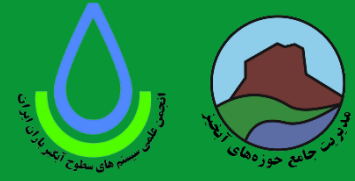


فصلنامه علمی

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱

مروری جامع بر شاخص‌های کاربردی خشک‌سالی

۱-۳۰

حمزه سعیدیان

استفاده از آب باران در اراضی شیب‌دار جهت کشت گل محمدی

۳۱-۴۳

امیر مرادی‌نژاد، مهدیه کریمی، راشین پور متین و عباس صابری

مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی

۴۴-۵۷

نجمه حاج سید علی‌خانی، حمزه سعیدیان و فریدون سلیمانی

ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: رودخانه زهره)

۵۸-۸۱

هما رزمخواه، عماد قهرمانی، علیرضا فرارویی و امین رستمی راوری

ارزیابی مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی در پیش‌بینی رواناب حوزه آبخیز سد کریت در دوره آتی

۸۲-۹۴

رسول کرمی، مهدی امیرآبادی‌زاده، محسن پوررضا بیلندی و مصطفی یعقوب‌زاده

ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی در برآورد کربن آلی خاک (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز پاکل، استان مرکزی)

۹۵-۱۱۰

امیر مرادی‌نژاد و سعید خسروبیگی



فصلنامه علمی

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۸۱

صاحب امتیاز: دانشگاه ایلام با همکاری انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبخیز ایران

مدیر مسئول: دکتر نورالدین رستمی

سر دبیر: دکتر حاجی کریمی

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 علی سلاجقه: استاد گروه آموزشی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر ابوالفضل مساعدی: استاد گروه آموزشی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، مشهد، 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 جهانگیر پورهت: استاد گروه پژوهشی هیدرولوژی و منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

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

مدیر داخلی: دکتر مهدی حیدری

ویراستار انگلیسی: محمد نجفی شعاع

ویراستار فارسی: دکتر مهدی حیدری، دکتر نورالدین رستمی، دکتر نگار صادقی نژاد، مهندس پدیده السادات صادقی

صفحه آرا و طراح جلد: مهندس فرشاد رحمانی

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

تلفکس: ۰۸۴۳۲۲۲۲۷۰۳

صندوق پستی: ۵۱۶-۶۹۳۱۵

پست الکترونیک: iwm@ilam.ac.ir

وب سایت مجله: <http://iwm.ilam.ac.ir>



مروری جامع بر شاخص‌های کاربردی خشک‌سالی

حمزه سعیدیان
۱-۳۰

استفاده از آب باران در اراضی شیب‌دار جهت کشت گل محمدی

امیر مرادی‌نژاد، مهدیه کریمی، راشین پور متین و عباس صابری
۳۱-۴۳

مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی

نجمه حاج سید علی‌خانی، حمزه سعیدیان و فریدون سلیمانی
۴۴-۵۷

ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: رودخانه زهره)

هما رزمخواه، عماد قهرمانی، علیرضا فرارویی و امین رستمی راوری
۵۸-۸۱

ارزیابی مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی در پیش‌بینی رواناب حوزه آبخیز سد کریت در دوره آتی

رسول کرمی، مهدی امیرآبادی‌زاده، محسن پوررضا بیلندی و مصطفی یعقوب‌زاده
۸۲-۹۴

ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی در برآورد کربن آلی خاک (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز پاکل، استان مرکزی)

امیر مرادی‌نژاد و سعید خسروبیگی
۹۵-۱۱۰

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 به‌طور 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) 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 بوته 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 ۲۵۰۰۰ 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

نویسندگان 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 مستقلاً 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 کج نویسی). 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 کج نویسی). 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 کج نویسی)، 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 western 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 و فارسی در حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه به انتهای 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 approach*. 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 منتشر شده 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 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 کلیدواژگان 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 کلیدواژگان (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.

A comprehensive overview on applied drought indicators

Hamzah Saediyan

Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research,
Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and
Extension Organization, Kerman, Iran

Corresponding author: Hamzah.4900@yahoo.com

(Received: 27 July 2022

Revised: 05 September 2022

Accepted: 30 September 2022)

Extended Abstract

Introduction: One of the most important natural disasters is drought phenomenon. If it lasts longer than a season or a long period, it will have economic, social and environmental effects. Drought has no absolute definition and has a specific definition in each region. Each drought varies in severity, duration and extent. Moreover, Drought can be considered as the equivalent of a dry and unusual period or climate that lasts long enough to create a serious imbalance in the hydrological state of a region. Drought can also be regarded as an inevitable phenomenon, including disasters that cannot be prevented but can be managed and organized. Drought indices are an important tool for monitoring and evaluating drought and establish an accurate relationship between many climatic parameters. The information obtained from the indices can be useful for planners, designers and managers of water resources, which is also confirmed by comparative studies of indices.

Materials and Methods: This study focuses on studies of drought indices and how they function on different time and place scales. In order to conduct this research, the required materials were collected from domestic and foreign sources. In this study, 19 drought indices used in Iran and the world are evaluated, the results of different researchers are investigated, and logical conclusions are made from different researches.

Results and discussion: The results showed that each index can be used in different regions according to its nature and water resources indicators, plant-related indicators and risk indicators of agricultural, economic and social indices. All indicators in turn and in areas compatible with the nature of these indicators can have a good prediction of drought, and these indicators all should not be compared because the results of this comparison will not be appropriate, but they should be selected appropriately according to the study area. Meanwhile, time scale is very important in each of the indicators and should be considered in order to achieve a more reliable result. Another point that was obtained from the results of this study is that most of the indices used in Iran and the world have paid more attention to the severity of drought and less to the duration, extent and frequency of drought, which is one of the weaknesses of existing drought indices in Iran and the world. An index of drought can persist in the world to pay for the severity, duration, frequency and extent of drought simultaneously and accordingly, it can definitely have appropriate predictions.

Conclusion: The results showed that the indices of DI, SPI, PDSI, SPEI, BMDI index are the most widely used drought indices. The results also showed that the weakest drought index is the PNPI index and the strongest indices of drought are SPEI and BMDI indices. In general, in order to use drought indices, the time and place scale related to those indices should be considered in their use. Since each index of drought has been created under certain conditions, it is suggested that they should not be used in Iran or be used with caution. The overall results of this study suggest that it is better to conduct native statistical models of linear and nonlinear regression according to specific climates of Iran in relation to drought indices according to Iranian meteorological and hydrological data and be introduced multivariate Iranian drought index which definitely has more valuable results.

Keywords: Drought, Index, Climate, Drought extent

Citation: Saediyan, H. (2022). A comprehensive overview on applied drought indicators. *Integrated Watershed Management*, 2(3), 1-30. doi: 10.22034/iwm.2022.559192.1039

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>).



مروری جامع بر شاخص‌های کاربردی خشک‌سالی

حمزه سعیدیان

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

نویسنده مسئول: Hamzah.4900@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی، پدیده خشک‌سالی است و در صورتی که بیش از یک فصل یا یک دوره زمانی بلند، به طول انجامد دارای اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. خشک‌سالی را می‌توان معادل یک دوره یا شرایط آب و هوایی خشک و غیرعادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته تا عدم تعادل جدی در وضعیت هیدرولوژیکی یک ناحیه ایجاد کند. در این تحقیق ۱۹ شاخص خشک‌سالی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که هر شاخصی با توجه به ماهیتی که دارد می‌تواند در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد و همه شاخص‌ها به نوبه خود و در مناطق سازگار با ماهیت این شاخص‌ها می‌توانند پایش مناسبی از خشک‌سالی داشته باشند. شاخص مناسب باید با توجه به منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های منابع آب، شاخص‌های مربوط به گیاه و شاخص‌های مربوط به ریسک محصولات کشاورزی و اقتصادی و اجتماعی انتخاب شود. طبق بررسی منابع مورد مطالعه شاخص‌های دهک‌ها، بارش استاندارد شده، شدت خشک‌سالی پالمر، شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده و شاخص بالم و مولی از پرکاربردترین و مناسب‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی می‌باشند. همچنین ضعیف‌ترین شاخص خشک‌سالی مورد مطالعه، شاخص درصد نرمال بارش و قوی‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی، شاخص‌های بارش - تبخیر و تعرق استاندارد و شاخص بالم و مولی می‌باشند. پیشنهاد می‌شود که با توجه به اینکه هر کدام از شاخص‌های خشک‌سالی در شرایط خاصی ایجاد شده‌اند یا در ایران مورد استفاده قرار نگیرند و یا اینکه با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. نتایج کلی تحقیق بیان می‌کند که بهتر است در ارتباط با شاخص‌های خشک‌سالی با توجه به داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی ایران، مدل‌سازی‌های آماری رگرسیونی خطی و غیرخطی بومی با توجه به اقلیم‌های خاص ایران صورت گیرد و شاخص چند متغیره خشک‌سالی ایرانی معرفی شود که قطعاً نتایج ارزشمندتری به دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، شاخص، اقلیم، وسعت خشک‌سالی

استناد: سعیدیان، ح. (۱۴۰۱). مروری جامع بر شاخص‌های کاربردی خشک‌سالی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۳۰-۱.

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 به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

شاخص‌های مختلفی محاسبه گردد. خشک‌سالی را می‌توان به‌عنوان پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر و ازجمله بلاهایی که امکان پیش‌گیری ندارد اما قابل مدیریت و ساماندهی است نام برد (Smakhtin & Hughes, 2004). شاخص‌های خشک‌سالی ابزار مهمی برای پایش و ارزیابی خشک‌سالی هستند و ارتباط دقیقی بین بسیاری از پارامترهای اقلیمی برقرار می‌کنند. اطلاعات به‌دست‌آمده از شاخص‌ها می‌تواند برای برنامه‌ریزان، طراحان و مدیران منابع آب مفید باشد. مطالعات مقایسه‌ای شاخص‌ها نیز این امر را نشان می‌دهد (Hayes, 2004). اولین نشانه‌های خشک‌سالی در ثبت بارندگی مشاهده می‌شود. همچنین کمبود طولانی‌مدت بارش سبب ورودی کمتر به سیستم هیدرولوژی می‌شود. در طی یک دوره خشک، تبخیر و تعرق پتانسیل می‌تواند افزایش یابد. پس از یک دوره زمانی کوتاه، مقدار ذخیره رطوبت خاک تحت تأثیر این شرایط شروع به کاهش می‌کند در نتیجه تغذیه سیستم آب زیرزمینی کم شده و ممکن است پس از یک سال یا بیشتر از شروع خشک‌سالی، سطح تراز آب چاه‌ها به کمبود بارندگی واکنش نشان دهد (Van Loon, 2013). یکی از مشخصات پدیده خشک‌سالی که آن را از بسیاری پدیده‌های طبیعی دیگر مجزا می‌سازد، زمان شروع و خاتمه آن است که با دقت زیادی قابل پیش‌بینی نیست؛ بنابراین تشخیص واقع‌شدن در یک دوره خشک، پیش‌نیازی برای اعمال تهمیدات مدیریتی در مقابله با این پدیده است که نشانگر ضرورت انجام مطالعات خشکی در قالب بررسی‌های جامع مدیریت خشک‌سالی است. برای ارزیابی کمی و کیفی خشک‌سالی معمولاً از شاخص‌هایی جهت تعیین خشک‌سالی استفاده می‌شود (Panu & Sharma, 2002). تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه خشک‌سالی تا حدودی مشکل است. محققان بسیاری برای مطالعه این پدیده از شاخص‌های تک پارامتری بر اساس بارندگی سالیانه یا ۱۲ ماهه ثابت به

خشک‌سالی پدیده‌ای است که برگشت‌پذیر بوده و می‌تواند بخش‌های مختلف زندگی انسان و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهد و بر این اساس مستقیماً به مسئله کمبود آب مرتبط است (Tigkas et al., 2012; Eskandari et al., 2021; Damaneh et al., 2021). خشک‌سالی تقریباً در تمامی اقلیم‌های آب و هوایی روی می‌دهد ولی مشخصه‌های آن در مناطق مختلف متفاوت است. در اغلب منابع خشک‌سالی پدیده‌ای طولانی‌مدت است که گاهی در دوره‌های مرطوب نیز کشیده می‌شود (Wilhite & Glantz, 1985; Savari et al., 2022). تعاریف خشکی و خشک‌سالی با یکدیگر متفاوت هستند. برخلاف خشکی که پدیده دائمی اقلیمی است، خشک‌سالی در مناطق خشک و مرطوب رخ می‌دهد و حالتی طبیعی و نرمال از اقلیم است (Chow & Kareliotis, 1970). خشک‌سالی برخلاف سایر بلاهای طبیعی کمتر منجر به خسارت‌های ساختاری می‌شود، کم‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها مثل سیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر است (Tsakiris & Vangelis, 2005). طبیعت درون خشک‌سالی‌ها سبب می‌گردد تا ارزیابی شدت خشک‌سالی و اثرات آن بر اکوسیستم‌های مورد عمل بسیار سخت شود (Wilhite & Glantz, 1985). در راستای ارزیابی خشک‌سالی بایستی این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به شکل کمی و عددی درآید. بدین منظور از شاخص‌های خشک‌سالی استفاده می‌شود (Richard & Heim, 2002). از آنجاکه عوامل بسیاری در به وقوع پیوستن یک خشک‌سالی دخالت دارد، شاخص‌های مختلفی برای پایش خشک‌سالی تعریف شده‌اند که هر شاخص تنها یک یا چند پارامتر خشک‌سالی را می‌سنجد. برای پایش خشک‌سالی به‌صورت جامع و فراگیر معمولاً لازم است

در ایران و دنیا مورد بررسی قرار گیرد و نتایج محققان مختلف بررسی و در نهایت از تحقیقات مختلف نتیجه‌گیری منطقی صورت گیرد.

نتایج و بحث

با بررسی‌های به‌عمل آمده، ۱۹ شاخص خشک‌سالی مورد استفاده در دنیا به‌دست آمدند و هر کدام از آن‌ها در شرایط خاصی ایجاد شده‌اند که اطلاع از آن برای محققان امری ضروری است. انواع شاخص‌های خشک‌سالی مورد استفاده در دنیا عبارتند از:

(۱) شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط ویلکی و همکارانش ارائه شد (Willeke *et al.*, 1994) و مفهوم اساسی آن تقسیم بارش واقعی بر بارش نرمال است و تنها فاکتور مورد نیاز جهت محاسبه آن بارش است و همچنین در مقیاس زمانی ماهیانه به‌کاربرده می‌شود. شاخص PN به‌وسیله تقسیم مقدار واقعی بارش بر بارش نرمال و ضرب کردن آن در عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید. بارش نرمال برای هر منطقه ۱۰۰٪ در نظر گرفته می‌شود. این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری شدت خشک‌سالی است و جهت بیان اولیه خشک‌سالی مفید است (رابطه ۱).

$$PNPI = \frac{P}{\bar{P}} * 100 \quad (1)$$

که در آن P: بارندگی واقعی \bar{P} : مقدار متوسط بارندگی PNPI: شاخص درصد نرمال بارش، این شاخص می‌تواند برای مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۱). در مقیاس محلی (برای یک منطقه) و فصلی بسیار مناسب است. استفاده از این شاخص ساده است و مقادیر حاصل از این شاخص قابلیت انعطاف‌پذیری جهت سایر محاسبات را دارد و می‌تواند در توزیع‌های آماری، جهت پیش‌بینی وارد شود. استفاده از این شاخص برای مناطق با فصول متفاوت

دلیل سادگی و قابل‌دسترس بودن داده‌های بارندگی در مناطق مختلف دنیا استفاده می‌کنند (Moreira *et al.*, 2008)؛ اما نتایج تحقیقات جدید بیان می‌کند که تعیین خشک‌سالی بر اساس یک متغیر و یا یک معرف برای توصیف جامع و واقعی ریسک وقوع خشک‌سالی و تصمیم‌سازی ممکن است کافی نباشد (Sough *et al.*, 2016). هدف از تحقیق حاضر مطالعه ۱۹ شاخص خشک‌سالی در دنیا است که برخی از آن‌ها دارای کاربردهای بیشتری به دلیل سادگی و در دسترس بودن متغیرهای آن‌ها هستند. این تحقیق در واقع مجموعه نسبتاً کاملی از شاخص‌های مورد استفاده در دنیا و همچنین معایب و مزیت‌های استفاده از آن‌ها را در اختیار محققان مختلف قرار می‌دهد و در نهایت پرکاربردترین این شاخص‌ها و همچنین کاربردی‌ترین فاکتور مورد استفاده در آن‌ها را بیان می‌کند. از مزیت‌های مهم این تحقیق جامعیت آن در مورد انواع شاخص‌های خشک‌سالی مورد استفاده در ایران و دنیا است.

مواد و روش‌ها

با توجه به زمینه فعالیت‌های محققان رشته‌های مختلف، تعاریف ویژه‌ای از خشک‌سالی ارائه شده که در نهایت موجب طبقه‌بندی و تفکیک این پدیده شده است. این امر سبب گردیده است که روش‌های مطالعاتی خاصی با توجه به شاخص‌های مورد توجه همچون بارندگی، رطوبت خاک، جریان‌های سطحی، مخازن زیرزمینی، خسارت-های اقتصادی ابداع و ارائه گردد که به ۱۹ شاخص خشک‌سالی در این تحقیق اشاره می‌شوند. این پژوهش با تأکید بر مطالعات شاخص‌های خشک‌سالی و چگونگی عملکرد آن‌ها در مقیاس‌ها زمانی و مکانی مختلف انجام شده است. برای انجام این پژوهش مطالب مورد نیاز از منابع داخلی و خارجی جمع‌آوری شد. در این پژوهش سعی گردیده است ۱۹ شاخص خشک‌سالی مورد استفاده

این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه نمود. شاخص SPI شاخصی است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس است و برای مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند محاسبه گردد و می‌تواند هشدار اولیه جهت خشک‌سالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. این روش به وسیله McKees با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک، کلاهی برفی و جریان آبراهه، ارائه شده است. این نمایه جهت کمی کردن کمبود بارش در مقیاس زمانی چند ماهه و منعکس‌کننده تأثیرات خشک‌سالی بر روی نوسانات موجود بارش در مقیاس زمانی نسبتاً کوتاه بوده، در عین حال باید توجه داشت که جریان آب‌های زیرزمینی و ذخایر آب‌های سطحی منعکس‌کننده نوسانات درازمدت بارش است. به همین دلیل SPI اساساً برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌شود. نمایه SPI با تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار بارش به دست می‌آید. میانگین SPI در مقیاس زمانی در یک موقعیت صفر خواهد بود و انحراف معیار آن برابر یک است این یک مزیت است زیرا SPI نرمال شده است؛ بنابراین اقلیم‌های خشک‌تر و مرطوب‌تر می‌توانند به همان روش نشان داده شوند. علاوه بر دوره‌های خشک‌سالی، دوره‌های ترسالی هم به وسیله نمایه SPI بررسی می‌گردد. یک حادثه خشک‌سالی هر زمانی که SPI به طور مداوم منفی باشد و شدت آن به ارقام -۱ یا کمتر برسد، اتفاق می‌افتد، این حادثه زمانی که SPI به مقادیر مثبت برگردد پایان می‌یابد؛ بنابراین هر حادثه خشک‌سالی دارای یک دوره زمانی است که با شروع و خاتمه آن تعریف و شدت آن برای هر ماه تا زمانی که حادثه تداوم دارد محاسبه

موجب اشتباه می‌شود؛ زیرا مقادیر این شاخص در مکان‌ها و همچنین دوره‌های زمانی مختلف، معانی متفاوتی دارد. فراوانی وقوع یک پدیده می‌تواند شاخصی از طبیعی بودن آن و میزان سازگاری محیط با آن پدیده باشد. لیکن این مورد در این شاخص در نظر گرفته نشده است. توزیع آماری حاکم بر بارندگی، توزیع نرمال فرض می‌شود که در آن متوسط و میانه بارندگی برابر است، در حالی که در طبیعت الزاماً چنین نیست (Hisdal *et al.*, 2005).

جدول ۱- طبقات مختلف شاخص PNPI

Table 1- Different classes of PN index

ردیف	وضعیت خشک‌سالی	عدد شاخص (%)
1	خشک‌سالی ضعیف	70 تا 80
2	خشک‌سالی متوسط	55 تا 70
3	خشک‌سالی شدید	40 تا 55
4	خشک‌سالی بسیار شدید	کمتر از 40

یکی از اشکالات کاربرد شاخص درصد نرمال بارندگی این است که متوسط بارندگی اغلب با میانه بارندگی، که مقداری متجاوز از ۵۰٪ بارش رخ داده در یک دوره اقلیمی بلندمدت است، متفاوت است. علت این مسئله آن است که بارندگی ماهانه یا فصلی از یک توزیع نرمال پیروی نمی‌کند، حال اینکه شاخص درصد نرمال به یک توزیع نرمال دلالت دارد که در آن میانه و میانگین یکسان هستند. شاخص PNPI روشی ناکارآمد برای ارزیابی خشک‌سالی بوده و پیش‌بینی خشک‌سالی با توجه به این شاخص خطاهای زیادی خواهد داشت (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019).

۲) شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مکی و همکاران ارائه شده است (McKee *et al.*, 1995). برای محاسبه این شاخص از تابع چگالی توزیع گاما و گاهی از تابع پیروسون برای برازش داده‌های بلندمدت استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوط به شاخص به صورت مثبت و منفی بیان می‌شود.

