (قرق)، خارج از رابطه نمایی کاهنده قرار گرفته است.

تفاوت زیاد بین رسوب‌دهی ویژه در حوضه‌های مختلف (شکل ۴) نیاز به توضیح دارد. حوضه E5 دارای عمق خاک بین ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر است و همچنین پوشش گیاهی مناسبی دارد. این حوضه بزرگ‌ترین مساحت بین شش حوضه را دارد. مجموع عوامل مذکور باعث شده است که میزان تولید رسوب در این حوضه بسیار کم و ناچیز باشد. لازم به توضیح است که به طور کلی وقایع منجر به تولید رواناب در حوضه E5 بسیار کم است. از سوی دیگر حوضه E2 به دلیل وجود دامنه فاقد پوشش گیاهی و مساحت بسیار کم (کوچک‌ترین حوضه) بالاترین مقدار رسوب‌دهی ویژه را در طی دوره مورد بررسی نشان داد. حوضه E6 در اثر چرای آزاد دام‌ها، رسوب‌دهی ویژه بالایی دارد. به عنوان جمع‌بندی می‌توان بیان نمود که خصوصیات حوضه شامل عمق خاک (Blanco & Lal, 2008)، وضعیت پوشش گیاهی (Fazli & Noor, 2013) و شیب و مساحت حوضه (Noor & Arabkhedri, 2020) بر میزان رسوب‌دهی ویژه حوضه‌های مختلف در واقعه فرساینده مورد مطالعه اثرگذار بوده‌اند.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ در منطقه قرق شده میزان فرسایش در حوضه‌های E1، E4 و E5 کم‌تر از فرسایش قابل تحمل است. این نتایج نشان می‌دهد که در مناطق خشک کشور در صورت حذف عوامل تخریب‌کننده منابع طبیعی، امکان ایجاد تعادل بین فرآیندهای خاک‌سازی و فرسایش خاک وجود خواهد داشت. با این حال در حوضه‌های E2 و E3 پس از ۲۵ سال قرق، همچنان مقدار فرسایش بالاتر از محدوده قابل تحمل است که نشان‌دهنده کند بودن روند احیاء حوضه‌های تخریب‌شده است.

بهار (متوسط شدت ۳۰ دقیقه‌ای بارش‌ها ۱۰/۹ میلی‌متر در ساعت) نسبت به پاییز (متوسط شدت ۳۰ دقیقه‌ای بارش‌ها ۵/۷ میلی‌متر در ساعت) و زمستان (متوسط شدت ۳۰ دقیقه‌ای بارش‌ها ۳/۸ میلی‌متر در ساعت) شدیدتر هستند. همچنین Wang *et al.* (2004) در چین نیز تغییرات فصلی تولید رسوب در بین تیمارهای قرق و تحت چرا را گزارش نمودند. ایشان حداکثر اختلاف را در فصل بهار مشاهده نمودند.

در این راستا، Bartley *et al.* (2010) اثر مدیریت چرا بر میزان رسوب تولیدی در مقیاس حوزه آبخیز در کشور استرالیا را معنی‌دار نشان نداد و دلیل آن تأمین رسوب از مناطق با پوشش کم‌تر از ده درصد در منطقه قرق شده، عنوان نمودند. از سوی دیگر Ghoddousi *et al.* (2006) با استفاده از مدل‌های تجربی، اثر قرق بر میزان کاهش رسوب‌دهی حوضه را ۱۷۰ درصد گزارش نمودند. همچنین Khaledi *et al.* (2010) Sadeghi *et al.* (2010) افزایش ۱۶۲ درصدی و Darvishan *et al.* (2018) افزایش ۱۲۱/۴۳ درصدی میزان هدررفت خاک در منطقه تحت چرا نسبت به منطقه قرق شده را گزارش نمودند.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار NDVI تحت تأثیر شدت چرای دام در منطقه قرار دارد. به‌گونه‌ای که حداکثر مقدار این شاخص در منطقه قرق شده و حداقل آن نیز در مراتع با چرای شدید (منطقه چرای دام عشایر) مشاهده شده است. نتایج همچنین نشان داد که تولید رسوب در آبخیزهای کوچک واقع در مراتع خشک موردبررسی وابسته به مساحت است، به‌گونه‌ای که رابطه مساحت حوضه و رسوب‌ویژه (رسوب در واحد سطح) به‌صورت نمایی و کاهنده است. به عبارتی با افزایش مساحت از مقدار رسوب‌دهی ویژه کاسته می‌شود. باین‌حال تغییر مدیریت از قرق به چرای دام (در حوضه E6) باعث تغییر روابط رسوب ویژه-مساحت شد. تحلیل هدررفت خاک در منطقه و

بررسی وضعیت پوشش گیاهی پایگاه سنگانه نشان می‌دهد علی‌رغم قرق ۲۵ ساله منطقه، برخی از دامنه‌های پرشیب متشکل از شیل‌ها، دارای پوشش گیاهی بسیار کمی می‌باشند. به عبارتی، قرق منطقه توانسته است که پوشش گیاهی را در مناطقی که سابقاً دارای پوشش گیاهی بوده‌اند، بهبود دهد. باین‌حال برخی از دامنه‌ها که عموماً دارای فرسایش بالایی نیز هستند طی دوره قرق و به‌صورت طبیعی افزایش پوشش گیاهی نداشته‌اند. در این زمینه Bartley *et al.* (2010) بیان می‌دارد که در دامنه‌هایی با پوشش گیاهی کم‌تر از ده درصد، قرق مرتع اثر کمی بر کاهش فرسایش خاک داشته است. از سوی دیگر مطابق انتظار در منطقه چرای آزاد میزان فرسایش خاک بالاتر از حد قابل تحمل است. در این رابطه می‌توان تأثیر چرای دام در افزایش رسوب را به کاهش تراکم پوشش گیاهی در اثر چرای دام و کاهش نفوذپذیری خاک به دلیل لگدکوبی خاک توسط دام‌ها نسبت داد (Noor *et al.*, 2020).

نتایج ارائه‌شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که در کل دوره، رسوب تولیدی در تیمار چرا ۵۸۲ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار قرق بوده است. لازم به توضیح است که بخش عمده‌ای از اختلاف ایجادشده ناشی از یک رگبار شدید در منطقه است. بدون در نظر گرفتن واقعه فرساینده مذکور، تفاوت تولید رسوب در آبخیز چرای آزاد و قرق نسبی برابر با ۲۲۵ درصد است. در مقیاس فصلی، همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیش‌ترین اختلاف معنی‌دار در فصل بهار ( $P \leq 0.01$ ) رخ داده است و فصل پاییز در رتبه دوم قرار می‌گیرد. درحالی‌که در فصل زمستان بین دو حوضه اختلاف معنی‌دار دیده نشد.

دلیل بیش‌ترین اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در فصل بهار را می‌توان به چرای دام‌ها، لگدکوبی و جابجایی خاک در منطقه تحت چرا و در نتیجه بالا رفتن ذرات آماده فرسایش به همراه بارش‌های شدید و رطوبت بالای خاک نسبت داد. در این زمینه نتایج بررسی شدت ۳۰ دقیقه‌ای بارش‌های فصل‌های مختلف در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه کلات توسط Noor (2020) نشان داد که بارش‌های فصل

می‌شود. برنامه‌ریزی برای ایجاد چرای اصولی در مراتع و کاهش فشار چرا در فصل بهار (طبق نتایج دارای بیشینه اختلاف بین تیمار قرق و چرا دیده شده است) می‌تواند میزان هدررفت خاک را به شدت کاهش دهد. مطمئناً وقوع سیلاب‌های متعدد و آسیب رساندن به راه‌های ارتباطی در اثر بهره‌برداری غیراصولی از مراتع منطقه بوده است و اجرای اقدامات مدیریتی نظیر چرای علمی به نوعی سرمایه‌گذاری برای کاهش خسارت‌ها سیلاب و رسوبات همراه آن است. این تحقیق در زیست‌بوم مرتع خشک در شمال شرق کشور انجام شد، در انتخاب مناطق قرق و تحت چرای دام سعی بر آن شد حداکثر شباهت از نظر توپوگرافی، خاک و... بین دو منطقه وجود داشته باشد باین‌حال در طبیعت شرایط کاملاً مشابه وجود ندارد و ممکن است برخی از اختلافات موجود در نتایج مربوط به عدم تشابه کامل دو منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین انجام تحقیقات در سایر مراتع کشور و شناسایی وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در آن‌ها اطلاعات مفیدی به منظور مدیریت مراتع در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد.

#### سیاسگزاری

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی ۹۹۰۳۱۴-۱۴-۰۲۹-۲-۴۳، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. نگارندگان بدین‌وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی به دلیل پشتیبانی‌های مختلف ایشان در طول انجام پژوهش، صمیمانه قدرانی می‌کنند.

#### References

- Abbasi, A.A. (2015). Calibration of EPM empirical model efficiency through sediment survey of small reservoirs in north east of Iran. Final Research Report, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 125 pp. (In Persian)
- Akhzari, D., Sori, L. & Omidvari, Sh. (2016). Studying the effect of grazing on soil physicochemical properties in a summer rangeland (case study: Zagheh Rangeland, Lorestan Province). *Rangeland*, 3(1), 19-32. (In Persian)
- Arabkhedri, M. (2014). A review on major water erosion factors in Iran. *Land Management*, 2(1), 17-26 (In Persian)
- Bartley, R., Wilkinson, S.N., Hawdon, A.A., Abbott, B.N. & Post, D.A. (2010). Impacts of improved grazing land management on sediment yields. Part 2: Catchment response. *Journal of Hydrology*. 389(3), 249-259.

مقایسه آن‌ها با مقدار قابل تحمل فرسایش خاک مورد توجه قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده آن است که فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه در سه آبخیز قرق شده E1، E4 و E5 کم‌تر از حد قابل تحمل فرسایش خاک است که به معنی بالاتر بودن سرعت خاک‌سازی از فرسایش خاک است. به این ترتیب انتظار می‌رود منطقه به سمت ثبات و پایداری بیش‌تر پیش برود. باین‌حال، در حوضه‌های قرق شده E2 و E3 میزان فرسایش خاک از حد قابل تحمل فرسایش بیش‌تر است. دلیل این موضوع، عدم استقرار پوشش گیاهی در برخی دامنه‌های پرشیب پس از گذشت حدود ۲۵ سال قرق است. این موضوع شکننده بودن زیست‌بوم مرتعی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کم‌باران را نشان می‌دهد. همچنین نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که چرای بی‌رویه دام‌ها در مراتع سنگانه موجب ایجاد فرسایش خاک بیش‌تر از حد قابل تحمل آن می‌شوند. در نهایت مقایسه اثر قرق مرتع بر رسوب‌دهی حوضه آبخیز نشان داد که در کل دوره، رسوب تولیدی در تیمار چرا ۵۸۲ درصد بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار قرق بوده است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

در مراتع مناطق خشک مانند منطقه مورد مطالعه، برای استقرار گیاه علاوه بر قرق، استفاده از روش‌های احیاء و اصلاح مراتع به‌ویژه امکان ذخیره رطوبت در خاک نیز پیشنهاد می‌شود. قرق مرتع (در صورت رفع موانع اجتماعی) برای کنترل هدررفت خاک و افزایش پایداری زیست‌بوم‌های مرتعی خشک (که تولید علوفه ناچیزی دارند) پیشنهاد

- Bennett, H.H. (2001). *Soil conservation, Agrobios*, New Delhi.
- Blanco, H. & Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer Science.
- Fazli, S. & Noor, H. (2013). Storm-wise sediment yield prediction using hillslope erosion model in semi-arid abundant lands. *Soil & Water Res*, 8, 42-48.
- Ghoddousi, J., Tavakoli, M., Khalkhali, S.H. & Soltani, M.J. (2006). Assessing effect of rangeland exclusion on control and reduction of soil erosion rate and sediment yield. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 73, 136-142. (In Persian)
- Hawdon, A., Keen, R.J., Post, D.A. & Wilkinson, S.N. (2008). Hydrological recovery of rangeland following cattle exclusion, *Sediment Dynamics in Changing Environments IAHS Publ.* 325, Christchurch New Zealand, pp. 532-539.
- Jeffrey J. Y. (2005). Effects of grazing exclusions on rangeland vegetation and soils, east central Idaho. *Western North American Naturalist*, 65(1), 91-102.
- Kamali Maskooni, E., Behzad, A. & Amiri, I. (2020). Effect of Different Grazing Intensities on Diversity and Plants Cover Composition in Semi-Arid Grazing (Case study: Mohammad Abad, Jiroft). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 287-297. (In Persian)
- Khaledi Darvishan, A.V., Ghorghi, J.H., Katebikord, A., Mohammad Amini, H., Gholami, L., Karamzadeh, A., Bahmani, A & Saedi, F. (2018). Effect of enclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots in Khamsan representative watershed of Kurdistan province. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(6), 243-255. (In Persian).
- Darvishan, A. K., Gholami, L., Ghorghi, J. H., Spalević, V., Kord, A. K. & Amini, H. M. (2016). Effect of enclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots. *Agrofor*, 1(1), 49-57.
- Li, Y., Zhao, H., Zhao, X., Zhang, T., Li., Y. & Cui, J. (2011). Effects of grazing and livestock exclusion on soil physical and chemical properties in desertified sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Journal of Environment Earth Science*, 63, 771-783.
- Liu, J., Wu, J., Su, H., Gao, Z. & Wu, Z. (2017). Effects of grazing exclusion in Xilin Gol grassland differ between regions. *Ecological engineering*, 99, 271-281.
- Mesdaghi, M. (2003). *Rangeland management in Iran*. *Astane Ghods Publication*, Imam Reza University, 156 pages. (In Persian).
- Noor, H. & Arabkhedri, M. (2020). The Influence of Hillslope Length and Direction on Runoff and Soil Loss Under Natural Rainfall in an Arid Region. *Jwmr*, 11 (22), 254-262. (In Persian).
- Noor, H. & Arabkhedri, M. (2023). Prediction of Soil Erosion and Sediment Delivery Ratio using RUSLE at Sanganeh Soil Conservation Research Station. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 42-53. (In Persian).
- Noor, H., Rajaei, S.H., Bagherian Kalat, A. & Sedigh. R. (2018). Analyzing temporal and spatial scale effect on sediment yield of micro-watershed in Sanganeh area. *Extension and Development of Watershed Management*, 6(21), 37-42. (In Persian).
- Noor, H. (2020). Evaluation of Variation in Sediment Delivery Ratio based on Plot and Micro-Watershed Scales Data in Sanganeh Watershed. Final report of research project, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*. (In Persian).
- Noor, H., Bagherian Kalat, A. & Abbasi, A. (2020) Evaluation of sediment yield under open grazing and enclosure micro-watersheds, case study: Sanganeh area of Kalat. *Watershed Engineering and Management*, 12(2), 505-513. (In Persian).
- Parvini, S., Jafarian, Z. & Kavian, A. (2018). Simulation Effects of Soil and Water Conservation in Rangelands on Runoff Characteristics Using HEC-HMS Model (A Case Study: Rangelands of Meikhoran Watershed, Kermanshah Province). *JWSS*. 2018; 22 (2), 81-95. (In Persian).
- Pilon, C., Moore Jr, P. A., Pote, D. H., Pennington, J. H., Martin, J. W., Brauer, D. K. & Lee, J.

- (2017). Long-term effects of grazing management and buffer strips on soil erosion from pastures. *Journal of environmental quality*, 46(2), 364-372.
- Rangavar, A. (2006). Investigation and comparison of runoff and soil loss between experimental plots and small catchments in order to use in watershed areas scale. Research Final Report, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 165 pages. (In Persian).
- Refahi, H.G. (2001). Water erosion and its control. *Tehran University Publisher*, 625 pages. (In Persian).
- Sadeghi, S.H.R., Mohammadpour, K. & Dianatitilaki, G.A. (2010). Sediment yield variability in free grazing and short term exclosure treatments in Kodir summer rangeland. *Rangeland*, 4(3), 484- 493. (In Persian).
- Salmanbayati, T., Hosseini, Z., Rashtian, A. & Alirezaee, H. (2018). Comparing the accuracy of different vegetation cover sampling methods in remote sensing indices (Case Study: Abbas Abad Hamedan). *Rangeland*, 12(2), 169-179. (In Persian).
- Samadi-Khangah, S., Ghorbani, A., Cho- ukali, M., Moameri, M., Badrzadeh, M. & Moatamedi, J. (2021). Effect of Grazing Exclosure on Vegetation Characteristics and Soil Properties in the Mahabad Sabzepoush Rangelands, Iran. *ECOPERSIA*. 2021;9(2),139-152.
- Sanjari, G., Yu, B., Ghadiri, H., Ciesiolka, C.A. & Rose, C.W. (2010). Effects of time-controlled grazing on runoff and sediment loss. *Soil Research*. 47(8), 796-808.
- Sokouti Oskoe, R. & Arabkhedri, M. (2018). Developing a Suitable Method for Determining Soil Loss Tolerance in Iran. *Land Management Journal*, 6(1), 1-19. (In Persian)
- Toy, T.J., Foster, G.R. & Renard, K.G. (2002). Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. *John Wiley & Sons*.
- Trueblood, D.C. (2007). Soil-vegetation relationships at rangeland exclosures in the gardner saltbush vegetation type of the Big Horn Basin, Wyoming. *University of Wyoming*, 106p.
- Wang, Z.Y., Hang, G.Q. & Gao. J. (2004). Modeling of vegetation-erosion dynamics in watershed systems. *Journal of Environmental Engineering*, 130, 792-800.

## Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran)

Hadi Eskandari Damaneh<sup>1</sup>, Saeid Barkhori<sup>2</sup>, Zahra Azhdari<sup>3</sup>, Abdolvahid Navaki<sup>3</sup>, Hamed Eskandari Damaneh<sup>1</sup>, Hassan Khosravi<sup>1\*</sup>

- 1- Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran  
2- Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.  
3- Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran.

\*Corresponding Author: hakhosravi@ut.ac.ir

(Received: 22 July 2023

Revised: 05 August 2023

Accepted: 30 August 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Mapping and assessment of surface water dynamics is essential for continuous monitoring of water resources as it has significant implications in engineering and scientific research for floodplain delineation, wetlands, disaster management, biodiversity, climate change, and water resource management (Huang *et al.*, 2018; Jawak *et al.*, 2015). Traditional surface water monitoring methods mainly rely on field surveys or on established measuring stations. Although the accuracy of the data obtained by this method is high, it is time-consuming and has low efficiency. In addition, many aquifers are very difficult to access because they are located in remote and rugged places, and only data from limited points in incomplete time series are obtained due to the limitations of economic and land factors (Ogilvie *et al.*, 2018). With the expansion and development of remote sensing science and geographic information system, better ways have been provided to monitor water bodies in a long period such that the use of multispectral satellite images and different spectral indices for monitoring water bodies and floods is a fast and economical method in terms of time and cost. The high number of existing sensors and their differences in estimating the spectral and spatial characteristics of spectral indices have led to a good representation of the potential and limitations of satellite data. Therefore, in this research, to investigate the flood of 2019 in the southwest of Iran, the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from the Landsat 8 satellite images were used.

**Materials and methods:** The study area is a part of the southwest of Iran, which includes the southern part of Ilam province and the northern, northwestern, western and southwestern parts of Khuzestan province. In this study, to investigate the flood of 2018-2019, Landsat 8 sensor images were used for three months of January, February and March in 2019. This section used QGIS3.28, GIS10.8, Excel software and remote sensing data including satellite images related to Landsat 8 sensor. These multispectral data were obtained from the United States Geology website ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)) and were prepared for preprocessing and necessary processing. To prepare a map of the flood area and vegetation, radiometric and atmospheric corrections were performed on the received images (Eskandari Damaneh *et al.*, 2016). After applying the necessary preprocessing, the MNDWI and NDVI were used to prepare the map of changes in water bodies and vegetation for the years 2018 and 2019, respectively (Rugel *et al.*, 2017; Abutaleb *et al.*, 2015; Arekhi *et al.*, 2019).

**Results:** According to the results, the highest values of MNDWI in 2018 corresponded to those on March 12, which includes the northern and central parts. In 2019, the highest value of this index was on the date of March 19, which included the southern to southwestern parts of the study area. Examining the changes in MNDWI classes showed that in 2019, on February 2nd, 19th and March 7th, classes ranging from 0.11 to 0.15 occupied the highest level of the studied range, which is more than 68.75 percent of the area. This range and its trend were increasing. On the other hand, on the mentioned dates, classes ranging from 0.15 to 0.2 covered an area of more than 24.32% of the region, and these classes were decreasing. Accordingly, in 2019,

Citation: Eskandari damaneh, H., Barkhori, S., Azhdari, Z., Navaki, A., Eskandari damaneh, H., & Khosravi, H. (2023). Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 49-62. doi: 10.22034/iwm.2023.2007585.1094

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



on March 8th and May 14th, the largest percentage of the area under study was still in classes ranging from 0.11 to 0.15, and the total of these areas was more than 76.13% of the region, which was decreasing. On these dates, classes ranging from 0.15 to 0.2 included more than 20.03 percent of the study area, and these classes had gone through an increasing trend.

Examining the changes of NDVI classes showed that in 2019, on February 2nd, 19th and March 7th, the largest percentage of the study area was taken by classes ranging from 0.2 to 0.3, which totaled 71.81%, and was increasing. Also, on these dates, classes ranging from 0.3 to 0.5 included more than 11.46% of the study area and these classes were decreasing. Also, in 2019, on March 8th and May 14th, the largest percentage of the study area was still taken by classes ranging from 0.2 to 0.3, and the total of these areas was more than 82.54%, which was decreasing. Meanwhile, on these dates classes ranging from 0.3 to 0.5 included more than 11.64% of the study area, and these classes had been increasing.

**Discussion and conclusion:** The trend of spatial and temporal changes of the MNDWI index in this period shows that in February and March of 2019, the highest value of this index was in the northern and central parts of the studied region. While the highest value of this index was in March and May of 2019, it has been seen in the southern and southwestern parts of Khuzestan province. While this precipitation is in the season when the vegetation in this area is in good condition, the classes above 0.3 NDVI vegetation index in March 2018 and March 2019 are more than 42 and 38% of the area, respectively. Because the southern parts of Khuzestan province have lower altitudes than the northern and northwestern regions, it is plain and flat. This has caused it to serve as the foothills of the upper elevations of Khuzestan and Lorestan provinces, which in turn causes the influx of upstream waters into this region. Even if the vegetation cover is suitable in the season, it has caused a large and unexpected influx of water in these areas, which itself causes flooding of the residential regions, facilities and agricultural lands. In general, it can be concluded that by using the MNDWI and NDVI indices obtained from the Landsat satellite images, it is possible to monitor the water bodies and waterlogged areas resulting from natural hazards such as floods, as well as the vegetation of different regions with high accuracy. The findings of this study can be used in studies and decision making with sufficient confidence.

**Keywords:** Remote sensing, flood, MNDWI, NDVI, Landsat satellite

Citation: Eskandari damaneh, H., Barkhori, S., Azhdari, Z., Navaki, A., Eskandari damaneh, H., & Khosravi, H. (2023). Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 49-62. doi: 10.22034/iwm.2023.2007585.1094

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران)

هادی اسکندری دامنه<sup>۱</sup>، سعید برخورداری<sup>۲</sup>، زهرا اژدری<sup>۳</sup>، عبدالوحید ناوکی<sup>۴</sup>، حامد اسکندری دامنه<sup>۱</sup>

حسن خسروی<sup>۱\*</sup>

۱- گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

۳- گروه مهندسی منابع طبیعی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

\*نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱

### چکیده

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و شاخص‌های طیفی مختلف برای پایش پهنه‌های آبی و سیلاب‌ها از لحاظ وقت و هزینه روشی سریع و مقرون به صرفه است. در این پژوهش به منظور بررسی سیلاب سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در جنوب غربی ایران از شاخص اصلاح شده آب تفاضلی نرمال شده (MNDWI) و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) حاصل از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. این شاخص‌ها در ۵ کلاس بر مبنای دامنه یکسان طبقه‌بندی شدند و روند تغییرات هر کلاس در سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج MNDWI نشان داد که در تاریخ‌های ۱۲ و ۳۰ بهمن‌ماه و همچنین ۱۶ اسفندماه سال ۱۳۹۷ کلاس‌های کمتر از ۰/۱۵ - ۰/۱۱ بیش‌تر از ۶۸/۷۵ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته و روند آن‌ها در حال افزایش است. بررسی این نتایج در تاریخ‌های یکم فروردین‌ماه و ۲۴ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ نشان داد که بیشترین درصد مساحت محدوده مورد مطالعه همچنان در کلاس‌های کمتر از ۰/۱۵ - ۰/۱۱ است که مجموع این مساحت‌ها بیشتر از ۷۶/۱۳ درصد از منطقه است که در حال کاهش بوده است. در این تاریخ‌ها روند کلاس‌های بیشتر از ۰/۲ - ۰/۱۵ افزایشی بوده است. بررسی تغییرات NDVI نشان داد که در تاریخ‌های ۱۲، ۳۰ بهمن و ۱۶ اسفندماه سال ۱۳۹۷ بیشترین درصد مساحت این محدوده را کلاس‌های کم‌تر از ۰/۳ - ۰/۲ در بر گرفته که مجموع مساحت‌های آن‌ها ۷۱/۸۱ درصد است که در حال افزایش بوده است. در سال ۱۳۹۸، تاریخ‌های یکم فروردین‌ماه و ۲۴ اردیبهشت بیشترین درصد مساحت محدوده مورد مطالعه همچنان در کلاس‌های کم‌تر از ۰/۳ - ۰/۲ بوده و بیش‌تر از ۸۲/۵۴ درصد منطقه مورد مطالعه را شامل شده است که روند این کلاس‌ها کاهشی است. این در حالی است که در این تاریخ‌ها روند کلاس‌های بیشتر از ۰/۵ - ۰/۲ افزایشی است. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که با استفاده از شاخص‌های سنجش از راه دور حاصل از تصاویر ماهواره لندست می‌توان مخاطرات طبیعی مانند سیلاب را به خوبی و با دقت بالا پایش کرد و اطلاعات حاصل از این مطالعات را در امور مطالعاتی و تصمیم‌گیری با اطمینان کافی لحاظ نمود.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، سیلاب، MNDWI، NDVI، ماهواره لندست

استناد: اسکندری دامنه، ه.، برخورداری، س.، اژدری، ز.، ناوکی، ع.، اسکندری دامنه، ح.؛ و خسروی، ح. (۱۴۰۲). پایش تغییرات مکانی و زمانی سیلاب و پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از ماهواره لندست (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۴۹-۶۲.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

طلغیان آب‌های سطحی به‌عنوان سیل یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی است که زندگی انسان‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و مشکلات اقتصادی زیادی را در سراسر جهان ایجاد می‌کند؛ بنابراین، پایش دقیق رویدادهای سیل برای به دست آوردن اطلاعات دقیق در مورد علل و راه‌حل‌های مقابله با این پدیده مخرب ضروری است (Samela et al., 2020; Goffi et al., 2022). اولین دغدغه در طرح‌های مدیریت سیل، تهیه یک نقشه از محدوده آن است؛ زیرا پیامدهای قابل توجهی در محدوده سیل‌زده، تالاب‌ها، مدیریت بلایا، تنوع زیستی، تغییرات اقلیمی و مدیریت منابع آب دارد (Huang et al., 2018; Jawak et al., 2015). روش‌های سنتی پایش آب‌های سطحی عمدتاً به بررسی‌های میدانی یا بر اساس ایستگاه‌های اندازه‌گیری، تأسیس شده متکی می‌باشند. اگرچه دقت داده‌های به‌دست‌آمده از این روش بالا است، اما کار وقت‌گیر با راندمان پایینی است. علاوه بر این، دسترسی به بسیاری از پهنه‌های آبی سخت بوده زیرا این پهنه‌ها در مکان‌های دورافتاده و ناهموار قرار دارند و تنها داده‌هایی از نقاط محدود در سری‌های زمانی ناقص به دست می‌آیند (Ogilvie et al., 2018). اخیراً، با گسترش و توسعه علم سنجش‌از‌دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی راه‌های بهتری برای پایش پهنه‌های آبی در بازه زمانی طولانی‌مدت فراهم‌شده است (Albertini et al., 2022). در حال حاضر، تصاویر چند طیفی به‌دست‌آمده توسط ماهواره‌های MODIS، Landsat و Sentinel-2 رایج‌ترین منابع داده برای استخراج و بررسی پهنه‌های آبی می‌باشند. با توجه به وضوح مکانی، آرشو داده‌ها، هزینه، نسبت سیگنال به نویز، تصاویر ماهواره لندست یکی از پرکاربردترین و باکیفیت‌ترین منابع داده و با بهترین عملکرد را در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Liu et al., 2023).