(۹) $Z = SPI = - [t - (c_0 + c_1t + c_2t^2 / 1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3)]$
 اگر $H(x)$ بین ۰/۵ و کوچک‌تر و مساوی ۱ باشد Z به شکل رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$Z = SPI = + [t - (c_0 + c_1t + c_2t^2 / 1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3)] \quad (10)$$

مقدار t نیز از طریق رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:
 اگر $H(x)$ بین صفر و کوچک‌تر و مساوی ۰/۵ باشد t به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \quad (11)$$

اگر $H(x)$ بین ۰/۵ و کوچک‌تر و مساوی ۱ باشد t به شکل رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-H(x))^2}\right]} \quad (12)$$

مؤلفه‌های $d_1, d_2, d_3, C_0, C_1, C_2$ و مقادیر ثابت هستند که به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$d_1 = 1/432788, \quad d_2 = 0/189269, \quad d_3 = 0/01308,$$

$$C_0 = 2/515517, \quad C_1 = 0/802853, \quad C_2 = 0/010328$$

ساختار این روش قابلیت استفاده از این شاخص برای بازه‌های زمانی مختلف را فراهم می‌کند. از آنجاکه شاخص SPI استاندارد شده است، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب قابل استفاده است و روش ساده‌ای است. امکان ارزیابی شدت خشک‌سالی با آن وجود دارد. مقادیر SPI در صورت تفاوت توزیع آماری داده باهم متفاوت‌اند، اما در صورت تغییر طول دوره آماری حتی با برآزش داده‌ها با یک توزیع مانند گاما مقادیر محاسباتی دارای اختلاف معنی‌داری می‌شوند (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی مقادیر شاخص SPI

Table 2- Classification of SPI index values

مقادیر SPI	وضعیت آب و هوایی
>2	شدیداً مرطوب
1.99-1.5	خیلی مرطوب
1.49-1	مرطوب متوسط
0.99-0	مرطوب ملایم
-0.99-0	خشک‌سالی ملایم
-1.49- -1	خشک‌سالی متوسط
-1.99- -1.5	خشک‌سالی شدید
< -2	خشک‌سالی خیلی شدید

می‌شود. مبنای آن سری داده‌های طولانی مدت بارندگی است که این سری داده‌ها با توزیع آماری خاصی برآزش می‌یابند که در این روش به توزیع نرمال تبدیل می‌شود؛ بنابراین متوسط SPI در یک منطقه به سمت صفر میل می‌کند. لذا مبنای آن توزیع آماری بارندگی در بازه مختلف زمانی است. برای محاسبه این شاخص ابتدا تابع چگالی احتمال گاما به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \quad (2)$$

در فرمول فوق $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس و $X > 0$ مقدار بارندگی ماهانه و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (4)$$

$$\hat{a} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (5)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{a}} \quad (6)$$

در فرمول‌های فوق X میانگین بارش طولانی مدت و n تعداد مشاهداتی است که بارندگی در آن‌ها روی داده است. سپس احتمال تجمعی بارش در مقیاس زمانی موردنظر به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (7)$$

از آنجاکه تابع گاما برای مقادیر بارش برابر صفر تعریف نشده است به دلیل وجود مقادیر صفر در داده‌های بارش احتمال تجمعی بارش به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$H(x) = q + (1-q) G(x) \quad (8)$$

که در آن q احتمال وقوع مقادیر صفر است اگر m تعداد صفرها در مقادیر بارش باشد q را می‌توان به صورت m/n محاسبه کرد. $H(x)$ شکل تغییر یافته نمره Z استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک است که مقادیر SPI را به دست می‌دهد. اگر $H(x)$ بین صفر و کوچک‌تر و مساوی ۰/۵ باشد Z به شکل رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

مطالعات Guttman (۱۹۹۸) با مقایسه دو شاخص SPI و PDSI با استفاده از آنالیزهای طیفی نشان داد خصوصیات طیفی پالمر در سراسر آمریکا از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متغیر است اما شاخص بارش استاندارد به این ترتیب نیست و این شاخص یک روش ساده و با تغییر آسان است. شاخص SPI دارای مزیت نسبی بالایی برای پایش خشک‌سالی است (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019). شاخص SPI جهت کمی کردن بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف از ۱ تا ۴۸ ماهه طراحی شده است (MacKee *et al.*, 1995). این مقیاس‌ها اثرات خشک‌سالی را بر روی میزان توانایی منابع آب نشان می‌دهند (MacKee *et al.*, 1993; Hayes, 2001). Aaron و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که شاخص بارش استاندارد نمایش بهتری از تغییرات کوتاه‌مدت و رطوبت خاک ارائه می‌دهد و نیز برای برآورد رطوبت خاک بسیار مناسب است. Hayes و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که شاخص بارش استاندارد قادر به تشخیص زمان شروع خشک‌سالی و پیشرفت آن است و همچنین یک شاخص مناسب برای هشدار خشک‌سالی است. ضمناً در بررسی Piry و Mobaraki (۲۰۲۱) شاخص SPI خشک‌سالی‌های ضعیف را بهتر از شاخص‌های دیگر نشان داد.

۳) شاخص رطوبت محصول (CMI)

این شاخص در سال ۱۹۶۸ توسط پالمر ابداع شد. مفهوم این شاخص بر اساس میانگین دما و مجموع بارش هر هفته در یک تقسیم اقلیمی نسبت به مقادیر CMI هفته قبل استوار است و با توجه به زمان و مکان دارای ضرایب وزنی است. فاکتورهای اساسی مورد استفاده در این شاخص دما و بارش است و در مقیاس زمانی هفتگی به کار می‌رود. شاخص CMI منعکس‌کننده رطوبت در دوره‌های زمانی کوتاه و در مورد محصولات زراعی عمده است. این روش، خشک‌سالی کشاورزی بالقوه را تعریف

کاربرد توزیع‌های مختلف آماری در مقادیر SPI بسیار مؤثر است، چراکه این روش بر مبنای توزیع آماری داده‌های طولانی‌مدت بارندگی طراحی شده است. هنگام محاسبه SPI در دوره‌های طولانی و تحلیل‌های منطقه‌ای بهتر، نیاز به وجود داده‌های طولانی‌مدت است که در بسیاری از نقاط جهان از این نظر محدودیت وجود دارد. یکی از محدودیت‌های شاخص بارش استاندارد عدم لحاظ بیلان آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق است (Nosrati, 2014). بر اساس نتایج تحقیق (Morid *et al.*, 2006) شاخص بارش استاندارد شده می‌تواند آغاز خشک‌سالی را به خوبی نشان دهد و در مقیاس زمانی و مکانی کارایی دارد که این می‌تواند از نقاط بالقوه این شاخص باشد. این شاخص به طور رایج در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته شده است (Bazrafshan, 2002; Lorenzo, 2010). همچنین کارایی شاخص SPI در اقلیم‌های مختلف ایران مورد تأیید قرار گرفته است (Bazrafshan, 2002; Wu و همکاران (۲۰۰۵؛ ۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که برای مناطق خشک مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت شاخص بارش استاندارد شده بهتر عمل می‌کند چون در این اقلیم‌ها، طول دوره خشک‌سالی بیش از شدت آن اهمیت دارد. شاخص SPI برای توصیف خشک‌سالی متغیر بارش نیاز دارد. تغییرپذیری SPI باعث شده است که در مقیاس‌های کوتاه‌مدت برای کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی استفاده شود به همین علت است که این شاخص پذیرش جهانی دارد (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019). MacKee و همکاران (۱۹۹۳) با مقایسه ضرایب همبستگی بین دو شاخص بارش استاندارد و پالمر به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک ۱۲ ماهه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۰/۹ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است،

خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گام دوم آنومالی تبخیر محاسبه می‌شود:

$$M = (S_s + SU)/AWC \quad (13)$$

$$CET = \text{Alpha} * PE \quad (14)$$

سپس \dot{Y} محاسبه می‌شود:

$$\dot{Y}_i = 0.67 * \dot{Y}_{i-1} + 1.8 (DE) \quad (15)$$

اگر \dot{Y} کوچک‌تر از صفر باشد اکنون می‌توانیم Y را نیز محاسبه کنیم:

$$Y = M * \dot{Y} \quad (16)$$

ارزش عددی H به وسیله $G_i - 1$ تعیین می‌شود:

اگر $G_i - 1 = 0$ باشد $H = 0$ و اگر $G_i < 0.5$ باشد $H = G_i - 1$ و اگر $G_i < 1$ باشد $H = 0.5 * G_i - 1$ و در مرحله بعد G_i محاسبه می‌شود:

$$G_i = G_{i-1} - h + (M * R) + RO \quad (17)$$

و در نهایت CMI محاسبه می‌شود (یعنی کسری رطوبت + مازاد رطوبت):

$$CMI = Y + G \quad (18)$$

AWC که در واقع ظرفیت موجود نگهداری آب است؛ PE تبخیر بالقوه بوده که بر اساس محاسبات انجام شده توسط روش تورنت وایت^۳ محاسبه می‌شود؛ ET میزان تبخیر واقعی و Alpha ضریب تبخیر و تعرق است؛ CET بیانگر شرایط آب و هوایی برای ایجاد تبخیر و تعرق است؛ R محاسبه کلی تخلیه و RO محاسبه کلی رواناب؛ S_s مقدار رطوبتی سطح بالایی خاک؛ SU مقدار رطوبتی لایه پایینی خاک؛ M درصد ظرفیت اشباع؛ DE نسبت آنومالی تبخیر برای هر هفته؛ Y^I اولین تخمین برای Y در طول هفته I ام؛ Y_i شاخص کسری موازنه تبخیر و تعرق در طول هفته i ام؛ H شرایط برگشت به دوره نرمال رطوبتی و CMI شرایط رطوبتی است (جدول ۳).

می‌کند. در این روش، از راهبردهای هواشناسی جهت نمایش هفته‌به‌هفته شرایط محصولات زراعی استفاده می‌شود. CMI جهت تغییرات کوتاه‌مدت شرایط رطوبت در مناطق عمده کشت زراعی استفاده می‌شود. CMI همچنین می‌تواند برای زمان‌های بارش در ابتدای فصل رشد یک محصول مورد استفاده قرار گیرد. اساس شاخص CMI بر پایه محاسبات شاخص پالمر بوده و تفاوت اساسی این دو شاخص در این است که شاخص رطوبت محصول نمی‌تواند به بررسی درازمدت شرایط رطوبتی بپردازد و در صورت استفاده از این شاخص برای طولانی‌مدت، اطلاعات به دست آمده از این شاخص فاقد اعتبار خواهد بود در حالی که شاخص پالمر بر اساس محاسبات طولانی خشکی و رطوبت پایه‌گذاری شده است (Zoljudi, 2017). Hubbard و Meyer (۱۹۹۵) نشان دادند شاخص‌های $PDSI^1$ و CMI^2 برای کاشت ذرت به‌ویژه زمانی که با تنش‌های رطوبتی و گرمایی شدید مواجه می‌شوند فاقد اعتبار است. شاخص CMI محدود به استفاده در فصل رشد بوده و همچنین نمی‌تواند مدت‌زمان طولانی خشک‌سالی را تعیین کند (Miryaghoubzadeh et al., 2019). شاخص رطوبت محصول، شاخص بررسی رطوبت در لایه سطحی خاک در مقیاس زمانی هفتگی است. محاسبه شاخص رطوبت محصول به‌خصوص در کشور ایران که دارای نوسانات رطوبتی بسیاری در طول دوره رشد گیاه است ضروری به نظر می‌رسد اگرچه بسیاری از مؤلفه‌های موجود در این شاخص در کشور وجود ندارد ولی می‌توان به تهمیه مؤلفه‌های موردنظر پرداخت و جهت محاسبه شرایط رطوبتی محصول از آن استفاده کرد (Zoljudi, 2017). برای محاسبه CMI اولین گام محاسبه درصد ظرفیت اشباع (M) است این درصد برای سنجش چگونگی اشباع

3. Thornthwaite

1. Palmer Drought Severity Index
2. Crop Moisture Index

کردن آن به دست می‌آید؛ بنابراین شاخص RDI از دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل برای تعیین خشک‌سالی استفاده می‌کند. پیش‌بینی می‌شود که این شاخص از دقت و اطمینان بیشتری نسبت به شاخص‌هایی که فقط از متغیر بارندگی برای تعیین خشک‌سالی استفاده می‌شود برخوردار باشد. جهت محاسبه این پارامتر، نخست با استفاده از نسبت بارندگی (P) به تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) مقادیر اولیه α_0^i برای هر بازه زمانی دلخواه یا سال‌های مختلف بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{i-j}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{i-j}} \quad (19)$$

$i = 1, 2, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, 12$

در این رابطه بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه ژانویه از سال i ام و N تعداد سال‌های آماری است. سپس مقادیر RDI نرمال شده یا RDI_n^i با استفاده از مقادیر α_0^i محاسبه شده برای سال‌های مختلف در گام قبلی مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RDI_n^i = \frac{\alpha_0^i}{\bar{\alpha}_0} - 1 \quad (20)$$

در این رابطه $\bar{\alpha}_0$ میانگین حسابی مقادیر α_0^i در سال‌های موردبررسی است. سپس در محاسبه این شاخص، مقادیر استاندارد شده (RDI_{st}) است که با فرض اینکه α_0^i از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کند استفاده از مقادیر α_0^i سال‌های مختلف مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$RDI_s^i = \frac{Y_i - \bar{y}}{\sigma_y} \quad (21)$$

در این رابطه y_i برابر است با $\ln \alpha_0^i$ و \bar{y} و σ_y به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر y_i است. طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی در جدول ۴ آمده است (Tsakiris et al., 2007):

جدول ۳- طبقه‌بندی مقادیر شاخص CMI
Table 3- Classification of CMI index values

مقادیر CMI	وضعیت آب و هوایی
< -3	خیلی زیاد خشک
-2 تا -2.9	زیاد خشک
-1 تا -1.9	تقریباً خشک
0.9 تا -0.9	خیلی کم خشک تا کم مرطوب
1 تا 1.5	تقریباً مرطوب
2 تا 2.5	مرطوب
> 3	خیلی مرطوب

شاخص رطوبت محصول در مقیاس هفتگی در مقایسه با شاخص‌های دیگر، سریع‌تر به کمبود رطوبت عکس-العمل نشان می‌دهد و همچنین با دخالت دادن پارامتر دما از طریق محاسبه تبخیر و تعرق با دقت و حساسیت بیشتری به پایش خشک‌سالی کشاورزی می‌پردازند (Zoljudi, 2017). تمامی خصوصیات فوق باعث شده که این شاخص به‌عنوان یکی از مؤثرترین شاخص‌های خشک‌سالی کشاورزی در طی فصل رشد شناخته شود (Heim, 2002). به‌طوری‌که نقشه‌های CMI هفتگی در مرکز تخفیف اثرات خشک‌سالی نبراسکا تهیه می‌گردد (Hayes, 2010).

۴) شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI)

شاخص شناسایی خشک‌سالی برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط Tsakiris و Vangelis در یونان ارائه شد. با برشمردن برخی از مزیت‌های شاخص بارش استاندارد بیان داشتند که در مناطقی با دمای زیاد و تبخیر و تعرق بالا، بارندگی به‌تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده وقوع خشک‌سالی باشد. آن‌ها با بهره‌گیری از مفاهیم و ساختار توسعه شاخص بارش استاندارد، از مقادیر نسبت بارش به ET_0 ، شاخص جدید RDI را برای شدت، مدت و گستره مکانی خشک‌سالی در منطقه مدیترانه ارائه نمودند. شاخص RDI از برازش تابع توزیع لوگ نرمال بر مقادیر نسبت بارش به ET_0 و استاندارد

همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که شاخص RDI می‌تواند نسبت به تغییرات اقلیمی حساس‌تر باشد. این مسئله درباره بررسی خشک‌سالی‌های کشاورزی اهمیت زیادی داشته و به نظر می‌رسد برای این هدف بهتر باشد. از آنجایی که شاخص RDI بر اساس بارش و تبخیر- تعرق بوده و تبخیر - تعرق نقش مهمی در تلفات آب دارد می‌تواند در نظارت بر خشک‌سالی در ایران بارزتر باشد (Asadi Zarch *et al.*, 2011). ضمناً این شاخص می‌تواند با در نظر گرفتن مقیاس‌های مختلف زمانی و به صورت سالانه وضعیت خشک‌سالی را پایش کند (Torabi Tabatabai & Shamsnia, 2019). این شاخص توسط Vangelis و Tsakiris (۲۰۰۴) معرفی شده که به دلیل نیاز به داده‌های کم، حساسیت بالا و انعطاف‌پذیری زیاد کاربرد آن در حال افزایش است. این شاخص همانند شاخص بارش استاندارد برای بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت یعنی ۱ تا چندماهه و بازه‌های زمانی بلندمدت یعنی ۲۴ و حتی ۴۸ ماهه کاربرد داشته و انعطاف‌پذیر است. شاخص RDI مقایسه منطقی از شرایط خشک‌سالی را در مناطق با آب‌وهوای متفاوت نشان می‌دهد (Elagib & Elhag, 2011)؛ بنابراین شاخص RDI توانایی بالایی در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت خشک‌سالی دارد و می‌تواند در مدیریت منابع آب مفید باشد (Moghimi *et al.*, 2020).

۵) شاخص تجمیعی خشک‌سالی (ADI)

استفاده از روش PCA برای کاهش حجم داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی و برای استخراج شاخص‌های خشک‌سالی نخستین بار توسط Keyantash و Dracup (۲۰۰۴) با معرفی شاخص تجمیعی خشک‌سالی (ADI) آغاز شده است. آن‌ها شاخص تجمیعی خشک‌سالی را از ترکیب پارامترهای مؤثر بر خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی توسعه و به‌منظور پایش جامع خشک‌سالی بیان کردند (Sough *et al.*, 2017). یکی از نخستین تلاش‌ها برای پایش جامع خشک‌سالی در

جدول ۴- طبقه‌بندی مقادیر شاخص RDI
Table 4- Classification of RDI Index Value

مقادیر RDI	وضعیت آب و هوایی (طبقه)
> 2	ترسالی خیلی شدید
1.99-1.5	ترسالی شدید
1.49- 1	ترسالی متوسط
0.99--0.99	نرمال
-1--1.49	خشک‌سالی متوسط
-1.5- -1.99	خشک‌سالی شدید
< -2	خشک‌سالی خیلی شدید

Tsakiris و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که گرچه عموماً پاسخ شاخص RDI مشابه شاخص SPI است، ولی شاخص RDI حساس به تغییرات محیطی است و نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. Bazrafshan و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که همبستگی زیادی بین دو شاخص SPI- RDI در سواحل جنوبی و شمالی ایران وجود دارد و کاربرد آن‌ها جهت ارزیابی و پایش خشک‌سالی است. Tigkas و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دو شاخص RDI و SDI به بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی بر خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین همبستگی بین RDI-9 ماهه و SDI-12 ماهه بوده است. شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI) بامنظور نمودن تبخیر و تعرق نتایج بهتری در ارتباط با تأثیر خشک‌سالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی ارائه می‌دهد (Sough *et al.*, 2016). شاخص RDI با شاخص SWSI شباهت دارد و تابع‌های عرضه، تقاضا و مدت‌زمان را ترکیب می‌کند و همچنین ویژگی‌های دما و مدت‌زمان را نیز در شاخص ترکیب می‌کند (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019). اخیراً از شاخص شناسایی خشک‌سالی استقبال وسیعی شده است و به‌طور عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب و هوایی به کار گرفته می‌شود (Torabi Tabatabai & Shamsnia, 2019) و Khalili

وقوع پیوسته تجاوز نمی‌کند. اصول کلی محاسبه شاخص دهک‌ها به این صورت است که ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه و یا سالانه به صورت صعودی مرتب می‌شوند سپس احتمال وقوع بارش از رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود:

$$P_i = (i/N+1) * 100 \quad (23)$$

که در آن P_i احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف P ام و تعداد داده‌های بارندگی است. در ادامه برحسب اینکه یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد، مطابق جدول ۵ یکی از درجه‌های خشک‌سالی به آن نسبت داده می‌شود.

جدول ۵- طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص دهک‌ها

Table 5- Classification of drought severity based on decile index

شماره دهک	وضعیت خشک‌سالی	مقدار درصد وقوع
اول	خشک‌سالی خیلی شدید	کمتر از 10
دوم	خشک‌سالی شدید	10 تا 20
سوم	خشک‌سالی	20 تا 30
چهارم	تقریباً نرمال	30 تا 40
پنجم	نرمال	40 تا 50
ششم	کمی نرمال	50 تا 60
هفتم	کمی مرطوب	60 تا 70
هشتم	مرطوب	70 تا 80
نهم	بسیار مرطوب	80 تا 90
دهم	فوق‌العاده مرطوب	بیشتر از 90

بنابراین اولین دهک مقدار بارندگی است که از کمترین ده درصدی تجاوز نمی‌کند. دومین دهک مقدار بارندگی است که از کمترین ۲۰ درصد کل تجاوز نکرده و به همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند. دهک پنجم یا میانه مقدار بارشی است که از ۵۰ درصد رخدادها تجاوز نمی‌کند. نقص اساسی شاخص دهک‌ها این است که به داده‌های طولانی مدت (حداقل سی ساله) برای محاسبه نیاز دارد بنابراین برای مکان‌هایی که ایستگاه باران‌سنجی به‌تازگی نصب شده است کارایی ندارد (Miryaghoubzadeh *et al.*)

ایالات متحده انجام شده است که در آن اطلاعات به دست آمده از منابع مختلف شامل داده‌های اندازه‌گیری شده، سنجش‌ازدور، شبیه‌سازی‌های سطح زمین و کارشناسان محلی باهم ترکیب شده‌اند (Ivakumar *et al.*, 2011). شاخص چندمتغیره خشک‌سالی تجمعی از ترکیب پارامترهای مؤثر بر خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسعه داده شد (Keyantash & Dracup, 2004).

$$ADI = \sum DI / (3nN) \quad (22)$$

DI بر اساس رابطه بین بارش و تبخیر و تعرق تعیین شده و n برابر تعداد دوره‌های زمانی و N برابر تعداد دوره‌هایی که مقدار بارش کمتر از ۱۰ میلی‌متر است. شاخص ADI به‌عنوان یک شاخص جامع می‌تواند اثرات شاخص‌های خشک‌سالی ورودی نظیر رطوبت را منعکس و پایش جامع‌تری را در اختیار قرار دهد (Sough *et al.*, 2017). ساختار ADI روشی واضح برای توصیف شدت خشک‌سالی ارائه می‌نماید.