(Savari et al., 2023; Savari et al., 2022).

در طول چند سال گذشته، روش‌های مختلفی برای شناسایی پهنه‌های آبی و نقشه‌برداری مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. این روش‌ها بیشتر بر پایه استخراج شاخص‌های مختلف از داده‌های چندطیفی بنا شده‌اند. به‌طور کلی دو رویکرد برای به دست آوردن این شاخص‌ها وجود دارد که به رویکرد تک‌باند و چندباند تقسیم می‌شوند. رویکرد تک‌باندی معمولاً با استفاده از باند مادون قرمز نزدیک (NIR<sup>۱</sup>)، پهنه‌های آبی را از سطوح دیگر متمایز می‌کند. دومین رویکرد، روش چندباندی است که برای نقشه‌برداری از پهنه‌های آبی در حوضه‌های مختلف از جمله حوضه‌هایی که دارای داده ناقص هستند، قابل استفاده است (Masocha et al., 2018). این شاخص‌های به‌دست‌آمده از سنجش‌از‌دور چندطیفی اجازه می‌دهند تا مناطق سیل‌زده و بدنه‌های آبی به سرعت و به‌طور مؤثر شناسایی شوند. از این شاخص‌ها می‌توان شاخص نرمالیزه شده آب (NDWI<sup>۲</sup>) (Xu, 2006)، شاخص استخراج خودکار آب (AWEI<sup>۳</sup>) (Feyisa et al., 2014)، شاخص اصلاح شده نرمالیزه شده آب (MNDWI<sup>۴</sup>) و شاخص نرمالیزه شده رطوبت (NDMI<sup>۵</sup>) را نام برد (Gang et al., 2012).

مطالعات مختلف بیان داشتند که داده‌های ماهواره لندست برای پایش تغییرات مکانی-زمانی بلندمدت پهنه‌های آبی و مناطق سیل‌زده، شکل و مورفولوژی رودخانه مناسب می‌باشند (Cavallo et al., 2022; Boothroyd et al., 2021). Henshaw و همکاران در سال ۲۰۱۳ از آرشو داده‌های ماهواره لندست برای تعیین روندهای مکانی-زمانی وسعت پوشش گیاهی و تغییرات شش مکان مختلف در امتداد رودخانه تالیامنتو در شمال شرقی ایتالیا استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها بیان داشت که با استفاده از شاخص طیفی MNDWI حاصل از تصاویر ماهواره لندست

۱. Near Infrared Red

۲. Normalized difference vegetation index

۳. Automated Water Extraction Index

۴. Modified Normalized Difference Water Index

۵. Normalized Difference Moisture Index

۶. Normalized Difference Vegetation Index

به‌خوبی می‌توان تغییرات رودخانه تالیامنتو و هم‌چنین با استفاده از NDVI، تغییرات مکانی-زمانی پوشش گیاهی را در طول این رودخانه مورد سنجش و بررسی قرارداد.

Rokni و همکاران در سال ۲۰۱۴ در پژوهش خود با استفاده از تصاویر چند زمانی لندست ۵، ۷ و سنجنده OLI لندست ۸ تغییرات مکانی و زمانی دریاچه ارومیه را در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۳ مدل‌سازی کردند. برای این مدل‌سازی از شاخص‌های NDWI، MNDWI، WRI و NDVI که از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج شد، استفاده کردند. از بین شاخص‌های مورد استفاده، MNDWI مناسب‌تر بود و برای مدل‌سازی تغییرات مکانی و زمانی دریاچه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مساحت دریاچه ارومیه در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۳ شدیداً کاهش یافته است، مخصوصاً بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ که دریاچه در مقایسه با سال ۲۰۰۰ حدود یک سوم مساحت خود را از دست داده است.

Eskandari Damaneh و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای بررسی تغییرات کاربری دریاچه ارومیه بیان داشتند که دو شاخص کمکی NDVI و NDWI به ترتیب برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات بستر آبی دریاچه ارومیه مناسب می‌باشند. بر اساس نتایج این تحقیق در طول بازه زمانی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ پوشش گیاهی اطراف دریاچه ارومیه روند افزایشی داشته، این در حالی است که بستر آبی این دریاچه کاهش محسوسی داشته است.

Talukdar و Pal در سال ۲۰۲۰ در مدل‌سازی تغییرات رودخانه پوناربها با هند و بنگلادش با استفاده از NDWI بیان داشتند که مقدار NDWI در ۳۷/۸۷ درصد از منطقه کاهش یافته بوده که ۴۰/۲۶ کیلومتر مربع آن در مناطق کم‌عمق بوده است. Boothroyd و همکاران در سال ۲۰۲۱ از شاخص‌های مشتق شده از تصاویر چندطیفی ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۸ استفاده کردند، نتایج آن‌ها بیان داشت که به ترتیب شاخص‌های MNDWI و NDVI می‌توانند به‌خوبی بستر آبی و پوشش گیاهی را تفکیک

کنند.

Ashok و همکاران در سال ۲۰۲۱ با استفاده از شاخص‌های حاصل از تصاویر لندست ۷ و ۸ تغییرات فصلی بستر آبی تالاب رنوکا برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۴ مورد مطالعه قراردادند. نتایج تحقیق آن‌ها ضمن تأیید کارایی مناسب شاخص‌های به‌دست‌آمده از این تصاویر برای بررسی تغییرات بستر تالاب رنوکا، روند تغییرات این دریاچه را در فصول مختلف در واحد زمان و مکان به‌خوبی نشان می‌دهد.

با توجه به بررسی منابع بالا و بررسی انجام‌شده، شاخص‌های طیفی دقت کافی را برای بررسی عوارض سطح زمین را دارند. از طرفی دیگر تحقیقی که به‌خوبی روند تغییرات سیل مناطق جنوب غربی ایران را با استفاده از این شاخص‌ها مورد بررسی قرار دهد، انجام نشده است؛ لذا این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات پهنه‌های آبی و مناطق سیل‌زده سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ جنوب غربی ایران که شامل قسمت‌های جنوبی استان ایلام و قسمت‌های جنوب و جنوب غربی استان خوزستان است، انجام شده است. در راستای رسیدن به این هدف و با توجه به شرایط پوشش زمین از پرکاربردترین شاخص‌های چندطیفی مانند شاخص اصلاح‌شده آب تفاضلی نرمال شده MNDWI و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی NDVI حاصل از تصاویر ماهواره لندست ۸ در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ استفاده شد.

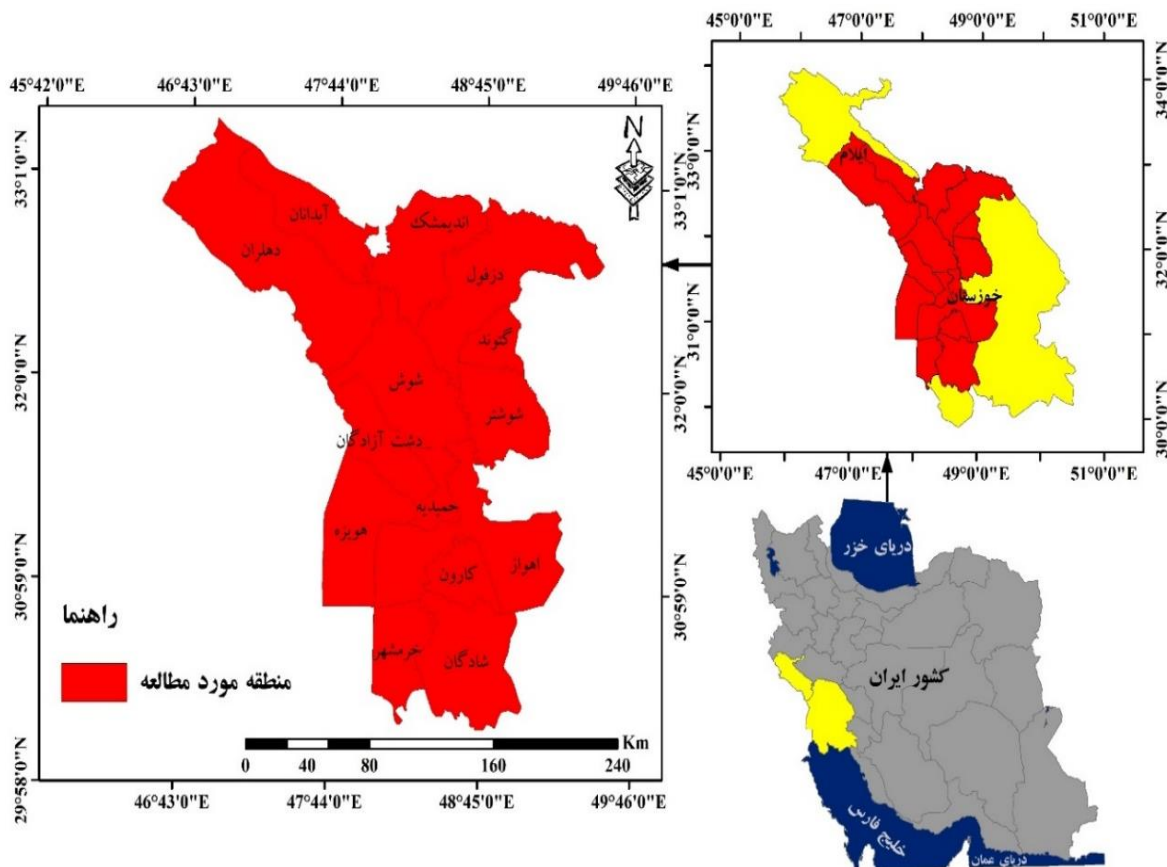
#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جنوب غربی کشور ایران که شامل بخش جنوبی از استان ایلام که قسمت‌های جنوبی شهرستان‌های آبدانان و دهلران، قسمتی‌های از استان خوزستان که شامل شهرستان‌های اندیمشک، دزفول، گتوند، شوش، شوشتر، دشت آزادگان، حمیدیه، اهواز، هویزه، کارون، شادگان و خرم‌شهر است. این مناطق در محدوده "۴۵°۴۲' تا "۴۹°۴۶' طول شرقی و "۲۹°۵۸' تا "۳۳°۱۰' عرض شمالی واقع شده است. این مناطق شامل دو رود اصلی کرخه و کارون است

دومارتن، در طبقه‌بندی اقلیمی خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب قرار می‌گیرد (Rajabizadeh *et al.*, 2019). موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان‌های ایلام و خوزستان در شکل ۱ نشان داده شده است.

که حجم زیادی از آب‌های حوضه‌های بالادست توسط این دو رود از کوه‌های زاگرس به سمت تالاب هورالعظیم در هویزه و خرمشهر واقع در مرز ایران و عراق وارد می‌شود. متوسط بارش سالانه این منطقه ۲۸۵ میلی‌متر است که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی



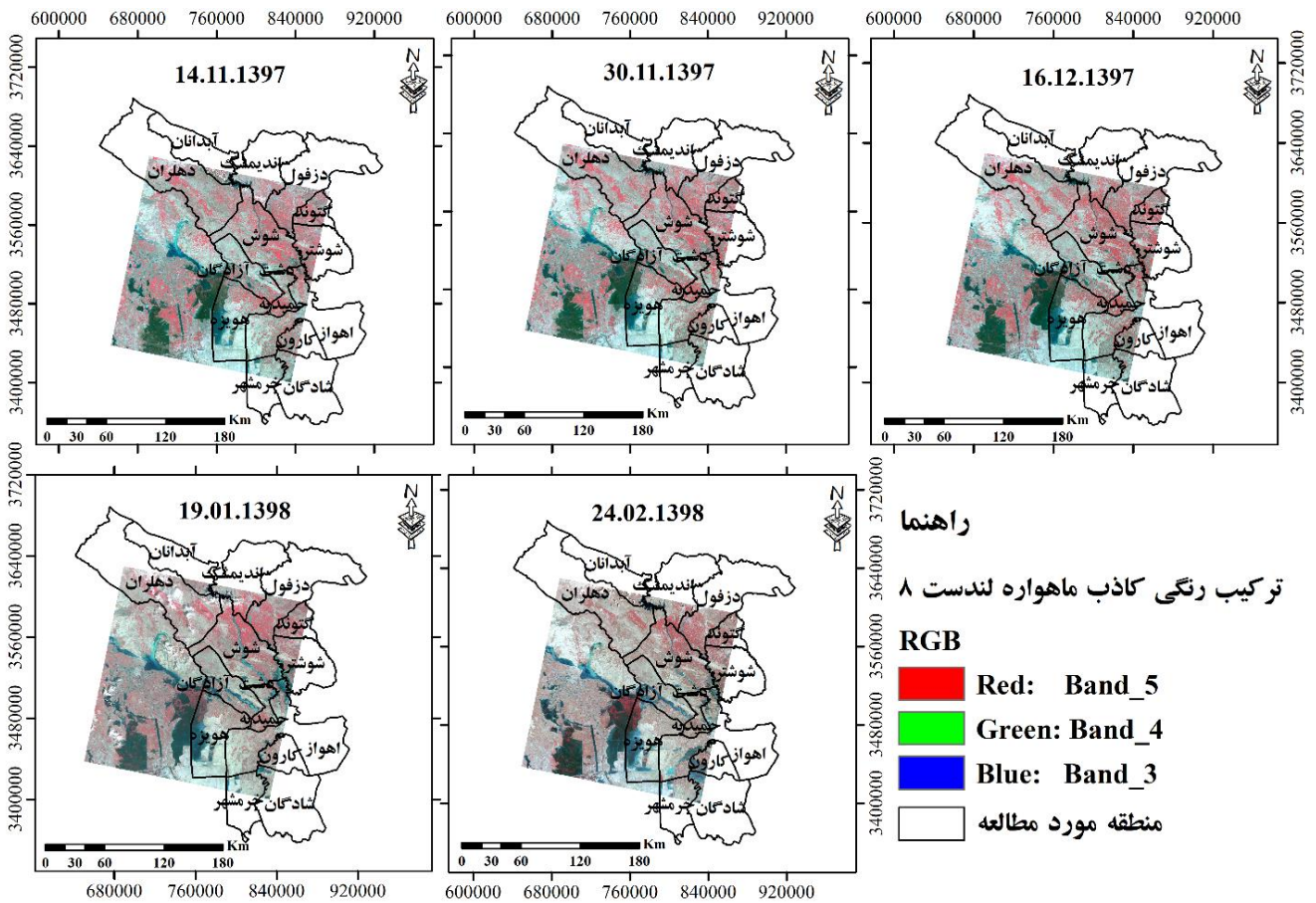
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان‌های ایلام و خوزستان  
Figure 1- Location of the study area in Iran and Ilam and Khuzestan provinces

دریافت و برای پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم آماده شد. (Eskandari Damaneh *et al.*, 2022a; Eskandari Damaneh *et al.*, 2021). پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک و اتم‌سفری نقشه بسترهای آبی و پوشش گیاهی به ترتیب شاخص‌های MNDWI و NDVI برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷ با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Rugel *et al.*, 2017; Eskandari Damaneh *et al.*, 2019; Abutaleb *et al.*, 2015; Arekhi *et al.*, 2019).

### روش تحقیق

#### داده‌های ماهواره‌ای و پردازش‌ها

در این پژوهش برای بررسی سیل سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، در دوره زمانی سه ماه اسفند، فروردین و اردیبهشت (ژانویه، فوریه و مارس ۲۰۱۹) از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد (شکل ۲، جدول ۱). همچنین برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها از نرم‌افزارهای QGIS3.28، Arc GIS10.8 و Excel استفاده گردید. این داده‌های چندطیفی از سایت زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (earthexplorer.usgs.gov)



شکل ۲- تصاویر ماهواره لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر  
Figure 2- Landsat 8 satellite images of the study area on the desired dates

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

Table 1- Specifications of the satellite images

تاریخ میلادی	تاریخ خورشیدی	ماهواره	سنجنده	گذر / ردیف	قدرت تفکیک مکانی (متر)
02.03.2019	14.11.1397	لندست 8	OLI	166.38	30
02.19.2019	30.11.1397	لندست 8	OLI	166.38	30
03.07.2019	16.12.1397	لندست 8	OLI	166.38	30
04.08.2019	19.01.1398	لندست 8	OLI	166.38	30
05.14.2019	24.02.1398	لندست 8	OLI	166.38	30

جدول ۲- کلاس‌بندی شاخص‌های MNDVI و NDVI

Table 2- Classification of MNDVI and NDVI indices

کلاس شاخص	MNDVI	NDVI
1	0.058>	0.1>
2	0.058-0.11	0.1-0.2
3	0.11-0.15	0.2-0.3
4	0.15-0.2	0.3-0.4
5	0.2<	0.4-0.5

و ۴ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۳، بیشترین مقادیر MNDWI در سال ۱۳۹۷ مربوط به تاریخ ۱۲ اسفندماه بوده که از لحاظ مکانی بیشترین مقدار آن در قسمت‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه دیده شده است؛ اما در سال ۱۳۹۸ بیشترین مقدار این شاخص که در تاریخ ۱۹ فروردین است، مربوط به قسمت‌های جنوبی تا جنوب غربی منطقه بوده است. بررسی تغییرات MNDWI در جدول ۳ نشان می‌دهد که در دوره زمانی سال ۱۳۹۷ تا ۱۹ فروردین سال ۱۳۹۸، مقادیر متوسط MNDWI در حال افزایش است، به طوری که مقدار متوسط MNDWI از ۰/۴۳ در تاریخ ۱۴ اسفند ۱۳۹۷ به ۰/۷ در تاریخ ۱۹ فروردین ۱۳۹۸ رسیده است.

$$MNDW = \frac{GREEN - SWR1}{GREEN + SWR1} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها  $NIR^1$  = باند مادون قرمز،  $R^2$  = باند قرمز و  $SWR1^3$  = باند قرمز نزدیک می‌باشند. مقدار این دو شاخص بین ۱- و ۱+ است که مقادیر مثبت و منفی آن‌ها به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر حداکثر و حداقل این شاخص می‌باشند (Eskandari Damaneh et al., 2022b). در این مطالعه شاخص‌های MNDWI و NDVI در ۵ کلاس بر مبنای دامنه یکسان طبقه‌بندی شدند (جدول ۳).

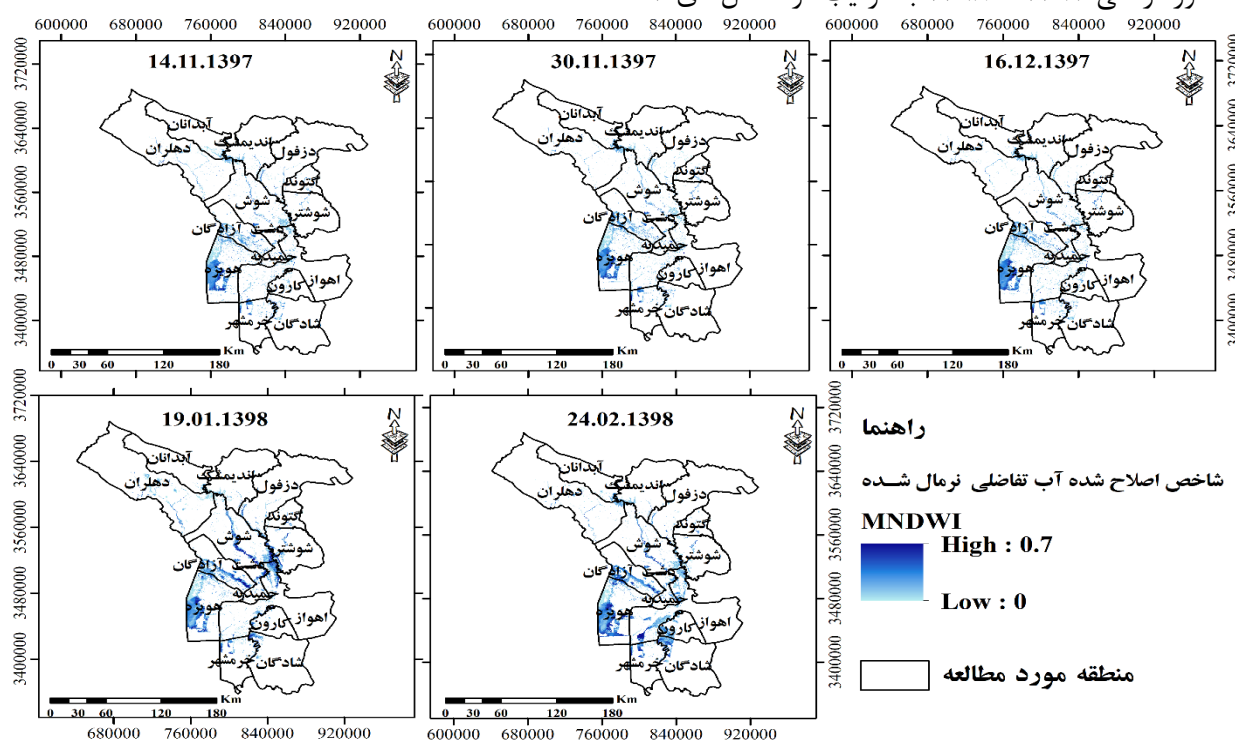
### نتایج

#### تغییرات مکانی و زمانی MNDWI و NDVI در دوره

زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸

#### الگوی تغییرات مکانی و زمانی MNDWI و NDVI در

دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ به ترتیب در شکل‌های ۳



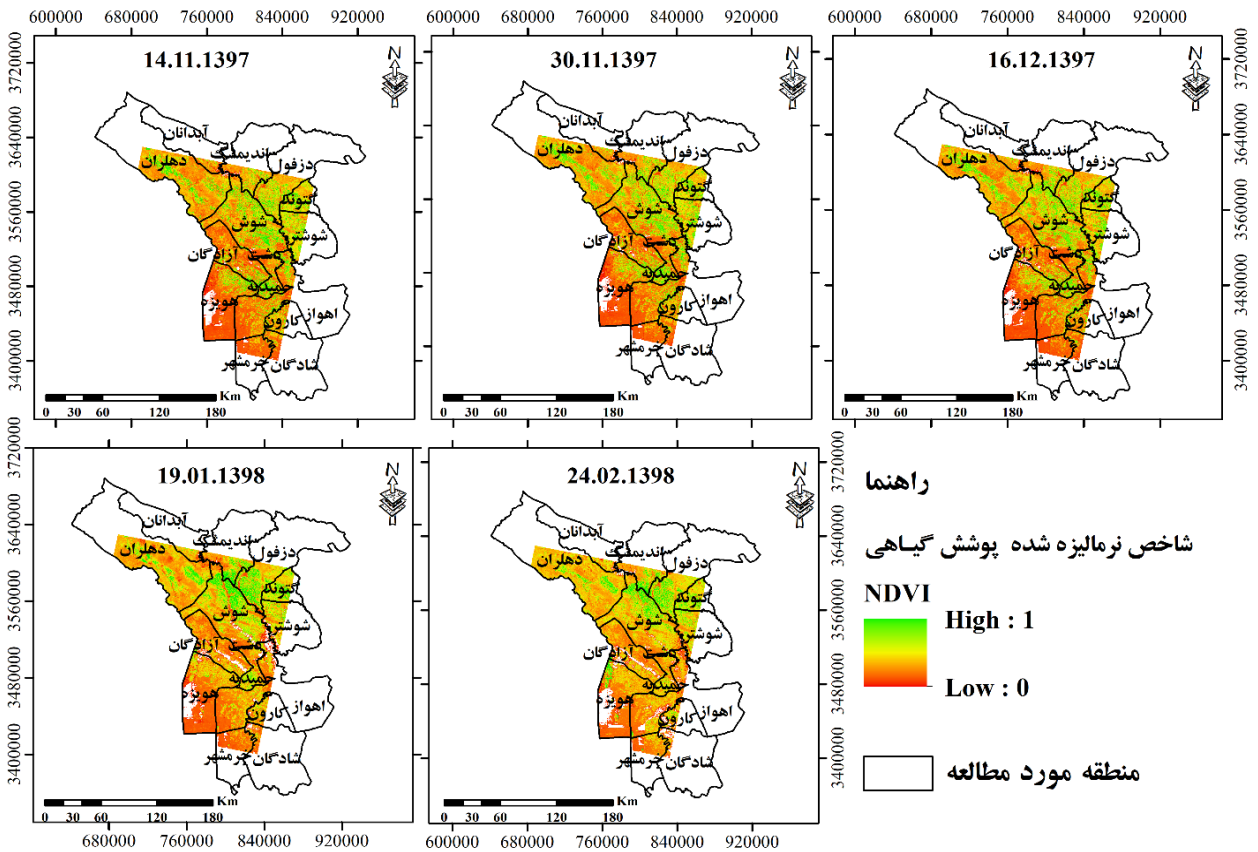
شکل ۳- نقشه تغییرات MNDWI در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸

Figure 3- Map of MNDWI changes in the period 2019

1. Near Infrared Red (NIR)
2. Red
3. Short-Wave infrared (SWIR)

NDVI در جدول ۳ نشان می‌دهد که مقادیر NDVI تا سال ۱۳۹۸ کاهش یافته، به گونه‌ای که در تاریخ ۱۴ اسفند ۱۳۹۷ مقدار متوسط این شاخص ۰/۱۹ بود که در تاریخ ۱۹ فروردین ۱۳۹۸ به ۰/۱۵ رسید.