۶) شاخص دهک‌ها

این شاخص در سال ۱۹۶۷ توسط Gibbs و Maher ارائه شده است. این شاخص اساساً از تقسیم توزیع احتمال وقوع آمار ثبت‌شده درازمدت بارش بر بخشی از هر یک از ده درصد توزیع به دست می‌آید. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص بارش بوده و مقیاس زمانی مورد استفاده در این شاخص نیز مقیاس ماهیانه است. شاخص دهک‌ها جهت جلوگیری از مشکلات به‌کارگیری روش درصد از نرمال ابداع شده است. این شاخص از تقسیم توزیع احتمال وقوع درباره آمار ثبت‌شده درازمدت بارش بر بخشی از هر یک از ده درصد توزیع به دست می‌آید. هر یک از مقوله‌ها به نام دهک نامیده می‌شود. اولین دهک از بارش به وقوع پیوسته از حداقل ۱۰٪ بارش به

طولانی یک سری از مقادیر ضرایب خشک‌سالی ماهیانه نشان می‌دهد که کلاً این مقادیر بین +۶ و -۶ - تغییر می‌کنند (جدول ۶).

جدول ۶- شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص پالمر
Table 6- Severity of Drought Based on Palmer Index

وضعیت هوا	عدد شاخص
بسیار مرطوب‌تر از نرمال	4 یا بیشتر
خیلی مرطوب‌تر از نرمال	3 تا 3.99
نسبتاً مرطوب‌تر از نرمال	2 تا 2.99
کمی مرطوب‌تر از نرمال	1 تا 1.99
یک حوضه مرطوب در حال شکل‌گیری	0.5 تا 0.99
تقریباً نرمال	-0.49 تا 0.49
ابتدای خشک‌سالی	-0.5 تا -0.99
خشک‌سالی ملایم	-1 تا -1.99
خشک‌سالی متوسط	-2 تا -2.99
خشک‌سالی شدید	-3 تا -3.99
خشک‌سالی بسیار شدید	-4 و کمتر

احتمال وقوع ضرایب مثبت همیشه وجود دارد ولی مقادیر مثبت غیرمعمول یک دوره طولانی هوای مرطوب غیر نرمال را نشان می‌دهد، در تجزیه و تحلیل آمار هوا شناسی به روش پالمر اطلاعات هوا شناسی به چند دوره خشک‌سالی، مرطوب غیر نرمال، نرمال یا نزدیک نرمال، تقسیم می‌شود. روش پالمر به‌طور گسترده در آمریکا و بعضی دیگر از نقاط جهان استفاده می‌شود. این روش از نظر محاسبات ریاضی ساده ولی طولانی و زمان‌بر است. اگر محاسبات به صورت دستی انجام شود زمان زیادی صرف شده و کار به آرامی پیش می‌رود ولی در صورت دسترسی به کامپیوتر محاسبات بسیار سریع‌تر و با هزینه کم‌تر انجام می‌گیرد. روش پالمر در اکثر موارد برای تجزیه و تحلیل‌های اقلیمی مناسب است و در عملیات مزرعه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Smith (2000) بیان کرد که روش دهک‌ها از نظر محاسبه ساده بوده و به داده‌ها و فرضیات کمتری نسبت به شاخص شدت خشک‌سالی پالمر نیاز دارد. شاخص دهک نوسان‌هایی اگرچه هماهنگ و همسو با سایر شاخص‌ها دارد اما با سرعت بیشتر و اغراق‌آمیزتر در نمودارهای بارش ماهانه و سالانه نشان می‌دهد (Ensafee, 2007). شاخص دهک‌های بارش دارای حساسیت زیادی نسبت به رخدادهای بارش در یک سال است (Morid et al., 2006).

۷) شاخص شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI)^۱

شاخص PDSI در سال ۱۹۶۵ به وسیله پالمر ارائه شده و اولین نمایه جامع خشک‌سالی است که در ایالات متحده به کار گرفته شده است (Smakhtin & Hughes, 2004). در این سال، پالمر شاخصی را برای اندازه‌گیری میزان انحراف منابع رطوبت ابداع نمود. این نمایه بر اساس مفهوم تولید و تقاضای بیلان آب استوار است. PDSI یک نمایه هواشناسی است و به شرایط هواشناسی پاسخ می‌دهد که به‌طور غیرطبیعی خشک یا مرطوب باشند. میزان PDSI بر اساس داده‌های بارش، دما و همچنین محتوی آب قابل‌دسترس (AWC)^۲ خاک محاسبه می‌شود. میزان نمایه پالمر بین -۶ و +۶ است. مطلوب‌ترین روش ترکیبی متغیرهای بارش و درجه حرارت روش پالمر است. ضریب پالمر به این دلیل جهانی است که درجه حرارت و بارندگی به‌صورت نرمال در تمام فصول و هرگونه اقلیم به‌طور ثابت عدد صفر را نشان می‌دهد. بعلاوه در دوره‌های طولانی‌مدت، شدیدترین خشک‌سالی غیرمعمول ضریبی در حدود -۶ به دست می‌آید بدون اینکه درجه خشکی یا مرطوب بودن وضعیت اقلیمی منطقه‌ای که مورد مطالعه است در آن نقشی داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز دوره

1. Palmer Drought Severity Index's
2. Available Water Capacity

ایستگاه‌های هواشناسی در سال مورد ارزیابی، محاسبه مقادیر ماهانه ظرفیت زراعی خاک و نقطه پژمردگی خاک در شرایط آزمایشگاهی به منظور مقایسه شدت مقدار رطوبت با این پارامترها، بررسی ماهانه رطوبت اولیه خاک و متوسط رواناب پتانسیل ماهانه، محاسبه میزان رطوبت دریافتی در لایه‌های سطحی و زیرین خاک و متوسط افزایش رطوبت ماهانه، محاسبه پتانسیل تجدید رطوبت یا همان مقدار رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به ظرفیت مزرعه در انتهای هرماه و متوسط ماهانه آن در طول سال، محاسبه میزان کاهش رطوبت ماهانه یا اتلاف رطوبت ماهانه از لایه سطحی و زیرین خاک و متوسط ماهانه آن در طول سال، برآورد مقدار رطوبت ماهانه مورد نیاز جهت رسیدن به نقطه پژمردگی مزرعه در ابتدای هرماه و متوسط میزان پتانسیل کاهش رطوبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Palmer, 1965). شاخص شدت خشک‌سالی پالم برای هرماه به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود بدین ترتیب که در یک سری زمانی ماه‌هایی که به‌طور غیرطبیعی خشک بوده‌اند، خشک‌سالی تدریجی را که شدت آن در حال افزایش است، به وجود می‌آورند و شاخص خشک‌سالی نهایی (X) به‌توالی ارزش‌های (Z) طبق رابطه (۲۴) به دست می‌آید:

$$X_i = X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0.103 X_{i-1} \quad (24)$$

برف و پوشش برفی و زمین یخ‌زده در این شاخص لحاظ نشده است و تمام بارش تحت عنوان باران در نظر گرفته شده است؛ بنابراین زمان‌بندی این شاخص، در مناطقی که بارش به‌صورت برف است، برای فصول بهار و زمستان ممکن است درست نباشد؛ لذا برای مناطق کوهستانی شاخص مناسبی نیست. تأخیر طبیعی میان بارش و رواناب به‌دست‌آمده در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این تا زمانی که ظرفیت آب لایه‌های سطحی و

باوجود این در طول دوره‌ای که یک خشک‌سالی بزرگ در حال وقوع و گسترش است این ضریب روش خوبی برای ارزیابی روزانه توزیع منطقه‌ای خشک‌سالی و درجات گوناگون شدت خشکی است. در آمریکا این ارزیابی به‌صورت هفتگی در وضعیت‌های بحرانی خشک‌سالی انجام می‌گیرد. نمایه پالم یکی از روش‌های بسیار مؤثر در تعیین خشک‌سالی طولانی مدت (چند ماهه) بوده ولی به‌عنوان پیش‌بینی کوتاه مدت جواب مناسبی نمی‌دهد (مثلاً چند هفته). مزیت دیگر نمایه پالم آن است که نسبت به شرایط اقلیم محلی استاندارد است؛ بنابراین می‌تواند در هر بخش از کشور جهت نشان دادن خشک‌سالی نسبی یا ترسالی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص پالم بر مبنای بارندگی، درجه حرارت و محاسبه تأمین و تقاضای رطوبت خاک در دولایه از خاک مدل‌سازی شده است. جهت محاسبه این شاخص تمام قسمت‌های اصلی معادلات بیلان آب شامل تبخیر و تعرق، جذب خاک، رواناب و رطوبت کم شده از لایه سطحی، به کار می‌رود. شاخص پالم یک شاخص تحلیل منطقه‌ای برای خشک‌سالی کشاورزی است، ولی برای خشک‌سالی هواشناسی نیز بکار رفته است. این شاخص برای بررسی وسعت و شدت خشک‌سالی از جنبه‌های مختلف، بررسی خصوصیات مکانی و زمانی خشک‌سالی، تشریح رفتارهای دوره‌های خشک‌سالی، روند تغییرات هیدرولوژیک، پیش‌بینی محصول و ارزیابی پتانسیل شدت آتش‌سوزی، بررسی خشک‌سالی در مناطق وسیع جغرافیایی، پیش‌بینی خشک‌سالی، گردآوری داده‌های بارندگی، دما و تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه در سالی که جهت خشک‌سالی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد به کار گرفته شده است (Palmer, 1965). بررسی رطوبت موجود در خاک در اعماق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری و در صورت لزوم در اعماق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری، بر مبنای اطلاعات

خشک‌سالی بر هیدرولوژی و کشاورزی (Karamouz *et al.*, 2004) و همچنین پیش‌بینی خشک‌سالی (Karamouz *et al.*, 2009) و (Arshad *et al.*, 2013) استفاده شده است. شاخص PDSI اولین شاخص خشک‌سالی جامع در ایالات متحده آمریکا بوده که به‌عنوان یک شاخص خشک‌سالی هواشناسی مطرح شد. شاخص PDSI یک خروجی مناسب از عرضه نرمال رطوبت فراهم می‌کند (Jakson *et al.*, 1997). همچنین Felch و Rosenberg (۱۹۷۸) شاخص PDSI را به‌عنوان یک ابزار ارزیابی کمی حوادث خشک‌سالی معرفی نموده‌اند. از نقاط قوت شاخص PDSI این است که نیازمند به متغیرهای ورودی کم و همچنین در نظر گرفتن همه مؤلفه‌های ترازمندی آب در محاسبات شاخص و قابلیت مقایسه در زمان‌ها و مکان‌های مختلف است (Hijabi *et al.*, 2018).

۸) شاخص ذخیره آب سطحی^۱

این شاخص توسط Shafer و Dezman (۱۹۸۲) ارائه شد و مفهوم اصلی آن همان مفهوم شاخص پالمر است با این تفاوت که در این شاخص ذخیره آب موجود در برف مورد توجه و تأکید قرار گرفته شده است. این شاخص نیز برای مقیاس زمانی ماهیانه به کار می‌رود و فاکتورهای اساسی هواشناسی و اقلیمی مورد استفاده آن بارش و پوشش برف است. شاخص ذخیره آب سطحی توسط Shafer و Dezman در اوایل دهه هشتاد به‌منظور تکمیل فهرست پالمر برای شرایط رطوبتی اراضی ایالت کلرادو تهیه شده است. این پارامتر به‌عنوان شاخصی برای شرایط آب‌های سطحی طراحی شده و از آنجا که مقدار برف کوهستان‌ها در آن، مؤلفه‌ی مهمی محسوب می‌گردد، به‌عنوان شاخص وابسته به کوهستان توصیف شده است. در شاخص تأمین آب سطحی چهار مؤلفه هیدرولوژیک به‌کاربرده شده عبارت‌اند از ۱- پوشش برفی ۲- بارش ۳-

زیرسطحی پر نشده، هیچ روانابی در مدل تولید نمی‌شود، که این منجر به کم برآورد شدن رواناب می‌گردد. شاخص پالمر برای کشاورزی طراحی شده است و تأثیرات هیدرولوژیک به‌دست‌آمده از خشک‌سالی‌های بلندمدت را نشان نمی‌دهد. این روش برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت مناسب نبوده و بخصوص نمی‌توان میزان آب معادل برف را در محاسبات وارد نمود. این شاخص تأثیرات انسانی بر بیلان آب را در نظر نگرفته است. ناهنجاری در روند تغییرات بارندگی سبب تغییر در شاخص بخصوص در فصول سرد که تبخیر و تعرق در حداقل مقدار خود قرار دارند می‌شود. این شاخص به‌شدت نسبت به ناهنجاری‌های مکانی و زمانی پارامترهای بارندگی و درجه حرارت حساس بوده، بخصوص زمانی که این دو پارامتر هم‌زمان دچار اختلال می‌گردند. شاخص PDSI یک روش ساده برای تعیین خشک‌سالی است. در این شاخص متوسط یا میانگین بارش با میانگین برابر نبوده و ارزش آن از ۵۰ درصد بارش اتفاق افتاده انحراف دارد که از معایب این شاخص محسوب می‌شود (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019). شاخص PDSI از مدل ساده‌شده تبخیر پتانسیل تورنت وایت بهره می‌برد که یکی از محدودیت‌های آن عدم وجود تبخیر در دمای کمتر از صفر درجه است. همچنین این مدل اثر بسیاری از عوامل مانند سرعت باد، پوشش گیاهی، کمبود فشار بخار و نوع خاک را در تبخیر در نظر نمی‌گیرد (Xu *et al.*, 2012) و تنها به تغییرات دما واکنش نشان می‌دهد که باعث شده است به‌طور نادرستی به گرمایش جهانی دهه‌های اخیر واکنش نشان دهد (Yan *et al.*, 2013). در ایران این شاخص برای توسعه سیستم‌های پایش خشک‌سالی (Karamouz *et al.*, 2013)، بررسی مشخصه‌های مکانی و زمانی خشک‌سالی (Zoljoodi & Didevarasl, 2013)، ارزیابی آسیب‌پذیری از خشک‌سالی (Babaei *et al.*, 2013)، اثرات

خاک را بهتر نشان می‌دهد. این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط Hollinier و همکاران ارائه شده است. این شاخص بر مبنای مجموع رطوبت خاک به طور روزانه برای یک سال استوار و تنها فاکتور اقلیمی مورد استفاده در این شاخص رطوبت خاک است. این شاخص در مقیاس‌های سالانه به کار می‌رود. این داده‌ها به کمک مدل شبیه‌ساز رطوبت برای دوره پایه محاسبه شده و شاخص کمبود رطوبت خاک از طریق روابط (۲۶) و (۲۷) محاسبه می‌شوند (Narasimhan & Srinivasan, 2005).

$$SD_{i,j} = ((SW_{i,j} - MSW_j) / MSW_j - \min SW_j) * 100 \quad (26)$$

$$\text{if } SW_{i,j} \leq MSW_j$$

$$SD_{i,j} = ((SW_{i,j} - MSW_j) / \max SW_j - MSW_j) * 100 \quad (27)$$

$$\text{if } SW_{i,j} > MSW_j$$

در این روابط $SD_{i,j}$ درصد کمبود رطوبت خاک؛ $SW_{i,j}$ میانگین رطوبت خاک در هفته در پروفیل خاک (عمق مورد بررسی)؛ MSW_j متوسط درازمدت رطوبت قابل استفاده در پروفیل خاک؛ $\max SW_j$ حداکثر درازمدت رطوبت قابل استفاده در پروفیل خاک؛ $\min SW_j$ حداقل درازمدت رطوبت قابل استفاده خاک در پروفیل خاک؛ i نشان‌دهنده تعداد هفته‌ها؛ j نشان‌دهنده تعداد سال‌ها است.

$$SMDI_j = \frac{\sum_{t=1}^j SD_t}{25t+25} \quad (28)$$

که در آن SD : درصد کمبود رطوبتی خاک. t : زمان (هفته)، مقدار SD طی یک هفته می‌تواند از ۱۰۰- (خیلی خشک) تا ۱۰۰+ (خیلی مرطوب) تغییر می‌کند. در ۱۰۰ خاک مرطوب‌ترین و در ۱۰۰- خاک خشک‌ترین وضعیت را دارا است (Salehi Tabas *et al.*, 2020). شاخص $SMDI$ علاوه بر شرایط حاضر رطوبت خاک به شرایط پیشین نیز توجه دارد (Ramezani Etedali *et al.*, 2012).

جریان رود ۴- ذخیره رطوبت خاک. رابطه (۲۵) شاخص ذخیره آب سطحی را نشان می‌دهد.

$$SWSI = ((aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50) / 12) \quad (25)$$

که در آن: a, b, c, d وزن هر یک از مؤلفه‌های هیدرولوژیک؛ P_i = احتمال عدم وقوع (./) برای مؤلفه i : Snow: پوشش برف؛ Prec: بارش؛ Strm: جریان رود؛ Resv: ذخیره رطوبت خاک. دامنه تغییرات این شاخص از $-4/2$ تا $+4/2$ است و محاسبه این شاخص برای هر حوضه با توجه به خصوصیات آن حوضه صورت می‌گیرد. شاخص $SWSI$ برای تجزیه و تحلیل فرکانس جهت به کارگیری داده‌های بلندمدت بارش، برف، جریان و سطح مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019).

جدول ۷- طبقه‌بندی شاخص ذخیره آب سطحی

Table 7- Classification of surface water storage index

تغییرات رطوبت	عدد معرف شاخص (SWSI)
مرطوب بسیار شدید	بالای 4
مرطوب شدید	3 تا 4
مرطوب متوسط	2 تا 2.99
مرطوب ضعیف	1 تا 1.99
نزدیک نرمال	0.99 تا +0.99
خشک‌سالی ضعیف	-1 تا -1.99
خشک‌سالی متوسط	-2 تا -2.99
خشک‌سالی شدید	-3 تا -4
خشک‌سالی بسیار شدید	بالای -4

۹) شاخص کمبود رطوبت خاک (SMDI)

در محاسبه شاخص کمبود رطوبت خاک، آب قابل دسترس روزانه در ناحیه ریشه دوانی در دوره‌های زمانی یک هفتگی در طول سال میانگین‌گیری می‌شود. برای این منظور رطوبت خاک در یک دوره طولانی مدت (۷۰ تا ۳۰ ساله)، به طور هفتگی در هر سال اندازه‌گیری و میان آب قابل دسترس خاک برآورد می‌گردد. مقادیر میان به علت پایدارتر بودن و اینکه کمتر تحت تأثیر عوامل دیگر است، نسبت به میانگین مقدار نرمال آب قبل دسترس

جدول ۸- طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص RAI
Table 8- Classification of drought based on RAI index

وضعیت خشک‌سالی	آستانه‌های نسبت داده‌شده
نزدیک نرمال	+0.3 تا -0.3
خشک‌سالی ضعیف	-0.3 تا -1.2
خشک‌سالی متوسط	-1.2 تا -2.1
خشک‌سالی شدید	-2.1 تا -3
خشک‌سالی بسیار شدید	کمتر از -3

شاخص RAI قادر است خشک‌سالی را در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت (۱ تا ۴۸ ماهه) پایش نماید با توجه به نیاز داده‌های محدود برای استفاده از این شاخص، کاربرد آن در حال افزایش است (Miryaghoubzadeh *et al.*, 2019). ضمناً شاخص خشک‌سالی RAI برای بیان خشک‌سالی هواشناسی مناسب‌تر از شاخص‌های مشابه است (Piry *et al.*, 2013). شاخص RAI به همراه شاخص‌های SPEI و SIAP خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید را بهتر نشان می‌دهند (Piry & Mobaraki, 2021).

(۱۱) شاخص بارش مؤثر^۲

این شاخص در سال ۱۹۹۹ توسط بین Wilhit و Byun به‌عنوان جدیدترین شاخص خشک‌سالی در سال‌های اخیر ارائه و بر اساس تحلیل‌های کمی از بارش مؤثر روزانه استوار است؛ بنابراین تنها عامل مؤثر در آن بارش بوده و مقیاس زمانی آن روزانه بوده که دوره چندروزه برای واکنش‌های کوتاه‌مدت تا چندین روزه برای واکنش‌های بلندمدت هیدرولوژیک است. علاوه بر شدت، نمایانگر طول دوره و زمان شروع و خاتمه خشک‌سالی نیز بوده، در مناطق دشت مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج کنترل شده است. شاخص بارش مؤثر جدیدترین شاخص بررسی و ارزیابی خشک‌سالی است که در سال‌های اخیر به‌منظور بهبود کنترل خشک‌سالی و حل مسائل و نقاط

(۱۰) شاخص نابهنجاری یا بی‌نظمی بارش^۱

این شاخص در سال ۱۹۶۵ توسط Van Rooy عرضه شد. این شاخص بر اساس محاسبه بارش مقایسه شده با ارقام تصادفی از ۳- تا ۳+ به دست می‌آید به‌طوری‌که به بی‌نظمی‌های بارش ۱۰ کرانه اختصاص داده شده است. تنها عامل مؤثر در محاسبه این شاخص، بارش است. در ضمن این شاخص در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه بکار برده می‌شود. اساس شاخص روش نابهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف میزان بارندگی از مقدار نرمال است. مراحل محاسبه این شاخص به‌صورت زیر است: ۱- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه‌های موردنظر؛ ۲- استخراج میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (m)؛ ۳- استخراج میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (x)؛ ۴- مقایسه داده‌های بارندگی p یا میانگین درازمدت بارندگی؛ چنانچه $p > \bar{P}$ یا نابهنجاری مثبت باشد، شاخص نابهنجاری بارندگی از رابطه (۲۹) محاسبه می‌شود:

$$RAI = 3 ((P - \bar{P}) / (\bar{m} - \bar{P})) \quad (29)$$

چنانچه $p < \bar{P}$ یا نابهنجاری منفی باشد، شاخص نابهنجاری بارندگی از رابطه (۳۰) محاسبه می‌شود:

$$RAI = -3 ((P - \bar{P}) / (\bar{x} - \bar{P})) \quad (30)$$

۵- نسبت داده آستانه‌های ۳+ و ۳- به ترتیب به میانگین ده مورد از شدیدترین نابهنجاری‌های مثبت و منفی به‌دست‌آمده از شاخص نابهنجاری بارندگی؛ ۶- با مقیاس-گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص نابهنجاری بارندگی، طبقه‌های مختلف نابهنجاری‌ها تعیین می‌شود. طبقه‌بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص RAI در جدول ۸ آمده است.