الگوی تغییرات مکانی و زمانی NDVI در بازه زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ در شکل ۴ نشان می‌دهد که حداکثر NDVI متعلق به قسمت‌های مرکزی تا شمالی منطقه مورد مطالعه بوده است. روند تغییرات MNDWI و NDVI نیز تقریباً عکس یکدیگرند. بررسی تغییرات



شکل ۴- نقشه تغییرات NDVI در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸

Figure 4- Map of NDVI changes in the period 2019

جدول ۳- تغییرات NDVI و MNDWI در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸

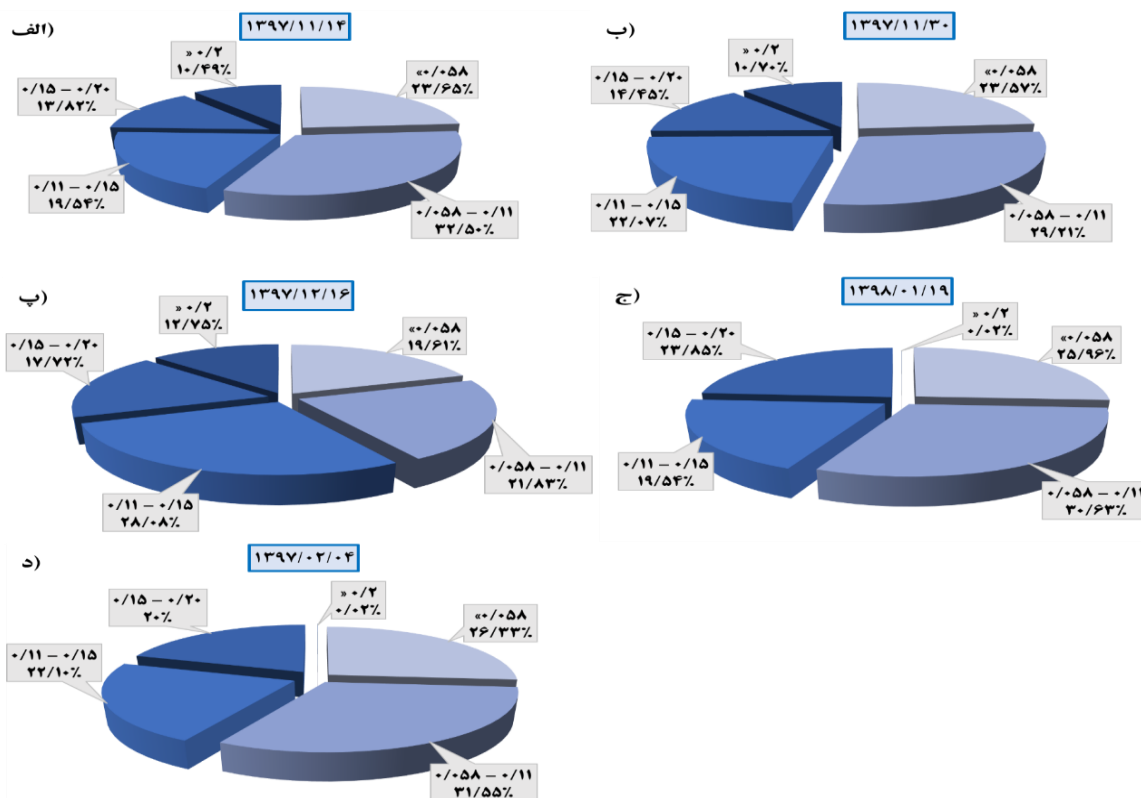
Table 3- Changes in the MNDWI and NDVI in the 2019

تاریخ	MNDWI			NDVI		
	حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل
14.11.1397	0.43	0/11	0	1	0.19	0
30.11.1397	0.52	0.12	0	0.83	0.18	0
16.12.1397	0.55	0.13	0	0.7	0.18	0
19.01.1398	0.7	0.135	0	0.58	0.15	0
24.02.1398	0.62	0.11	0	0.5	0.11	0

تغییرات طبقات NDVI و MNDWI

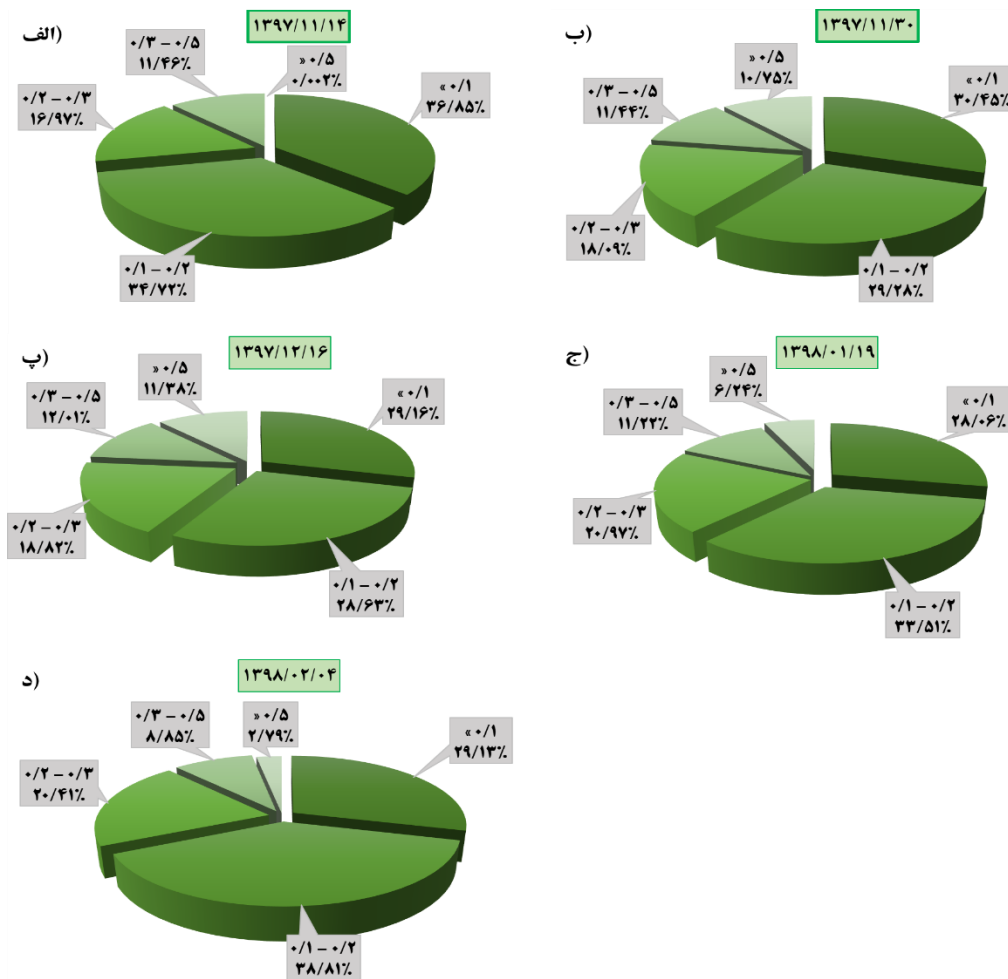
۰/۱۵-۰/۲ بیشتر از ۲۰/۰۳ درصد از منطقه مورد مطالعه است که این کلاس‌ها روند افزایشی را طی نموده‌اند. بررسی تغییرات NDVI در شکل ۶ نشان داد که تاریخ‌های ۱۲، ۳۰، بهمن و ۱۶ اسفندماه سال ۱۳۹۷ بیشترین درصد مساحت محدوده مورد مطالعه را کلاس‌های کم‌تر از ۰/۳-۰/۲ در بر گرفته که مجموع مساحت‌های آن‌ها ۷۱/۸۱ درصد است که در حال افزایش بوده است. هم‌چنین در این تاریخ‌ها کلاس‌های بیشتر از ۰/۵-۰/۳ بیش از ۱۱/۴۶ درصد از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شوند و این کلاس‌ها در حال کاهش می‌باشند. بر اساس این شکل در سال ۱۳۹۸ در تاریخ‌های یکم فروردین‌ماه و ۲۴ اردیبهشت بیشترین درصد مساحت محدوده مورد مطالعه را همچنان کلاس‌های کم‌تر از ۰/۳-۰/۲ در بر گرفته که مجموع این مساحت‌ها بیش‌تر از ۸۲/۵۴ درصد بوده که در حال کاهش است. این در حالی است که در این تاریخ‌ها کلاس‌های بیشتر از ۰/۵-۰/۲ بیش از ۱۱/۶۴ درصد از منطقه مورد مطالعه است که این کلاس‌ها در حال افزایش بوده‌اند.

بررسی تغییرات MNDWI و NDVI در طبقات مختلف به ترتیب در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. بررسی MNDWI در شکل ۵ نشان داد که در تاریخ‌های ۱۲ و ۳۰ بهمن‌ماه و هم‌چنین ۱۶ اسفندماه سال ۱۳۹۷ کلاس‌های کم‌تر از ۰/۱۵-۰/۱۱ بیشترین سطح از محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است که بیشتر از ۶۸/۷۵ درصد از مساحت این محدوده است و روند آن‌ها در حال افزایش است. از طرفی دیگر در تاریخ‌های ذکر شده کلاس‌های بیشتر از ۰/۲-۰/۱۵ مساحتی بیشتر از ۲۴/۳۲ درصد از منطقه را شامل می‌شوند و این کلاس‌ها در حال کاهش می‌باشند. بر اساس شکل ۵ در سال ۱۳۹۸ تاریخ‌های یکم فروردین‌ماه و ۲۴ اردیبهشت بیشترین درصد مساحت محدوده مورد مطالعه همچنان در کلاس‌های کم‌تر از ۰/۱۵-۰/۱۱ است که مجموع این مساحت‌ها بیش‌تر از ۷۶/۱۳ درصد از منطقه است که در حال کاهش بوده‌اند. در این تاریخ‌ها کلاس‌های بیشتر از



شکل ۵- درصد تغییرات کلاس MNDWI در تاریخ‌های الف) ۱۳۹۸/۱۱/۱۴، ب) ۱۳۹۸/۱۱/۳۰، پ) ۱۳۹۷/۱۲/۱۶، ج) ۱۳۹۸/۰۱/۱۹ و د) ۱۳۹۷/۰۲/۰۴

Figure 5- The percentage of MNDWI class changes on the dates a) 02/03/2019, b) 02/19/2019, c) 03/07/2019, d) 04/08/2019 and 05/14/2019



شکل ۶ - درصد تغییرات کلاس NDVI در تاریخ‌های الف) ۱۳۹۸/۱۱/۱۴، ب) ۱۳۹۸/۱۱/۳۰، پ) ۱۳۹۷/۱۲/۱۶، ج) ۱۳۹۸/۰۱/۱۹ و د) ۱۳۹۸/۰۲/۲۴

Figure 6- The percentage of NDVI class changes on dates a) 02/03/2019, b) 02/19/2019, c) 03/07/2019, d) 04/08/2019 and 05/14/2019

ماه‌های بهمن و اسفند سال ۱۳۹۷ بیشترین مقدار این شاخص در قسمت‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بوده، این در حالی است که در ماه فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۸ بیشترین مقدار این شاخص در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی استان خوزستان دیده شده است. مطالعات نشان داده که بارش‌های سنگین انتهایی سال ۱۳۹۷ و ماه‌های ابتدایی سال ۱۳۹۸ باعث به وجود آوردن سیلاب‌های شدیدی در نقاط مختلف کشور به خصوص استان‌های لرستان، ایلام و خوزستان شده است. مطالعه Moradi Nejad و Tarkarani در سال ۲۰۱۹ نشان

### بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بررسی روند تغییرات سیلاب جنوب غربی کشور ایران که شامل قسمت‌های جنوبی استان ایلام و قسمت‌های شمالی تا جنوب غربی استان خوزستان از تصاویر چندطیفی ماهواره لندست ۸ برای ماه‌های بهمن و اسفند سال ۱۳۹۷ و ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۸ استفاده گردید. در این راستا از MNDWI برای بررسی تغییرات بسترهای آبی و از NDVI برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی استفاده گردید. روند تغییرات مکانی و زمانی MNDWI در این بازه زمانی نشان می‌دهد که در

آب‌گرفتی مناطق مسکونی، تأسیسات و زمین‌های کشاورزی می‌شود. در منطقه مورد مطالعه این پژوهش عواملی مانند توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی بارندگی، استفاده نادرست و غیراصولی از زمین، تغییرات کاربری اراضی و استفاده بیش‌ازحد از طبیعت باعث شده تا حجم زیادی از آب بدون تغذیه سفره آب زیرزمینی در سطح زمین جاری شود. در پی این جاری شدن آب و عدم توانایی در کنترل آن، حجم زیادی از آب از کنترل خارج شده و باعث تخریب اراضی و خسارت مالی و جانی در مناطق پایین دست شود.

بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که با استفاده از MNDWI و NDVI حاصل از تصاویر ماهواره لندست به خوبی می‌توان بسترهای آبی و مناطق آبیگری شده حاصل از مخاطرات طبیعی مانند سیلاب، بررسی تغییرات تالاب‌ها از جمله آبیگری و خشک شدن آن‌ها و همچنین تغییرات پوشش گیاهی مناطق مختلف را با دقت بالا پایش کرد. همچنین با توجه به اطلاعات حاصل از رصد تغییرات سیلاب و بسترهای آبی در گذر زمان، اقدامات مدیریتی از جمله محل‌های استراتژیکی برای کمک به افراد در زمان اتفاق این حادثه در نظر گرفت و متناسب با زمان مکان قبل از وقوع این پدیده مخرب؛ کارهای آبخیزداری از جمله سازه‌های مکانیکی و اقدامات بیولوژیکی را در بالادست انجام داد. از آنجایی که در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات سیلاب از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است، پیشنهاد می‌گردد که برای بررسی دقیق‌تر از تصاویر سایر ماهواره‌ها از جمله داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ و تصاویر چندطیفی سنتینل ۲ که تصویربرداری آن‌ها در بازه زمانی کوتاه‌تر و تفکیک مکانی بهتری (حداقل ۱۰ متر) نسبت به لندست می‌باشند، استفاده نمود.

دادند که به دلیل بارش‌های سنگین ۳ تا ۱۱ فرودین سال ۱۳۹۸ در استان لرستان، سیلاب‌های متوالی رخ داده در این استان است. در پی این بارش‌های شدید تعدادی از شهرهای این استان از جمله پلدختر، نورآباد، خرم‌آباد و دوره چگنی در محاصره آب قرار گرفتند. در اثر این سیلاب‌ها خسارات زیادی به بخش کشاورزی و مناطق مسکونی این مناطق سیل‌زده وارد کرده است.

مطالعه Rajabizadeh و همکاران در سال ۲۰۱۹ بیان داشت که در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بارندگی بی‌سابقه در سطح کشور به خصوص استان خوزستان باعث پر آب شدن سدها و آب‌گرفتی بسیاری از روستا شد. به طوری که از ابتدای اسفندماه سال ۱۳۹۷ تا پایان فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ حدود ۷۹۱۹ میلیون مترمکعب آب وارد سد کرخه شده که بیش از ۵۰ درصد از این آب از آن خارج شده است. همچنین سایر سدهای این استان در این بازه زمانی تقریباً پر از آب بوده‌اند. در حالی که این بارش‌ها در فصلی است که پوشش گیاهی در این منطقه در وضعیت مناسب بوده به طوری که بر اساس نتایج پژوهش حاضر کلاس‌های بالای ۰/۳ شاخص پوشش گیاهی NDVI در بازه زمانی اسفندماه ۱۳۹۷ و فروردین‌ماه ۱۳۹۸ به ترتیب بیش از ۴۲ و ۳۸ درصد از منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است و از طرفی دیگر روند مقدار متوسط این شاخص کاهش یافته که نشان‌دهنده کاهش پوشش گیاهی متناسب با تغییرات فصل رشد در این منطقه بوده است. با توجه به اینکه قسمت‌های جنوبی استان خوزستان ارتفاع کم‌تری نسبت به مناطق شمالی و شمال غربی این استان دارد، آب‌های بالادست به سوی این مناطق سرازیر می‌شود. در این صورت حتی اگر پوشش گیاهی مناسب باشد باعث دریافت حجم زیاد و غیرمنتظره آب در این مناطق شده که خود باعث

## References

Abutaleb, K., Ngie, A., Darwish, A., Ahmed, M., Arafat, S. & Ahmed, F. (2015). Assessment of urban heat island using

remotely sensed imagery over Greater Cairo, Egypt. *Advances in Remote Sensing*, 4(01), 35-47.

- Albertini, C., Gioia, A., Iacobellis, V. & Manfreda, S. (2022). Detection of Surface Water and Floods with Multispectral Satellites. *Remote Sensing*, 14(23), 6005.
- Arekhi, M., Goksel, C., Balik Sanli, F. & Senel, G. (2019). Comparative evaluation of the spectral and spatial consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI data for Igneada longos forest. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 8(2), 56.
- Ashok, A., Rani, H. P. & Jayakumar, K. V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100547.
- Boothroyd, R. J., Nones, M. & Guerrero, M. (2021). Deriving planform morphology and vegetation coverage from remote sensing to support river management applications. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 657354.
- Cavallo, C., Nones, M., Papa, M. N., Gargiulo, M. & Ruello, G. (2022). Monitoring the morphological evolution of a reach of the Italian Po River using multispectral satellite imagery and stage data. *Geocarto International*, 37(25), 8579-8601.
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H. & Gholami, H. (2019). Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: the west basin of Jaz Murian wetland). *Rangeland*, 13(3), 461-475. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Khosravi, H., Mahdavi Najafabadi, R., Khorani, A. & Li, G. (2020). Modeling Spatial and Temporal Changes in Land-Uses and Land Cover of the Urmia Lake Basin Applying Cellular Automata and Markov Chain. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(2), 57-72. (In Persian)
- Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Habashi, K., Eskandari Damaneh, H. & Tiefenbacher, J. P. (2022b). The impact of land use and land cover changes on soil erosion in western Iran. *Natural Hazards*, 110, 2185-2205.
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivan, H. & Barati, A. (2022a). Investigating the Influence of Drought on Trend of Vegetation Changes in Arid and Semiarid Regions, Using Remote Sensing Technique: A Case Study of Hormozgan province). *Desert Ecosystem Engineering*, 9(28), 13-28. (In Persian)
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R. & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
- Gang, W. & Dong-sheng, G. U. A. N. (2012). Effects of vegetation cover and normalized difference moisture index on thermal landscape pattern: A case study of Guangzhou, South China. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 23(9), 2429-2436.
- Goffi, A., Stroppiana, D., Brivio, P. A., Bordogna, G. & Boschetti, M. (2020). Towards an automated approach to map flooded areas from Sentinel-2 MSI data and soft integration of water spectral features. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101951.
- Henshaw, A. J., Gurnell, A. M., Bertoldi, W. & Drake, N. A. (2013). An assessment of the degree to which Landsat TM data can support the assessment of fluvial dynamics, as revealed by changes in vegetation extent and channel position, along a large river. *Geomorphology*, 202, 74-85.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S. & Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360.
- Jawak, S.D., Kulkarni, K. & Luis, A.J., (2015). A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes. *Adv. Remote Sens*, 04 (03), 196-213.
- Liu, S., Wu, Y., Zhang, G., Lin, N. & Liu, Z. (2023). Comparing Water Indices for Landsat Data for Automated Surface Water Body Extraction under Complex Ground Background: A Case Study in Jilin Province. *Remote Sensing*, 15(6), 1678.
- Masocha, M., Dube, T., Makore, M., Shekede, M. D. & Funani, J. (2018). Surface water bodies mapping in Zimbabwe using landsat 8 OLI multispectral imagery: A comparison of multiple water

- indices. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 106, 63-67.
- Ogilvie, A., Belaud, G., Massuel, S., Mulligan, M., Le Goulven, P. & Calvez, R. (2018). Surface water monitoring in small water bodies: potential and limits of multi-sensor Landsat time series. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(8), 4349-4380.
- Ogilvie, A., Belaud, G., Massuel, S., Mulligan, M., Le Goulven, P., Malaterre, P. O. & Calvez, R. (2018). Combining Landsat observations with hydrological modelling for improved surface water monitoring of small lakes. *Journal of Hydrology*, 566, 109-121.
- Rajabizadeh, Y., Ayyoubzadeh, S. A. & Ghomeshi, M. (2019). Flood Survey of Khuzestan Province in 97-98 and Providing Solutions for its Control and Management in the Future. *Iranian journal of Ecohydrology*, 6(4), 1069-1084. (In Persian)
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A. & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote sensing*, 6(5), 4173-4189.
- Rugel, E. J., Henderson, S. B., Carpiano, R. M. & Brauer, M. (2017). Beyond the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): developing a natural space index for population-level health research. *Environmental research*. 159, 474-483.
- Samela, C., Coluzzi, R., Imbrenda, V., Manfreda, S. & Lanfredi, M. (2022). Satellite flood detection integrating hydrogeomorphic and spectral indices. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 1997-2018.
- Savari, M., Damaneh, H. E. & Damaneh, H. E. (2022). Factors involved in the degradation of mangrove forests in Iran: A mixed study for the management of this ecosystem. *Journal for Nature Conservation*, 66, 126153.
- Savari, M., Damaneh, H. E. & Damaneh, H. E. (2023). Effective factors to increase rural households' resilience under drought conditions in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 90, 103644.
- Talukdar, S. & Pal, S. (2020). Modeling flood plain wetland transformation in consequences of flow alteration in Punarbhaba river in India and Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 261, 120767.
- Tarkarani, M & Moradi Nejhadi, E. (2019). The Rise and Fall of the Dimensions of Social Capital in Disaster Management: The Case of April 2019 Water Flood in Lorestan. *iranian journal of social studies*, 13(2), 123-147. (In Persian)
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.

## The role of morphometric factors in the accuracy of gully erosion zoning using maximum entropy model (Case study: Sarabe Halil watershed in Kerman province)

Hamzeh Saeediyan<sup>1\*</sup>, Kouros Shirani<sup>2</sup>, Shahin Aghamirzadeh<sup>3</sup>, Peyman Madanchi<sup>1</sup>

1- Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Kerman, Iran.

2- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kerman, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran

\* Corresponding author: hamzah.4900@yahoo.com

(Received: 16 July 2023

Revised: 16 September 2023

Accepted: 01 October 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Gully erosion is a severe form of soil erosion, but internal gully erosion processes are not well understood, especially at the scale of rainfall event. Nowadays, gully erosion is known as one of the most destructive types of erosion in agricultural lands and natural resources in the world such that it has a significant share of scientific research. Although soil erosion is a natural process, human activities in the past decades have greatly accelerated different types of erosion in nature. Gully erosion is the final and advanced stage of the erosion process, which, if not controlled, can cause huge damage to infrastructure as well as various agricultural parts, natural resources and environment, which either do not compensate for damage or if compensated, takes a long time in nature. In arid and semi-arid regions, due to certain conditions, the creation and development of gully erosion can make tremendous progress. Soil erosion in arid and semi-arid regions is one of the important consequences of climate change or is one of the consequences of environmental and ecological changes. Therefore, the purpose of this study is to rank the effective factors of morphometric erosion in creating gully erosion using statistical methods, as well as preparing gully erosion sensitivity map using maximum entropy model and its sensitivity in arid and semi-arid regions in arid and semi-arid provinces such as Kerman, which in turn provides valuable information on how to create and develop gully erosion in these areas.

**Material and Methods:** In this study, 79 gullies were identified in Sarab Halil watershed in Kerman province. Then, 15 morphometric information layers were obtained along with gullies distribution map and PCA statistical Analysis was used to determine the most important factors affecting morphometric and finally, the map of gully erosion zoning was obtained using entropy maximum model for morphometric factors. In addition, MaxEnt model is a general model that allows users to evaluate the relationships between a dependent variable and several independent variables in different study contexts. The maximum entropy model based on the principle of entropy specifies the network of connections between dependent and independent variables and are obtained based on the role of each independent variable, its influencing weight, and its response curves. Entropy indicates the degree of uncertainty of the unbalanced distribution of the existing phenomena from the expected information content. Entropy method has been used in various fields such as mathematics, computer and economics in Iran and the world, but it has been used less commonly in geomorphology. In addition, Jackknife test was used to determine the importance of morphometric variables and the area under the curve criterion and acceptor performance specific curve were used to evaluate the accuracy of the model. The graph of the acceptor performance specific curve expresses the presence of the prediction against the accuracy of the absence of the forecast. If the amount of the area under the curve falls between 0.7 and 0.8, the model is considered good, and if the area under the curve ranges from 0.8 to 0.9, the model is considered very good, and if the amount of the area under the curve is more than 0.9, it is considered an excellent model. Meanwhile, the area index under the curve in receiver factor is equal to the probability of correctly distinguishing between the points of presence and absence by a model.

**Results and discussion:** Gully erosion is one of the most important types of erosion in different climates of the planet, which causes widespread destruction and since it is very scattered in watershed areas, predicting its occurrence with low research costs is very important. The use of morphometric factors in this research, in addition to having low research and field costs, showed that the desired and acceptable results can be achieved without the use of other factors that have higher cost. Map of gully erosion prone areas obtained from entropy maximum model using morphometric factors in the study area showed that gully erosion in northeast, east and south is more likely to gully erosion between 0 and 31%, but in the east of the watershed and southeast, the gully erosion increases slightly and reaches the probability of 92%, but the percentage of the area is very low. However, towards the center, north, northwest, west and southwest of the study area, the probability of gully erosion increases and reaches 92% and sometimes in some parts up to 100%.

**Conclusion:** The results showed that in the occurrence of gully erosion, the morphometric factors of plan curvature, profile curvature, topographic wetness index, vertical distance to channel network, altitude, and length - slope factor, slope and earth's surface texture are effective in creating the gully erosion.

**Keywords:** Length - slope factor, Gully erosion, Texture, Aspect

Citation: Saeediyan, H., Shirani, K., Aghamirzadeh, S., & Madanchi, P. (2023). The role of morphometric factors in the accuracy of gully erosion zoning using maximum entropy model (Case study: Sarabe Halil watershed in Kerman province). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 63-83. doi: 10.22034/iwm.2023.2007115.1092

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## نقش عوامل مؤثر مورفومتریک در دقت پهنه‌بندی فرسایش آبکندی با استفاده از مدل پیشینه آنتروپی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سراب هلیل استان کرمان)

حمزه سعیدیان<sup>\*</sup>، کوروش شیرانی<sup>۲</sup>، سید شاهین آقامیرزاده<sup>۳</sup>، پیمان معدنچی<sup>۱</sup>

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع

طبیعی کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار، گروه پژوهشی مهندسی حفاظت خاک و آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- محقق بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان،

سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، کرمان، ایران

\*نویسنده مسئول: hamzah.4900@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

### چکیده

امروزه فرسایش آبکندی به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین انواع فرسایش در زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی در دنیا شناخته شده است به‌طوری‌که سهم قابل توجهی از تحقیقات علمی را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش در حوزه آبخیز سراب هلیل در استان کرمان، ۷۹ آبکند شناسایی شدند. سپس ۱۵ لایه اطلاعاتی مورفومتریک به همراه نقشه پراکنش آبکندها تهیه شد و از تحلیل آماری PCA برای تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر مورفومتریک استفاده شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی فرسایش آبکندی با استفاده از مدل پیشینه آنتروپی برای عوامل مورفومتریک در محیط نرم‌افزار MaxEnt به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد در مجموع در وقوع فرسایش آبکندی عوامل مورفومتریک انحنای دامنه، انحنای نیمرخ، رطوبت توپوگرافی، فاصله عمودی از آبراهه، ارتفاع، فاکتور طول - شیب آبراهه، شیب و بافت سطح زمین در ایجاد فرسایش آبکندی مؤثر می‌باشند. نقشه مناطق مستعد فرسایش آبکندی به‌دست‌آمده از مدل پیشینه آنتروپی با استفاده از عوامل مورفومتریک در حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز نشان داد که فرسایش آبکندی در شمال شرق و شرق و جنوب بیشتر دارای احتمال وقوع بین صفر تا ۳۱٪ است ولی در منتهی‌الیه شرق حوزه و جنوب شرقی فرسایش آبکندی کمی افزایش می‌یابد و تا احتمال رخداد ۹۲٪ نیز می‌رسد ولی درصد مساحت آن خیلی کم است ولی به سمت مرکز، شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غربی حوزه آبخیز مورد مطالعه احتمال وقوع فرسایش آبکندی افزایش می‌یابد و تا ۹۲٪ و گاهی در بعضی قسمت‌ها به ۱۰۰٪ نیز می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: فاکتور شیب - آبراهه، فرسایش آبکندی، بافت سطح زمین، جهت دامنه

استناد: سعیدیان، ح، شیرانی، ک، آقامیرزاده، س. ش؛ و معدنچی، پ. (۱۴۰۲). نقش عوامل مؤثر مورفومتریک در دقت پهنه‌بندی فرسایش آبکندی با استفاده از مدل پیشینه آنتروپی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سراب هلیل استان کرمان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۳-۶۳.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

فرسایش آبکندی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که با توجه به شدت عوامل مختلف از کل فرسایش آبی در سراسر دنیا بین ۱۱ تا ۴۹٪ را به خود اختصاص می‌دهد (Shafeie *et al.*, 2011). فرسایش آبکندی از شکل‌های بسیار خطرناک فرسایش آبی است که در بعضی موارد باعث ایجاد کانال‌های با طول، عرض و عمق زیاد می‌شود. این حالت از فرسایش آبی بر اثر شستن خاک از طریق شیارها یا کانال‌های عمیق در سراسر یک زمین محافظت نشده رخ می‌دهد. در حوزه‌های آبخیز یکی از منابع‌های مهم ایجاد رسوب، فرسایش آبکندی است (Wasson *et al.*, 1996; Dunne, 2005; Crouch and Novruzzi, 1989). فرسایش آبکندی جدی‌ترین تهدید برای توسعه پایدار اکوسیستم و اقتصاد جهانی است (Zhou *et al.*, 2023) و یک شکل شدید از فرسایش خاک است، اما فرایندهای فرسایش داخلی آبکنند به‌ویژه در مقیاس رویداد بارندگی به‌خوبی درک نمی‌شود (Wang *et al.*, 2022). علاوه بر تغییر هیدرولوژی حوزه آبریز، فرسایش آبکندی منجر به طیف گسترده‌ای از اثرات در داخل و خارج از محدوده آبکنند از جمله از دست دادن خاک، زمین، زیرساخت‌ها و حتی زندگی می‌شود (Vanmaercke *et al.*, 2021). به‌عنوان یک منبع رسوب اولیه، فرسایش آبکندی منجر به تخریب شدید زمین می‌شود و تهدیدی برای امنیت غذایی و زیست‌محیطی است (Huang *et al.*, 2023). ضمناً آبکندها یکی از شکل‌های مهم ژئومورفولوژیکی هستند که با توسعه خود از بخش‌های مختلف مانند سر و فروریزی مواد از کناره‌ها، مواد دامنه‌ای را به دره‌ها سرازیر می‌سازند و تنها خاک قابل زراعت کوهستان‌ها را در اختیار آب‌های جاری می‌گذارند (Kasai, 2006; Whitford *et al.*, 2010). مقاومت در برابر فرسایش خاک سر آبکنند، فرایند برش آبکنند را تعیین می‌کند و فرسایش آبکندی را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jiarui *et al.*, 2023). ضمناً فرسایش

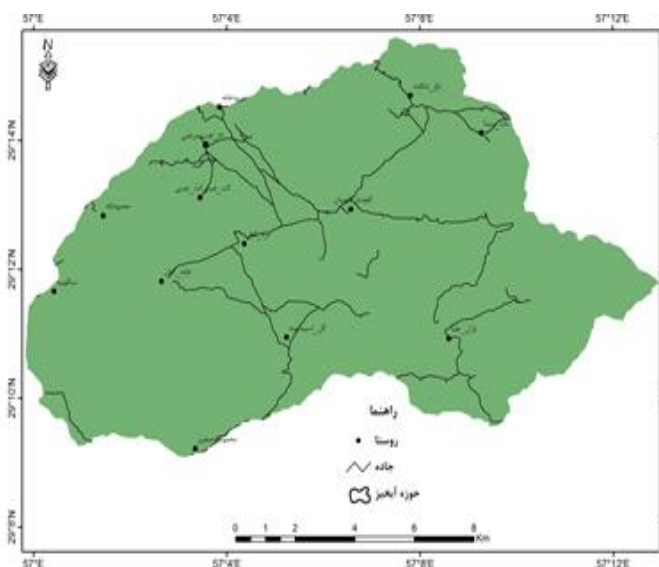
آبکندی شدید نیز در حوزه‌های آبخیز دارای کشاورزی با بازسازی پوشش گیاهی به‌وسیله رویدادهای بارندگی شدید نیز گزارش شده است (Yuan *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021). فرسایش آبکندی در مناطق کشاورزی نیز آرام‌آرام به حدی بزرگ می‌شود که نمی‌توان به‌وسیله عملیات کشت و زرع معمولی آن را تسطیح کرد؛ بنابراین با توجه به سرعت تخریب عوامل به وجود آورنده فرسایش آبکندی لازم است برای کنترل این نوع فرسایش از تجربه‌های مختلف سراسر دنیا استفاده کرد و بهترین و مناسب‌ترین آن‌ها را برای کنترل این پدیده در کشور توسعه داد و از تخریب بیشتر زمین‌های حاصلخیز و غیر حاصلخیز در کشور جلوگیری کرد. غفلت از این پدیده قطعاً منجر به خسارات زیادی در بخش‌های مختلف خواهد شد. Conoscenti و همکاران (۲۰۱۳) در یک منطقه از کشور ایتالیا بر اساس تجزیه و تحلیل شرطی به مدل‌سازی ژئومورفولوژیکی وقوع لندفرم آبکنند و تعیین مناطق مستعد آن پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که شاخص‌های ژئومورفومتری سهم زیادی در افزایش کارایی دقت مدل‌سازی ژئومورفولوژی دارند. Arabameri و همکاران (۲۰۱۹) از یک روش ترکیبی نوین به‌منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که از بین ۱۲ پارامتر توپوگرافیک، هیدرولوژیک، اقلیمی و محیطی مورد استفاده، پارامترهای فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در رخداد فرسایش آبکندی داشته‌اند. محققین مختلف اهمیت عوامل ژئومورفومتریکی را بر روی فرسایش آبکندی در کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی قرار دادند و نقش آن‌ها را در رخداد فرسایش آبکندی قابل توجه دانسته‌اند (Vandekerckhove *et al.*, 2001; Kheir *et al.*, 2007; Zakerinejad and Merker, 2014). ضمناً بیشترین پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با فرسایش آبکندی در راستای شرایط توپوگرافی و ژئومورفولوژی

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی  $56^{\circ}59'48''$  تا  $29^{\circ}09'03''$  طول شرقی و عرض جغرافیایی  $57^{\circ}13'00''$  تا  $29^{\circ}15'37''$  عرض شمالی در جنوب غربی استان کرمان واقع شده و راه دسترسی به آن از طریق جاده آسفالتی بافت - رابر به شهرستان جیرفت تأمین می‌شود. این حوضه  $154617$  هکتار مساحت دارد. ارتفاع این حوضه در بالاترین نقطه از سطح دریا معادل  $3350$  متر و در پایین‌ترین نقطه در خروجی حوضه معادل  $1760$  متر است (شکل ۱). با توجه به آمار هواشناسی سینوپتیک رابر حداکثر دمای سالانه  $25/8$  درجه و حداقل دما  $3/9$  درجه سانتی‌گراد و متوسط سالانه بارش حوضه  $279/8$  میلی‌متر است.

آبکندها است (Patton and Schumm, 1975). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت شرایط خاصی که وجود دارد ایجاد و توسعه فرسایش آبکندی می‌تواند پیشرفت فوق‌العاده‌ای داشته باشد. فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی و یا اینکه در کل از نتایج تغییرات محیطی و اکولوژیک است (Bayati Khatibi et al., 2011; Zhou, 2008)؛ بنابراین هدف تحقیق حاضر رتبه‌بندی عوامل مؤثر مورفومتريک در ایجاد فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های آماری و همچنین تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی و بررسی حساسیت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک در استان‌های خشک و نیمه‌خشکی مانند کرمان است که اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با چگونگی ایجاد و توسعه فرسایش آبکندی در این مناطق ارائه می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه مورد مطالعه در استان و ایران

Figure 1- Position of the study area in the province and Iran

سنجنده PALSAR ماهواره ALOS ژاپن نیز برای استخراج و آماده‌سازی نقشه‌های مختلف عوامل مورفومتريک استفاده شد. سپس ۱۵ لایه اطلاعاتی مورفومتريک حوضه مورد مطالعه با ارائه نقشه‌های عوامل مؤثر بر رخداد فرسایش آبکندی شامل شاخص‌های مهم

### روش تحقیق

در این پژوهش آبکندهای موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پیمایش‌های میدانی و گوگل ارث شناسایی شدند (شکل ۲) و نقشه پراکنش آبکندها با ۷۹ آبکند تهیه شد. از نقشه DEM تصاویر ماهواره‌ای حاصل از

وابسته و مستقل را مشخص می‌کند و بر اساس نقش هر متغیر مستقل و وزن تأثیرگذاری آن و منحنی‌های پاسخ آن حاصل می‌شود. آنتروپی نشان‌دهنده مقدار عدم اطمینان درجه توزیع نامتعادل پدیده‌های موجود از محتوی مورد انتظار اطلاعاتی است. روش آنتروپی در موضوعات مختلف علوم مانند ریاضی، کامپیوتر و اقتصاد در ایران و دنیا استفاده شده است ولی در علم ژئومورفولوژی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است (Mohammad Khan *et al.*, 2014) که در سال‌های اخیر نیز مورد توجه محققان در این علم نیز قرار گرفته است. ضمناً در این پژوهش از آزمون جک‌نایف<sup>۱</sup> برای تعیین اهمیت متغیرهای موفومتريک و از معیار سطح زیر منحنی و منحنی مشخص عملکرد پذیرنده<sup>۲</sup> (ROC) برای ارزیابی دقت و صحت مدل استفاده شد. نمودار منحنی مشخص عملکرد پذیرنده در واقع حضور پیش‌بینی را در برابر صحت عدم حضور پیش‌بینی بیان می‌کند. اگر مقدار سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ واقع شود مدل خوب در نظر گرفته می‌شود و اگر مقدار سطح منحنی بین ۰/۸ تا ۰/۹ واقع شود مدل عالی در نظر گرفته می‌شود و اگر مقدار سطح زیر منحنی بیش از ۰/۹ باشد مدل بسیار عالی فرض می‌شود (Virkkala *et al.*, 2010). ضمناً شاخص سطح زیر منحنی عامل دریافت‌کننده برابر با احتمال تشخیص صحیح میان نقاط حضور و عدم حضور توسط یک مدل است (Fielding and Bell, 1997).

ژئومورفومتری شاخص تحذب، شاخص طبقه‌بندی انحناء، انحناء، انحنای دامنه، شاخص انحنای نیمرخ، شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع، شیب، جهت، شاخص آنالیز سایه و روشن، بافت سطح زمین، مساحت حوزه آبخیز، شاخص توان آبراهه، فاکتور طول - شیب آبراهه با استفاده از ArcGIS به دست آمدند که علت انتخاب این شاخص‌ها نیز احتمال داشتن بیش‌ترین تأثیر در ایجاد و توسعه فرسایش آبکندی در اقلیم‌های مختلف و همچنین سهل‌الوصول بودن این شاخص‌ها در مناطق مختلف است. سپس بعد از طی مراحل موردنیاز GIS و آماده‌سازی فایل‌های موفومتريک موردنیاز بدون دخالت عوامل مختلف دیگر از آزمون هم‌راستایی استفاده شد. سپس مهم‌ترین عوامل مؤثر موفومتريک در پراکنش آبکندها از بین ۱۵ لایه اطلاعاتی مروفومتريک مورد مطالعه با استفاده از آزمون آماری PCA یا تحلیل مؤلفه‌های اصلی در محیط نرم‌افزار SPSS به دست آمد و در نهایت نیز با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی یا MaxEnt نقشه حساسیت فرسایش آبکندی به عوامل موفومتريک مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار MaxEnt به دست آمد و مورد تجزیه و تحلیل‌های مختلف قرار گرفت. ضمناً مدل بیشینه آنتروپی یا MaxEnt مدلی عمومی است که امکان ارزیابی روابط بین یک متغیر وابسته و چند متغیر مستقل را در زمینه‌های مطالعاتی مختلف برای کاربران فراهم می‌کند. مدل بیشینه آنتروپی بر اساس اصل آنتروپی، شبکه ارتباطات بین متغیرهای

2. Receiver operating characteristic

1. Jackknife

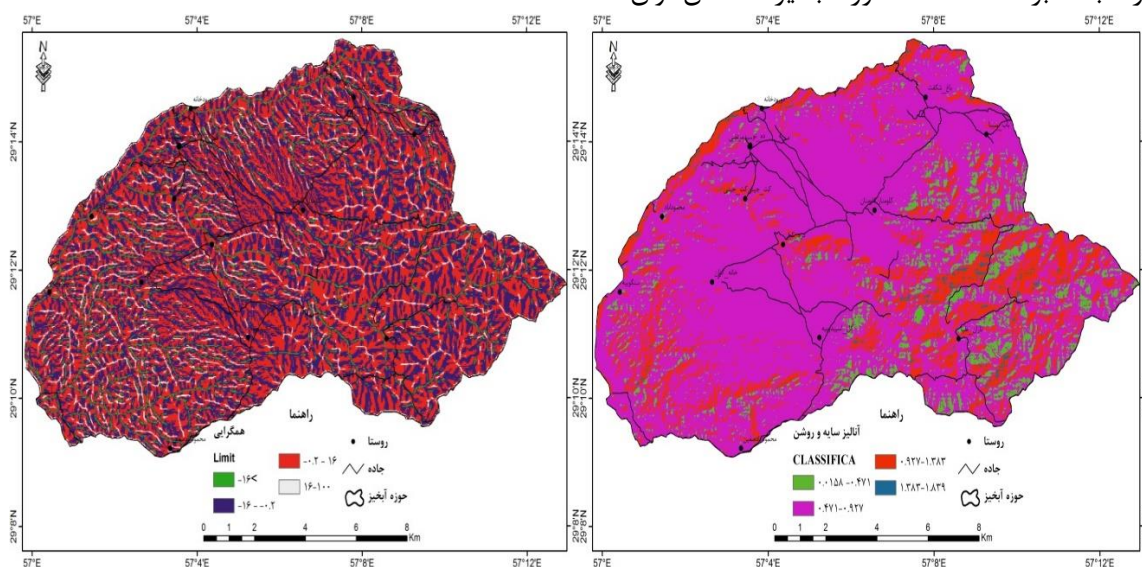


شکل ۲- نمایی از آبکندهای مشاهده شده  
Figure 2- A view of the observed gullies

### نتایج

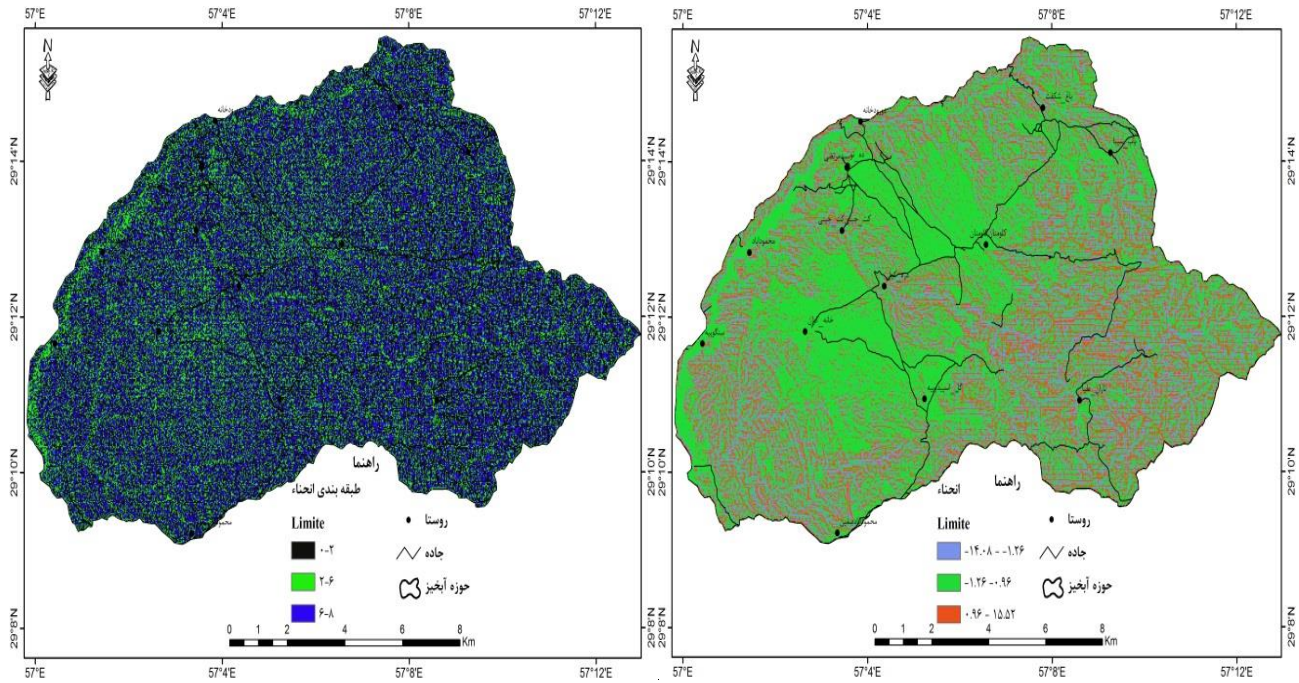
آبراهه، فاکتور طول - شیب آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع، شیب، جهت، شاخص آنالیز سایه و روشن، بافت سطح زمین در شکل‌های ۳ تا ۱۰ آمده است.

طبقه‌بندی اطلاعاتی شاخص‌های مورفومتریک شامل شاخص‌های انحنا، انحناى دامنه، شاخص انحناى نیمرخ، شاخص تحدب، شاخص طبقه‌بندی انحنا، شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه، مساحت حوزه آبخیز، شاخص توان



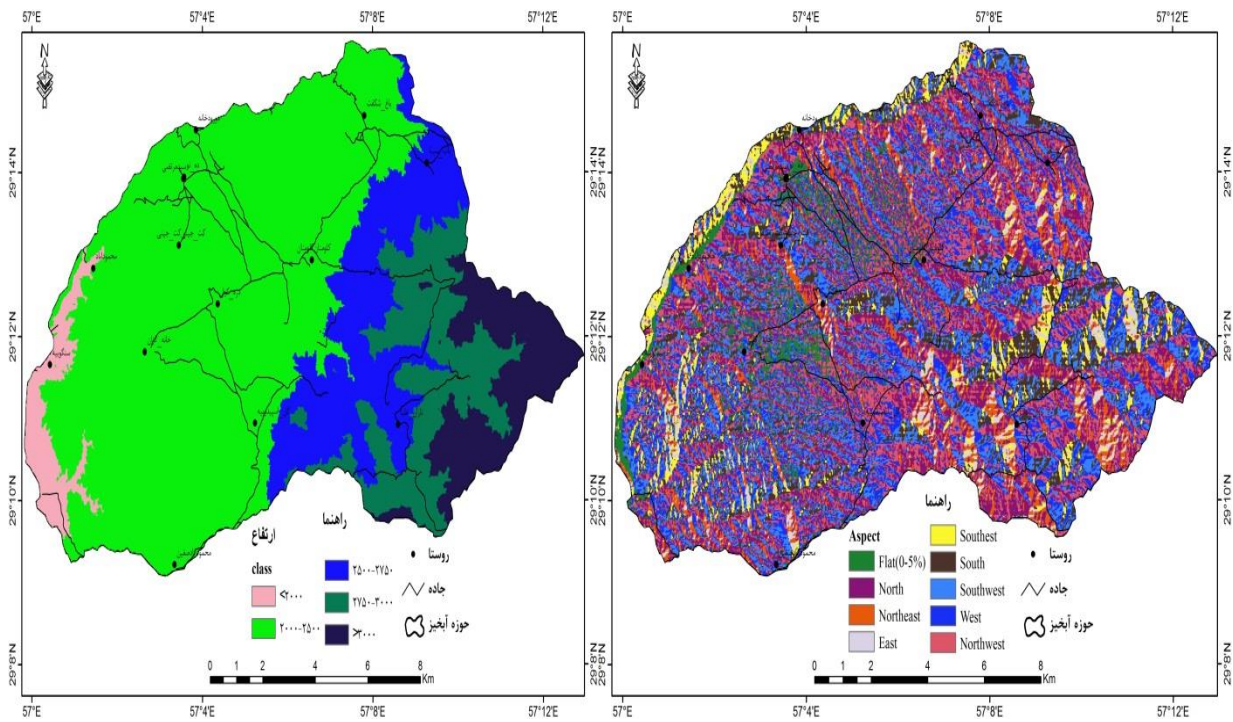
شکل ۳- لایه‌های اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن و شاخص تحدب در حوزه آبخیز سراب هلیل

Figure 3- Analytical hillshading information layers and convergence index in Sarabe Halil watershed



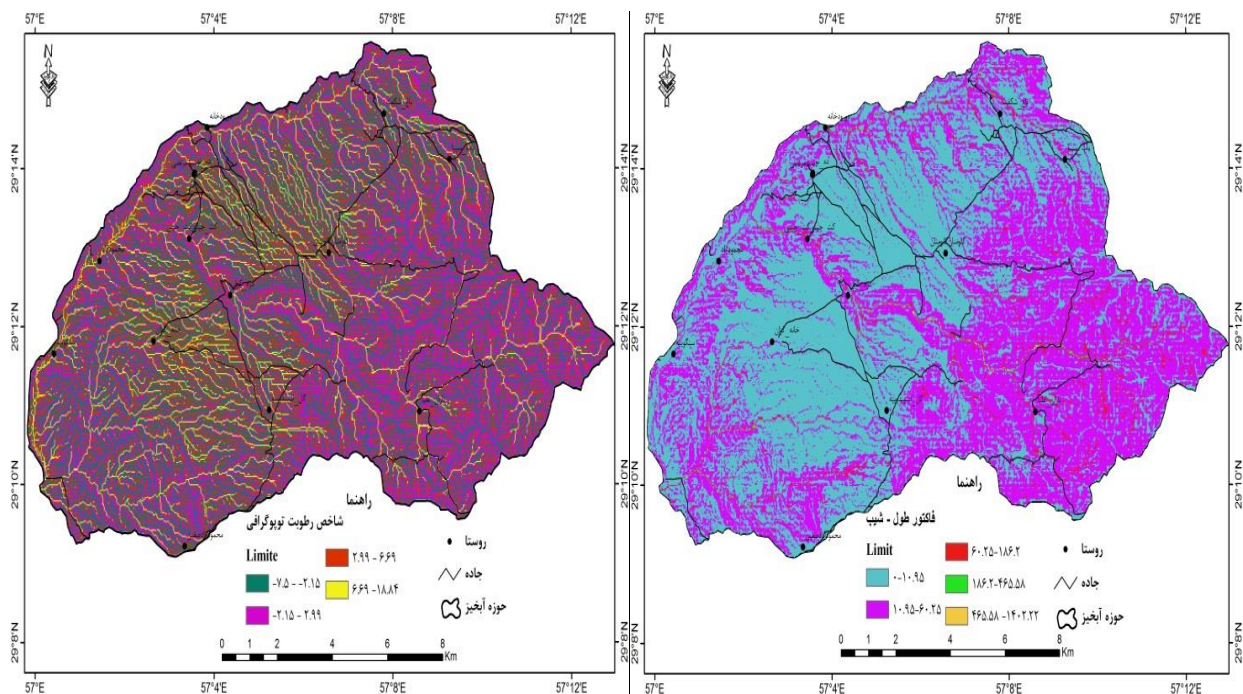
شکل ۴ - لایه‌های اطلاعاتی انحناء و طبقه‌بندی انحناء در حوزه آبخیز سراب هلیل

Figure 4 - Information layers of curvature and curvature classification index in Sarabe Halil watershed



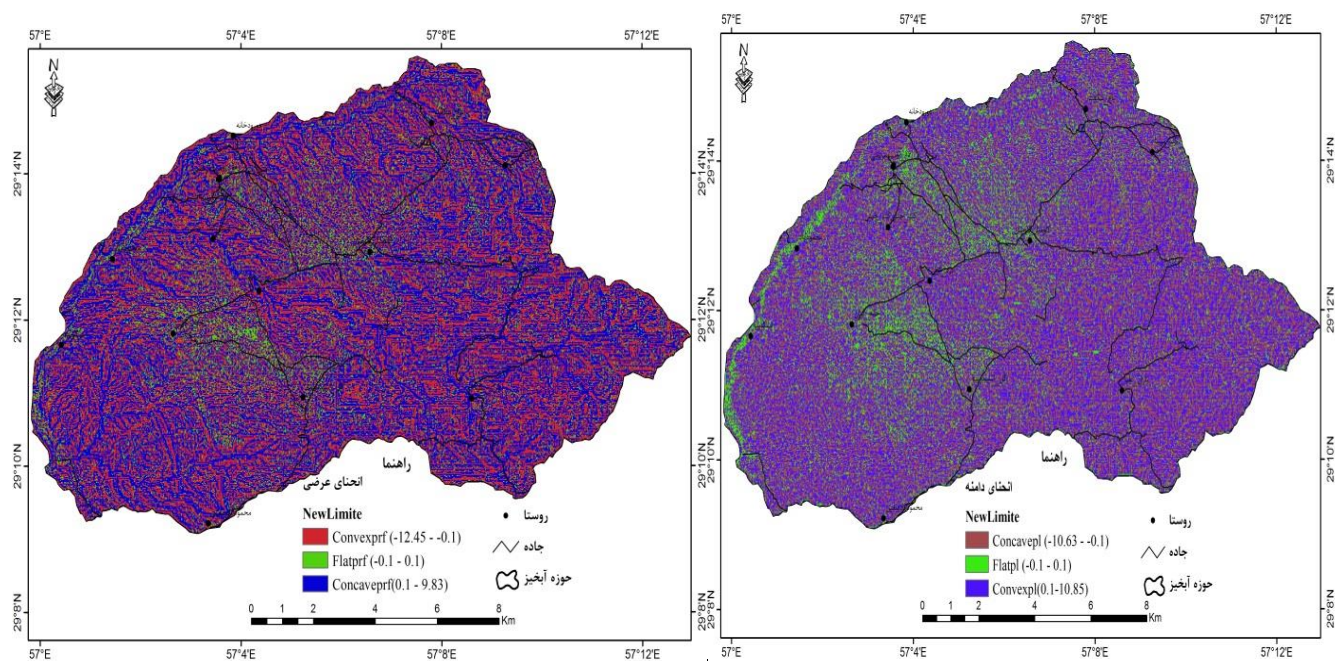
شکل ۵ - لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع و جهت دامنه در حوزه آبخیز سراب هلیل