شاخص، بارندگی لازم برای بازگشت به حالت نرمال است. داده‌های این شاخص برای طبقه‌بندی استاندارد می‌شوند. تنها داده موردنیاز این روش، داده‌های بارندگی است. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره فرضی کمبود آب آغاز و با ادامه عملیات دوره واقعی آن تعیین می‌گردد. مقصود از دوره فرضی در نظر گرفتن یک دوره کمبود بارش فرضی قبل از شروع دوره آماری است. این دوره فرضی می‌تواند ۳۶۵ روزه یا ۱۵ روزه باشد (Ekhtari Khajeh & Din pajouh, 2018). پس از انتخاب دوره فرضی مراحل محاسبات آغاز می‌شود. ابتدا بارش مؤثر یا EP با استفاده از رابطه (۳۲) به دست می‌آید:

$$EP_i = \sum_{m=1}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (32)$$

که در آن i تداوم فرضی و P_m مقدار بارش در $m-1$ روز قبل (میلی‌متر) است. مقدار بارش مؤثر از جمع کردن بارش با یک تابع کاهشی وابسته به زمان به دست می‌آید. در حقیقت بارش مؤثر که برای هرروز از دوره آماری مورد مطالعه قابل محاسبه است، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ماقبل خود است؛ به طوری که بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر وزن بیشتری را در EP به خود اختصاص می‌دهند (Ekhtari Khajeh & Din pajouh, 2018). در مرحله بعد از رابطه (۳۳) استفاده می‌شود:

$$DEP_i = EP_i - MEP_i \quad (33)$$

که در آن MEP_i میانگین بارش مؤثر چندساله (میلی-متر)، EP_i بارش مؤثر (میلی‌متر) و DEP_i به‌عنوان اختلاف بین EP_i و MEP_i شناخته می‌شود و واحد آن نیز میلی-متر است. اگر مقدار DEP_i مثبت باشد ذخیره آب در همان تاریخ و مکان را نشان می‌دهد و اگر منفی باشد معنی عکس می‌دهد. به‌منظور مقایسه نتایج مناطق

ضعف متداول در شاخص‌هایی که تاکنون بررسی شده، برنامه‌ریزی و طراحی شده است. بدین ترتیب به‌منظور بررسی روزانه و دقیق خشک‌سالی و حل مشکلات ناشی از آن، شاخص‌های خشک‌سالی برای اولین بار و در سال ۱۹۹۹، مفهوم جدیدی تحت عنوان شاخص بارش مؤثر (EPI) توسط دو تن از محققین به نام‌های Byun و Wilhit ارائه شده است. با استفاده از این شاخص می‌توان وضعیت خشک‌سالی را برای هر دوره‌ی دلخواه (با توجه به تعریفی که از خشک‌سالی در ناحیه مورد مطالعه می‌شود) بررسی کرد و وقوع خشک‌سالی را در منابع آب‌و خاک نشان داده است. شاخص بارندگی مؤثر از رابطه (۳۱) به دست می‌آید:

$$EP_{i+j-1} = (A_{i+j-1} + M_{i+j-1}) / SD_{i+j-1} \quad (31)$$

EP_{i+j-1} : نمایه بارش مؤثر در دوره تجمیع واقعی؛ A_{i+j-1} : منابع آب قابل دسترس طی دوره تجمیع واقعی؛ M_{i+j-1} : میانگین آب قابل دسترس در شماره روز معینی از سال؛ SD_{i+j-1} : انحراف استاندارد منابع آب قابل دسترس در شماره روز معینی از سال و $i+j-1$ دوره تجمیع واقعی است.

جدول ۹- طبقات مختلف نمایه بارش مؤثر EPI
Table 9- Different categories of EPI effective precipitation index

طبقات شدت خشک‌سالی	نمایه بارش مؤثر
نرمال	-0.7 تا +0.7
خشک‌سالی متوسط	+0.7 تا 1.5
خشک‌سالی شدید	1.5 تا 2.5
خشک‌سالی بسیار شدید	کمتر از 2.5

۱۲) شاخص خشک‌سالی مؤثر^۱

مزیت اصلی شاخص خشک‌سالی مؤثر نسبت به سایر شاخص‌های خشک‌سالی شناخته‌شده این است که این شاخص از مقیاس زمانی روزانه برخوردار است. مبنای این

برای تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی نیز به کار برود. شاخص خشک‌سالی مؤثر از جمله شاخص‌هایی است که بر اساس مقدار بارش روزانه تجمعی با روش وزن دهی استوار است (Moggadasi et al., 2005). این روش تنها روش شناخته‌شده است که خشکی روزانه و همچنین دوره‌های خشک که به مدت چندین سال به‌طور انجامیده‌اند را تعیین می‌کند. شاخص EDI پاسخ سریع‌تری به شرایط خشکی اضطراری از خود نشان می‌دهد و نیاز به سری روزانه داده‌های بارش به‌عنوان نقطه‌ضعف این شاخص شناخته می‌شود. Jain و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که شاخص EDI به‌این‌علت که از بازه زمانی خاصی برخوردار نیست همبستگی بهتری با سایر شاخص‌ها در تمامی بازه‌های کوتاه و بلندمدت از خود نشان می‌دهد و همچنین دریافتند که این شاخص خشک‌سالی را زودتر از سایر شاخص‌ها پیش‌بینی می‌کند که این مزیت بزرگی برای یک شاخص خشک‌سالی محسوب می‌شود.

۱۳) شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)

اساس محاسبه شاخص بارندگی سالانه، انحراف داده‌های بارندگی از نرمال است. در این شاخص ابتدا مجموع بارش‌ها در یک سال از میانگین مجموع بارش در یک دوره آماری کاسته و جواب حاصل در مرحله بعد بر انحراف معیار داده‌های دوره آماری موردنظر تقسیم می‌گردد. Khalili و Bazrafshan (۲۰۰۳) بیان کردند که شاخص‌های دهک بارندگی و شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در ایران را دارند که معادله آن به شرح رابطه (۳۷) است و طبق جدول (۱۱) طبقه‌بندی می‌شود.

$$SIAP = (p_i - \bar{p}) / SD \quad (37)$$

p_i = بارندگی سال هیدرولوژی \bar{p} ، میانگین بارندگی در طول دوره آماری، SD = انحراف معیار داده‌های بارندگی

مختلف بدون در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی آن‌ها مقدار DEP_i با استفاده از رابطه (۳۴) استاندارد می‌شود:

$$SEP_i = DEP_i / ST(EP_i) \quad (34)$$

که در آن $ST(EP_i)$ انحراف معیار بارش مؤثر (میلی‌متر) برای هرروز از دوره فرضی و SEP_i نیز مقدار استانداردشده DEP_i (میلی‌متر) است. مقادیر منفی مربوط به DEP_i و SEP_i نشان می‌دهد که بارندگی کمتر از حد نرمال بوده و دوره خشک اتفاق افتاده است. تداوم واقعی خشکی نیز از جمع بستن دوره فرضی با دوره تر یا خشک به دست می‌آید و برای هرروز از دوره آماری تداوم واقعی محاسبه می‌شود. سپس بارندگی موردنیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN_j) به دست می‌آید:

$$PRN_j = DEP_j / \sum_{N=1}^j \left(\frac{1}{N}\right) \quad (35)$$

که در آن اندیس j نشان‌دهنده تداوم واقعی، PRN_j مقدار بارندگی برای برگشت به شرایط نرمال از کمبود بارش را به میلی‌متر نشان می‌دهد. سپس شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI_j) به دست می‌آید:

$$EDI_j = PRN_j / ST(PRN_j) \quad (36)$$

که در آن $ST(PRN_j)$ انحراف معیار PRN_j است و EDI_j به میلی‌متر درواقع وضعیت خشکی را مستقل از شرایط آب و هوایی نشان می‌دهد. PRN_j را می‌توان به‌عنوان شدت خشک‌سالی ارزیابی نمود. EDI_j درواقع شکل استانداردشده PRN_j بوده و به‌عنوان شدت خشک‌سالی معرفی می‌شود.

جدول ۱۰- طبقات مختلف نمایه EDI

Table 10- Different categories of EDI index

نمایه بارش مؤثر	طبقات شدت خشک‌سالی
$EDI \leq -2$	بسیار شدید
$-2 < EDI \leq -1.5$	شدید
$-1.5 < EDI \leq -1$	ملازم
$-1 < EDI \leq +1$	نرمال از نظر بارش

Morid و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که شاخص EDI قادر به شناسایی زمان شروع خشک‌سالی است و می‌تواند

(۱۵) شاخص توزیع نرمال استاندارد (Z)

استفاده از شاخص توزیع استاندارد (Z)، یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه تغییرات حول مرکز به شمار می‌آید که از رابطه (۳۸) محاسبه می‌شود:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S} = \frac{X_i - \mu}{\delta} \quad (38)$$

که X_i بارش در زمان مشخص، \bar{X} میانگین بارش و μ میانگین نمونه، S انحراف معیار نمونه و δ انحراف معیار جامعه طولانی‌مدت سری زمانی مورد مطالعه است. میانگین و انحراف معیار این عامل برابر صفر و یک است و بنابراین از نظر مقایسه‌ای بین ایستگاه‌های مختلف می‌تواند کاربرد زیادی داشته باشد. نکته قابل توجه در این شاخص، محاسبه احتمالات از طریق جداول توزیع نرمال است. در توزیع نرمال $68/2$ درصد داده‌ها در بین $X \pm \delta$ ، $95/4$ درصد در بین $X \pm 2\delta$ و $99/7$ درصد بین $X \pm 3\delta$ قرار دارند. با توجه به ارزش حاصل از این شاخص طبقه‌بندی جدول (۱۲) را بر پایه شدت خشک‌سالی عنوان کرده‌اند.

جدول ۱۲- طبقه‌بندی شاخص خشک‌سالی توزیع نرمال استاندارد (Z)

Table 12- Classification of Standard Normal Distribution Drought Index (Z)

نوع خشک‌سالی	ارزش شاخص
خشک‌سالی جزئی	0.01-1
خشک‌سالی متوسط	1.1-2
خشک‌سالی شدید	2/1-3
خشک‌سالی فاجعه آور	>3

(۱۶) شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده**(SPEI)**

شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده بر اساس میزان بارش و درجه حرارت و محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و بیلان آب ارائه شده است (Vicente-Serrano, et al., 2010). این شاخص به وسیله Vicente-Serrano و همکاران در سال ۲۰۱۰ ارائه شد و به عنوان یک شاخص خشک‌سالی اقلیمی معرفی شد. این شاخص مبتنی بر

جدول ۱۱- طبقات مختلف شاخص SIAP

Table 11- Different Classes of SIAP Index

شاخص معیار بارندگی سالانه	شدت خشک‌سالی
مساوی یا بیشتر از 1	سال خیلی مرطوب
0.5 تا 1	سال مرطوب
0.5 تا -0.5	سال نرمال
بین -1 تا -0.5	سال خشک
کمتر از -1	سال بسیار خشک

(۱۴) شاخص خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور

در این شاخص به کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجده MODIS و سایر سنجده‌ها مانند AVHRR ماهواره NOAA و غیره استفاده می‌شود و به محاسبه شاخص‌های سنجش از دور VCI (شاخص پوشش گیاهی) و LST (شاخصی برای محاسبه دمای زمین برحسب کلون) و NDVI (شاخص پوشش گیاهی) و غیره پرداخته می‌شود. در این روش از تصاویر ماهواره‌ای با توجه به گستردگی مناطق مورد مطالعه برای بررسی احتمال وقوع خشک‌سالی با قدرت تفکیک مکانی مختلف استفاده می‌شود. Shamsipour و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی مناسب است. Baghideh و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی خشک‌سالی‌ها باشد. Reza'i Moqaddam و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که شاخص VCI و سنجده MODIS می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشک‌سالی باشند. Hellden و Christian (۲۰۰۸) بیان کردند که بین بارندگی و NDVI دارای همبستگی فراوانی در بیشتر مناطق خشک دنیا است.

که α پارامتر مقیاس، β پارامتر شکل، γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده $\infty > D > \gamma$ است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می‌گردد (Vicente-Serrano et al., 2010). در گام نهایی مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر D_i به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ تبدیل می‌شوند که برابر مقادیر شاخص SPEI می‌باشند. تابع کلاسیک Abramowitz و Stegun (۱۹۶۵) با استفاده از مقادیر تابع $F(x)$ تخمینی برای مقدار شاخص SPEI است.

$$SPEI = W - (c_0 + c_1 W + c_2 W^2 / (1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3)) \quad (43)$$

مقدار w از رابطه (۴۴) محاسبه می‌شود:

$$W = \sqrt{-2 \ln(p)} \quad \text{for } p \leq 0.5 \quad (44)$$

که در آن p مقدار احتمال تجاوز از مقدار D تعیین شده است، $P = 1 - F(x)$ ، اگر مقدار P بزرگ‌تر از ۰.۵ باشد آنگاه مقدار P با $1 - P$ جایگزین و علامت نتایج SPEI تعویض می‌گردد. مقدار ضریب ثابت‌ها برابرند با $C_0 = 2.515517$ ، $C_1 = 0.802853$ ، $C_2 = 0.010328$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_2 = 0.189269$ ، $d_3 = 0.001308$ می‌باشند. شاخص SPEI می‌تواند در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه محاسبه گردد. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است. این شاخص می‌تواند برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. خشک‌سالی هنگامی شروع می‌گردد که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می‌یابد. مقدار SPEI صفر نشان‌دهنده مقدار متناظر با مقدار ۵۰ درصد در تابع توزیع تجمعی مقادیر D بر اساس تابع توزیع احتمال لوگ - لجستیک است (Vicente-Serrano et al., 2010).

محاسبه ترازمندی آب اقلیمی است و برای محاسبه به داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. این شاخص توانایی محاسبه شاخص خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف را دارد و همچنین می‌تواند اثرات تغییرات درجه حرارت را در ارزیابی خشک‌سالی لحاظ نماید (Nosrati, 2014). معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت رابطه (۳۹) تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (39)$$

که در آن P و PET به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره ماه موردنظر است. این شاخص از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس رویکرد تورنت وایت استفاده می‌نماید.

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه (۴۰) محاسبه می‌شوند:

$$D_n^K = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad (40)$$

که k ها (ماه‌ها) مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه است. ضمناً یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشک‌سالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده‌های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نشان داده است که تابع لجستیک لگاریتمی برازش خوبی برای سری زمانی داده‌ها در مقیاس زمانی مختلف دارد؛ بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده‌های D بر اساس تابع لجستیک لگاریتمی است. Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ - لجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر D_i تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه (۴۱) است:

$$f(x) = (\beta/\alpha) (x-\gamma/\alpha)^{\beta-1} [1 + (x-\gamma/\alpha)^\beta]^{-2} \quad (41)$$

فرم تابع احتمال تجمعی لوگ - لجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه (۴۲) به دست می‌آید:

$$F(x) = [1 + (\alpha/x-\gamma)^\beta]^{-1} \quad (42)$$

تبخیر و تعرق (D)، از استاندارد نمودن مقادیر D بر اساس میانگین و انحراف معیار هر سری شاخص تغییرات آب مازاد را پیشنهاد دادند. مهم‌ترین مزیت شاخص SPEI نسبت به دیگر شاخص‌های پایش خشک‌سالی این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در ارتباط با گرمایش جهانی و کمبود آب را داراست (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) و برخلاف شاخص SPI با مشکل برازش تابع احتمال بر داده‌های صفر در مناطق خشک و ماه‌های خشک روبرو نیست (Stagge *et al.*, 2015). شاخص SPEI همچنین در خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید عملکرد بهتری دارد که دلیل آن را می‌توان به تغییرات بارندگی و منظور نمودن درجه حرارت در این شاخص نسبت داد (Piry & Mobaraki, 2021).

۱۷) شاخص خشک‌سالی دبی جریان (SDI)^۱

این شاخص شبیه شاخص بارش استاندارد است که تحت عنوان شاخص دبی جریان بر اساس متوسط جریان ماهانه برای اولین بار توسط Ben-Zvi در سال ۱۹۸۷ پیشنهاد گردید. اصول محاسباتی شاخص SDI مشابه شاخص SPI بوده و بدین صورت است که مقادیر دبی ماهانه هر ایستگاه هیدرومتری بر توزیع آماری مناسبی برازش داده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که در حوضه کوچک توزیع گاما و در حوضه‌های بزرگ توزیع نرمال یا لوگ نرمال دومتغیره بهترین برازش را دارد لذا مقادیر دبی ماهانه با استفاده از رابطه‌های (۴۵) و (۴۶) برای توزیع گاما برازش داده می‌شود:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (45)$$

α پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس است و X مقدار دبی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما بوده و از رابطه (۴۶) محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (46)$$

جدول ۱۳- طبقه‌بندی مقادیر شاخص SPEI

Table 13- Classification of SPEI index values

طبقات شاخص	توصیف وضعیت
>2	رطوبت بسیار شدید
1.99-1.5	رطوبت شدید
1.49-1	رطوبت متوسط
-0.99-0.99	نرمال
-1.49 - -1	خشک‌سالی متوسط
-1.99 - -1.5	خشک‌سالی شدید
< -2	خشک‌سالی خیلی شدید

بر اساس نتایج تحقیق Nosrati (۲۰۱۴) شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشک‌سالی در مقایسه با شاخص بارش استاندارد ارائه می‌دهد. با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق در بیان آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در مطالعات خشک‌سالی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص SPEI در جمهوری چک مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که صرف‌نظر از مقیاس زمانی، این شاخص دارای قابلیت تشخیص شدت خشک‌سالی تحت تأثیر افزایش شرایط دمایی در دهه‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ است (Potop & Možný, 2011). شاخص خشک‌سالی SPEI با در نظر گرفتن اثرات ترکیبی بارندگی و تبخیر و تعرق می‌تواند تغییرات منابع آب را در مقایسه با شاخص‌هایی که تنها از بارندگی استفاده می‌نمایند، توجیه نماید که از مزیت‌های این شاخص محسوب می‌گردد. این شاخص می‌تواند یک شاخص حساس به خشک‌سالی هیدرولوژیک و راهی برای ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک باشد که اهمیت پایش آن توسط محققان دیگر (Nosrati, 2012) تأیید شده است. ضمناً Gocic و Trajkovic (۲۰۱۴) بر پایه کمبود آب تعریف‌شده در شاخص SPEI، تفاوت بارش و

جدول ۱۴- طبقات مختلف نمایه SDI
Table 14- Different categories of SDI index

طبقات شدت خشک‌سالی	نمایه‌ی بارش مؤثر
فاقد خشک‌سالی	$0 \leq SDI$
خشک‌سالی ملایم	$-1 \leq SDI < 0$
خشک‌سالی متوسط	$-1.5 \leq SDI < -1$
خشک‌سالی شدید	$-2 \leq SDI < -1.5$
خشک‌سالی بسیار شدید	$SDI < -2$

۱۸) شاخص GRI و SWI برای محاسبه خشک‌سالی

شاخص GRI^۱ در سال ۲۰۰۸ توسط Mendicino و همکاران به‌عنوان شاخص قابل‌اعتماد برای مدل‌سازی، پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی برای منطقه مدیترانه پیشنهاد شد. این شاخص در کالابریای ایتالیا آزمایش‌شده است و تاکنون این شاخص به‌عنوان جدیدترین و پرکاربردترین شاخص با ۴۰ سال داده شبیه‌سازی‌شده آزمایش شده است. ضمناً برای پایش خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی در مناطق مدیترانه‌ای این شاخص بهتر از شاخص‌های دیگر است (Nico *et al.*, 2010). مهم‌ترین مزیت این شاخص همبستگی بالای آن با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوضه در پیش‌بینی خشک‌سالی‌های فصل تابستان است (Mendicino *et al.*, 2008). شاخص GRI با استاندارد کردن سطح سفره آب زیرزمینی با محاسبه اختلاف میان سطح آب سفره و میانگین بلندمدت آن و تقسیم بر انحراف معیار سطح ۹۹ درصد شاخص سطح آب استاندارد به دست می‌آید:

$$GRI = (D_{y,m} - \mu_{D,m}) / \sigma_{D,m} \quad (48)$$

که در آن GRI ارزش شاخص منبع آب زیرزمینی در ماه m از سال y؛ $D_{y,m}$ که ارزش سطح ایستابی در ماه m از سال y، $\mu_{D,m}$ میانگین داده‌های سطح ایستابی ماه m برای

سپس احتمال تجمعی توزیع گاما محاسبه و تغییر شکل هم احتمال تجمعی توزیع گاما به‌صورت نرمال صورت می‌گیرد و از رابطه (۴۷)، SDI مربوط به هر مقدار دبی در هر ایستگاه در سطوح هم احتمال منحنی احتمال تجمعی نرمال استخراج می‌گردد.

$$SDI_{i,k} = (Q_{i,k} - \overline{Q}_k) / SD_k \quad (47)$$

مقیاس K ام (۳، ۶، ۹ تا ۴۸ ماه)؛ $Q_{i,k}$ مقدار دبی در ماه i ام؛ \overline{Q}_k مقدار متوسط دبی در مقیاس k ام؛ SD_k انحراف معیار در مقیاس K ام. Tabari و همکاران (۲۰۱۳) اقدام به ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI در شمال غرب ایران کردند و نشان دادند، تقریباً تمام ایستگاه‌ها تحت تأثیر خشک‌سالی شدید هستند. شاخص SDI به‌خوبی نوسانات خشک‌سالی را نشان می‌دهد (Jahangir *et al.*, 2019). Soleimani و Bahremand (۲۰۱۴) بیان کردند که همبستگی بالایی بین دو شاخص SPI و SDI وجود دارد. Nalbantis (۲۰۰۸) بیان کرد که شاخص SDI فاکتور مناسبی برای برآورد خشک‌سالی هیدرولوژیکی است. در حال حاضر کاربرد شاخص SDI مبتنی بر فرض پیروی داده‌های جریان سطحی ماهانه از توزیع گاما است؛ در نتیجه هرگونه عدم پیروی مناسب سری داده‌های متوسط آبدهی ماهانه از توزیع گاما، می‌تواند پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی را با نقص مواجه ساخته و احتمالاً سبب جابه‌جایی طبقات خشک‌سالی گردد (Jamal *et al.*, 2020)؛ بنابراین لازم است که پیش از محاسبه شاخص SDI، توزیع فراوانی مناسب بر مقادیر آبدهی برازش یافته و بر اساس آن مقدار تصحیح‌شده شاخص SDI محاسبه گردد.