Figure 5 - Information layers height and Aspect in Sarabe Halil watershed



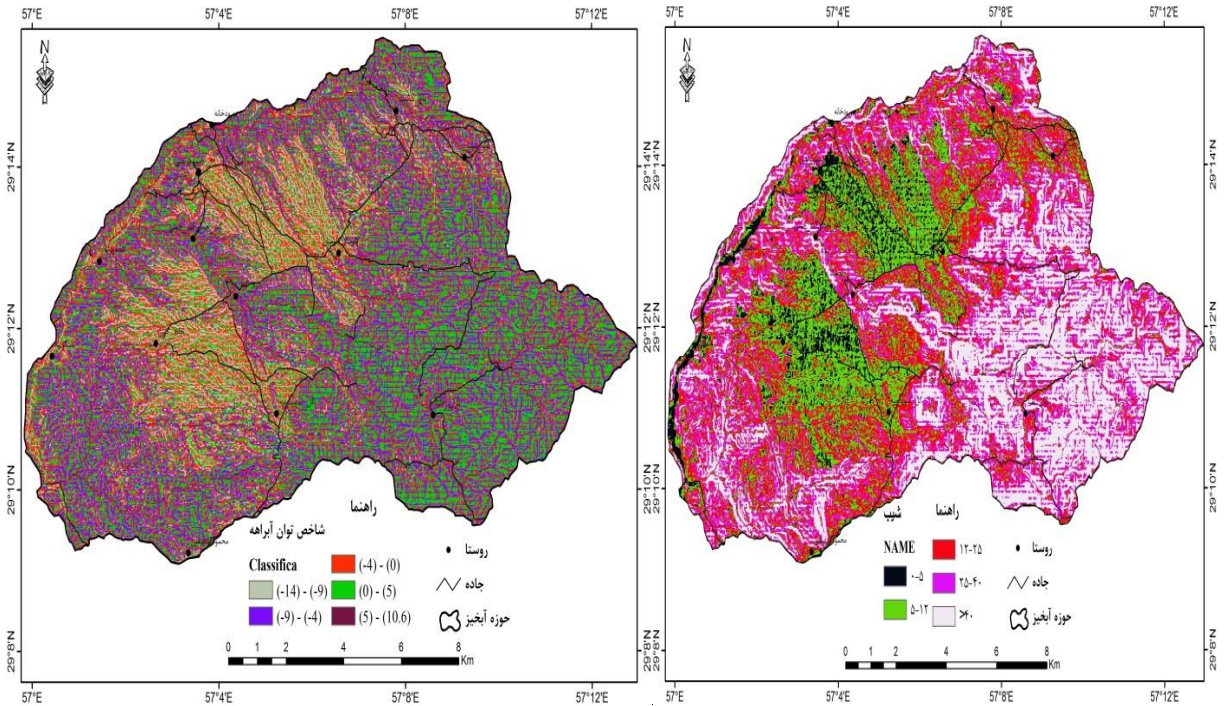
شکل ۶ - لایه‌های اطلاعاتی طول - شیب و رطوبت توپوگرافی در حوزه آبخیز سراب هلیل

Figure 6 - Information layers of LS and TWI in Sarab-e-Halil watershed

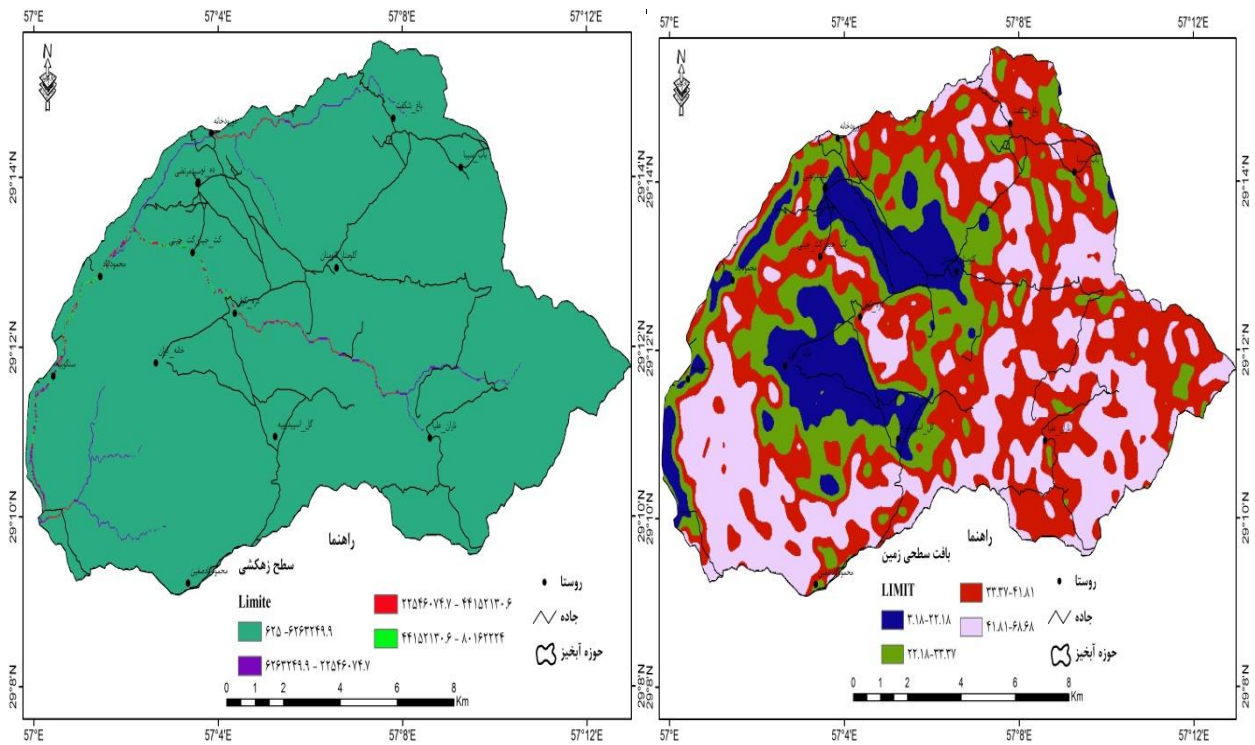


شکل ۷ - لایه‌های اطلاعاتی انحنای دامنه و انحنای نیمرخ در حوزه آبخیز سراب هلیل

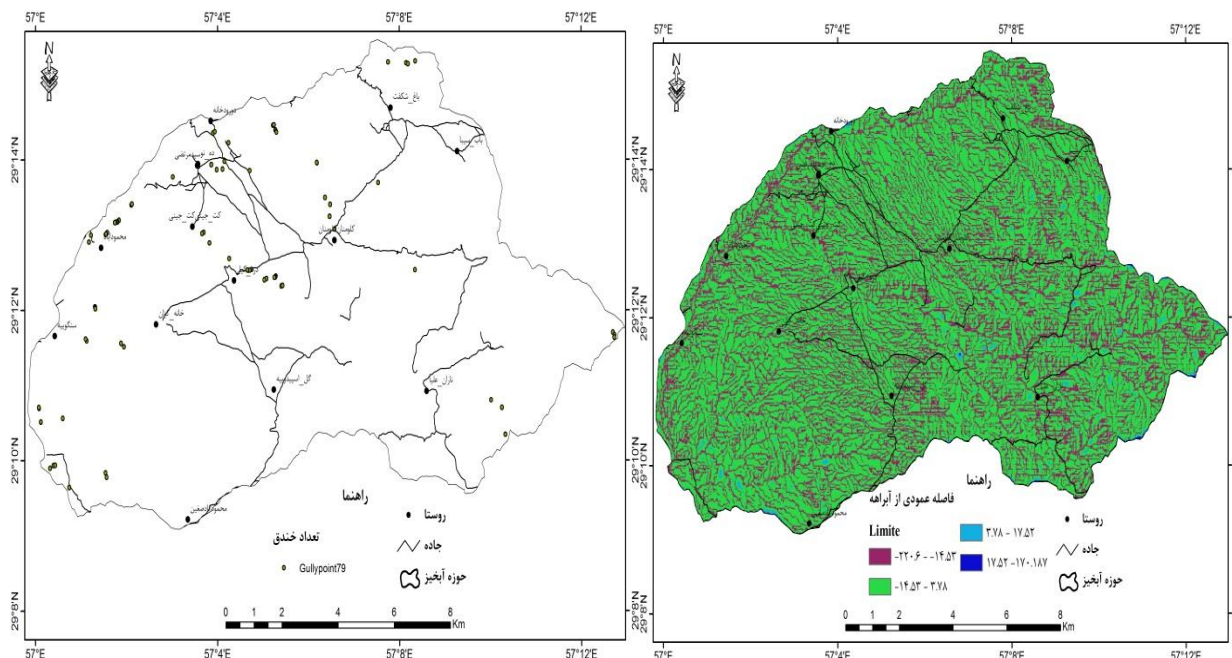
Figure 7 - Information layers of plan curvature and profile curvature in Sarab-e-Halil watershed



شکل ۸ - لایه‌های اطلاعاتی شیب و توان آبراهه در حوزه آبخیز سراب هلیل  
 Figure 8 - Information layers of slope and stream power index in Sarabe Halil watershed



شکل ۹ - لایه‌های اطلاعاتی بافت سطح زمین و مساحت در حوزه آبخیز سراب هلیل  
 Figure 9 - Information layers of earth surface texture and area in Sarabe Halil watershed



شکل ۱۰ - لایه‌های اطلاعاتی فاصله عمودی از شبکه آبراهه و پراکنش آبکندهای مورد مطالعه در حوزه آبخیز سراب هلیل

Figure 10 - information layers of distribution of the studied gully erosion and vertical distance to channel network index in Sarabe Halil watershed

شاخص توان آبراهه دارای VIF خیلی بالا و بیش از ۱۰ می‌باشند بنابراین از مدل‌سازی حذف شدند و مدل‌سازی با ۱۳ لایه اطلاعاتی مورفومتریک که دارای VIF پایین می‌باشند، انجام شد (جدول ۱).

انجام آزمون هم‌راستایی برای حذف عوامل هم‌راستا یا هم خط بسیار مهم است که با توجه میزان عامل تورم واریانس یا VIF در این تحقیق انجام شده است. نتایج آزمون هم‌راستایی برای ۱۵ لایه اطلاعاتی مورفومتریک نشان داد که شاخص انحنا و

جدول ۱- آزمون هم‌راستایی عوامل مورفومتریک در ایجاد فرسایش آبکندی جهت مدل‌سازی

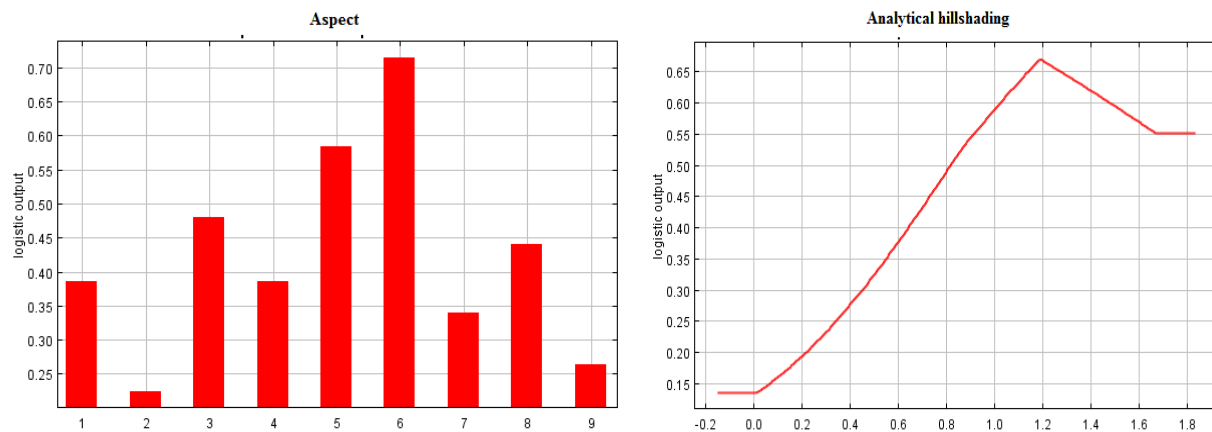
Table 1- Collinearity test of morphometric factors in creating gully erosion for modeling

عوامل مورد مطالعه	عامل تورم واریانس (VIF)	ضریب تحمل (Tolerance)	عوامل مورد مطالعه	عامل تورم واریانس (VIF)	ضریب تحمل (Tolerance)
شاخص تحدب	1.380	0.725	شاخص طبقه‌بندی انحنا	1.148	0.871
شاخص انحنا نیم‌مرخ	1.700	0.588	شاخص رطوبت توپوگرافی	2.031	0.492
انحنای دامنه	1.792	0.558	ارتفاع	1.559	0.641
فاکتور طول - شیب آبراهه	1.838	0.544	بافت سطح زمین	1.758	0.569
شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه	2.301	0.435	جهت	1.270	0.788
شاخص توان آبراهه	حذف از مدل‌سازی	-	شیب	2.457	0.407
مساحت حوزه آبخیز	1.240	0.806	شاخص انحنا	حذف از مدل‌سازی	-
شاخص آنالیز سایه و روشن	1.409	0.710	-	-	-

جدول ۲- تحلیل PCA در منطقه مورد مطالعه

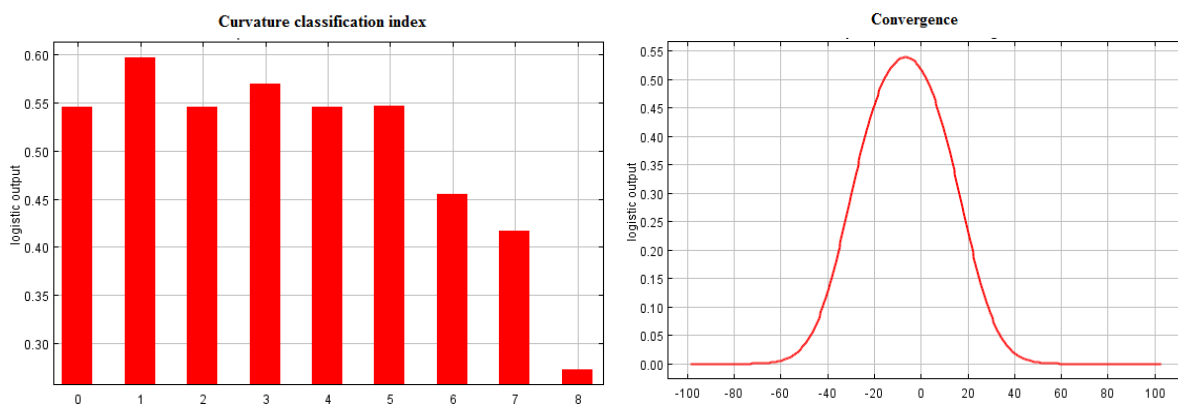
Table 2- PCA analysis in the study area

عوامل مورفومتریک	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
وجود و عدم وجود گالی	-0.321	-0.230	0.632	-0.098
شاخص آنالیز سایه و روشن	0.117	-0.023	0.788	0.089
جهت	-0.037	-0.210	-0.669	0.054
شاخص تحدب	0.235	-0.036	-0.138	-0.693
ارتفاع	0.080	0.650	-0.336	-0.112
فاکتور طول - شیب آبراهه	-0.324	0.583	0.134	0.469
انحنای دامنه	0.796	-0.128	-0.017	0.067
شاخص انحنای نیمرخ	-0.721	0.090	0.095	0.053
شیب	0.018	0.845	0.203	-0.133
بافت سطح زمین	0.027	0.800	-0.009	0.043
مساحت حوزه آبخیز	0.007	-0.131	-0.110	0.802
شاخص رطوبت توپوگرافی	-0.770	-0.050	-0.011	0.283
شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه	0.728	0.341	-0.044	-0.176
شاخص طبقه‌بندی انحناء	0.254	0.032	-0.319	-0.103

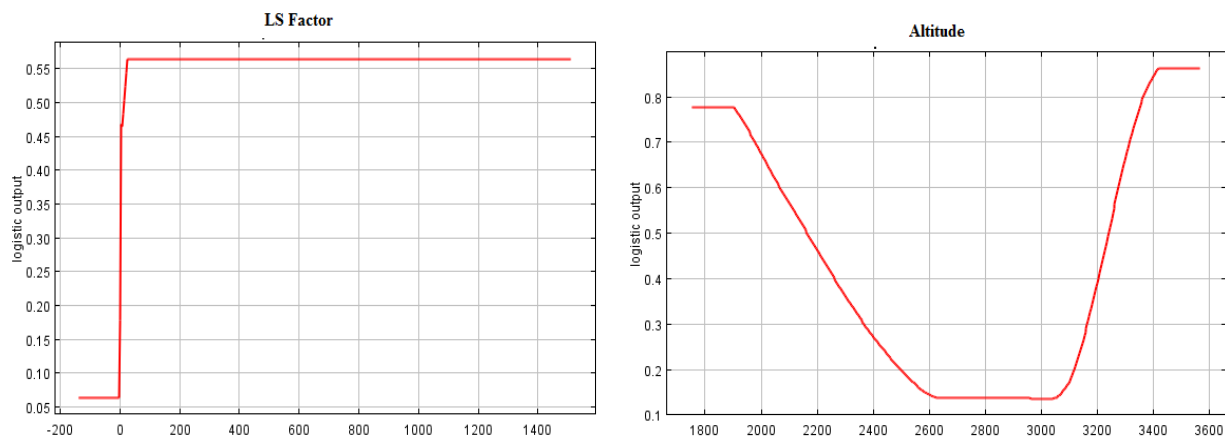


شکل ۱۱- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک جهت و آنالیز سایه و روشن

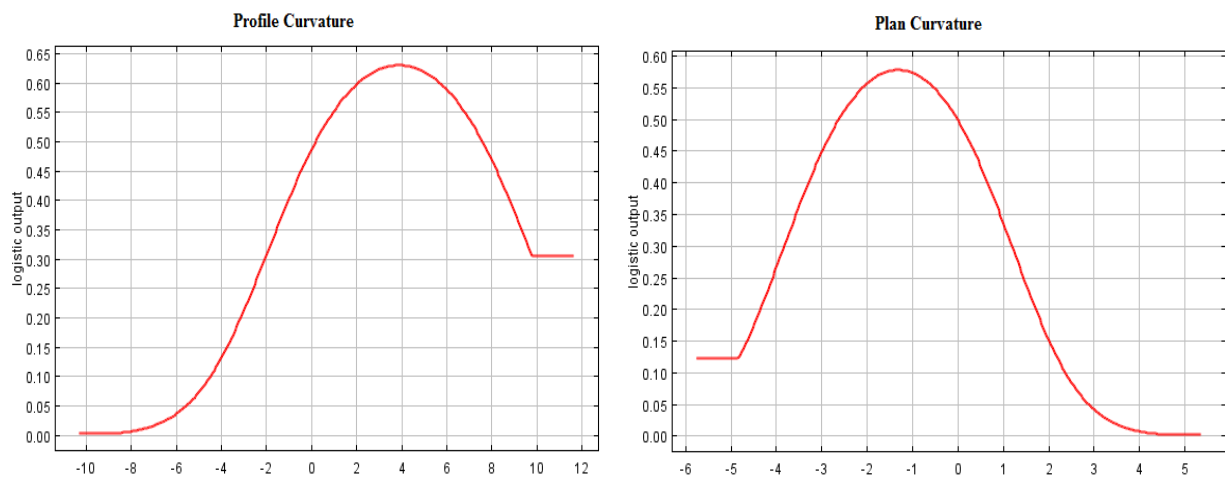
Figure 11- Response curves of morphometric factors aspect and Analytical hillshading



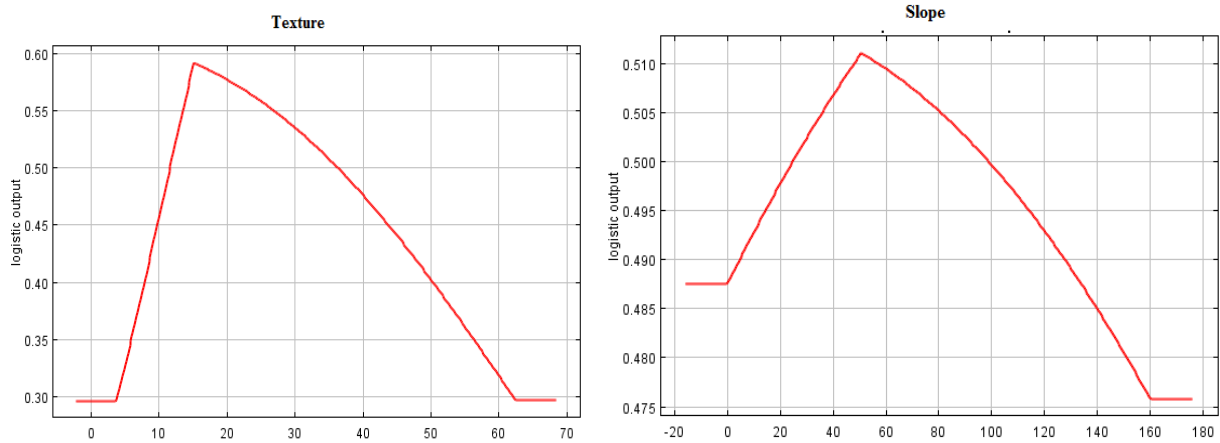
شکل ۱۲- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک تحدب و طبقه‌بندی انحناء  
Figure 12- Response curves of convergence and curvature classification index



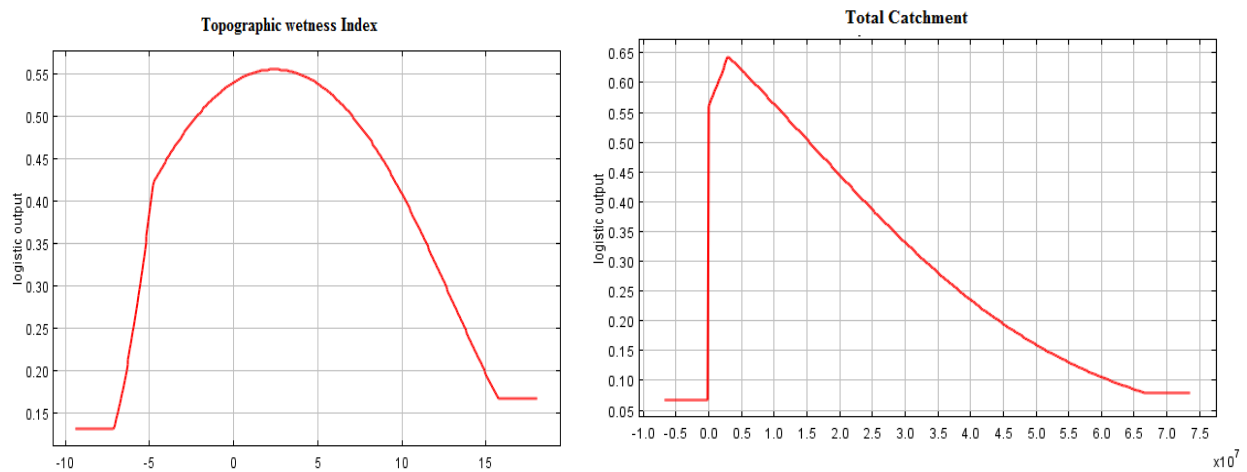
شکل ۱۳- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک فاکتور طول - شیب و ارتفاع  
Figure 13- Response curves of LS Factor and Altitude



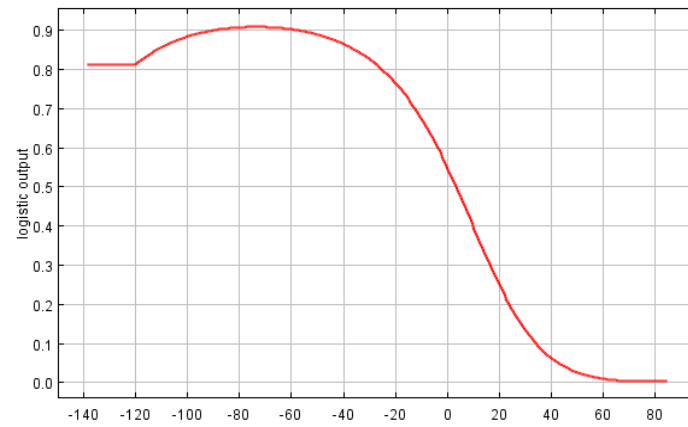
شکل ۱۴- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک انحنای دامنه و نیمرخ انحناء  
Figure 14- Response curves of morphometric factors of plan curvature and profile curvature



شکل ۱۵- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک بافت سطح زمین و شیب  
**Figure 15- Response curves of morphometric factors of ground surface texture and slope**



شکل ۱۶- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک مساحت و رطوبت توپوگرافی  
**Figure 16- Response curves of morphometric factors of area and TWI**  
 Vertical distance to channel network index