جدول ۱۵- طبقات مختلف نمایه SWI و GRI
Table 15- Different categories of SDI index

مقادیر SWI	مقادیر GRI	طبقات شدت خشک‌سالی
<0	>0	فاقد خشک‌سالی
0.1-0.99	-0.1 - -0.99	خشک‌سالی ملایم
1-1.49	-1 - -1.49	خشک‌سالی متوسط
1.5-1.99	-1.5 - -1.99	خشک‌سالی شدید
بزرگ‌تر یا مساوی 2	کوچک‌تر یا مساوی -2	خشک‌سالی بسیار شدید

۱۹) شاخص خشک‌سالی بالم و مولی (BMDI')

یکی از شاخص‌های رایج جهت بررسی خشک‌سالی، شاخص Bahlme و Mooley است (Pourhossein & Soltani, 2018). این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط Bahlme و Mooley برای رژیم‌های مونسونی در هندوستان استفاده شده است. مقیاس زمانی محاسبه این شاخص ماهانه و سالانه است. شیوه محاسبه شاخص خشک‌سالی بالم و مولی شبیه به شاخص شدت خشک‌سالی پالم بوده و شاخص به صورت بازگشتی عمل می‌کند یعنی در محاسبه خشک‌سالی یک ماه معین، ضریبی از شدت خشک‌سالی ماه قبل نیز دخالت داده می‌شود. این شاخص به صورت ذیل بیان می‌شود:

مرحله اول: محاسبه میانگین درازمدت داده‌های بارش \bar{X} و انحراف از معیار داده‌های بارش σ و برآورد شاخص رطوبت ماهانه (MI) از رابطه (۵۰):

$$MI = ((X - \bar{X}) / \sigma) * 100 \quad (50)$$

مرحله دوم: تعیین کمترین مقدار MI در دوره موردبررسی و محاسبه مقادیر تجمعی و برازش خط رگرسیونی بر مقادیر شاخص رطوبت تجمعی ماهانه با استفاده از اصل کمترین مربعات که معادله کلی آن به صورت رابطه (۵۱) است:

$$\sum_{i=1}^k MI_k = a + bk \quad (51)$$

در این رابطه MI_k : شاخص رطوبتی تجمعی در ماه k و K : شماره ماه و a و b : ضرایب ثابت معادله است.

D سال، $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال. GRI یک شاخص کاهش سطح سفره و یک معیار غیرمستقیم از میزان تغذیه سفره و یک منبع غیرمستقیم از خشک‌سالی خواهد بود. از آنجایی که سطح سفره از سطح زمین در جهت پایین اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین مقادیر مثبت نشانه وقوع خشک‌سالی و مقادیر منفی حاکی از عدم وقوع خشک‌سالی است. مقادیر این شاخص تغییرات مکانی زیادی دارد و نسبت به خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز حساس است (Mendicino *et al.*, 2008). شاخص سطح آب استاندارد شده توسط Bhuiyan در سال ۲۰۰۴ ارائه شد و هدف از آن بررسی نوسانات و آنومالی‌های سطح آب زیرزمینی در هندوستان بود (Roshan *et al.*, 2019) که معادله محاسباتی آن به صورت رابطه (۴۹) است:

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma \quad (49)$$

که در آن W_{ij} سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری i تا j ; W_{im} میانگین ماهانه سطح ایستابی و σ انحراف معیار است (Bhuiyan, 2004). مطابق این شاخص‌ها شدت خشک‌سالی در ۵ طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که مقادیر مثبت نشان‌دهنده خشک‌سالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم خشک‌سالی و شرایط نرمال است (Faridpour *et al.*, 2019). Pathak و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که همبستگی خوبی بین شاخص‌های SDI و GRI در مقیاس‌های ۹ ماهه وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی به ۲۱ ماهه این ارتباط بیشتر می‌شود. همچنین شاخص GRI خود همبستگی بسیار بالایی را در طول ماه‌های تابستان دارد و در هر منطقه‌ای توسط شرایط زمین سنگ‌شناسی آن توصیف می‌شود (Medicino *et al.*, 2008).

Pourhossein و Soltani (۲۰۱۸) دریافتند که شاخص بالم و مولی بهترین نتیجه را در اقلیم‌های مرطوب داشته است. همچنین این شاخص در رژیم‌های شبه مدیترانه‌ای در تمامی مقیاس‌های زمانی نتیجه مناسبی داشته است؛ اما در رژیم‌های بارش مدیترانه‌ای، بهترین نتیجه را در دوره‌های ارزیابی منطبق بر بارش نشان داد. Oladipo (۱۹۸۵) بیان می‌کند که شاخص خشک‌سالی بالم و مولی به دلیل سادگی و دخالت فاکتورهای اندک، قابلیت سازگاری با هر شرایط اقلیمی و کمی فاکتورهای مورد استفاده بهتر و مناسب‌تر است. در ضمن بیان می‌کند که این شاخص توانایی ارزیابی خشک‌سالی‌ها را از نظر بزرگی و مقدار داشته و برای پیش‌بینی خشک‌سالی منطقه‌ای بهتر است. Shayegh و Soltani (۲۰۱۱) بیان کردند که شاخص خشک‌سالی بالم و مولی در طی دوره‌های ارزیابی ۷ و ۹ ماهه که محدود به دوران بارش است قابلیت خوبی در مقایسه سال‌های آماری از نظر شدت خشک‌سالی در یک ماه معین دارد. شاخص خشک‌سالی بالم و مولی علاوه بر رژیم‌های مونسونی، قابلیت استفاده در سایر اقلیم‌ها را نیز دارد و هرچه طول دوره ارزیابی این شاخص بر دوره وقوع بارش در یک سال منطبق‌تر باشد شاخص بهتر و مؤثرتر عمل می‌کند (Pourhossein & Soltani, 2018).

نتیجه‌گیری کلی

هر شاخصی با توجه به ماهیتی که دارد می‌تواند در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد و همه شاخص‌ها به‌نوبه خود و در مناطق سازگار با ماهیت این شاخص‌ها می‌توانند پیش‌بینی مناسبی از خشک‌سالی داشته باشند و مقایسه تمام این شاخص‌ها برای یک منطقه خاص اشتباه است و نتایج مناسبی نخواهند داد بلکه باید شاخص مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی و سایر شرایط دیگر مناطق مورد مطالعه انتخاب شود. ضمناً مقیاس زمانی نیز در هر کدام از شاخص‌ها بسیار مهم است

مرحله سوم: استخراج معادلات خطوط برازش یافته بر چهار طبقه خشک‌سالی به‌طوری‌که مقادیر شدت خشک‌سالی واگذارشده به این خطوط را بتوان تعیین کرد. معادله کلی خطوط به‌صورت رابطه (۵۲) است:

$$I_k = \sum_{t=1}^k \frac{MI_t}{[0.25(|a| + |b|k)]} \quad (52)$$

در این رابطه I_k شدت خشک‌سالی ماه K ام است. با استفاده از این رابطه سهم شاخص رطوبتی MI در شدت خشک‌سالی را برای هر ماه می‌توان با قرار دادن $k=1$ در آن تعیین کرد؛ بنابراین:

$$I_1 = \sum_1^1 \frac{MI_1}{[0.25(|a| + |b|)]} \quad (53)$$

مرحله چهارم: در ماه‌های متوالی به یک مقدار منفی از شاخص رطوبتی نیاز است تا دوره خشک با شدت خشک‌سالی معین حفظ شود. میزانی که شاخص رطوبتی باید افزایش یابد تا مقدار I ثابت بماند، به مقدار I حفظ‌شده، بستگی دارد؛ بنابراین برای همه ماه‌هایی که در پی ماه خشک اولیه قرار می‌گیرند، لحاظ کردن یک عبارت اضافی در مرحله سوم ضروری بوده تا این معادله به‌صورت رابطه (۵۴) بیان شود:

$$\Delta I_k = (MI_k / d) + CI_k - 1 \quad (54)$$

در این رابطه d و c : ضرایب ثابت معادله و $c = 0.25(b/d)$ و $d = 0.25|a+b|$ هستند.

مرحله پنجم: در نهایت فرم کلی شاخص خشک‌سالی بالم و مولی برای هر ماه و برای کل دوره به‌صورت روابط ذیل نوشته می‌شوند (Pourhossein & Soltani, 2018):

$$I_k = (M_k / d) + (1+C)I_{k-1} \quad (55)$$

$$BMDI = \sum_{t=1}^k I_k / K \quad (56)$$

جدول ۱۶- طبقه‌بندی مقادیر شاخص بالم و مولی

Table 16- Classification of Bhalme and Mooley index values

توصیف وضعیت	طبقات شاخص
نزدیک نرمال	0.99 تا -0.99
خشک‌سالی ضعیف	-1 تا -1.99
خشک‌سالی متوسط	-2 تا -2.99
خشک‌سالی شدید	-3 تا -3.99
خشک‌سالی بسیار شدید	< -4

این نکته نیز یکی از نقاط ضعف شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در ایران و دنیا است. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که شاخصی برای خشک‌سالی می‌تواند در دنیا ماندگار شود که به شدت و مدت و فراوانی و وسعت خشک‌سالی به‌طور هم‌زمان پردازند و بر این اساس است که قطعاً می‌تواند پیش‌بینی‌های مناسبی داشته باشد. برای استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی، مقیاس زمانی و مکانی مربوط به آن شاخص‌ها باید در استفاده از آن‌ها مدنظر قرار گیرد. با توجه به اینکه هر کدام از شاخص‌های خشک‌سالی در شرایط خاصی ایجاد شده‌اند پیشنهاد می‌شود یا در ایران مورد استفاده قرار نگیرند و یا اینکه با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند. از نقاط ضعف دیگر شاخص‌های خشک‌سالی تعیین عوامل مؤثر بر خشک‌سالی و چگونگی آن‌ها بر شرایط خشک‌سالی است یعنی در تعیین عوامل مؤثر بر خشک‌سالی و چگونگی تأثیر آن‌ها شرایط خیلی سختی حاکم است که به‌سادگی نمی‌توان با شاخص‌های مختلف خشک‌سالی آن را به دست آورد. شاخص خشک‌سالی جامع و کامل، شاخصی است که تمامی عوامل مؤثر بر انواع خشک‌سالی مختلف را در نظر بگیرد و به نظر می‌رسد که در حال حاضر چنین شاخصی وجود ندارد و تمامی شاخص‌های خشک‌سالی بررسی شده دارای نقاط ضعفی هستند و نتایج حاصل از آن‌ها دارای درجه اطمینان پایین‌تری می‌باشند. هم‌چنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که پرکاربردترین پارامتر در شاخص‌های مورد بررسی مقدار بارندگی است که در برخی از شاخص‌ها به‌عنوان تنها پارامتر تعیین‌کننده وضعیت خشک‌سالی است. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی پیشنهاد می‌گردد که در ارتباط با شاخص‌های خشک‌سالی با توجه به داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی ایران، مدل‌سازی‌های آماری رگرسیونی خطی و غیرخطی بومی با توجه به اقلیم‌های خاص ایران

و باید برای حصول نتیجه قابل اطمینان‌تری در نظر گرفته شود. بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های دهک‌ها، بارش استاندارد شده، شدت خشک‌سالی پالمر، شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده و شاخص بالم و مولی از پرکاربردترین و مناسب‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی است. هم‌چنین ضعیف‌ترین شاخص خشک‌سالی مورد مطالعه، شاخص درصد نرمال بارش و قوی‌ترین شاخص‌های خشک‌سالی، شاخص‌های بارش - تبخیر و تعرق استاندارد و شاخص بالم و مولی می‌باشند. میزان استمرار حالت خشک‌سالی در یک منطقه گویای شدت خشک‌سالی در همان منطقه است. شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در سطح ایران و دنیا بیشتر به مقوله شدت خشک‌سالی اهمیت داده‌اند به‌طوری‌که بیشتر شاخص‌های موجود در ایران و دنیا روی شدت خشک‌سالی تمرکز بیشتری دارند و این نکته از نقاط قوت شاخص‌های خشک‌سالی موجود در ایران و دنیا است. به‌طور کلی تشخیص زمان آغاز و خاتمه خشک‌سالی مسئله بسیار مشکلی است. پایان خشک‌سالی نسبت به زمان آغاز محسوس‌تر است. شاخص‌های مختلف خشک‌سالی تمرکز کمتری بر روی مقوله مدت خشک‌سالی دارند به‌طوری‌که تشخیص ابتدای و انتهای خشک‌سالی به‌وسیله این شاخص‌ها امری به‌ندرت انجام‌شدنی است؛ بنابراین این نکته یکی از نقاط ضعف شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در ایران و دنیا است. هم‌چنین شاخص‌های مختلف خشک‌سالی به‌ندرت به مقوله وسعت خشک‌سالی می‌پردازند؛ بنابراین این نکته نیز یکی از نقاط ضعف شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در ایران و دنیا است. فراوانی خشک‌سالی نیز از اهم ویژگی‌های مورد مطالعه در بررسی یک منطقه به-شمار می‌آید که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف زمانی محاسبه شود. شاخص‌های مختلف خشک‌سالی با تمرکز کمتری به مقوله فراوانی خشک‌سالی می‌پردازند؛ بنابراین

صورت گیرد و شاخص چندمتغیره خشک‌سالی ایرانی معرفی شود که قطعاً نتایج ارزشمندتری به دنبال دارد.

References

- Aaron, P.N., Devdutta, S.N. & Sethu, R. (2002). Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study. *Geophysical Res. Letters*, 29(1), 1-40
- Abramowitz, M., & Stegun, I.A. (1965). Handbook of mathematical functions, with formulas, graphs, and mathematical tables. Dover Publications.
- Arshad, S., Morid, S., Mobasheri, M.R., Alikhani, M.A., & Arshad, S. (2013). Monitoring and forecasting drought impact on dryland farming areas. *International Journal of Climatology*, 33, 2068-2081.
- Asadi Zarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Taghi Dastorani, M. & Kousari, M.R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water Resour Manag*, 25(13), 3485-3504.
- Babaei, H., Araghinejad, S. & Hoorfar, A. (2013). Developing a new method for spatial assessment of drought vulnerability (Case study: Zayandeh Rood river basin in Iran). *Water and Environment Journal*, 27, 50-57.
- Baghideh, M., Alijani, B. & Ziaei, P. (2010). Investigating possibility of using NDVI index in drought analysis in Isfahan province, *Geographical studies of arid regions*, 1(4), 1-16.
- Bazrafshan, J., Hejabi, S. & Habibi Nokhandan, M. (2010). Is the SPI sufficient for monitoring meteorological droughts in extreme coastal climates of Iran? *Advances in Natural and Applied Sciences* 4(3), 345-351.
- Bazrafshan, J. (2002). *The study of some meteorological drought indices in some Iranian climate samples*. MSc thesis, University of Tehran, Tehran. (In Persian)
- Bhuiyan, C. (2004). Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India", of the XXth ISPRS Conference, Vol XXXV, Part B. Proceeding: orham altan, m., *International society for photogrammetry and remote sensing*, Istanbul: 1283-1288.
- Chow, V.T. & Kareliotis, S.J. (1970). Analysis of stochastic hydrologic systems. *Water Resour. Res.* 6(6), 1596-1582.
- Ekhtiari Khajeh, Sh. & Din pajouh, Y. (2018). Application of Effective Drought Index (EDI) for Drought Periods (Case Study: Tabriz, Bandar Anzali and Zahedan Stations), *Irrigation Science and Engineering*, 41(1), 133-145. (In Persian)
- Elagib, N.A., & Elhag, M. (2011). Major climate indicators of ongoing drought in Sudan. *Journal of Hydrology*, 409(3-4), 612-625.
- Ensafae Moqaddam, T. (2007). Evaluation of several climatic drought indices and determining the most suitable index in Salt Lake basin, *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 14(2), 271-288. (In Persian).
- Eskandari Damaneh, H., Jafari, M., Behnia, M., Khorani, A., & Tiefenbacher, J.P. (2021). Testing possible scenario-based responses of vegetation under expected climatic changes in Khuzestan Province. *Air, Soil and Water Research*, 14, doi: 10.11786221211013332.
- Faridpour, M., Rezaei Banafsheh, M., Zaynali, B. & Asghari, S. (2019). Evaluate the effect geohydrological drought on groundwater quality for agricultural purposes (Case Study: Marand plain)", *Journal of Geographical Space*, 19(65), 17-36.
- Felch, R.E., & Rosenberg, N.J. (1978). Drought: Characteristics and assessment. Chapter 2 IN North American droughts AAAS Selected Symposia. Editor Norman J. Rosenberg. *American Association for the Advancement of Sciences*, 15, 25-42.
- Gocic, M. & Trajkovic, S. (2014). Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia, *Journal of Hydrology*, 510:110-123.
- Guttman, N.B. (1998). Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *J. the Amer. Water Resour*, 34(1), 121-131.
- Hayes, M.J. (2010). What is drought? National Drought Mitigation Center (NDMC), Home page: <http://www.drought.unl.edu/>.

- Hayes, M. (2004). Drought Indices, National Drought Mitigation Center, Available on: [Http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm](http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm).
- Hayes, M.J. (2001). Drought Indices, National Drought Mitigation Center, NOAA Press, 11p.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wihite, D.A. & Vanyarkho, O.V. (1998). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of American Meteorological Society*, 80, 429-438.
- Heim, R, Jr. (2002). A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1149-1165.
- Hellden, U. & Christian, T. (2008). Regional Desertification: A Global Synthesis, *Global and Planetary Change*, 64(3-4), 169-176.
- Hijabi, S., Irannejad, P. & Bazrafshan, C. (2018). Adjustment of PDSI Index Based on ALSIS in Karkheh Basin, *Iranian Journal of Water Resources Research*, 14(3), 2019-204.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. & Randen, F. (2005). Regional low flow and drought frequency analysis. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 7, 1083.
- Ivakumar, M.V.K., Motha, R.P., Wilhite, D.A. & Wood, D.A. (Eds.). (2011). Agricultural Drought Indices" Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain: Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011. 197 pp.
- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K. & Byun, H.R. (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather and Climate Extremes*, 8, 1-11.
- Jahangir, M, H., Babaei, S. & Norouzi, A. (2019). Assessment of Drought Status in Kermanshah Province Using SDI, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(13), 190-202.
- Jamal, M., Ebrahimi, H. & Mousavi Jahromi, H. (2020). Modification of hydrological drought index based on determining the most suitable possible distribution, *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(4), 135-151.
- Karamouz, M., Nazif S. & Ahmadi, A. (2013). Development of integrated drought evaluation and monitoring. system: Case study of Aharchay River Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18, 897-910.
- Karamouz, M., Rasouli K. & Nazif, S. (2009). Development of a hybrid index for drought prediction: case study. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 617-627.
- Karamouz, M., Torabi S. & Araghinejad, S. (2004). Analysis of hydrologic and agricultural droughts in central part of Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9, 402-414.
- Keyantash, J.A., & Dracup, J.A. (2004). An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resour Res*, 40(9), W09304.
- Khalili, A. & Bazrafshan, J. F. (2003). Multi-index meteorological efficiency evaluation in different climatic samples of Iran, *Nivar Journal*, 48, 79-93.
- Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., & Zand-Parsa, S. (2011). Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. *Water Resource Management*, 25(6), 1737-1757.
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J I., Beguería, S., García-Ruiz, J M. & Cuadrat, J.M. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386, 13-26.
- MacKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. In Proc, 8th Conf. on Applied Climatology, January 17-22, American Meteorological Society, Massachusetts, Pp. 179-184.

- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1995). Drought Monitoring with Multiple Time Scales. In Proc, 9th Conf. on Applied Climatology, January 15- 20, *American Meteorological Society, Massachusetts*, Pp. 233-236.
- Mendicino, G., Senatore, A. & Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Hydrology Journal*, 357, 282-302.
- Meyer, S.J. & Hubbard, K.G. (1995). *Extending the crop-specific drought index to soybean*. 9th Con-ference on Applied Climatology. Dallas, TX. Me-teorol. Soc., Boston.
- Miryaghoubzadeh, M.H., Khosravi, S.A. & Zabihi, M. (2019). A Review of Drought Indicators and Their Performance Review, *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 103-112. (In Persian)
- Moghadasi, M., Morid, S., Ghaemi, H. & Samani, J.M.V. (2005). Daily Drought Monitoring, Tehran Province. *Journal of Iranian Agriculture Science*, 36(1), 51-62. (In Persian)
- Moghim, M.M., Zarei, A. & Mahmoudi, M.R. (2020). Seasonal drought forecasting in arid regions, using different time series models and RDI index. *Wat. Clim. Change*, 11(3), 633-654.
- Moreira, E.E., Coelho C.A., Paulo A.A., Pereira L.S. & Mexia J.T. (2008). SPI-based Drought Category Prediction Using Loglinear Models. *Journal of Hydrology*, 354, 116-130.
- Morid, S, Smakhtin V, Moghaddasi M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26(7), 971-985.
- Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4):69-88.
- Nico, W.A.J., Lanen, V., & Loon, A.F. (2010). Indicators for Drought Characterization on A Global Scale. *Wageningen, Netherlands, Water and Global Change*, 24, 80-93.
- Nosrati, K. (2012). Regional analysis of hydrological drought in Sefidrood Drainage Basin using base flow index. *Journal of Range and Watershed Management. Iranian Journal of Natural Resources*, 65(2), 257-26. (In Persian)
- Nosrati, K. (2014). Evaluation of SPEI Index for Drought Detection in Different Climates of Iran, *Journal of Environmental Sciences*, 12(4), 63-74.
- Oladipo, E.O. (1985). A comparative performance analysis of there meterological drought indices. *International Journal of Climatology*, 5, 655-664.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought. Research Paper No 45, office of climatology, S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C. 58p.
- Panu, U.S. & Sharma T.C. (2002). Challenge in Drought Research: Some Perspectives and Future Directions, *Hydrological Science Journal*, 47, 19-30.
- Pathak, A.A. & Dodamani B.M. (2016). Comparison of Two Hydrological Drought Indices. *Perspectives in Science*, 8, 626-628.
- Piry, H., Rahdari, V. & Maleki, V.S. (2013). Investigation and comparison of the efficiency of four meteorological drought indexes in risk management of droughts in Sistan and Baluchestan province, *Irrigation and Water Engineering*, 11, 96-114. (In Persian)
- Piry, H. & Mobaraki, M. (2021). Comparison of rainfall-based drought indices with evapotranspiration-based indices in order to determine meteorological drought. *Environment and Water Engineering*, 7(2), 328-343.
- Potop V., & Možný M. (2011). The application a new drought index-Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur an antropogenních prostředí*, (2), 2-14.
- Pourhossein, S. & Soltani, S. (2018). Investigating the effect of precipitation regime and statistical period on balm and mooly drought index in Iran, *Journal of Water and Soil Science*, 22(2), 159-173.
- Ramezani Etedali, H., liaghat, A. & Parsinejad, M. (2012). Study of agricultural drought

- situation based on soil moisture in Qazvin synoptic station, *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(1), 2002-2012.
- Reza'i Moqaddam, M.H., Valizadeh, K., Rostamzadeh, E. & Rezaee, A. (2012). Evaluation of efficiency of MODIS data in drought estimation (Case study: Urmia Lake watershed), *Journal of Geography and Environmental Stability*, 2(5), 37-52.
- Richard, R. & Heim J. (2002). A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. *American Meteorological Society*, 1149-1166.
- Roshan, H., Habibnejad Roshan, M. & Shahedi, K. (2019). Study of groundwater level changes and drought indices of GRI and SWI in Sari neka plain, *Geographical Space Scientific Journal*, 19(67), 131-146.
- Salehi Tabas, M., Yaghoubzadeh, M., Zamani, Gh. & Amir Abadzadeh, M. (2020). Evaluation of weekly soil moisture and agricultural drought for future periods using DSSAT model (Case study, Birjand plain), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 776-785. (In Persian)
- Savari, M., Eskandari Damaneh, H. & Eskandari Damaneh, H. (2022). Drought vulnerability assessment: Solution for risk alleviation and drought management among Iranian farmers. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102654.
- Shafer, B. & Dezman L. (1982). *Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas*. Proceedings of the Western Snow Confer-ence. (Pp.164-175).
- Shamsipour, A., Alavipanah, K. & Mohammadi, H. (2010). Investigatin the efficiency of Noaa-AVHRR satellite plant and thermal indices in drought analysis in Kashan region, *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 17(3), 445-465.
- Shayegh, A., & Soltani, S. (2011). Comparison of meteorological drought indices in Yazd province, *Journal of Agricultural and Natural Resources Science and Technology, Soil and Water Sciences*, 57, 231-249.
- Smakhtin, V.U. & Hughes D.A. (2004). Review, Auto-mated Estimation and Analyses of Drought Indi-ces in south Asia. *International Wter Management Institute*. Colombo, Sri Lanka.
- Smith, K. (2000). Assessment Risk and Reduction Disasters. *Environmental Hazards Routledge Pub.*, London.
- Soleimani, F. & Bahremand, A. (2014). Hydrological Drought Analysis Using SDI Index in Halilrud Basin of Iran, *Environmental Resources Research*, 2, 47-56.
- Sough, M.Q., Abyaneh, H.Z. & Mosaadi, A. (2017). Development of ADI index based on principal component analysis in order to monitor agricultural drought in Golestan province, Iran, *Journal of Water Resources Research*, 13(2), 56-73.
- Sough, M.Q., Mosaadi, A. & Zare Abyaneh, H. (2016). *Necessity of drought monitoring based on multivariate indices*, 6th National Conference on Water Resources Management of Iran, University of Kurdistan, April 21-23, p. 1-10.
- Stagge, J.H., Tallaksen L.M., Gudmundsson, L., Van Loon, A.F. & Stahl, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040.
- Tabari, H., Nikbakht, J. & Talaei, P.H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resources Management*, 27(1), 11-22.
- Tigkas, D., Vangelis, H. & Tsakiris, G. (2012). Drought and climate change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment* 440, 33-41.
- Torabi Tabatabai, F. & Shamsnia, A. (2019). Comparison of different methods of estimation of potential evapotranspiration on the results of identification drought index (RDI) in Tehran province, *Journal of engineering water resources*, 11, 31-48.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. & Vangelis H. (2007). Regional drought assessment based on the

- reconnaissance drought index (RDI). *Water Resource Management*, 21, 821–833.
- Tsakiris, G. & Vangelis H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*. 9/10, 3-11.
- Tsakiris, G. & Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *J. Water Resour. Manage*, 18, 1-12
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2004). Re-regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21(5), 821–833.
- Xu, J., Ren, L.L., Ruan, X.H., Liu, X.F. & Yuan, F. (2012). Development of a physically based PDSI and its application for assessing the vegetation response to drought in northern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117(D8).
- Van Loon, A.F. (2013). On the propagation of drought. Wageningen University.
- Vicente-Serrano, S.M, Beguería, S. & López-Moreno, J.I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- Wilhite, D.A. & Glantz M.H. (1985). Understanding The Drought Phenomenon, The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- Willeke. G., Hosking J.R.M., Wallis J.R. & Guttman N.B. (1994). The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report, U.S. Army Corps of Engineers.
- Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A. & Svoboda, M.D. (2005). The effect of the length of record on the Standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*, 25, 505-520.
- Wu, H., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., Wilhite, D. & Wen, A.F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid location and dry season. *International Journal of Climatology*, 27, 65-79.
- Yan, D., Shi X., Yang Z., Li, Y., Zhao K. & Yuan, Y. (2013). Modified Palmer drought severity index based on distributed hydrological simulation. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Zoljoodi, M. & Didevarasl, A. (2013). Evaluation of spatial-temporal variability of drought events in Iran using Palmer drought severity index and its principal factors (through 1951-2005). *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(2), 193-207.
- Zoljudi, M. (2017). Evaluation of crop moisture index efficiency in drought monitoring, *Nivar Journal*, 2017, 54-57.

The use of rainwater in sloping lands for the cultivation of Damask rose

Amir Moradinejad^{1*}, Mahdie Karimie², Rashin Pourmatin³, Abass Saberie⁴

1- Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Arak, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Iran

2- Ph.D. in horticulture, expert in the field of agricultural Jihad management in Khandab city, Iran

3- M.Sc. of horticulture and head of extension department of Agriculture-Jahad Organization of Markazi Province, Arak, Iran

4- M.Sc. of horticulture and expert in agriculture and horticulture in Shazand city, Iran

*Corresponding author: amir_24619@yahoo.com

(Received: 15 August 2022

Revised: 23 August 2022

Accepted: 03 October 2022)

Extended Abstract

Introduction: Water limitation is regarded as one of the most important obstacles to agricultural development in arid and semi-arid climate regions. Rainwater harvesting is one of the most significant management methods of rainwater exploitation to deal with water shortage. Due to the wide variety of rainwater extraction methods, in choosing the appropriate method, special attention should be paid to features such as land topography, climate, soil type and socio-economic factors and the amount of water consumption to apply extraction methods in each region. In this research, the promotion of water catchment surface systems in the establishment and development of marigold cultivation in rainfed conditions has been discussed. The use of effective strategies to increase productivity in agriculture has been the focus of researchers for a long time. Any process that leads to the optimal use of rainwater and makes it possible to use it better is known as rainwater harvesting. The aim of this research is to promote the systems of water catchment surfaces in the establishment and development of rose cultivation in rainy conditions.

Materials and methods: The research area was chosen on the northern slope of the village with a slope of about 20%. Soil depth was measured by sampling. An 80 cm deep nationwide channel was dug downstream of the systems with an excavator. The channel was filled with a mixture of straw and stubble and a combination of animal manure with soil (in the amount of 20% by volume) in order to increase the moisture retention capacity in the soil. To carry out the present research, 12 rectangular catchment systems with dimensions of 6×5 meters were built using earth mounds on slopes with a 20% slope. These systems, due to being located on the slope and carrying out a series of measures in their beds, cause the production and direction of runoff towards the target point (seedling cultivation site). Downstream of each system, a hole was considered for planting seedlings. The research was carried out in the form of three system treatments including: cleaned ground using a pebble filter in the seedling hole, semi-insulated system treatment using a pebble filter in the seedling hole and a control (natural ground cover) according to local custom. To make a semi-insulated system, the vegetation on the surface of the system was first removed and the system bed was insulated using thick nylon and a 3 cm layer of gravel on it. Also, the downstream part of the system at the seedling pit was paved using the rubble in the area to reduce evaporation. Gravel filters are a column of gravel that is built in the upstream part of the seedling using two polyca pipes with a diameter of 10 cm and a depth of 40 to 50 cm during embankment at the foot of the seedling. Gravel was poured inside the pipes. In order to establish a hydraulic connection between the gravel column and the soil of the pit and its surroundings, the lower part of the pipe was meshed. These filters are used to optimally penetrate the extracted runoff to the depth of tree root development. To build the bare system, vegetation and pebbles were collected from the surface of the system.

Results and Discussion: In variance analysis, the effect of irrigation treatments on the height trait in 2017 with a probability level of one percent ($P<0.01$) and in 2018 and 2019 the effect of treatment on the height trait at the probability level ($P<0.05$) was significant. The highest length of the height belongs to the third treatment (with filter and semi-insulating system) and the lowest height and crown belongs to the control treatment. Regarding the effect of the treatments on the crown length trait, it is significant in all years 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021. In 2019, it is significant at the level of one percent ($P<0.01$) and in the years 2017, 2018, 2014 and 2011 at the probability level ($P<0.05$). In the years 2021 and 2022, the effect of the treatments on the height trait is not significant. The results show that the effect of the treatments on the crown is greater than that on the height. The highest crown was obtained in the third treatment (with filter and semi-insulated system) and the lowest crown was obtained in the control treatment. According to figure (5), in the years 2017, 2018 and 2019, the total rainfall in the spring season was 247, 285 and 187 mm, respectively, and in the years 2021 and 2022, it was 31 and 14.5 mm, respectively. Rainfall has a direct effect on the treatments. In fact, the amount of rainfall and its management in terms of systems of catchment surfaces, filters and insulation have a direct effect on the amount of moisture at the base of the plant, the water required by the plant, and the vitality of the rose.

Conclusions: The results showed that in the analysis of variance, the effect of irrigation treatments on the height trait in 2017 was significant with a probability level of one percent ($P<0.01$) and in 2018 and 2019, the effect of the treatment on the height trait was significant at the probability level ($P<0.05$). The highest length of the height belongs to the third treatment (with filter and semi-insulating system) and the lowest height and crown belongs to the control treatment. Regarding the effect of treatments on crown length in all years 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021, it is significant. In 2019, it is significant at the level of one percent ($P<0.01$) and in the years 2017, 2018, 2014 and 2011 at the probability level ($P<0.05$). In the years 2021 and 2022, the effect of the treatments on the height trait is not significant due to the the effect of spring rainfall on filter treatments and semi-insulated and filter systems.

Keywords: Inclined surfaces, insulated surfaces, rain catchment, Damask rose, Rainfed.

Citation: Moradinejad, A., Karimie, M., Pourmatin, R., & Saberie, A. (2022). The use of rainwater in sloping lands for the cultivation of Damask rose. *Integrated Watershed Management*, 2(3), 31-43. doi: 10.22034/iwm.2022.560245.1043

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>).



استفاده از آب باران در اراضی شیب‌دار جهت کشت گل محمدی

امیر مرادی نژاد^{۱*}، مهدیه کریمی^۲، راشین پور متین^۳، عباس صابری^۴

۱- بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

۲- دکتری باغبانی، کارشناس عرصه و پهنه مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان خنداب، ایران

۳- کارشناس ارشد باغبانی و رئیس اداره ترویج سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی، اراک، ایران

۴- کارشناس ارشد باغبانی و کارشناس زراعت و باغبانی شهرستان شازند، ایران

*نویسنده مسئول: amir_24619@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴

چکیده

محدودیت آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع توسعه کشاورزی، در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. استحصال آب باران یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی است. هدف این تحقیق، ترویج سامانه‌های سطوح آبیگر در استقرار و توسعه کشت گل محمدی در شرایط دیم است. در این تحقیق عرصه‌ای در روستای کتیران شازند با شیب حدود ۲۰٪ انتخاب و سطوح آبیگر باران در قالب سه تیمار و پنج تکرار در اراضی شیب‌دار آن اجرا شد. سامانه‌های سطوح آبیگر شامل تیمار زمین تمیز شده با استفاده از فیلتر در چاله نهال، تیمار سامانه نیمه عایق با استفاده از فیلتر در چاله نهال و شاهد طبق عرف محل اجرا شد. هر سال خصوصیات ارتفاع، تاج پوشش و زنده‌مانی نهال‌های گل محمدی در آخر فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر روی صفت ارتفاع در سال‌های ۱۳۹۷ با سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) و در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اثر تیمار روی صفت ارتفاع در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار شد. بیشترین ارتفاع نهال مربوط به تیمار سامانه نیمه عایق با فیلتر و کمترین ارتفاع و تاج مربوط به تیمار شاهد است. اثر تیمارها روی صفت طول تاج در تمام سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ معنی‌دار است. در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اثر تیمارها روی صفت ارتفاع معنی‌دار نبود. به‌طورکلی احداث سطح عایق برای جمع‌آوری آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است ولی برای کاهش هزینه احداث باید فناوری آن بهبود یابد. توصیه می‌شود طرح‌ها و برنامه‌های ترویجی و حفاظتی با اولویت زمین‌هایی که شیب بیشتری دارند، اجرا شود.

واژه‌های کلیدی: سطوح شیب‌دار، سطوح عایق، آبیگر باران، گل محمدی، دیم.

استناد: مرادی نژاد، ا.، کریمی، م.، پورمتین، ر. و صابری، ع. (۱۴۰۱). استفاده از آب باران در اراضی شیب‌دار جهت کشت گل محمدی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۳۱-۴۳.

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 قابل‌دسترس است.

مقدمه

محدودیت آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع توسعه کشاورزی به‌خصوص در مناطق اقلیمی خشک و نیمه-خشک محسوب می‌شود. بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آبی بوده و روند افزایش جمعیت و نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی، باعث تحمیل فشار مضاعف بر منابع آب گردیده است. در شرایط خشک که میزان بارندگی کم و پراکنش نامنظم دارد، دسترسی به آب شیرین چندان مقدور نیست. در این شرایط جمع‌آوری آب باران به‌اضافه مقدار رطوبتی که در خاک ذخیره‌شده است می‌تواند بسیار مفید باشد. استحصال آب باران و استفاده از آن در بخش کشاورزی، یکی از روش‌هایی است که از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع استحصال آب باران یکی از شاخص‌ترین روش‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی است. با توجه به تنوع روش‌های استحصال آب باران، باید در انتخاب روش مناسب به ویژگی‌هایی از جمله توپوگرافی زمین، اقلیم، نوع خاک و عوامل اقتصادی اجتماعی و میزان مصرف آب در هر منطقه توجه جدی نمود. از دیرباز استفاده از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری در کشاورزی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هر فرآیندی که منجر به استفاده بهینه از آب باران شود و کاربرد بهتری برای آن را فراهم آورد به‌عنوان استحصال آب باران شناخته می‌شود (Meter *et al.*, 2014). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد استحصال آب باران از زمان‌های گذشته مورد توجه تمدن‌های بشری بوده است. گزارش شده است که استحصال آب باران نخستین بار در منطقه‌ای در فلسطین اشغالی اجرا شده است (Stanton, 2005). نوع روش مورد استفاده در طراحی سطوح آبیگر باران برای باغات دیم در مناطق مختلف متفاوت بوده و مشخصات فنی و هندسی خاصی دارند. Rahimpour و همکاران (۲۰۱۶) میزان رواناب‌های قابل استحصال از ۴۳۳ هکتار از مناطق توده سنگی بالای ۹۰ درصد در شهرستان

طرقه را برای آبیاری تکمیلی نهال‌های قابل کشت ۸۶۶۰۰۰ مترمکعب برآورد کردند. Hashmati و همکاران (۲۰۱۷) تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح آبیگر باران در کنترل روند خشکیدگی بلوط در جنگل‌های زاگرس انجام و نشان دادند که تیمار بانکت + قرق بعد از سه سال، موجب کاهش خشکیدگی ۳۷ پایه و احیای ۱۹ پایه در هکتار (در مقایسه با تیمار شاهد) گردید. اگر فقط ۱۰ درصد رواناب حاصله از مجموع ۳۲۱ هکتار اراضی توده سنگی حاشیه جنوبی شهر مشهد توسط سازه‌ها و تجهیزات جانبی جمع‌آوری و مورد بهره‌برداری قرار گیرد، قابلیت تولید ۶۰۰۰ مترمکعب برای آبیاری حدود ۱۴۰۰۰ نهال فراهم خواهد شد. Hosseini و همکاران (۲۰۱۴) بازده اقتصادی و فنی روش‌های مورد استفاده جهت استحصال آب باران شامل پیتینگ، بانکت، تراس‌بندی، آب‌انبار و کنتور فارو را ارزیابی و نشان دادند که با توجه به سودآوری پروژه ۲/۰۴ درصد و نرخ بازدهی داخلی (۰/۶۳ درصد)، اجرای طرح مذکور از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. Jahantigh (۲۰۱۶) در تحقیقی نشان داد که از ۲۲/۴۴ میلیون مترمکعب حجم رواناب سالانه حوزه ترش‌آب زابل، به‌طور متوسط ۵۱۸۰۰ مترمکعب آن از طریق سامانه سطوح آبیگر تورکینست کنترل می‌گردد. در تحقیق دیگری Qiang و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که سختی سطح سامانه سطوح آبیگر باران در سه سامانه هلالی، لوزی و مسطح، از نظر رطوبت خاک مؤثرتر از شکل سامانه عمل کرد، به‌نحوی که سامانه با پوشش پلاستیک ذخیره رطوبت بیشتری نسبت به سامانه سنگفرش و شاهد در خود ذخیره نمود. به‌منظور دستیابی به آب باران، باید سیستم استحصال در یک منطقه اجرا و با حداکثر ظرفیت نگهداری ذخیره شود تا برای اهداف مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Traboulsi and Traboulsi, 2015). سوابق نشان می‌دهد استحصال آب باران اولین بار در فلسطین اشغالی در منطقه‌ای با متوسط بارندگی ۹۰ میلی‌متر انجام شد

خراسان رضوی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌عنوان یک روش ساده و در دسترس با تلفیق در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بر اساس عوامل ژئومورفولوژیکی استفاده نمود. ساخت سطوح آبیگر باران به‌منظور ذخیره نزولات آسمانی و بهره‌برداری مناسب از بارندگی جهت ایجاد پوشش گیاهی و بهبود محیط‌زیست روش مناسبی برای مناطق کم باران به‌خصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Yazar et al., 2014; Kahinda and Taigbenu, 2011). پژوهش‌های متعددی در دنیا در خصوص ایجاد سامانه‌های آبیگر و عملکرد آن‌ها صورت پذیرفته است. در همین راستا Yi و همکاران (۲۰۱۰) در کشور چین نشان داد که ایجاد سطوح آبیگر باران با پوشش پلاستیکی الگوی مناسبی مطالعات برای جمع‌آوری آب باران و مصرف آن برای افزایش محصول ذرت دانه‌ای بوده است. Wang و همکاران (۲۰۰۹) عملکرد سامانه‌های سطوح آبیگر در شمال کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که این تأسیسات نقش مثبتی در ذخیره آب در مناطق خشک و کم آب دارد که چنین وضعیتی شرایط را برای رشد و نمو گیاهان فراهم می‌نماید. Panahi و Bani Asadi (۲۰۱۷) نیز بر این باورند که جمع‌آوری نزولات آسمانی در سامانه‌های سطوح آبیگر باران سبب رفع بخشی از نیاز آبی بهره‌برداران می‌گردد که چنین رویکردی افزایش توان اقتصادی آنان را به همراه دارد. با توجه به بحران فراگیر آب و کاهش منابع آب در دسترس بخش کشاورزی، مسئله مدیریت بارش‌ها برای مصارف کشاورزی با بهره‌گیری از سامانه‌های سطوح آبیگر باران، به‌عنوان راهکاری مناسب برای افزایش بهره‌برداری مؤثر از منابع آبی به‌خصوص در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این تحقیق سامانه‌های سطوح آبیگر شامل تیمار زمین تمیز شده با استفاده از فیلتر در چاله نهال، تیمار سامانه نیمه عایق با استفاده از فیلتر در چاله نهال و شاهد طبق عرف محل اجرا شد. هدف ترویج بهترین