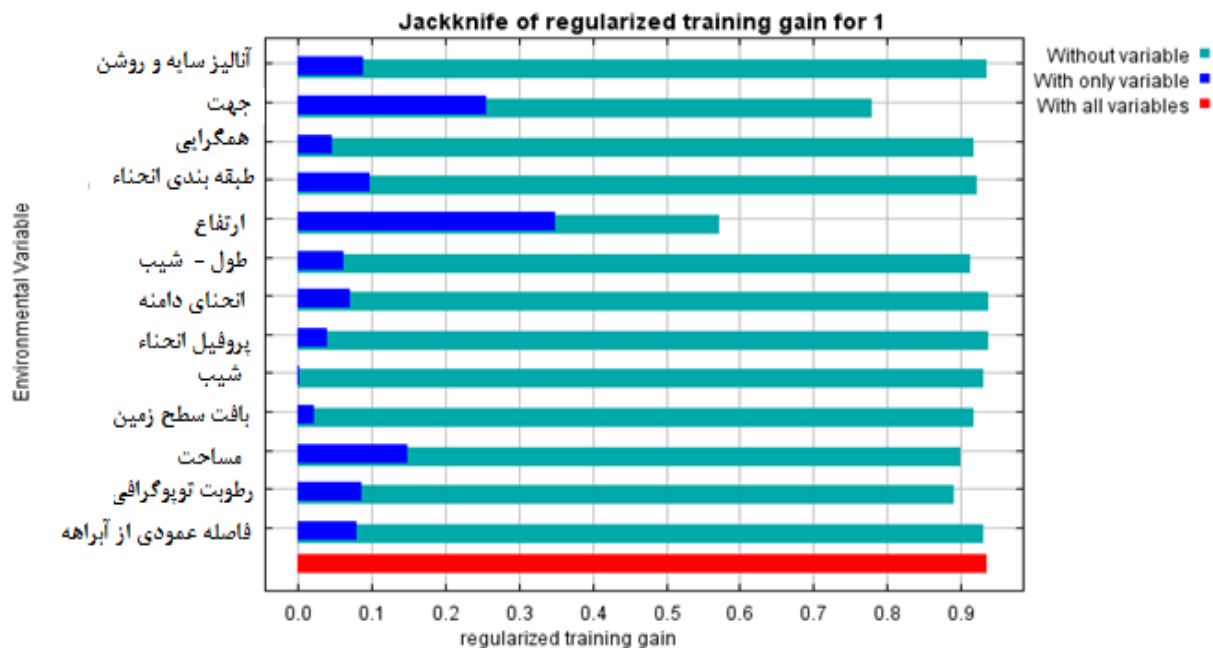


شکل ۱۷- منحنی‌های پاسخ عوامل مورفومتریک فاصله عمودی از شبکه آبراه  
**Figure 17- Response curves of morphometric factors vertical distance to channel network index**

جدول ۳- سهم مشارکت عوامل مورفومتریکی در فرسایش آبکندی در مدل بیشینه آنتروپی

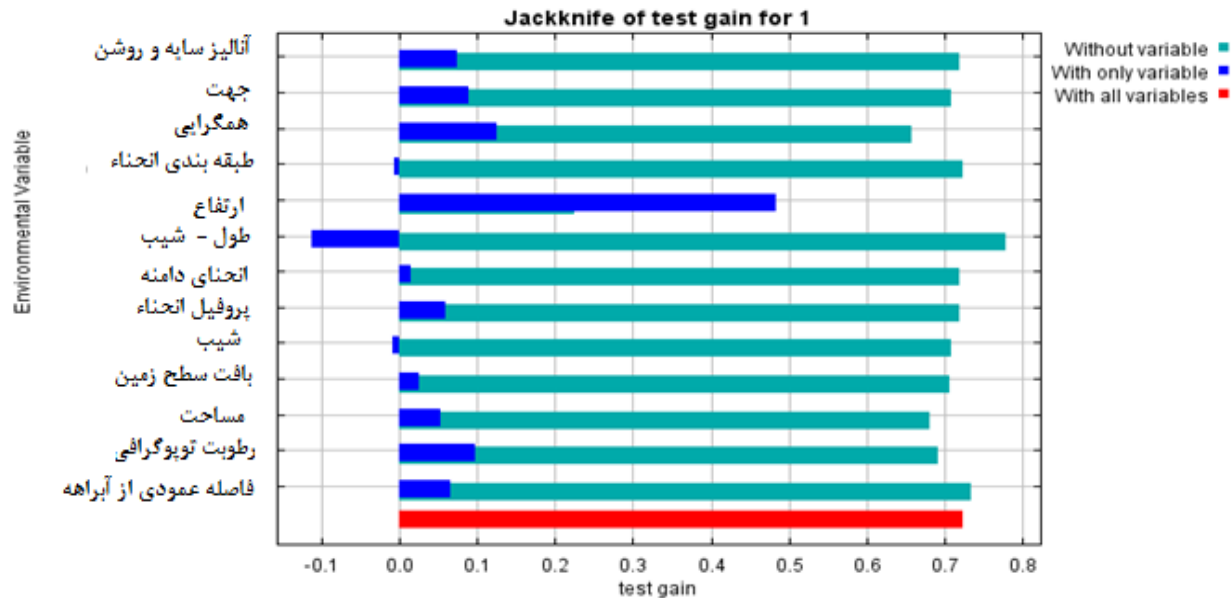
Table 3- Contribution of morphometric factors participation in gully erosion in maximum entropy model

سهم مشارکت (درصد)	عوامل مورد مطالعه	سهم مشارکت (درصد)	عوامل مورد مطالعه
3.8	فاکتور طول - شیب آبراهه	0	انحنای دامنه
3.6	شاخص رطوبت توپوگرافی	0	شاخص انحنای نیمرخ
37.6	ارتفاع	2.8	شاخص تحذب
0.4	شیب	3.4	شاخص طبقه‌بندی انحناء
27	جهت	0.2	شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه
2.7	بافت سطح زمین	18.3	مساحت حوزه آبخیز
حذف از مدل‌سازی	شاخص انحناء	0	شاخص آنالیز سایه و روشن
-	-	حذف از مدل‌سازی	شاخص توان آبراهه

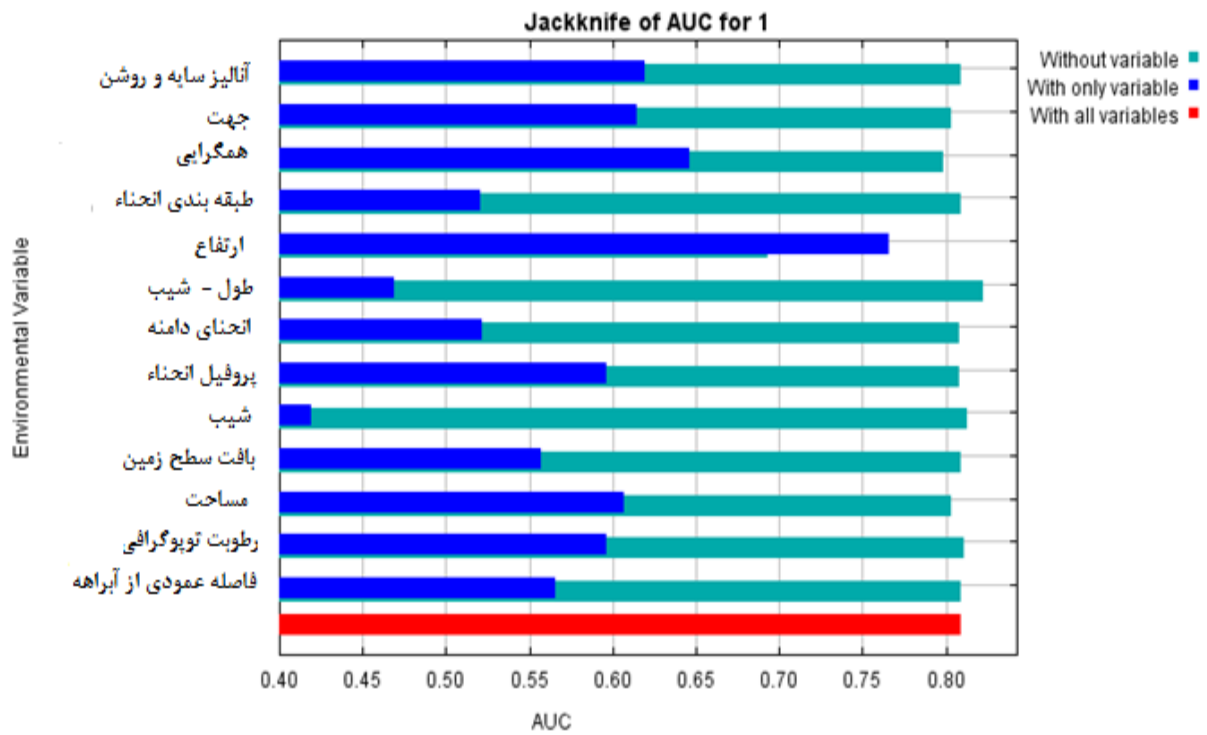


شکل ۱۸- نمودار نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت عوامل مورفومتریکی در مرحله واسنجی (آموزش)

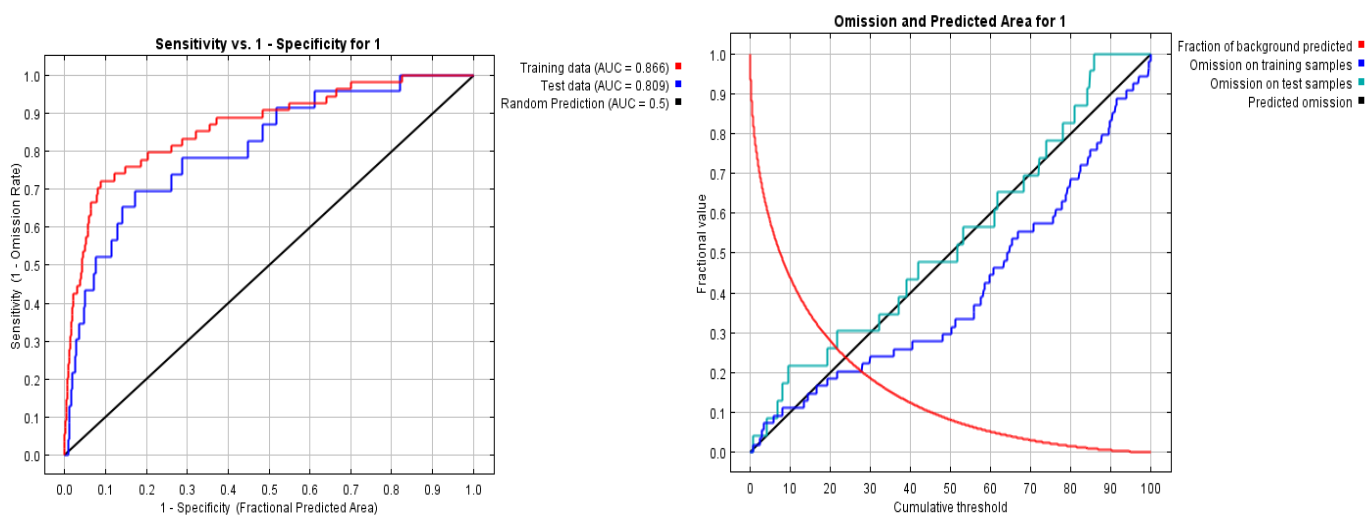
Figure 18- Diagram of Jackknife test results to determine the importance of morphometric factors in calibration stage (training)



شکل ۱۹- نمودار نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت عوامل مورفومتریک در مرحله اعتبار سنجی (تست)  
 Figure 19- Diagram of Jackknife test results to determine the importance of morphometric factors in validation stage (test)

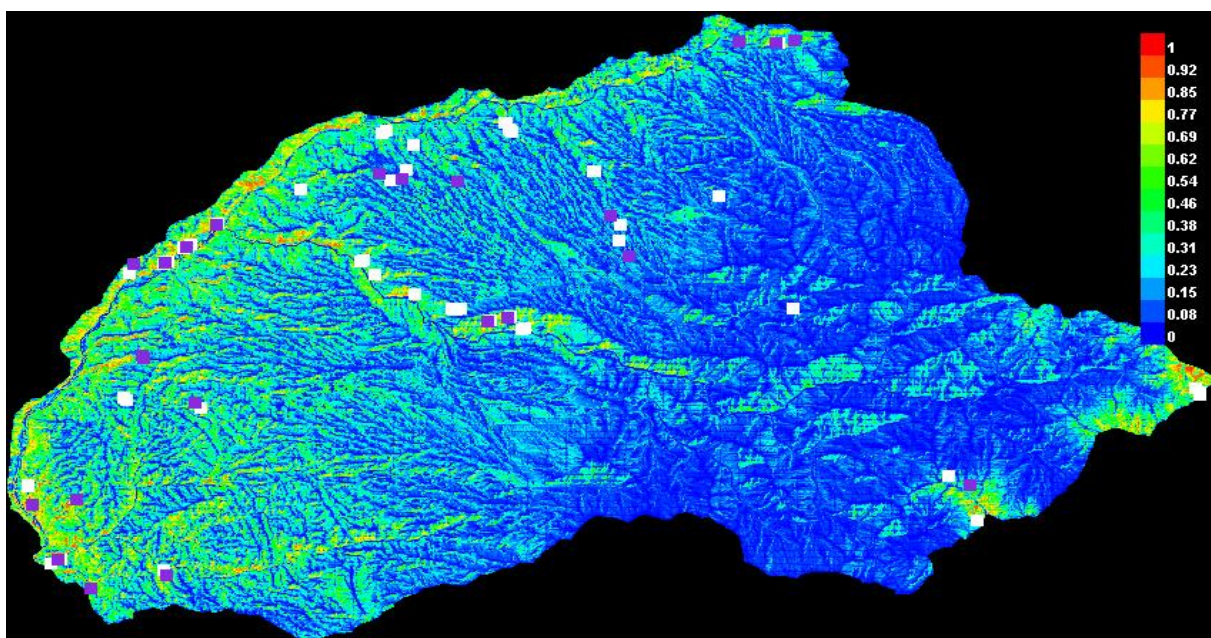


شکل ۲۰- نمودار نتایج آزمون جک نایف برای تعیین سطح زیر منحنی (AUC) عوامل مورفومتریک  
 Figure 20- Jackknife test results diagram for determining AUC in morphometric factors



شکل ۲۱- نمودار ROC<sup>۱</sup> در حالت‌های واسنجی و اعتبار سنجی نقشه پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش آبکندی نسبت به عوامل مورفومتریک

Figure 21- ROC diagram in calibration and validation modes of the predicting map of areas prone to gully erosion compared to morphometric factors in maximum entropy model



شکل ۲۲- نقشه مناطق مستعد وقوع فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز سراب هلیل بر اساس عوامل مورفومتریک در مدل بیشینه آنتروپی

Figure 22- Map of areas susceptible to gully erosion in Sarabe Halil watershed based on morphometric factors in maximum entropy model

## بحث

نتایج تحلیل منحنی پاسخ عامل آنالیز سایه و روشن در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی حوزه آبخیز سراب هلیل نشان داد که رخدادهای فرسایش آبکندی تا ۰/۰۱ روند ثابتی دارد سپس از ۰/۰۱ تا ۱/۲ به صورت ملایم افزایش می‌یابد و از ۱/۲ تا ۱/۶۶ کاهش می‌شود و در نهایت روند ثابتی را طی می‌کند. ناهمواری‌هایی که در حوزه سراب هلیل در برابر تابش مستقیم قرار می‌گیرند روشن‌تر و ارتفاعات پشت به آفتاب تاریک‌تر می‌باشند که در حوزه سراب هلیل به علت شرایط ناهمواری زیاد و کوهستانی بودن منطقه آنالیز سایه و روشن نقش برجسته‌ای در افزایش رخدادهای خندقی از خود نشان داد (شکل ۱۱). همچنین نتایج تحلیل منحنی پاسخ جهت دامنه در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای آبکندی در جنوب غربی و جنوب بیشترین حالت ممکن است و در جهت شمال شرقی نیز دارای کمترین رخدادهای فرسایش آبکندی است که افزایش رخدادهای آبکندی به میزان کم پوشش گیاهی در دامنه‌های جنوب غربی و جنوب و همچنین به زاویه تابش آفتاب نیز اشاره دارد (شکل ۱۱). نتایج تحلیل منحنی پاسخ شاخص تحدب در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای فرسایش آبکندی تا ۶۴- در شاخص تحدب تقریباً ثابت و از ۶۴- تا حدود ۷- افزایش می‌یابد سپس تا ۵۰ کاهش می‌یابد و در ادامه روند ثابتی را طی می‌کند که نشان می‌دهد در دامنه‌هایی که حالت‌های تحدب و تفرع متوسط دارند میزان فرسایش خندقی زیاد است که احتمالاً به ایجاد تشکیل خاک مناسب و همچنین شیب مناسب وقوع فرسایش خندقی اشاره دارد (شکل ۱۲). نتایج تحلیل منحنی پاسخ شاخص طبقه‌بندی انحناء در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای آبکندی با افزایش شاخص طبقه‌بندی انحناء تا ۱ افزایش می‌یابد سپس تا ۵ دارای تغییرات اندک کاهش می‌یابد و از ۵ تا ۷ با سرعت ملایم‌تری روند کاهش می‌یابد و از ۷ تا ۸

روند کاهش سرعت بیشتری پیدا می‌کند (شکل ۱۲) که نشان‌دهنده ناهمواری‌های زیاد حوزه مورد مطالعه است که می‌تواند در فرسایش خندقی نقش آفرینی نماید. نتایج تحلیل منحنی پاسخ ارتفاع در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای آبکندی تا ارتفاع ۱۹۰۰ روند ثابتی را طی می‌کند سپس با افزایش ارتفاع تا ۲۶۵۰ متر کاهش می‌یابد سپس تا ارتفاع ۳۰۸۰ متری روند ثابتی را طی می‌کند و با افزایش ارتفاع از ۳۰۸۰ تا ۳۴۲۰ رخدادهای فرسایش آبکندی افزایش می‌یابد و از ارتفاع ۳۴۲۰ به بعد روند ثابتی را طی می‌کند که احتمالاً به وجود بارندگی‌های با شدت متوسط در این ارتفاعات و ایجاد پوشش گیاهی مناسب برمی‌گردد که باعث کاهش فرسایش خندقی شده است و با افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش شدت بارندگی بر میزان توسعه فرسایش خندقی افزوده شده است که البته نیازمند فراهم شدن سایر شرایط برای ایجاد و توسعه فرسایش خندقی نیز است چون اگر سایر شرایط مهیا نباشد لزوماً با افزایش ارتفاع، فرسایش خندقی اتفاق نمی‌افتد (شکل ۱۳). نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ فاکتور طول - شیب آبراهه در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای آبکندی در فاکتور طول - شیب آبراهه تا صفر روند ثابتی را طی می‌کند سپس تا ۳۰ روند افزایشی دارد و از ۳۰ به بعد روند یکسانی را طی می‌کند (شکل ۱۳) که نشان‌دهنده تأثیر طول شیب و ایجاد شرایط مناسب خاک‌سازی و نقش آن در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی برمی‌گردد. نتایج تحلیل منحنی پاسخ شاخص انحنای دامنه در مدل بیشینه آنتروپی در رخدادهای فرسایش آبکندی نشان داد که رخدادهای آبکندی در شاخص انحنای دامنه تا ۴/۸- روند ثابتی را نشان می‌دهد سپس از ۴/۸- تا ۱/۴- یعنی در حالت مقعر روند افزایشی دارد سپس از ۱/۴- تا ۴/۱- یعنی حالت محدب حالت کاهش نشان می‌دهد سپس روند ثابتی را طی می‌کند؛ بنابراین رخدادهای فرسایش خندقی در حالت مقعر به علت وجود خاک مستعد و فرسایش، بالا است (شکل ۱۴). نتایج

و زهکشی‌های نامناسب نیز در تمام سطح حوزه آبخیز در ایجاد فرسایش خندقی نقش آفرینی می‌کنند (شکل ۱۶). نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ شاخص رطوبت توپوگرافی در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که شاخص رطوبت توپوگرافی تا ۴- روند ثابتی را طی می‌کند سپس تا ۲/۵ روند افزایشی را از خود نشان می‌دهد سپس از ۲/۵ به بعد تا ۱۷ روند کاهش داشته و سپس ثابت می‌شود (شکل ۱۶) که نشان‌دهنده تأثیر رطوبت در ناهمواری‌های توپوگرافی متوسط در ایجاد فرسایش خندقی است و تأثیر رطوبت در ناهمواری‌های خیلی زیاد و خیلی کم در ایجاد فرسایش خندقی کم می‌شود. نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ فاصله عمودی از شبکه آبراهه در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که فاصله عمودی از شبکه آبراهه تا ۱۲۰- روند ثابتی را طی می‌کند سپس تا ۷۰- روند افزایشی را از خود نشان می‌دهد سپس از ۷۰- تا ۶۰ روند کاهش دارد و در ادامه روند ثابتی را طی می‌کند (شکل ۱۷) که نشان‌دهنده تأثیر زیاد فاصله عمودی از آبراهه در ایجاد فرسایش خندقی است و هرچه این فاصله کمتر باشد به علت جریان‌های قشری و زیر قشری که ایجاد می‌شود تأثیر بیشتری در ایجاد فرسایش خندقی دارد. با توجه به تجزیه و تحلیل سهم مشارکت هر یک از عوامل مورفومتريک حوزه آبخیز سراب هلیل در پیش‌بینی فرسایش آب‌کندي با استفاده از مدل بی‌شینه آنتروپي، نتایج نشان داد که بیشترین سهم مشارکت مربوط به ارتفاع، جهت و مساحت حوزه آبخیز است که علت این امر احتمالاً به میزان بالای ارتفاع حوزه مورد مطالعه و وسعت زیاد آن و نقشی که در تغییرات بارش ایجاد می‌شود، اشاره دارد و کمترین سهم مشارکت نیز مربوط به شاخص آنالیز سایه و روشن، انحنای دامنه و انحنای نیم‌رخ است و شاخص توان آبراهه و انحناء در مدل‌سازی به کمک مدل بی‌شینه آنتروپي دخالتی نداشتند (جدول ۳). از آزمون جک نایف برای تعیین میزان اهمیت عوامل مورفومتريک در ایجاد و توسعه فرسایش آب‌کندي در این تحقیق استفاده شد. نتایج آزمون جک نایف در مرحله واسنجی (آموزش) نشان داد که

تحلیل منحنی پاسخ شاخص انحنای نیم‌رخ در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که رخداد فرسایش آب‌کندي در شاخص انحنای نیم‌رخ تا ۴ روند افزایشی دارد سپس از ۴ تا ۹/۹ روند کاهش دارد سپس روند ثابتی را طی می‌کند (شکل ۱۴) که نشان‌دهنده تأثیر زیاد شکل مقعر دامنه و همچنین شکل محدب متوسط در افزایش رخداد خندقی است که نقش وجود خاک و همچنین شستشوی آن در ایجاد فرسایش خندقی مشهود است. نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ شیب در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که رخداد آب‌کندي نسبت به شیب تا صفر روند ثابتی را طی می‌کند سپس تا ۵۰ روند افزایشی از خود نشان می‌دهد از ۵۰ به بعد این روند کاهش تا ۱۶۰ ادامه دارد و در نهایت نیز روند ثابتی را طی می‌کند. در شیب‌های متوسط به علت وجود خاک‌های مرغوب و نامرغوب با اندکی شرایط مناسب بارندگی رخدادهای فرسایش خندقی رخ می‌دهد ولی در شیب بالا احتمال رخداد فرسایش خندقی به علت نبود خاک کاهش می‌یابد که در این تحقیق مشهود است (شکل ۱۵). نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ شاخص بافت زمین در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که رخداد آب‌کندي در شاخص بافت زمین تا ۴ روند ثابتی دارد سپس تا ۱۵ روند افزایشی نشان می‌دهد سپس از ۱۵ تا ۶۳ روند کاهش را طی کرده و در نهایت ثابت می‌شود (شکل ۱۵). زبری و درشتی سطح زمین تا حدی نمی‌تواند مانع ایجاد فرسایش خندقی شود ولی از حدی که در این مطالعه مشخص شده است به علت مانعی که در برابر بارندگی ایجاد می‌کند، می‌تواند در کاهش فرسایش خندقی نقش برجسته‌ای داشته باشد. نتایج تحلیل منحنی‌های پاسخ شاخص مساحت حوزه آبخیز در مدل بی‌شینه آنتروپي در رخداد فرسایش آب‌کندي نشان داد که شاخص مساحت حوزه آبخیز تا صفر روند ثابت از خود نشان می‌دهد سپس به صورت سریع و ثابت تا ۰/۲۵ حالت افزایشی دارد سپس تا ۶/۷ روند کاهش از خود نشان داده و ثابت می‌شود که نشان‌دهنده میزان تغییرات زهکشی حوزه مورد مطالعه است

حوزه آبخیز مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی می‌باشند. نتایج نشان داد که عامل اول و دوم به‌طور مشترک بیشترین لایه‌های اطلاعاتی مورفومتریکی در فرسایش آبکندی منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد و کمترین لایه‌های اطلاعاتی مورفومتریکی در فرسایش آبکندی را عامل چهارم به خود اختصاص داد (جدول ۲). در مجموع در وقوع فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز سراب هلیل با استفاده از آزمون PCA عوامل مورفومتریکی انحنای دامنه، انحنای نیمرخ، رطوبت توپوگرافی، فاصله عمودی از آبراهه، ارتفاع، فاکتور طول - شیب آبراهه، شیب و بافت سطح زمین در ایجاد فرسایش آبکندی مؤثر می‌باشند که با نتایج تحقیقات Conoscenti و همکاران (2013) و همچنین نتایج تحقیقات Vandekerckhove و همکاران (2001)، Kheir و همکاران (2007) که اهمیت عوامل ژئومورفومتریکی را بر روی فرسایش آبکندی قابل توجه دانسته‌اند، مطابقت دارد. نقشه مناطق مستعد فرسایش آبکندی به‌دست‌آمده از مدل پیشینه آنتروپی با استفاده از عوامل مورفومتریکی در حوزه آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد فرسایش آبکندی در شمال شرق و جنوب بیشتر دارای احتمال وقوع بین صفر تا ۳۱ درصد است ولی در منتهی‌الیه شرق حوزه و جنوب شرقی فرسایش آبکندی اندکی افزایش می‌یابد و تا احتمال رخداد ۹۲ درصد نیز می‌رسد ولی درصد مساحت آن خیلی اندک است. ولی به سمت مرکز، شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غربی حوزه آبخیز مورد مطالعه احتمال وقوع فرسایش آبکندی افزایش می‌یابد و تا ۹۲ درصد و گاهی در بعضی قسمت‌ها تا ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد (شکل ۲۲)؛ بنابراین زمانی که صرفاً از عوامل مورفومتریکی برای مدل‌سازی استفاده می‌شود درصد بیشتری از رخداد فرسایش آبکندی را در حوزه مورد مطالعه نمایش می‌دهد. بر همین اساس مدل پیشینه آنتروپی پیش‌بینی مناسبی از احتمال وقوع فرسایش آبکندی از خود نشان داد که با نتایج تحقیقات Rahmati و همکاران (2018) و Shirani and Zakerinejad (2019) مطابقت دارد.

بااهمیت‌ترین عوامل مورفومتریکی در وقوع فرسایش آبکندی، ارتفاع و سپس جهت دامنه می‌باشند و کم‌اهمیت‌ترین عوامل استفاده‌شده برای توسعه مدل در مرحله آموزش نیز شیب دامنه می‌باشند (شکل ۱۸). نتایج آزمون جک نایف در مرحله اعتبارسنجی (تست) نشان داد که بااهمیت‌ترین عوامل مورفومتریکی برای توسعه مدل در وقوع فرسایش آبکندی، ارتفاع می‌باشند و کم‌اهمیت‌ترین عوامل استفاده‌شده برای توسعه مدل فاکتور طول - شیب آبراهه می‌باشند (شکل ۱۹). نتایج آزمون جک نایف با توجه به سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که بااهمیت‌ترین عوامل مورفومتریکی برای توسعه مدل در وقوع فرسایش آبکندی، ارتفاع می‌باشند و کم‌اهمیت‌ترین عوامل مورفومتریکی استفاده‌شده برای توسعه مدل با توجه به سطح زیر منحنی نیز شیب دامنه است (شکل ۲۰). پس از اعتبارسنجی سطح زیر منحنی (AUC) در حالت‌های واسنجی (آموزش) مدل پیشینه آنتروپی ۰/۸۶۶ و در حالت اعتبارسنجی (تست) مدل پیشینه آنتروپی ۰/۸۰۹ به دست آمد؛ بنابراین در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی چون مدل پیشینه آنتروپی دارای سطح زیر منحنی بین ۰/۸ تا ۰/۹ است؛ بنابراین توانایی عالی برای پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش آبکندی از خود نشان داد و مدل عالی فرض می‌شود (شکل ۲۱). برای تعیین مهم‌ترین عوامل مورفومتریکی در ایجاد فرسایش آبکندی حوزه آبخیز سراب هلیل از آزمون PCA استفاده شد که نتایج نشان داد که داده‌های اطلاعاتی مورد استفاده در ۴ گروه طبقه‌بندی شدند که در عامل اول، انحنای دامنه، شاخص انحنای نیمرخ، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص فاصله عمودی از آبراهه مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بودند. در عامل دوم نیز ارتفاع، فاکتور طول - شیب آبراهه، شیب و بافت سطح زمین مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بودند. در عامل سوم نیز شاخص آنالیز سایه و روشن، جهت، شاخص طبقه‌بندی انحنای مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی می‌باشند و همچنین در عامل چهارم نیز شاخص تحدب و مساحت

## نتیجه‌گیری

مطلوب و قابل‌قبولی دست یافت. نتایج تحقیق نشان داد در مجموع در وقوع فرسایش آبکندی عوامل مورفومتریک انحنای دامنه، انحنای نیمرخ، رطوبت توپوگرافی، فاصله عمودی از آبراهه، ارتفاع، فاکتور طول - شیب آبراهه، شیب و بافت سطح زمین در ایجاد فرسایش آبکندی مؤثر می‌باشند. نقشه مناطق مستعد فرسایش آبکندی به‌دست‌آمده از مدل بیشینه آنتروپی با استفاده از عوامل مورفومتریک در حوزه آبخیز مورد مطالعه نیز نشان داد که دقت قابل‌قبولی دارد و می‌توان از این روش پژوهشی در حوزه‌های آبخیز مختلف نیز استفاده کرد.

## References

- Arabameri, A., Pradhan, B. & Rezaei, K. (2019). Gully erosion zonation mapping using integrated geographically weighted regression with certainty factor and random forest models in GIS. *Journal of environmental management*, 232, 928-942.
- Bayati Khatibi, M., Rajabi, M. & Karami F. (2011). Investigation of topographic thresholds and analyzing role of surface materials on gully development in the hillslope of semi-arid areas, case study: Shoorchay. *Geography and Environmental Planning Journal*, 22(1), 15-34. (In Persian)
- Conoscenti C., Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E. & Marker, M. (2013). A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modeling: a test in Sicily, Italy. *Environ Earth Sci.* 70(3), 1179-1195.
- Crouch R & Novruzzi T. (1989). Threshold conditions for rill initiation on a vertisol, Gunnedah, N.S.W., Australia, *Catena*. 10, 101-110.
- Dunne T. (2005). Formation and controls of channel network. *Progress in Physical Geography*. 4, 211-239.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1), 38-49.
- Huang, D., Su, L., Zhou, L., Tian, y. & Fan, H. (2023). Assessment of gully erosion susceptibility using different DEM-derived topographic factors in the black soil region of Northeast China, *International Soil and Water Conservation Research*, 11(1), 97-111.
- Jiarui, Q., Mingming, G., Pengchong, Zh., Xingyi, Zh., Jinzhong, X., Zhuoxin, Ch., Xin, L., Lixin, W. & Zhaokai, W. (2023). Soil erosion resistance factors in different types of gully heads developed in four main land-uses in the Mollisols region of Northeast China, *Soil and Tillage Research*, Volume 230, 105697.
- Kasai, M. (2006). Channel processes following land use changes in a degrading steep, headwater stream in North Island, New Zealand, *Geomorphology* 81, 421-439.
- Kheir R., Wilson, J. & Deng Y. (2007). Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1770-1782.
- Mohammad Khan, S.H, Wisey A. & Bagheri, K. (2014). Landslide hazard potential using entropy model, case study (Shirpanah mountainous area in southwest of Kermanshah province). *Geographic Quarterly of Territory*, 44, 89-103. (In Persian)
- Patton, P.C. & Schumm, S.A. (1975). Gully erosion: a threshold phenomenon. *Geology*, 3, 88-90.
- Rahmati, A, Tahmasebipour, N, Haqizadeh, A, Pourghassemi, H, R& Feizizadeh, B. (2018). Evaluation of efficiency of maximum entropy model in predicting

- susceptibility to gully erosion occurrence in Kashkan - Pole-Doukhan watershed, *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 738-727.
- Shafeie, A., Khazayi, M., Molayi, A. & Sofi, M. (2011). Study and Comparison of Pedagogical and Morphoclimatical Characteristics of Gullies. *Iranian J. Water and Irrigation Engineering*, 2 (5), 27-38. (In Persian)
- Shirani, K. & Zakerinejad, R. (2019). Zoning of Sensitivity to Gully Erosion Using Maximum Entropy Probabilistic Model (Case Study: South of Isfahan Province). *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*.
- Vandekerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., D.E. Weerd, B. & Coppe, N. (2001). A method for dendrochronological assessment of mediumterm gully erosion rates. *Catena*, 45, 123-161.
- Vanmaercke, M., Panagos, P., Vanwalleghem, T., Hayas, A., Foerster, S., Borrelli, P. & Borselli, L. (2021). Measuring, modelling and managing gully erosion at large scales: a state of the art. *Earth Sci. Rev.* 218, 103637.
- Virkkala, R., Marmion, M., Heikkinen, R.K., Thuiller, W. & Luoto, M. (2010). Predicting range shifts of northern bird species: influence of modelling technique and topography. *Acta Oecologica*, 36(3), 269-281.
- Wang, j., Zhang, y., Li, k., Zhang, z. & Chen., Ch. (2022). Gully internal erosion triggered by a prolonged heavy rainfall event in the tableland region of China's Loess Plateau, *International Soil and Water Conservation Research*, Available online 30 December 2022, 4, 610-621.
- Wasson R, J., Olive L, J. & Rosewell C, J. (1996). Rates of erosion and sediment transport in Australia. In: Walling, D., Webb, B. Eds., *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, *IAHS Publ.* 236 p. 139-148.
- Whitford, J.A., Newham, L.T.H., Vigiak, O., Melland, A.R. & Roberts, A.M. (2010). Rapid assessment of gully sidewall erosion rates in data-poor catchments: A case study in Australia, *Geomorphology*, 118 (2010) 330-338.
- Yuan, M., Zhang, Y., Zhao, Y. & Deng, J. (2020). Effect of rainfall gradient and vegetation restoration on gully initiation under a large-scale extreme rainfall event on the hilly Loess Plateau: A case study from the wuding river basin, China. *Science of the Total Environment*, 739, Article140066.
- Zakerinejad, R. & Merker, M. (2014). Prediction of Gully erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and maximum entropy modeling: A case study in the Mazayejan Plain, Southwest Iran. *Geogr. Fis. Din. Quat.* 37, 67-76. (In Persian)
- Zhao, Y., Zhang, Y., Yuan, M., Yang, M. & Deng, J. (2021). Estimation of initiation thresholds and soil loss from gully erosion on unpaved roads on China's Loess Plateau. *Earth surface processes and landforms*. <https://doi.org/10.1002/esp.5102>
- Zhou, P. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75, 319-325.
- Zhou, X., Wei, Y., He, J. & Cai, CH. (2023). Estimation of gully erosion rate and its determinants in a granite area of southeast China, *Geoderma*, 429, 1, 116223.

## Evaluating the effectiveness of MISDc and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed

Atefe Amiri<sup>1</sup>, Siamak Baharvand<sup>2\*</sup>, Mozhgan Rad<sup>3</sup>

1- Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

3- Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran

\*Corresponding author: sbaharvand53@gmail.com

(Received: 10 August 2023

Revised: 28 August 2023

Accepted: 08 October 2023)

### Extended Abstract

**Introduction:** Representation of natural phenomena through hydrological models is very important for planning and management of water resources, because these models provide the possibility of investigating natural processes and evaluating modeling in different designs and are of great importance in management decisions. Hydrological models are a simplified representation of the real hydrological system, which help to study the functioning of the basin in response to various inputs and to understand the hydrological processes better. Considering the diversity of hydrological models, it is difficult to choose each model for each task, and there is a need for a comparative evaluation of models to determine the capability each model in the study area. Choosing a model from complex models that require many inputs and are difficult to work with or simple models that are easy to work with is considered important for water resource planners. Also, knowing the accuracy of the models in the simulation process is important and requires investigation. In this study, two hydrological models, MISDc and GR4J, were used to simulate the flow of Cham Anjir watershed. The results of the models show that both models have an acceptable ability to simulate the flow of the studied area, but the MISDc model has a higher ability to simulate the flow, and this model can simulate the peak discharges better than the GR4j model. The advantage of these models is that they are free and the data of these models are few and available.

**Materials and methods:** In this research, the efficiency of MISDc and GR4j models was evaluated. The basic data used includes observational data of temperature, precipitation, discharge, and evaporation and transpiration in the period 2008-2020 from 3 selected stations in the region and its surroundings. The required data of MISDc model are: daily data of precipitation, temperature and discharge, and the required data of GR4J include daily data of precipitation, evaporation and transpiration, and discharge. The data were given to the models after preparation in MATLAB software, and each model was executed separately. The model performance evaluation process is of fundamental importance during the model development and calibration process. Various indicators are presented and used to evaluate the models. The performance evaluation of two models was investigated through NS and R<sup>2</sup> methods.

**Results and Discussion:** In order to check the performance of the two models in the period of 2008-2020, data was prepared. In order to recalibrate the models, a 9-year period was determined and to check the validity of the models, a 4-year period was determined. After entering the data into the MATLAB software for the purpose of simulation, the parameters of the models were changed manually to obtain the most appropriate values and the calibration stage was performed. Next, in the validation phase, the models optimal parameters were fixed, the new statistical period for the model was defined, and the model was implemented. Examining the performance of the two models during the calibration and validation stages shows the good performance of the two models in simulating the daily flow of Cham Anjir basin. The results of Nash coefficients evaluation and determination in the calibration stage for the MISDc model are 0.699 and 0.717, respectively, and for the GR4j model are 0.54 and 0.597 respectively. The results of the validation stage for the MISDc model are 0.794 and 0.851 respectively, and for the GR4j model are 0.70 and 0.715, respectively. These results show that the MISDc model performs better than the GR4j model. The MISDc model has been able to simulate the daily flow of the studied area well, especially in the peak discharges, and the GR4j model, due to its good simulation, has not been able to estimate the peak discharges as well as the previous model.

**Conclusion:** In this research, to evaluate the performance of two MISDc and GR4j models in simulating the runoff of Cham Anjir basin, the data of precipitation, temperature, evaporation and transpiration, and discharge were used in the statistical period of 2008-2020. Then, the stage of data calibration, validation, and evaluation of the model's performance was carried out and examined. The results of the investigations show the good performance of the two models and the relative superiority of the MISDc model to the GR4j model. The results obtained in this research are close to the results of research conducted in different places, so according to the results obtained from the models, it can be said that the models can be used in the studies of water resources in the region, and it is also suggested that the models be used for estimation of runoff in similar areas.

**Keywords:** flow modeling, Hydrological model, water resources management, Lorestan province.

Citation: Amiri, A., Baharvand, S., & Rad, M. (2023). Evaluating the effectiveness of MISDc and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed. *Integrated Watershed Management*, 3(3), 84-95. doi: 10.22034/iwm.2023.2009002.1098

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب MISDc و GR4J در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد

عاطفه امیری<sup>۱</sup>، سیامک بهاروند\*<sup>۲</sup>، مژگان راد<sup>۳</sup>

۱- گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران

۳- دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

\*نویسنده مسئول: sbaharvand53@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹

### چکیده

نمایش پدیده‌های طبیعی از طریق مدل‌های هیدرولوژی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت در منابع آب بسیار مهم است، چراکه این مدل‌ها امکان بررسی فرآیندهای طبیعی و ارزیابی مدل‌سازی در طرح‌های مختلف را فراهم نموده و در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی اهمیت فراوان دارند. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده‌شده‌ای از سیستم واقعی هیدرولوژی هستند که به مطالعه درباره‌ی کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. با توجه به تنوع مدل‌های هیدرولوژی انتخاب هر مدل برای هر کار دشوار است و نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌ها برای مشخص کردن قابلیت و توانایی هر مدل در منطقه مطالعاتی است. در این تحقیق از دو مدل هیدرولوژیکی MISDc و GR4J برای شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیز چم انجیر استفاده شده است. دوره مشترک شبیه‌سازی این دو مدل از یک بازه ۱۳ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۸) انتخاب شده است. در ادامه، دقت نتایج حاصله از مدل‌ها در مراحل واسنجی (۲۰۱۶-۲۰۰۸) و اعتبارسنجی (۲۰۱۷-۲۰۲۰) با استفاده از معیارهای نش-ساتکلیف و ضریب تعیین مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر به‌دست‌آمده نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۶۹۹ و ۰/۷۱۷ و برای مدل GR4J به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۹۷ و برای دوره واسنجی و برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۷۹۴ و ۰/۸۵۱ و برای مدل GR4J به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۷۱۵ و برای دوره اعتبارسنجی که بیانگر عملکرد بهتر مدل MISDc در مقایسه با عملکرد مدل GR4J در شبیه‌سازی جریان روزانه در حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد است. ارزیابی نشان می‌دهد که مدل MISDc توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه چم انجیر دارد که می‌توان از مدل در مطالعات منابع آب منطقه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی جریان، مدل هیدرولوژیکی، مدیریت منابع آب، استان لرستان

استناد: امیری، ع.، بهاروند، س.؛ و راد، م. (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی مدل‌های بارش-رواناب MISDc و GR4J در شبیه‌سازی دبی روزانه حوزه آبخیز چم انجیر خرم‌آباد. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۳، ۸۴-۹۴.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

Huai چین از مدل MISDC استفاده کردند. در این تحقیق به‌منظور بررسی عملکرد مدل از داده‌های رطوبت خاک برای مدل استفاده شد که نتایج تحقیقات بیانگر بهبود عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه است. Alessio و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور بررسی سیلاب و منابع آب منطقه Po در غرب ایتالیا از مدل MISDC استفاده کردند و پارامترهای بهینه مدل با استفاده از استراتژی‌های مختلف منطقه‌بندی شدند. عملکرد مدل از طریق چندین شاخص تجزیه‌وتحلیل رژیم هیدرولوژیکی، شرایط جریان بالا و منحنی طول مدت جریان (FDC) بررسی شد. نتایج این تحقیق بیانگر عملکرد مناسب مدل برای پیش‌بینی سیلاب منطقه بوده است. نتایج بررسی بیانگر مناسب بودن داده‌های ERA5 برای مناطق کم داده و عملکرد مناسب مدل‌ها در شبیه‌سازی سیل بوده است. Camici و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور بررسی عملکرد داده‌های SRPs در شبیه‌سازی سیل به‌جای داده‌های اندازه‌گیری در ۱۵ حوزه در مدیترانه از مدل MISDC استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً ضعیف داده‌های SRPs در شبیه‌سازی سیل در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری است. Mostafazadeh و Asgari (۲۰۲۱) پژوهشی در زمینه ارزیابی کارایی مدل بارش-رواناب GR4J در آبخیز نیرچای اردبیل انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که علیرغم بیش تخمینی مقادیر شبیه‌سازی‌شده مدل در مرحله اعتبارسنجی، شبیه‌سازی مدل در روند تغییرات جریان و نیز دوره‌های جریان کمینه مناسب بوده است. Amiri و Salimi (۲۰۲۱) به‌منظور بررسی برآورد دبی روزانه حوزه کاکارضا از مدل‌های HBV و MISDC استفاده کردند. نتایج بررسی‌ها نشان از توانایی خوب مدل MISDC در شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه کاکارضا داشته است. Amiri و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه کشکان افرینه از مدل MISDC استفاده کردند. نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی بیانگر توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی جریان

بارش مهم‌ترین و مؤثرترین منبع آب یک حوزه آبخیز است. در دسترس بودن اطلاعات پیوسته‌ی بارش که می‌تواند برای پیش‌بینی مقدار رواناب مورد استفاده قرار گیرد شروع خوبی برای شبیه‌سازی پدیده‌ی بارش-رواناب به شمار می‌رود (Lorrai & Sechi, 1995). مدل‌های بارش-رواناب برای توضیح فرآیندهای غیرخطی، پیش‌بینی حوادث و ارزیابی تأثیرات پتانسیل در اقلیم آینده و کاربری اراضی استفاده شده‌اند (Aghakoucha *et al.*, 2013). ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی در تغییر پوشش و مدیریت زمین ازجمله کاربردهای مدل‌های هیدرولوژیکی است (Schreider *et al.*, 2000). مدل‌های بارش-رواناب قابلیت درونیابی و برون‌یابی جریان را متناسب با داده‌های ورودی به مدل دارند. مدل‌های هیدرولوژیکی حوزه اعم از مدل‌های تجربی در برابر مدل‌های فیزیکی، مدل‌های رویدادگرا در برابر پیوسته و مدل‌های یکپارچه در مقابل مدل‌های توزیعی طبقه‌بندی می‌شوند (Mengistu, 2009). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به فاکتورهایی از قبیل شبیه‌سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب‌های زیرزمینی، باررسوب و غیره)، دقت داده‌های در دسترس و مقیاس مکانی و زمانی است (Aghakoucha *et al.*, 2013). در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی پژوهشگران داخل و خارج از کشور تحقیقاتی انجام داده‌اند. Lupakov و همکاران (۲۰۲۳) به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در حوزه رودخانه Ussuri از مدل GR4J استفاده کردند. در این پژوهش رواناب ۱۷ حوزه آبخیز تودرتو مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تمامی شبیه‌سازی‌ها با توجه به معیارهای ارزیابی معمول در هیدرولوژی توسط مدل در بازه رضایت‌بخش تا بهتر قرار گرفته است. Cantoni و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور بررسی عملکرد هیدرولوژیکی تحلیل مجدد ERA5 برای مدل‌سازی سیل در تونس از مدل‌های LISFLOOD و GR4J استفاده کردند. Ding و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور بررسی جریان رودخانه

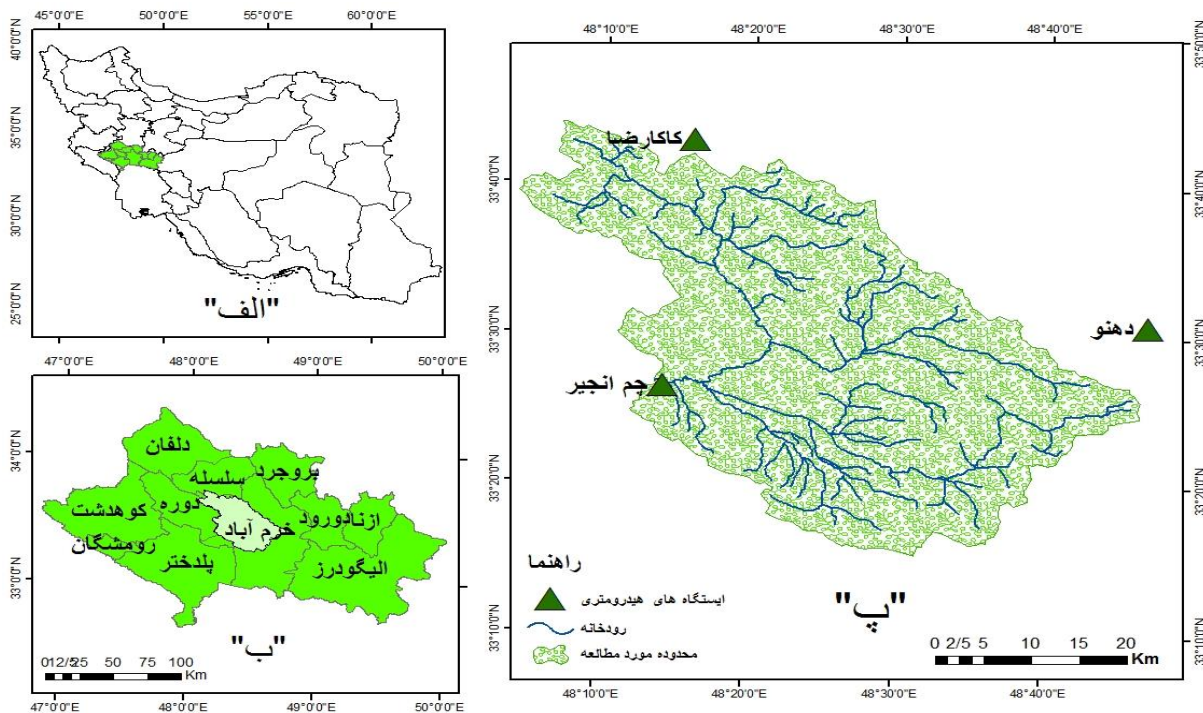
مختلف انتظار می‌رود هر دو مدل شبیه‌سازی را در حد قابل قبولی انجام دهند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه چمن‌انجیر با مساحت ۱۲۲۱ کیلومترمربع در استان لرستان، با موقعیت جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۲ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۳ ثانیه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی یکی از زیرحوزه‌های مهم کشکان در استان لرستان است. میانگین بارش سالانه در این حوضه ۴۲۴ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۰۹ میلی‌متر است. این حوزه در بخش میانی سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است. این زیرحوزه که در بخش جنوبی زیر حوزه هرو و در ناحیه زاگرس رورانده واقع شده از نظر زمین‌شناسی دارای ساختار پیچیده‌ای است (Amiri *et al.*, 2023).

و به‌ویژه در مقادیر دبی پیک حوزه است. Daregharibi و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی کارایی دو مدل بارش-رواناب IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوزه دره تخت را مورد ارزیابی قرار دادند. شبیه‌سازی‌ها حاکی از عملکرد رضایت‌بخش دو مدل در شبیه‌سازی جریان است. انتخاب یک مدل از بین مدل‌های پیچیده که نیاز به ورودی‌های زیادی دارند و کار کردن با آن‌ها سخت است و یا مدل‌های ساده که کار کردن با آن‌ها آسان است برای برنامه‌ریزان منابع آب امری مهم تلقی می‌شود. همچنین آگاهی از میزان دقت مدل‌ها در فرآیند شبیه‌سازی امر مهمی است که باید مورد بررسی قرار گیرد در راستای این هدف در این تحقیق دو مدل MISDC و GR4J برای اولین بار به‌صورت مقایسه‌ای برای شبیه‌سازی رواناب حوزه چمن‌انجیر مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار می‌گیرند و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. با توجه به نوع مدل‌ها و نتایج به‌دست‌آمده از اجرای آن‌ها در نقاط



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه چمن‌انجیر در استان لرستان و کشور

Figure 1- Location map of Cham Anjir basin in Lorestan province and Iran

## معرفی مدل‌ها

### مدل MISD<sup>1</sup>

MISDc یک مدل بارش و رواناب نیمه‌توزیعی است که اولین بار به‌منظور پیش‌بینی وقایع سیلاب در حوزه رودخانه Tever در مرکز ایتالیا توسعه پیدا کرد (Brocca *et al.*, 2011). ورودی‌های این مدل را داده‌های روزانه بارندگی و دمای هوا در سطح حوزه تشکیل می‌دهند و تغییرات تدریجی آب موجود در خاک را به دو حالت مستقل W1 و W2 شبیه‌سازی می‌کند. آب از لایه اول توسط تبخیر و تعرق خارج می‌شود که از طریق تابع خطی بین تبخیر پتانسیل (برآورد شده از رابطه بلانی و کریدلی اصلاح‌شده به‌وسیله Doorenbos و Pruitt، 1997) و اشباع خاک محاسبه می‌شود. نفوذ از سطح خاک به ناحیه ریشه از رابطه غیرخطی پیشنهادشده توسط Famiglietti و Wood (1994) محاسبه می‌شود (Amiri *et al.*, 2019).

سه مؤلفه مختلف باعث تولید رواناب می‌شوند که عبارت‌اند از: رواناب سطحی، مازاد اشباع از لایه سطحی و لایه دوم و مؤلفه رواناب زیرسطحی. دو مورد اول به‌وسیله‌ی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) جمع شده و تا خروجی روندیابی می‌شوند، درحالی‌که رواناب زیرزمینی به‌وسیله یک روش مخزن خطی به بخش خروجی منتقل می‌شود. برای هر دو حالت، زمان تأخیر توسط رابطه پیشنهادشده توسط Melone و همکاران (2001) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Amiri *et al.*, 2019).

MISDc شامل دو جزء اصلی است: (۱) یک ماژول برای شبیه‌سازی الگوی زمانی رطوبت خاک (مدل SWB) و (۲) یک مدل بارش-رواناب (RR) رویدادی نیمه‌توزیعی (MISD) برای شبیه‌سازی سیل. با ترکیب این دو مدل از طریق یک رابطه تجربی، ساختار مدل بارش-رواناب پیوسته شکل می‌گیرد. تحلیل تأثیر وضعیت رطوبت پیشین (AWC) بر پاسخ هیدرولوژیک

حوزه در منطقه مورد مطالعه، علت اصلی انتخاب، این نوع ساختار مدل بوده است (Melone *et al.*, 2001; Amiri *et al.*, 2019; Brocca, 2007, 2009).

### تخمین مقادیر پارامترها

برای این مدل بارش-رواناب، نه پارامتر باید برآورد شود. دامنه پارامترهای واسنجی مدل MISDc در جدول (۱) آورده شده‌اند (Amiri *et al.*, 2019).

جدول ۱- پارامترهای مدل MISDc

Table 1- parameters of MISDc model

پارامتر Parameter	توضیح Discription	محدوده Range
$W_{max}$	حداکثر ظرفیت آب در لایه خاک	50-700
$K_s$	هدایت هیدرولیکی اشباع	0.3-20
$\psi/L$	رطوبت بخش بالایی خاک تقسیم بر ضخامت لایه خاک	ثابت(0.22) -
$\lambda$	شاخص توزیع اندازه ذرات خاک	0.05-0.5
b	فاکتور تصحیح برای تبخیر و تعرق	-0.7-2
$\eta$	پارامتر مناطق تأخیر	-0.5-2
c	سرعت	1-5
D	توزیع‌پذیری	ثابت(4)
$\alpha$	پارامتر خطی از روابط مدل MISD و SWB	1-5

### مدل GR4J<sup>۲</sup>

مدل GR4J یک مدل بارش-رواناب یکپارچه است. این مدل آخرین نسخه اصلاح‌شده از مدل GR3J است که به‌وسیله Edijatno و Michel ارائه شده است و به‌منظور شبیه‌سازی جریان، برنامه‌های کاربردی مانند برآورد سیل، پیش‌بینی سیل و خشک‌سالی کاربرد دارد (Perrin *et al.*, 2001). داده‌های ورودی مدل شامل بارش و تبخیر و تعرق است. مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای دبی، واسنجی می‌شود. مدل دارای چهار پارامتر مستقل است که دامنه پارامترهای مدل در جدول (۲) آورده شده‌اند (راهنمای مدل).