که موجب افزایش تولید علوفه در منطقه گردید. در استرالیا نیز سطوح آبیگر ناودانی شکل به‌منظور هدایت آب باران به باغات مورد استفاده قرار گرفت که نتایج به‌دست‌آمده به‌صورت دستورالعملی برای تأمین آب اضطراری مناطق خشک در این کشور اجرا گردید (Stanton, 2005). یک راهبرد کلیدی در کشت محصولات دیم با هدف کاهش ریسک تولید محصول، تأکید بر سرمایه‌گذاری روی سامانه‌های استحصال آب باران برای انجام آبیاری تکمیلی کشت‌های دیم است (Rockstroma et al., 2009). استحصال آب باران برای انجام آبیاری تکمیلی اراضی دیم در بسیاری از مناطق خشک با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور، آب باران از اراضی مجاور جمع‌آوری و ذخیره می‌شود و در زمان کمبود آب به مصرف گیاه می‌رسد. Nekooimehr و Eliasi (۲۰۱۷) با مطالعه اثربخشی استفاده از روش‌های استحصال آب باران در بهبود شاخص‌های گیاهی در شرایط کشت دیم گزارش نمودند که بین تیمارهای مختلف سطوح آبیگر باران از لحاظ شاخص‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج ایشان نشان داد استفاده از روش‌های استحصال آب باران (سامانه پلاستیک و سنگریزه) برای شرایط کشت دیم در اراضی شیب‌دار قابل توصیه است. Soltani و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور شناسایی محل‌های مناسب برای احیاء منابع آب زیرزمینی با استفاده از استقرار سیستم‌های جمع‌آوری آب باران از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوزه آبخیز خسروآباد شهرستان سنقر استفاده نمودند. برای این منظور معیارهای پوشش گیاهی، تاج پوشش، درصد و جهت شیب، بارندگی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، ژئومورفولوژی، طبقات ارتفاعی و فرسایش خاک در نظر گرفته و بر اساس آن‌ها نقشه مناطق مناسب برای تغذیه منابع آب زیرزمینی تهیه شد. Eshghizadeh (۲۰۱۸) به‌منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل استحصال آب باران در حوزه آبخیز کلات

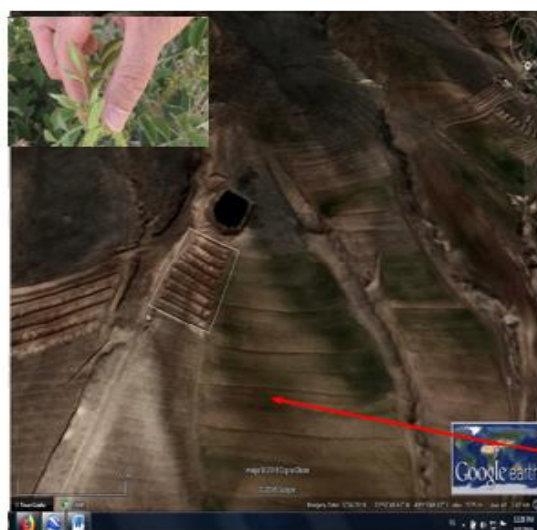
زمینی دیم‌زاری در دامنه شمالی با شیب حدود ۲۰ درصد با مساحت حدود ۳۰۰۰ مترمربع به باغ دیم اختصاص داده شده است. در جهت عمود بر شیب کانال‌هایی با فواصل حدود ۶ متر حفر شده است. برای حفر کانال ابتدا خاک لایه رویی که لایه زراعی است برداشته شده و جداگانه انباشته شده است. سپس لایه زیرین گودبرداری شده و خاک‌های آن در سمت پایین-دست به صورت پشته انباشته شده است. برای پر کردن کانال خاک زراعی همراه کود دامی و پسماندهای کشاورزی مخلوط شده سپس اقدام به کشت نهال‌های گل محمدی شده است. آب مورد نیاز گیاهان از بارش و جاری شدن رواناب که در پروفیل خاک ذخیره شده است تأمین شده است. در تابستان سال اول (۱۳۹۷) نهال‌ها به صورت کمکی آبیاری شدند.

تیمار سامانه‌های سطوح آبخیز در استقرار و توسعه کشت گل محمدی در شرایط دیم و استفاده بهینه از نزولات جوی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پروژه در روستای کتیران از توابع شهرستان شازند استان مرکزی انجام شد. این روستا در فاصله ۲۰ کیلومتری غرب شهرستان شازند و در دامنه تپه‌ای به طول جغرافیایی "۴۰' ۱۶' ۴۹" و "۳۷' ۵۳' ۳۳" و ارتفاع ۲۱۴۳ متری از سطح دریا قرار دارد. طرح الگویی باغ دیم گل محمدی در روستای کتیران از توابع شهرستان شازند انجام شده است. در جنوب این روستا



شکل ۱- محل اجرای پروژه در نقشه استان و کشور

Figure 1- The image of the location of the project on the map of the province and the country

حاضر، تعداد ۱۵ سامانه آبخیز مستطیلی به ابعاد ۵×۶ متر با استفاده از پشته‌های خاکی بر روی دامنه‌های با شیب ۲۰ درصد احداث گردید. این سامانه‌ها با توجه به قرار گرفتن در شیب دامنه و انجام یکسری تمهیدات در بستر آن‌ها، سبب تولید و هدایت رواناب به سمت نقطه هدف (محل کشت نهال) می‌شوند. در پایین‌دست هر سامانه یک چاله برای کاشت نهال در نظر گرفته شد. پژوهش در قالب سه تیمار سامانه شامل

روش تحقیق:

عرصه تحقیق در دامنه شمالی روستا با شیب حدود ۲۰ درصد انتخاب شد. با نمونه‌برداری، سنجش عمق خاک انجام شد. کانال سراسری به عمق ۸۰ سانتی‌متر با بیل مکانیکی در پایین‌دست سامانه‌ها حفر گردید. کانال با مخلوط کاه و کلش و ترکیب کود دامی با خاک (به میزان ۲۰ درصد حجمی) به منظور افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک پر شد. برای انجام پژوهش

با توجه به متوسط بارندگی در ماه‌های مختلف با استفاده از آمار موجود و مقایسه نیاز آبی محاسباتی، ابعاد سامانه محاسبه و طراحی شد. ابعاد سامانه‌ها بر اساس بارش با دوره بازگشت ده‌ساله و ضریب رواناب تعیین شد. در مرحله بعد نهال گلدانی گل محمدی به تعداد موردنیاز تهیه شد. سپس یک نهال گل محمدی در کانال پایین دست هر یک از سامانه‌ها در وسط کشت شد. فیلتر سنگریزه‌ای به قطر ۱۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متر در بالادست چاله نهال به منظور نفوذ سریع رواناب در تیمارهای فیلتردار اجرا شد. ذخیره شدن رواناب بارش‌های زمستانه و بهاری در لایه رطوبتی چاله نهال به تأمین نیاز آبی گیاه در فصل خشک کمک می‌کند. با این وجود گیاه نیاز به آبیاری کمکی دارد. مقدار آب، بسته به نیاز آبی گیاه است؛ لذا در سال اول و دوم منصوبات آبیاری کمکی در فصل تابستان فراهم و آبیاری کمکی انجام شد. آبیاری تکمیلی هر سی روز یک‌بار با ۲۰ لیتر آب انجام شد. در آبیاری نهال‌ها آب یکجا در چاله ریخته شده است. در چاله‌هایی که مجهز به فیلتر شنی بودند در زمان کوتاهی آب از طریق آن زهکش شد؛ زیرا فیلتر از نوع شن درشت و مساحت آن ۷۰ سانتی‌متر مربع است. با تأمین آب نهال‌ها و آبیاری تکمیلی و رشد نهال‌ها، هر سال داده‌برداری شاخص-های گیاهی شامل ارتفاع نهال، سطح تاج پوشش، میوه دهی و زنده‌مانی نهال‌ها در همه تیمارها به دقت اندازه‌گیری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

زمین تمیز شده با استفاده از فیلتر سنگریزه‌ای در چاله نهال، تیمار سامانه نیمه عایق با استفاده از فیلتر سنگریزه‌ای در چاله نهال و شاهد (پوشش طبیعی زمین) طبق عرف محل اجرا شدند. برای ساخت سامانه عایق، ابتدا پوشش گیاهی سطح سامانه حذف شد و با استفاده از نایلون ضخیم و یک لایه ۳ سانتی‌متری از سنگریزه بر روی آن، بستر سامانه عایق گردید. همچنین قسمت پایین دست سامانه در محل چاله نهال جهت کاهش تبخیر، با استفاده از قلوه‌سنگ‌های موجود در منطقه سنگفرش شد. شکل‌های (۲) و (۳) نحوه احداث سامانه عایق (پلاستیک و سنگریزه) را نشان می‌دهد. فیلترهای سنگریزه‌ای، ستونی از سنگریزه است که در قسمت بالادست نهال با استفاده از دو لوله پلیکا به قطر ۱۰ سانتی‌متر و عمق ۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر در هنگام خاک‌ریزی در پای نهال احداث گردیده است. در داخل لوله‌ها سنگریزه ریخته شد. جهت برقراری ارتباط هیدرولیکی بین ستون سنگریزه و خاک چاله و اطراف آن، قسمت پایین لوله مشبک گردید. این فیلترها به منظور نفوذ بهینه رواناب استحصال شده به عمق توسعه ریشه درخت به کاررفته است. برای احداث سامانه لخت، پوشش گیاهی و سنگریزه‌های سطح سامانه جمع‌آوری شد. با زدن غلتک بر روی سطح خاک امکان افزایش رواناب مهیا گردید. برای انجام کار، نوع گونه گل محمدی انتخاب و سپس با جمع‌آوری داده‌های بارندگی منطقه، نیاز آبی گل محمدی با توجه به روش‌های موجود محاسبه شد.



شکل ۲- انتخاب محل اراضی دیم شیب‌دار جهت کاشت گل محمدی (کانال‌های پر شده با خاک و کود) در روستای کتیران شازند
Figure 2- Selection of the location of sloped rainfed land for planting Damask rose (canals filled with soil and fertilizer) in Zaheerabad village of Shazand



شکل ۳- الف: مراحل اجرای سامانه و تیمارهای کاشت گل محمدی، ب: بازدید طرح همیار از نحوه اجرای طرح در اراضی شیب‌دار روستای کتیران شهرستان شازند

Figure 3- A: The steps of implementing the system and treatments of Damask rose planting, B: Hamyar group observing the implementation of the plan in the sloping lands of Katiran village, Shazand city

۴ مورد و برای ۱۴۰۱ هیچ بارندگی در دوره ۵ ماهه بالای ۱۰ میلی‌متر وجود نداشت. در مجموع در این دوره ۵ ساله در فصل آبیاری از ۱۸۸ مورد بارندگی تعداد ۲۹ مورد باران بالاتر از ۱۰ میلی‌متر رخ داده است. در این دوره زمانی ۱۵/۴ درصد بارش‌های در طول دوره بالاتر از ۱۰ میلی‌متر و ۸۴/۶ درصد آن کمتر از ۱۰ میلی‌متر است؛ بنابراین در این عرصه جمع‌آوری رواناب امکان‌پذیر است. همچنین میانگین بارش ماهانه منطقه در دوره آماری ۱۳۹۷-۱۴۰۱ مطابق جدول (۲) حدود ۴۲۴/۰۸ میلی‌متر برآورد شده است.

نتایج

نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی در منطقه ایستگاه سینوپتیک شازند است. داده‌های روزانه باران ایستگاه از هواشناسی استان دریافت شد (جدول ۱). با توجه به آمار موجود در ایستگاه، در فصول آبیاری از اول فروردین تا آخر مهرماه برای این ۵ سال (۱۴۰۱-۱۳۹۷)، تعداد ۱۸۸ بارندگی رخ داده است. به ترتیب برای سال ۱۳۹۷ تعداد باران بالای ۱۰ میلی‌متر ۵ رخداد، برای سال ۱۳۹۸ تعداد باران ۲ مورد، برای سال ۱۳۹۸ تعداد باران ۲ مورد، برای سال ۱۴۰۰ تعداد باران

جدول ۱- تعداد بارندگی در فصول نیازمند آبیاری در منطقه شازند

Table 1- The amount of rainfall in the seasons of need for irrigation in Shazand region

سال	تعداد بارندگی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	مجموع
1397	تعداد بارندگی	17	10	1	2	2	0	0	32
	بالاتر از ۱۰ میلی‌متر	5	13	0	0	0	0	0	8
1398	تعداد بارندگی	13	17	10	0	0	2	10	52
	بالاتر از ۱۰ میلی‌متر	2	7	1	0	0	0	0	10
1399	تعداد بارندگی	11	13	1	0	1	1	5	32
	بالاتر از ۱۰ میلی‌متر	2	1	0	0	0	0	1	4
1400	تعداد بارندگی	15	9	0	2	0	0	2	28
	بالاتر از ۱۰ میلی‌متر	4	2	0	0	0	0	1	7
1401	تعداد بارندگی	5	6	2	0	1	0	1	15
	بالاتر از ۱۰ میلی‌متر	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۲- میانگین بارش (میلی‌متر) ماهانه ایستگاه شازند در دوره آماری ۵ ساله (۱۳۹۶-۱۴۰۰)

Table 2 - Average monthly rainfall (mm) of Khandab station in the 5-year statistical period (2016-2021)

سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ماه بارش (mm)
428.08	0.40	0.48	1.42	5.14	39.6	62.3	64.5	85.5	37.9	51.2	45.6	29.7	بارش (mm)

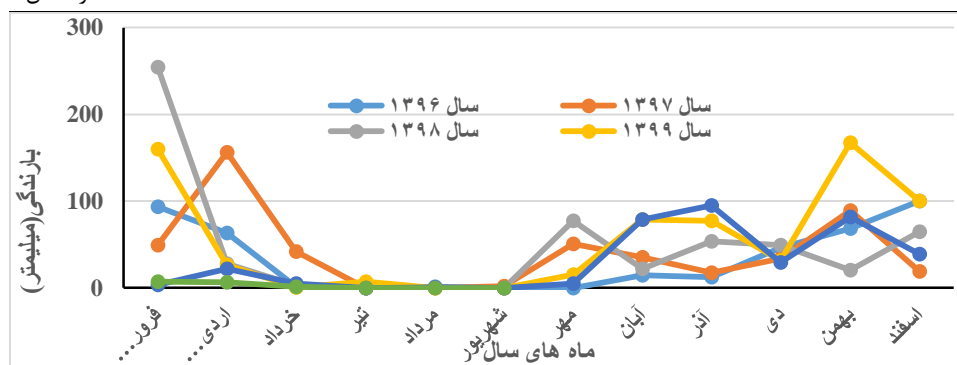
میلی‌متر بوده است که از این مقدار ۸/۵ درصد در فصل بهار، ۰/۲۲ درصد در فصل تابستان، ۴۹/۶۶ درصد در فصل پاییز و ۴۱/۵ درصد در فصل زمستان رخ داده است. شکل (۴) بارش در ماه‌های مختلف سال‌های پروژه در منطقه شازند را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست بیشترین بارندگی در فصل بهار مربوط به سال ۱۳۹۸ و کمترین آن مربوط به سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰ است.

جدول (۳) بارندگی فصلی (میلی‌متر) و درصد آن در هر فصل و در سال‌های مختلف ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ در منطقه شازند را نشان می‌دهد. مثلاً در سال ۱۳۹۸ مقدار کل بارندگی سالانه در ایستگاه شازند ۵۷۳/۶ میلی‌متر بوده است که از این مقدار ۵۰ درصد بارندگی در فصل بهار، ۰/۰۶ درصد در فصل تابستان، ۲۷ درصد در فصل پاییز و ۲۳/۵ درصد در فصل زمستان رخ داده است. در سال ۱۴۰۰ نیز مجموع بارندگی سالانه ۳۶۰

جدول ۳- بارندگی فصلی در سال‌های مختلف (میلی‌متر) در منطقه شازند

Table 3- Seasonal rainfall in different years (mm) in Shazand region

سال	1396	1397	1398	1399	1400	1401
بهار	157.5	247.1	285.4	186.8	30.7	14.6
تابستان	1.3	2	0.4	7	0.8	0
پاییز	27.2	103.44	153.4	171.2	178.81	
زمستان	214.9	142.03	134.4	298.91	149.6	
مجموع	400.9	494.57	573.6	663.91	359.91	14.6
مقدار برحسب درصد نسبت به کل سال						
بهار	39.28661	49.76136	49.75593	28.13634	8.527778	0
تابستان	0.32427	0.402763	0.069735	1.05436	0.222222	0
پاییز	6.784734	20.8309	26.74338	25.78663	49.66944	0
زمستان	53.60439	28.60221	23.43096	45.02267	41.55556	0



شکل ۴- بارش در ماه‌های مختلف سال‌های پروژه در منطقه شازند

Figure 4- Rainfall in different months of the project years in Shazand region

بر اساس دوره آماری انتخابی با توجه به داده‌های بارندگی، کمترین بارش سالانه ایستگاه شازند در سال ۱۴۰۰ حدود ۳۶۰ میلی‌متر، بیشترین آن در سال ۱۳۹۸ حدود ۵۷۳/۶ میلی‌متر و میانگین ۴۹۸/۵ میلی‌متر است. جدول (۴) میزان تأمین آب از طریق بارندگی و نیاز خالص آبیاری را بیان می‌کند. با توجه به میانگین

بر اساس دوره آماری انتخابی با توجه به داده‌های بارندگی، کمترین بارش سالانه ایستگاه شازند در سال ۱۴۰۰ حدود ۳۶۰ میلی‌متر، بیشترین آن در سال ۱۳۹۸ حدود ۵۷۳/۶ میلی‌متر و میانگین ۴۹۸/۵ میلی‌متر است. جدول (۴) میزان تأمین آب از طریق بارندگی و نیاز خالص آبیاری را بیان می‌کند. با توجه به میانگین

بارش سالانه انتخاب محل اجرای پروژه تحقیقی ترویجی کاشت گل محمدی از نظر بارش مناسب است.

جدول ۴- ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق واقعی، بارندگی مؤثر و نیاز خالص آبیاری در گیاه گل محمدی در منطقه شازند
Table 4- Vegetative coefficient, actual evaporation and transpiration, effective rainfall and net irrigation requirement in the damask rose in Shazand region

ماه	دهه	ضریب گیاهی	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز)	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در ده روز)	بارندگی مؤثر (میلی‌متر در ده روز)	آبیاری (میلی‌متر در ده روز)
	1	-	-	-	-	-
فروردین	2	0.2	0.83	5.8	15.7	0
	3	0.20	0.91	9.1	26.3	0
	1	0.31	1.57	15.7	20.2	0
اردیبهشت	2	0.46	2.56	25.6	12.2	13.4
	3	0.50	3.07	30.7	6.9	23.9
	1	0.50	3.22	35.4	5.2	30.2
خرداد	2	0.50	3.35	33.5	3.5	29.9
	3	0.47	3.30	33	1.3	31.7
	1	0.44	3.18	31.8	0.9	30.9
تیر	2	0.40	3.07	30.7	0.3	30.4
	3	0.36	2.92	29.2	0	29.2
	1	0.33	2.54	27.9	0	27.9
مرداد	2	0.29	2.18	21.8	0.2	21.6
	3	0.25	1.87	18.7	0.2	18.5
	1	0.22	1.460	16.1	0.2	15.9
کل				365.1	93.1	272

*در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد میزان نیاز آبی ۱۵ درصد کمتر منظور می‌شود.

به علت وجود رطوبت در زمین در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد میزان نیاز آبی ۱۵ درصد کمتر است. با توجه به بارندگی مؤثر منطقه، گل محمدی از دهه دوم اردیبهشت تا دهه اول شهریور به آبیاری تکمیلی نیاز دارد.

آب خالص موردنیاز و نیاز خالص آب آبیاری برای گل محمدی در جدول (۵) محاسبه شده است. در این جدول نیاز آبی گیاه و مقداری که از طریق بارندگی مؤثر تأمین می‌شود، برآورد شده است. بارندگی فروردین‌ماه نیاز آبی گیاه گل محمدی را تأمین می‌کند.

جدول ۵- آب خالص موردنیاز و نیاز خالص آب آبیاری (برحسب مترمکعب در هکتار، بدون احتساب راندمان)
Table 5- net water requirement and net irrigation water requirement (in cubic meters per hectare, excluding efficiency)

نام گیاه	دوره محاسبه آب موردنیاز (روز)	آب خالص موردنیاز	تأمین شده از بارندگی	نیاز خالص آب آبیاری (کل)	نیاز خالص آب آبیاری (کل)
گل محمدی	90	365	93	272	204

۱۳۹۹ اثر تیمار روی صفت ارتفاع در سطح احتمال $(P < 0.05)$ معنی‌دار شد. بیشترین طول ارتفاع مربوط به تیمار سوم (با فیلتر و سامانه نیمه عایق) و کمترین ارتفاع و تاج مربوط به تیمار شاهد است.

اثر تیمارها بر روی صفات ارتفاع و تاج: با توجه به جداول (۶) و (۷) در تجزیه واریانس، اثر تیمارهای آبیاری بر روی صفت ارتفاع در سال‌های ۱۳۹۷ با سطح احتمال یک درصد $(P < 0.01)$ و در سال ۱۳۹۸ و

جدول ۶- تجزیه واریانس صفت ارتفاع در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

Table 6- Variance analysis of the height trait in Damask rose in Shazand city

میانگین مربعات (سال ۱۴۰۱)	میانگین مربعات (سال ۱۴۰۰)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۹)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۸)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۷)	درجه آزادی	منابع تغییر
122.5778786 ns	113.9136258 ns	75.039730 *	67.12841 *	1.32074307 **	2	تیمار
44.5554505	43.6743285	18.6772095	49.8583	0.11281505	9	اشتباه
11.83232	12.38800	10.50736	32.17782	2.266277	-	ضریب تغییرات (/)

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفت ارتفاع در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

Table 7- Comparison of the average effect of different irrigation treatments on the height trait of the Damask rose in Shazand city

1401	1400	1399	1398	1397	تیمار
51.02	48.054	36.860 b	25.527 b	14.225 b	شاهد
56.131	53.263	41.012 ab	32.475 a	14.864 a	با فیلتر
62.08	58.726	45.520 a	36.71 a	15.3725 a	با فیلتر و سامانه نیمه عایق

و ۱۴۰۱ اثر تیمارها روی صفت ارتفاع معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد اثر تیمارها بر روی تاج بیشتر از اثر آن‌ها بر روی ارتفاع است. بیشترین تاج در تیمار سوم (با فیلتر و سامانه نیمه عایق) و کمترین تاج در تیمار شاهد به‌دست آمد.