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌ها ارائه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این خصوص استانداردهای روشی برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از روش‌های آماری مشخص نشده است لذا در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی دبی‌های حوزه و زیرحوزه‌های آن در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها با ضریب تعیین، ( $R^2$ ) شاخص‌های ناش-ساتکلیف (NS)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

#### شبیه‌سازی رواناب توسط مدل MISDc

پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار متلب به منظور شبیه‌سازی، پارامترهای مدل به صورت دستی تغییر می‌یابند و مرحله واسنجی انجام می‌شود. در این پژوهش از آمار ۱۳ سال (۲۰۰۸-۲۰۲۰) برای اجرای مدل استفاده شده است. لذا از این ۱۳ سال آمار در نظر گرفته شده، دوره واسنجی به مدت ۹ سال (۲۰۰۸-۲۰۱۶) و دوره اعتبارسنجی به مدت ۴ سال (۲۰۱۷-۲۰۲۰) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۶۹۹ و ۰/۷۱۷ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی در شکل (۲) نمایش داده شده است؛ بنابراین نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیانگر این نکته است که مدل توانسته روند تغییرات دبی مشاهداتی حوزه را به خوبی بخصوص در برخی نقاط اوج شبیه‌سازی کند.

#### جدول ۲- پارامترهای مدل GR4J

Table 2- parameters of GR4J model

پارامتر Parameter	توضیح Discription	محدوده Range
$X_1$	ظرفیت پذیرش آب در لایه‌های سطحی خاک	10-900
$X_2$	ضریب تبادل آبی حوضه با بیرون از خود	-20-10
$X_3$	ظرفیت ذخیره روز قبل، مسیر ذخیره	1-200
$X_4$	زمان تا اوج هیدروگراف واحد	0.8-3.5

#### داده‌ها

در این تحقیق داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دما، بارش، دبی و تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ میلادی از ۳ ایستگاه منتخب منطقه و اطراف آن است (جدول شماره ۳). اطلاعات مورد نیاز مدل MISDc عبارتند از: داده‌های روزانه بارش، دما و دبی و داده‌های مورد نیاز GR4J شامل داده‌های روزانه بارش، تبخیر و تعرق و دبی است.

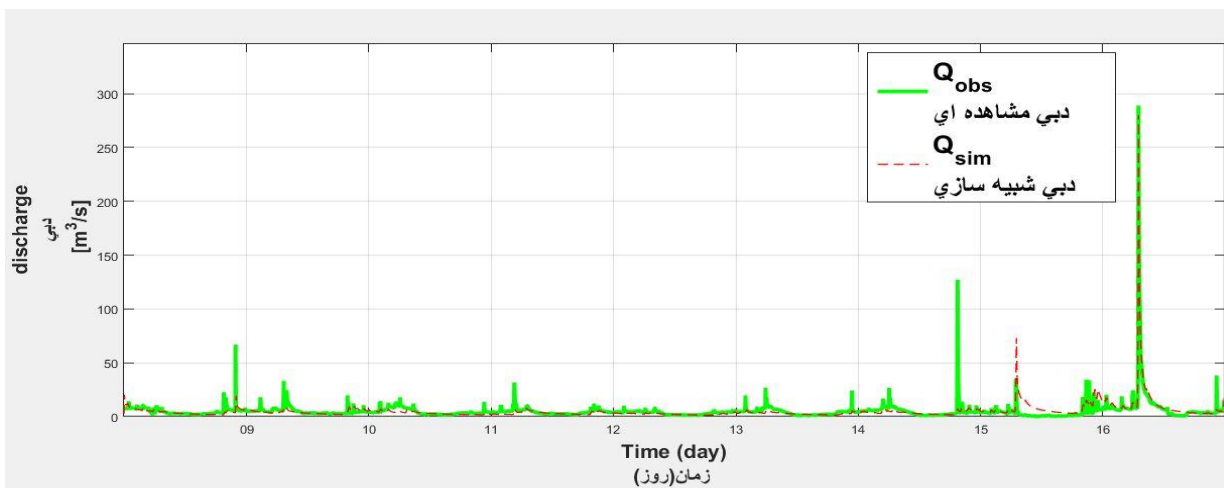
#### جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- Characteristics of the studied stations

ردیف Row	نام ایستگاه Station name	مختصات Coordinates		ارتفاع (متر) Height
		X	Y	
1	خرم‌آباد	48-22	33-29	1147
2	کاکارضا	48-16	33-43	1550
3	دهنو	48-46	33-31	1800

#### ارزیابی کارایی مدل

فرایند ارزیابی کارایی مدل نه تنها در جریان توسعه مدل و فرایند واسنجی، بلکه در زمان ارائه نتایج به سایر محققین نیز از اهمیت اساسی برخوردار است (Schaepli & Gupta, 2007).

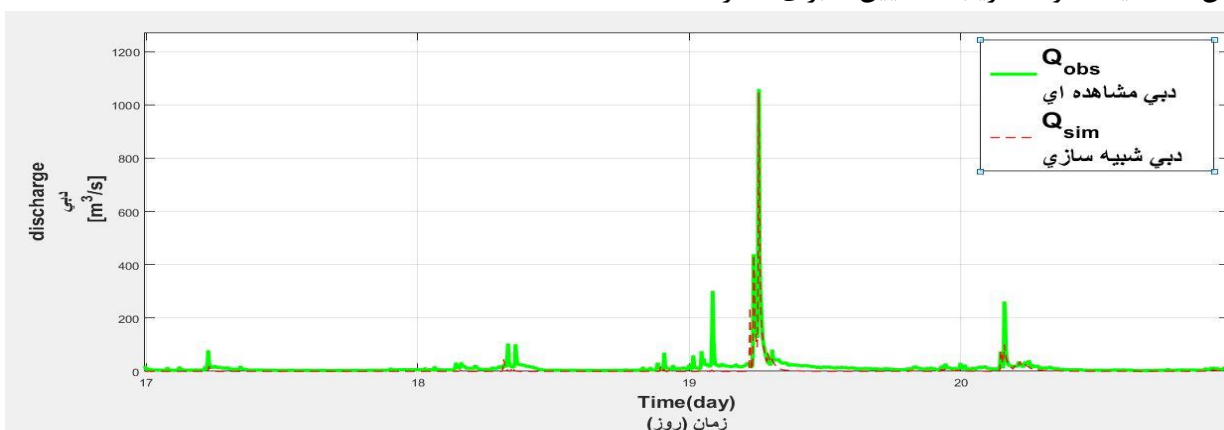


شکل ۲- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله واسنجی با مدل MISDC

Figure 2- Observed and simulated flow diagram in calibration with MISDC model

اعتبارسنجی ۰/۷۹۴ و ۰/۸۵۱ است که مقایسه نتایج حاصل از اعتبارسنجی بیانگر افزایش دقت مدل در این مرحله و قابلیت بالای مدل برای شبیه‌سازی رواناب حوزه است (شکل ۳). مطابق شکل ۳ در مرحله اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی دبی‌های اوج به‌خوبی عمل کرده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدل در شبیه‌سازی دبی‌های سیلابی توانایی بالایی دارد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Brocca *et al.*, 2011; Brocca *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2015; Amiri *et al.*, 2019; Amiri & Salimi, 2021) نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی مدل قابل قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین به‌دست‌آمده است.

Amiri و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به‌منظور برآورد رواناب حوزه آبخیز کشکان‌افرینه از مدل MISDC استفاده کردند که نتایج مدل در مرحله واسنجی برای معیار ارزیابی ضریب نش، عدد ۰/۶۸ و برای ضریب تعیین عدد ۰/۷۳ را نشان می‌دهد که با توجه به اعداد حاصل از معیارهای ارزیابی نتایج مطلوب است و نزدیک به نتایج حاصل از این تحقیق است. در مرحله اعتبارسنجی، به‌منظور بررسی عملکرد مدل، اعتبارسنجی در دوره آماری ۴ سال (۲۰۱۷-۲۰۲۰) اجرا گردید. در این مرحله با استفاده از مقادیر پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله



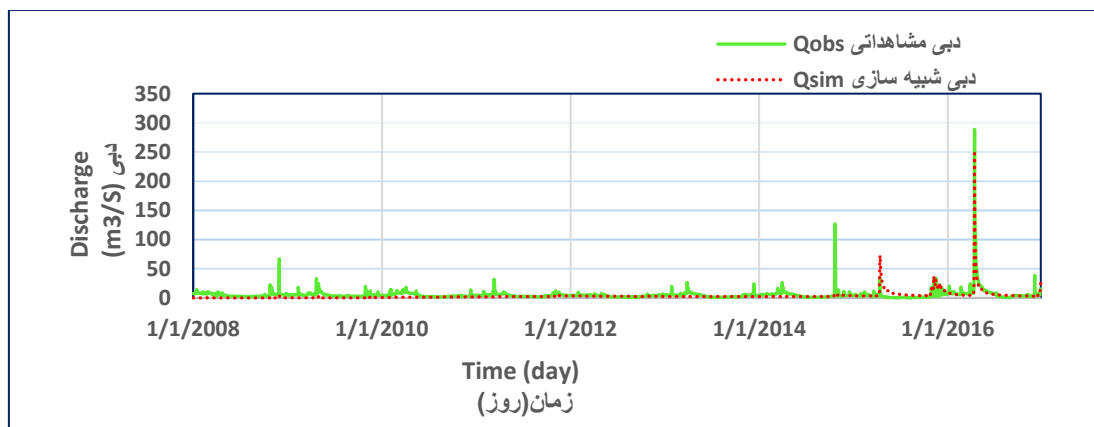
شکل ۳- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل MISDC

Figure 3- Observed and simulated flow diagram in the validation with the MISDC model

هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی در شکل (۴) نمایش داده شده است. بنابر نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیانگر این نکته است که مدل توانسته روند تغییرات دبی مشاهداتی حوزه را به صورت قابل قبول شبیه‌سازی کند اما در شبیه‌سازی دبی‌ها خصوصاً دبی‌های پیک ضعیف عمل کرده است شاید دلیل این امر ساختار یکپارچه مدل و همچنین با توجه به کوهستانی بودن منطقه شبیه‌سازی ضعیف مقادیر حاصل از ذوب برف باشد.

### شبیه‌سازی رواناب توسط مدل GR4J

به منظور شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل GR4J داده‌های مورد نیاز مدل آماده و پس از وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار متلب، مدل اجرا گردید. ابتدا یک دوره ۹ ساله برای واسنجی مدل انتخاب گردید. در ادامه پارامترهای مدل به صورت دستی تغییر پیدا می‌کنند تا مقادیر مناسب انتخاب گردند. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۵۹۷ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه

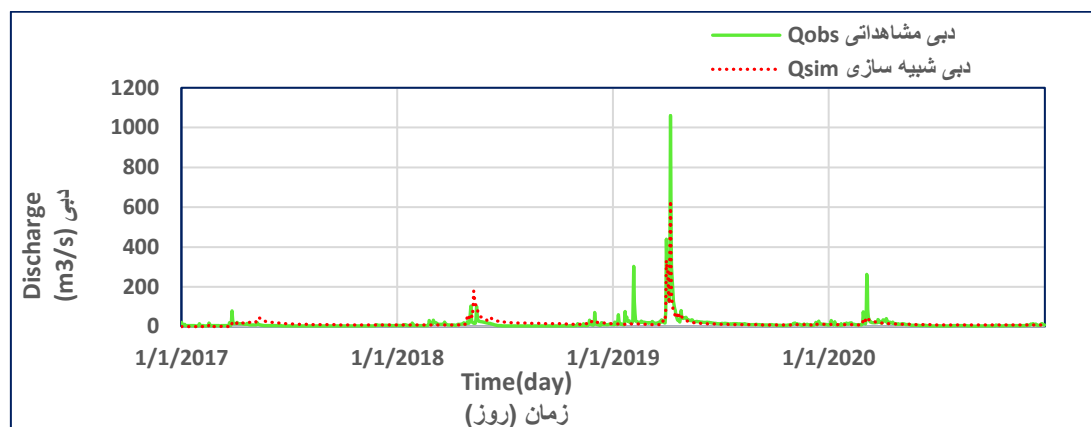


شکل ۴- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی با مدل GR4j

Figure 4- Observed and simulated flow diagram in calibration with GR4j model

سپس برای نشان دادن اینکه آیا مدل برای این منطقه قابلیت پیش‌بینی رواناب را برای دوره خارج از دوره واسنجی دارد یا خیر، دوره ۴ ساله برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در ادامه با توجه به مقادیر به دست آمده از پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی مدل انجام شده است. نتایج به دست آمده از معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۰ و ۰/۷۱۵ است که مقایسه گرافیکی نتایج حاصل از اعتبارسنجی بیانگر این است که در این مرحله امکان شبیه‌سازی دقیق جریان بالا با

مجموعه پارامترهای مرحله واسنجی را به صورت خوبی می‌دهد ولی مدل در برخی موارد دبی را کمتر از مقدار مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است که شاید این به علت ساختار نسبتاً ساده و مفهومی مدل است (شکل ۵). مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Harlan *et al.*, 2010; Hughes *et al.*, 2013; Zandi Daregharibi, 2017; Mostafazadeh & Asgari, 2021) نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی مدل قابل قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین به دست آمده است.



شکل ۵- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل GR4j  
 Figure 5- Observed and simulated flow diagram in validation with GR4j model

### نتیجه‌گیری کلی

بسیار مناسب‌تر از مدل GR4J عمل کرده است که از دلایل آن می‌توان به نوع مدل و برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در این مدل اشاره کرد. در مدل MISDC هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی به هم نزدیک می‌باشند. در مجموع می‌توان گفت که مدل MISDC (ضریب نش ۰/۷۹۴ برای اعتبارسنجی) برای شبیه‌سازی جریان روزانه حوزه چمانجیر مناسب‌تر است که می‌تواند به‌عنوان مدل پیشنهادی در مطالعات هیدرولوژی این منطقه به کار رود. در عین حال استفاده از مدل GR4J هم‌بستگی به نوع مطالعه و دقت مورد نظر دارد. در این حوزه مشاهده شد این مدل یکپارچه دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان دارد. نتایج ارزیابی دو مدل MISDC و GR4J نشان می‌دهد که مدل MISDC در مجموع دبی‌ها را بخصوص در مقادیر پیک به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و مدل GR4J در مجموع دبی‌ها را بخصوص دبی پیک را کمتر از مقادیر مشاهداتی شبیه‌سازی کرده است.

با توجه به تنوع مدل‌های هیدرولوژی، انتخاب هر مدل برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دشوار است بنابراین نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌ها برای مشخص کردن توانایی و قابلیت هر مدل در منطقه مطالعاتی است؛ در این مقاله از مدل MISDC و GR4J در دو حالت نیمه توزیعی و یکپارچه استفاده شده است. بر اساس شاخص‌های آماری و نموداری به‌کاررفته در این مطالعه هم مدل MISDC و هم مدل GR4J در دوره واسنجی نتایج شبیه‌سازی قابل قبولی داشتند. همچنین در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل MISDC بهتر از مدل GR4J عمل کرده است. در دوره واسنجی هر دو مدل جریان کمتری را نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی کردند که شاید بتوان دلیل این امر را به ساختار مدل‌ها و پارامترهای موردبررسی به‌منظور شبیه‌سازی جریان و همچنین دقت و نوع داده‌های مورد استفاده نسبت داد که باز هم عملکرد مدل MISDC مناسب‌تر بوده است. همچنین در دوره واسنجی مدل MISDC در شبیه‌سازی دبی‌های پیک

### References

- Aghakouchak, A., Nakhjiri, N. & HBIB, E. (2013). An educational model for ensemble streamflow simulation and uncertainty analysis. *hydrology and Earth system sciences*. 17(2), 445-452.
- Amiri, A. Zeinivand, H., Tahmasebipour, N. & Haghizadeh, A. (2019). Investigation of MISDC model performance to simulate runoff in Kashkan Afrine basin in Lorestan province. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 6(4), 53-62. (In Persian)

- Amiri, A. & Salimi, H. (2021). Comparison of the Performance of MISDc and HBV Hydrological Models in Runoff Simulation of Kakareza Basin in Lorestan Province. *Journal of Water and Sustainable Development*. 7(4), 51-60. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i4.87036>. (In Persian)
- Amiri, A., Gheysouri, M. & Saberi, A. (2023). Runoff Modeling Using HBV Model and Random Forest Algorithm (Study Area: Chamanjir Watershed, Lorestan Province). *Iran's water resources research*. 18(2), 111-121. (In Persian)
- Alessio, C., Daniele, M., Christian, M., Stefania, C. & Brocca, L. (2019). Combining a rainfall-runoff model and a regionalization approach for flood and water resource assessment in the westernPoValleyItaly. *Hydrological Sciences Journal*. 65(3), 348-370. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1690656>
- Brocca, L., Camici, S. Tarpanelli, A., Melone, F. & Moramarco, T. (2011). *Analysis of climate change effects on floods frequency through acontinuouslyhydrological modelling*. In: Climate Change and its Effects on Water Resources. Springer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 97-104. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1143-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1143-3_11)
- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., Penna, D., Borga, M., Matgen, P. Gumuzzio, A., Martinez-Fernández, J. & Wagner, W. (2013). Detecting threshold hydrological response through satellite soil moisture data. *Die Bodenkultur Journal of Land Management Food and Environment*. 64 (3-4), 7-12.
- Brocca, L., Melone, F. & Moramarco, T. (2007). On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Processes*. 22(5), 629-642. <https://doi.org/10.1002/hyp.6629>
- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. & Singh, V.P. (2009). Assimilation of observed soil moisture data in storm rainfall-runoff data. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE* 14(2), 153-165.
- Camici, S., Ciabatta, L., Massari, C. & Brocca, L. (2018). How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: a verification study over the mediterranean area. *Journal of Hydrology*. 563, 950-961. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.067>
- Cantoni, E., Trambly, Y., Grimaldi, S., Salamon, P., Dakhlaoui, H., Dezetter, A. & Thiemig, V. (2022). Hydrological performance of the ERA5 reanalysis for flood modeling in Tunisia with the LISFLOOD and GR4J models. *Journal of Hydrology: Regional - Studies*. 42. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101169>
- Ding, Z. Lü. H., Ahmed, N., Zhu, Y., Gou, Q., Wang, X., Liu, E., Xu, H., Pan, Y. & Sun, M. (2022). Soil Moisture Data Assimilation in MISDc for Improved Hydrological Simulation in Upper Huai River Basin, China. *Water*. 14(21), 34-76. <https://doi.org/10.3390/w14213476>
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1997). Background and development of methods to predict reference crop evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). *Appendix II in FAO-ID-24*, 108-119.
- Famiglietti, J. S. & Wood, E. F. (1994). Multiscale modeling of spatially variable water and energy balance processes. *Water Resour Research*. 30(11), 3061-3078. <https://doi.org/10.1029/94WR01498>
- Harlan, D., Wangsadipura, M. & Munajat, CM. (2010). Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu River Basin by using GR4J. *in proc. World Congress on Engineering*. pp. 1607-1611.
- Hughes, J.D., Silberstein, R.P. & Grigg, A.H. (2013). *Extending rainfall-runoff models for use in environments with long-term catchment storage and forest cover changes*. In MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide December 2013, Australia. 2471-2477.
- Lorrai, M. & Sechi, H.M. (1995). Neural Nets for Modeling Rainfall- Runoff Transformation. *Water Resources Management*. 9(4), 299-313.
- Lupakov, S.Y., Bugaets, A.N., Gonchukov, L.V., Motovilov, Yu. G., Sokolov, O. V. & Bugaets, N. D. (2023). Using the GR4J Conceptual Model for Runoff Simulation in the Ussuri River Basin. *Russian Meteorology and Hydrology*. 48(2), 128-137. <https://doi.org/10.3103/S106837392302005X>

- Mostafazadeh, R. & Asgari, E. (2021). Performance assessment of GR4J rainfall-runoff model in daily flow simulation of Nirchai Watershed, Ardabil province. *Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*. 11(3), 79-95. 10.22125/iwe.2021.128114. (InPersian)
- Melone, F., Neri, N., Morbidelli, R. & Saltalippi, C. (2001). *A conceptual model for flood prediction in basins of moderate size. Applied simulation and modelling*, M. H. Hamza, ed., IASTED Acta Press. Anaheim. Calif. 461-466.
- Mengistu, KT. (2009). *Watershed hydrological response to change in land use and land cover and management practices at hare watershed*. Ethiopia.
- Perrin, Ch., Michel, C. & Andreassian, V. (2001). Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments. *Journal of Hydrology*. 242(3-4), 275-301.
- Schaefli, B. & Gupta, H.V. (2007). Do Nash values have value? *Hydrological Processes*. 21(15), 2075-2080. <https://doi.org/10.1002/hyp.6825>.
- Schreider, S.Y., smith, D.I. & Jokeman, A.J. (2000). climate change impacts on urban flooding. *Climate change*. 47(1-2), 91-115.
- Smith, D.R., King, KW., Johnson, L., Francesconi, W., Richards, P., Baker, D. & Sharpley, A.N. (2015). Surface runoff and tile drainage transport of phosphorus in the midwestern united States. *Journal of Environmental Quality*. 44(2), 495-502.
- Zandi Daregharibi, F., Khorsandi, Z., Mozayan, M. & Arman, N. (2017). Comparing the Performance of Two Hydrological Models, IHACRES and GR2M for Simulating Monthly Flow of Dareh-Takht Basin. *Irrigation Sciences and Engineering*. 40(2), 147-158. (In Persian)

## Content

**Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors  
(Case study: Golan watershed, Ilam)**

Noredin Rostami, Maryam Rabbani

1-15

**The Impact of Warm-Up Period Length of Hydrological Models on Runoff Simulation**

Sharareh Rashidi Sheykhteymoor, Shahram Khalighi Sigaroudi, Alireza Moghaddamnia, Khaled Ahmadauli

16-34

**Evaluation of the Sediment Yield in Small Watersheds of Arid Rangeland in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Soil Conservation Research Station)**

Hamzeh Noor, Mahmood Arabkhedri, Ali Dastranj

35-48

**Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran)**

Hadi Eskandari Damaneh, Saeid Barkhori, Zahra Azhdari, Abdolvahid Navaki, Hamed Eskandari Damaneh, Hassan Khosravi

49-62

**The role of morphometric factors in the accuracy of gully erosion zoning using maximum entropy model (Case study: Sarabe Halil watershed in Kerman province)**

Hamzeh Saeediyani, Kouros Shirani, Shahin Aghamirzadeh, Peyman Madanchi

63-83

**Evaluating the effectiveness of MISDC and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed**

Atefe Amiri, Siamak Baharvand, Mozghan Rad

84-94



# Integrated Watershed Management

Vol: 3, No: 3. Autumn 2023

Online ISSN	2783-4581
Publisher	<b>Ilam University</b> in association with <b>Iranian Rainwater Catchment Systems Association</b>
Director-in-Charge	<b>Dr. Noredin Rostami</b>
Editor-in-Chief	<b>Dr. Haji Karimi</b>
Editorial Board	<b>Dr. Hosein Arzani</b> (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) <b>Dr. Gholamreza Zehrabian</b> (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran) <b>Dr. Forood Sharifi</b> (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran) <b>Dr. Haji Karimi</b> (Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Hamid Reza Nassery</b> (Professor, Department of Minerals and Groundwater Resources, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran) <b>Dr. Hassan Pourbabaei</b> (Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran) <b>Dr. Mohsen Rezaei</b> (Professor, Department of Geology, Shiraz University, Faculty of Sciences, Shiraz, Iran) <b>Dr. Zargham Mohammadi</b> (Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran) <b>Dr. Hamid Reza Pourghasemi</b> (Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran) <b>Dr. Abazar Esmali Ouri</b> (Professor, Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran) <b>Dr. Mohsen Tavakoli</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Noredin Rostami</b> (Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Marzban Faramarzi</b> (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran) <b>Dr. Mehdi Heydari</b> (Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran) <b>Dr. Lahcen Benaabidate</b> (Professor, University of Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculty of Sciences and Techniques/ Environment Teaching and Research) <b>Dr. Pedro J.M. Costa</b> (Assistant Professor, Departamento de Ciencias da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal)
Manager	<b>Dr. Mehdi Heydari</b>
Editor (English Version)	<b>Mohammad Najafi Shoa</b>
Editor (Persian Version)	<b>Dr. Noredin Rostami; Dr. Negar Sadeghi Nejad</b>
Cover and Page Designer	<b>Dr. Reza Omidipour</b>



Ilam University



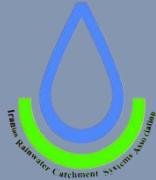
Address: Deputy of Research and Technology, Ilam University,  
Pajoohesh Blvd, Ilam- Iran

P.O. Box: 69317-516

Telefax: 0843222703

Email: [iwm@ilam.ac.ir](mailto:iwm@ilam.ac.ir)

Web Site: [www.iwm.ilam.ac.ir](http://www.iwm.ilam.ac.ir)



# Integrated Watershed Management



Ilam University

Vol: 3, No: 3. Autumn2023

Online ISSN: 2783-4581

## **Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors**

**(Case study: Golan watershed, Ilam)**

Noredin Rostami, Maryam Rabbani

1-15

## **The Impact of Warm-Up Period Length of Hydrological Models on Runoff Simulation**

Sharareh Rashidi Sheykhteymoor, Shahram Khalighi Sigaroudi, Alireza Moghaddamnia, Khaled Ahmadauli

16-34

## **Evaluation of the Sediment Yield in Small Watersheds of Arid Rangeland in the Northeast of Iran (Case Study: Sanganeh Soil Conservation Research Station)**

Hamzeh Noor, Mahmood Arabkhedri, Ali Dastrani

35-48

## **Monitoring the spatial and temporal changes of floods and water bodies using indicators extracted from the Landsat satellite (Case study: Southwest Iran)**

Hadi Eskandari Damaneh, Saeid Barkhori, Zahra Azhdari, Abdolvahid Navaki, Hamed Eskandari Damaneh, Hassan Khosravi

49-62

## **The role of morphometric factors in the accuracy of gully erosion zoning using maximum entropy model (Case study: Sarabe Halil watershed in Kerman province)**

Hamzeh Saeedian, Kouros Shirani, Shahin Aghamirzadeh, Peyman Madanchi

63-83

## **Evaluating the effectiveness of MISDc and GR4J rainfall-runoff models in simulating the daily discharge of ChamAnjir Khorramabad watershed**

Atefe Amiri, Siamak Baharvand, Mozghan Rad

84-94