در مورد اثر تیمارها روی صفت طول تاج در تمام سال - های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ معنی‌دار است. در سال ۱۳۹۹ در سطح یک درصد ($P < 0/01$) و در سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در سطح احتمال ($P < 0/05$) معنی‌دار است. در سال‌های ۱۴۰۰

جدول ۸- تجزیه واریانس صفت تاج در بوته‌های گل محمدی در شهرستان شازند

Table 8- Variance analysis of the crown trait in the damask rose in Shazand city.

میانگین مربعات (سال ۱۴۰۱)	میانگین مربعات (سال ۱۴۰۰)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۹)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۸)	میانگین مربعات (سال ۱۳۹۷)	درجه آزادی	منابع تغییر
106.8604861*	110.6923994*	81.0174816**	58.6691837*	2.43719349*	2	تیمار
32.9288616	28.8922913	6.3124922	48.3605772	0.51180426	9	اشتباه
10.68751	10.74813	6.411470	13.99658	4.895962	-	ضریب تغییرات

**معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفت تاج در بوته‌های گل محمدی

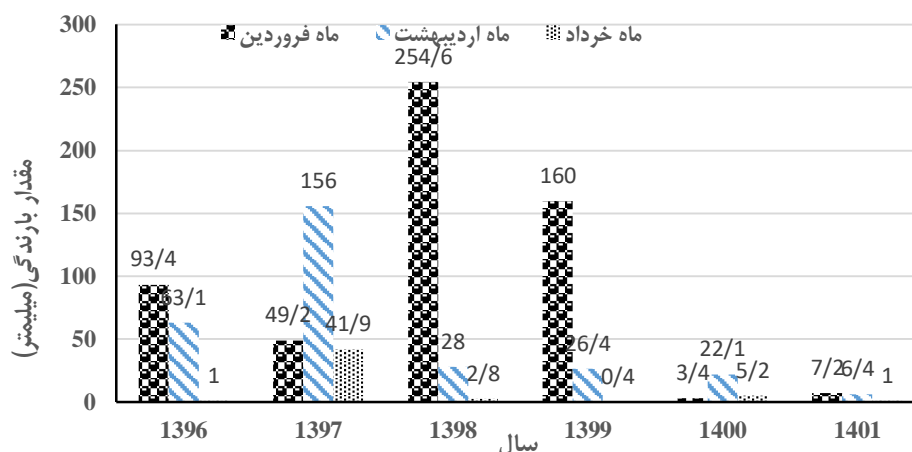
Table 9- Mean values of the crown trait in the damask rose under different irrigation treatments

1401	1400	1399	1398	1397	تیمار
48.845 b	44.851 b	34.814 c	28.05	13.8914 b	شاهد
53.100 ab	49.813 ab	38.942 b	31.746	14.5038 ab	با فیلتر
59.132 a	55.367 a	43.805 a	36.709	15.4413 a	با فیلتر و سامانه نیمه عایق

بحث

نتایج نشان داد که سامانه سطوح آبگیر نیمه عایق با چاله نهال حاوی فیلتر شنی بیشترین تأثیر را در افزایش رطوبت خاک و زنده‌مانی گل محمدی داشته است. بعد از آن سامانه با فیلتر در چاله نهال و در نهایت تیمار شاهد، کمترین تولید رواناب و رطوبت را به همراه داشت. همچنین در بررسی سامانه‌های گوناگون، می‌توان به این نکته نیز اشاره داشت که عایق کردن سطح زمین با پلاستیک، از اثر برخورد مستقیم قطره باران با سطح خاک جلوگیری می‌کند و پخش شدن ذرات خاک و به دنبال آن تشکیل رسوب به حداقل می‌رسد. با توجه به اینکه بارش‌های کمتر از ۵ میلی‌متر فقط با سطوح عایق تولید رواناب و انتقال به پای بوته می‌کند؛ مزیت سطوح عایق جمع‌آوری بارندگی و ایجاد رواناب در بارندگی حداقل است. در مناطق خشک و نیمه-خشک فراوانی وقایع بارندگی کمتر از ۵ میلی‌متر زیاد هست، لذا نیاز به سامانه آبگیر باران با سطوح عایق ضروری است. با توجه به شکل (۵) در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مجموع بارندگی در فصل بهار به ترتیب ۲۴۷، ۲۸۵ و ۱۸۷ میلی‌متر و در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۳۱ و ۱۴/۵ میلی‌متر بوده است. اثر بارندگی مستقیم بر روی تیمارها تأثیر دارد، در واقع مقدار بارندگی و مدیریت آن از لحاظ سامانه‌های سطوح آبگیر، فیلتر و عایق تأثیر مستقیم در مقدار رطوبت پای بوته، آب مورد نیاز گیاه، زنده‌مانی و شادابی درخت گل محمدی دارد. Eliasi و Nekooeimehr (2016) نیز در تحقیقات خود در زمینه سامانه‌های سطوح آبگیر باران در باغات شیب‌دار به همین نتایج رسیدند. بر اساس تحقیقات Eliasi و Nekooeimehr (2016) در استان چهارمحال و بختیاری در صورت به-کارگیری سامانه‌های سطوح آبگیر باران جهت کشت درختان مثمر کافی است تنها ۵ درصد از نیاز آبی

درختان مثمر به‌عنوان آبیاری تکمیلی تأمین شود. تحقیقات بر روی سامانه‌های کوچک‌مقیاس جمع‌آوری آب باران در مناطق نیمه‌خشک کشور هند نشان داد که این سامانه‌ها باعث افزایش عملکرد محصول و تنوع زراعی در منطقه شده‌اند و میزان استقبال مردم از این سامانه روبه افزایش است. نتایج تحقیقات Abu-Zreig و همکاران (۲۰۱۹)، Deora و Nanore (۲۰۱۹) در زمینه ابداع سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بدون اتکا به آب سطحی و زیرزمینی و تنها با استفاده از نزولات جوی، حکایت از تأیید یافته تحقیق حاضر را دارد. اگر در تجزیه و تحلیل آماری روند تفاوت‌ها معنی‌داری بین تیمارها و سال‌ها یکسان نیست، به علت عدم مدیریت صحیح در اجرا و مراحل کاشت و داشت در طول ۵ سال، پراکنش بارش از نظر زمانی با نیاز زمانی گل-محمدی به آب است. عمده بارش در پاییز و زمستان است که گیاه در خواب زمستانی است و در ماه‌های اول بهار نیز بارش بیشتر از نیاز آبی گیاه است و در واقع تیمار طبیعی نیز که حداقل تولید رواناب را دارد نیاز آبی گیاه تأمین می‌شود. از آنجاکه راهبرد کلیدی در کشت گیاهان دیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک به-منظور به حداقل رساندن ریسک نابودی کامل محصولات، استفاده از سامانه‌های استحصال آب باران است؛ بنابراین سامانه‌های استحصال آب باران با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی و اجتماعی یکی از روش‌های مدیریت منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. سامانه سطوح نیمه عایق و تمام عایق دارای هزینه بالایی می‌باشند لذا برای این کار باید از فناوری‌های نو و بهینه استفاده کرد که علاوه بر کاهش هزینه مقدار ضریب رواناب نیز برای بهره‌گیری از بارش‌هایی با عمق کمتر از یک میلی‌متر هم افزایش یابد.



شکل ۵- مقدار بارندگی در فصل بهار در مهر و موم‌های اجرای طرح

Figure 5- The amount of rainfall in the spring season in the years of project implementation

موجود در اراضی شیب‌دار، همواره در معرض فرسایش بوده و از منابع عمده تولید رسوب می‌باشند. تأمین رطوبت و استقرار نهال‌های مثمر در آن‌ها باعث احیا و افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌گردد. در پایان استفاده از سطوح عایق با فناوری جدید با تعبیه سامانه ذخیره رواناب حاصل از بارندگی در ماه‌های پرباران سال و استفاده از آب ذخیره‌شده در فصول آبیاری جهت آبیاری تکمیلی باغات در اراضی شیب‌دار توصیه می‌شود. آموزش‌های ترویجی برای ایجاد درک و آگاهی و تقویت نگرش مساعد نسبت به فناوری بهینه سامانه‌های آبیاری باران جهت حفاظت خاک و ایجاد پوشش گیاهی و کاشت درختان مثمر برای بهره‌برداران تدارک دیده شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که سامانه سطوح آبیگر نیمه عایق با چاله نهال حاوی فیلتر شنی بیشترین تأثیر را در افزایش رطوبت خاک داشته است. بعد از آن سامانه با فیلتر در چاله نهال و در نهایت تیمار شاهد، کمترین تولید رواناب و رطوبت را به همراه داشت. همچنین در بررسی سامانه‌های گوناگون، می‌توان به این نکته نیز اشاره داشت که عایق کردن سطح زمین با پلاستیک، از اثر برخورد مستقیم قطره باران با سطح خاک جلوگیری می‌کند و پخش شدن ذرات خاک و به دنبال آن تشکیل رسوب به حداقل می‌رسد؛ لذا کمترین فرسایش مختص سامانه نیمه عایق (پلاستیک با پوشش سنگریزه) خواهد بود. دیم‌زارهای ره‌اشده

References

- Abu-Zreig, M., Ababneh, F. & Abdullah, F. (2019). Assessment of rooftop rainwater harvesting in northern Jordan. *Physics and Chemistry of the Earth*, (In Press).
- Bani Asadi, M. & Panahi, B. (2017). Investigating the effect of using managed catchment levels systems in increasing plant production. *Irrigation and Water Engineering Scientific Research Quarterly*, (9)34, 207-222. (In Persian)
- Deora, S. & Nanore, G. (2019). Socio economic impacts of Doha Model water harvesting structures in Jalna, Maharashtra. *Agricultural Water Management*, 221, 141-149.
- Eshghizadeh, M. (2018). Determination of rainwater extraction potential based on geomorphological factors & series analysis process Maratabi (Klat watershed, Razavi Khorasan). *System of rain catchment levels*, 7th period, volume 22. (In Persian)
- Hashmati, M., Qitouri, M., Sheikh-Vaisi, M., Arab-Khudri, M., & Hosseini, M. (2017). Dealing with the dryness of the Zagros forests with the approaches of collecting rainwater and maintaining soil moisture in order to manage the environmental consequences. *Geography and*

- environmental hazards*, 23(3), 125-141. (In Persian)
- Hosseini, Q., Ahmadi, A. & Bagheri, R. (2014). Evaluation of the effect of the implementation of rain catchment levels on the state of pastures (Case study: dry and semi-arid pastures of Dehhran region). *Systems of rain catchment surfaces*, 6(1), 57-64. (In Persian)
- Jahantigh, M. (2016) *Investigating the performance of Torkinset in controlling the runoff of rain catchment surfaces in dry areas (case study of the sour watershed of Sistan)*. Proceedings of the 5th National Conference on Rain Catchment Surface Systems. Gilan, Rasht, March 2015. (In Persian)
- Kahinda, J.M., & Taigbenu, A.E., (2011). Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14-15), 968-976.
- Meter, K., Basu, N., Tate, E., & Wyckoff, J. (2014). Monsoon harvests: the living legacies of rainwater harvesting systems in South India. *Environmental Science & Technology*, 48, 4217-4225.
- Nekooimehr, M., & Eliasi, Z. (2017) *the effectiveness of using rainwater harvesting methods in improving plant indicators in rainfed conditions*, the 6th National Conference on Rainwater Catchment Surface Systems, Bahman, Khomeinishahr. (In Persian).
- Qiang, Z., Yuanhong, L., & Manjin, C. (2006), *Effect of low-rate irrigation with rainwater harvesting system on the dry farming*. The 2nd International RWHM Workshop, IWA 5th world water congress and exhibition. Beijing, china.
- Rahimpour, M., Tajbakhsh, M. & Memarian, H. (2016). Use of run off from stone surfaces in supplementary irrigation (Case study: Zashk Abardeh watershed of Targaba Shandiz city). *Rain catchment surface systems*, 12(3), 73-83. (In Persian)
- Rockstroma, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron J. & Hatibu, N. (2009). Managing water in rainfed agriculture- The need for a paradigm shift, *Agricultural Water Management*, 87(4), 543-550.
- Soltani, M., Soleimani, K., Habib-nejad Roshan, M. & Jalili, Kh. (2018). Comparative location of rainwater collection (Case study: Mekhoran and Khosroabad basins of Kermanshah province). *Desert Ecosystem Engineering*, 7(18), 49-62. (In Persian)
- Stanton, D. (2005). Roaded catchments to improve reliability of farm dams. Government of Western Australia, Department of Agriculture, Bulletin 4660.
- Traboulsi, H., & Traboulsi, M. (2015), Rooftop level rainwater harvesting system, *Applied Water Science*, 7, 769-775.
- Wang Y., Xie, Z., Malhi, S.S., Vera, C.L., Zhang, Y. & Wang, J. (2009). Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semiarid Loess Plateau, China. *Agricultural water management*, 96(3), 374-382.
- Yazar, A., Kuzucu, M., Celik, I., Sezen, S.M. & Jacobsen S.E. (2014). Water harvesting for improved water productivity in dry environments of the Mediterranean region case study: Pistachio in Turkey. *Journal of agronomy and crop science*, 200(5), 361-370.
- Yi, L., Shenjiao, Y., Shiqing, L., Xinping, C. & Fang C. (2010). Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 606-613.

Study of susceptible alluvial semi-arid areas using geoelectric studies for underground dams construction

Najmeh Haj Seyed Ali Khani^{*1}, Hamzeh Saeediyani², Fereydun Solaimani³

- 1- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran
- 3- Researcher of Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, khuzestan, Iran

* Corresponding author: n.sedalikhani@areeo.ac.ir

(Received: 28 September 2022

Revised: 22 October 2022

Accepted: 30 October 2022)

Extended Abstract

Introduction: In arid and low rainfall regions where evaporation is high due to special climatic conditions, the possibility of surface storage of waters in many cases, on a small scale, is difficult and uneconomic because part of the water is out of reach due to evaporation and the other part of the water is out of reach due to infiltration. Also, many surface reservoirs do not have a long shelf life and are filled and out of reach due to accumulation of sediments. Therefore, underground dam studies are very important. One of the new technologies used in the field of groundwater development is the underground dam, which is used for various purposes such as preventing the movement of saline waters in desert. Underground dams are compatible with environmental conditions.

Materials and methods: To do this research, the watershed of The Rayen Underground Dam in the south of The City of Rayen and southeast of Karman city was selected. Geoelectric studies of the underground dam in The Reyen area were carried out in several stages with a total of 35 electric sondages. After harvesting the data and processing them by IPI2win software, the information of each of the harvest points in the region has been determined. The type of used geoelectric method is the harvesting method of four electrodes with Schlumberger array.

Results and Discussion: The importance of underground dams has been considered by most researchers around the world in recent years, and new types of methods are also used for their detailed studies, among which is the use of geoelectric method for studying underground dams. This has been considered in this research. Also, according to geological studies of Rayen region and geoelectric and topographic samples of the region, it can be concluded that the studied section is confined to two rock extrusions with the genus rhyolite and pyroclastic. Also, subsurface information of geoelectric sodages indicates the persistence of volcanic Igneous Stone below the intermediate surface between the two mentioned rock extrusions at a depth of 8 to 14 meters above the river bed surface and the slope of the bedrock from the sides to the center of the cross section in such a way that the maximum depth is in the center of the river and the minimum depth of bedrock is in the vicinity of rock extrusions. Considering the high importance of underground dams, it is suggested that the geoelectric studied methods in this study be studied more and more accurately to study underground dams in different watersheds throughout the country.

Conclusions: The results showed that the specific electrical resistance of the bedrock increases from upstream to the proposed axis. This indicates the change of bedrock in close range to the proposed axis compared to the upstream points. However, the specific resistance values related to alluvial layer in the whole study area do not change much and this state indicates the uniformity of alluvial layer in the study period. The specific resistance values of the bedrock are generally higher than the specific amounts of alluvial layer and the alluvial layer shows low specific resistance due to its abundant salts and brackish water. In addition, the specific resistance range of sediments and rocks showed a total of at least 36 ohms -meters and a maximum of 1313 ohms- meters.

Keywords: Bedrock, Geotechnical, Drought, Rayen

Citation: Haj seyed ali khani, N., Saeediyani, H., & Solaimani, F. (2022). Study of susceptible alluvial semi-arid areas using Geoelectric studies for underground dams Construction. *Integrated Watershed Management*, 2(3), 44-57. doi: 10.22034/iwm.2022.562739.1045

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>).



مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی

نجمه حاج سید علی‌خانی^{۱*}، حمزه سعیدیان^۲، فریدون سلیمانی^۳

۱- محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۲- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خوزستان، ایران

* نویسنده مسئول: n.sedalikhani@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶

چکیده

در مناطق خشک و کم باران به دلیل شرایط خاص جوی و اقلیمی که تبخیر بالا است، امکان ذخیره‌سازی سطحی آب‌ها در بسیاری از موارد، در مقیاس کوچک مشکل و غیراقتصادی است؛ بنابراین مطالعات سدهای زیرزمینی اهمیت بسزایی دارد. برای انجام این تحقیق، حوزه آبخیز سد زیرزمینی راین در جنوب شهر راین در استان کرمان انتخاب شد. مطالعات ژئوالکتریک سد زیرزمینی منطقه راین در چند مرحله و در مجموع با ۳۵ سونداژ الکتریک انجام گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد. این مسئله بیانگر تغییر سنگ کف در محدوده نزدیک به محور پیشنهادی نسبت به نقاط بالادست است اما مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و این حالت بیانگر وجود یکنواختی لایه آبرفتی در بازه مورد مطالعه است. مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه الکتریکی لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه الکتریکی پائینی را نشان می‌دهد. ضمناً دامنه مقاومت ویژه الکتریکی رسوبات و سنگ‌های مختلف در مجموع حداقل ۳۶ اهم - متر و حداکثر ۱۳۱۳ اهم - متر را از خود نشان دادند و نوع روش ژئوالکتریک به کار برده شده نیز به شیوه برداشت چهار الکترودی با آرایه شلومبرژه است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌بستر، ژئوتکنیک، خشک‌سالی، راین

استناد: حاج سید علی‌خانی، ن.، سعیدیان، ح.؛ سلیمانی، ف. (۱۴۰۱). مطالعه آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت احداث سدهای زیرزمینی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۴۴-۵۷.

حق چاپ:



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

مقدمه

در طی سالیان اخیر با سوء مدیریت و عدم شناخت صحیح منابع آب‌و خاک و با روند رو به رشد تخلیه و استحصال منابع آب، سفره‌های زیرزمینی با کم‌آبی و افت شدید مواجه شده‌اند. بحران کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک عاملی محدودکننده برای فعالیت‌های انسان و توسعه پایدار کشاورزی است. یکی از فناوری‌های نوین در حل این بحران، سد زیرزمینی است (Habibzadeh *et al.*, 2020) که این نوع سد برای اهداف و موارد مختلف دیگری نیز مانند جلوگیری از پیشروی آب‌های شور در حاشیه کویر، کاربرد دارد. سد زیرزمینی از جمله تکنیک‌هایی است که به کمک آن می‌توان از طریق بهبود منابع آبی موجود، بهره‌وری از آن‌ها را افزایش داد (Sheikh Bahayee *et al.*, 2010). سدهای زیرزمینی بناهایی سازگار با شرایط زیست‌محیطی محسوب می‌شوند (Telmer & Best, 2004). احداث سدهای زیرزمینی به‌خصوص در فصل پاییز، آب با کیفیت مناسبی را برای مصارف بهداشتی و همچنین شرب دام جمع‌آوری می‌کنند (Salahadin *et al.*, 2014). سدهای زیرزمینی در بسیاری از مناطق مختلف دنیا به‌منظور توسعه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از تلفات آب با توجه به روند رو به رشد مصرف و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی که افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی را در پی داشته است، در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. همچنین سدهای زیرزمینی از فناوری‌های سازگار با طبیعت نیز است (Saffarian & Ajal Lueian, 2014). اجرای سدهای زیرزمینی نیازمند مطالعات اولیه کامل و جامعی است که از جمله این پیش‌نیازها، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و ژئوالکتریک می‌باشند که انجام این بررسی‌ها به‌صورت عملیات اکتشافی زیرسطحی، انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و درنهایت استفاده از نتایج آن‌ها برای تعیین ویژگی‌های آبرفت داخل مخزن سد و تعیین خصوصیات سنگ‌بستر و تعیین ویژگی‌های مصالح

مورد استفاده در ساخت بدنه سد، الزامی است. برخی از کاربردهای مهم روش ژئوالکتریک در بررسی و شناسایی آبخوان‌های آبرفتی شامل میزان هدایت الکتریکی و ضریب قابلیت انتقال (Kossinski & Kelly, 1981) و همچنین تعیین عمق، ضخامت و مرز آبخوان (Jackson *et al.*, 1978)، میزان تخلخل و مقدار ضریب ذخیره (Frohlich & Kelly, 1987) است. بررسی‌های مختلفی در سراسر دنیا در ارتباط با سدهای زیرزمینی انجام شده است که هر کدام مزایا و معایب روش‌های مختلف احداث سدهای زیرزمینی در اقلیم‌های متفاوت در سراسر دنیا را بیان می‌کنند. Davoodi (2004) بیان کردند که بررسی‌های ژئوتکنیکی جزء ضروری‌ترین بخش مطالعاتی در ارتباط با سدهای زیرزمینی است. Khalifa و همکاران (۲۰۱۳) با توجه به نیم‌رخ‌های ژئوالکتریک و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بیان کردند که در مناطقی که ضخامت آبرفت افزایش می‌یابد، حفر گمانه‌ها بیشتر برای به دست آوردن خصوصیات مهندسی آبرفت باشد. Nilssin (۱۹۸۸) مجموعه‌ای از مطالعات شامل هیدروژئولوژی، اقتصادی، اجتماعی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، اقلیمی را ضروری می‌داند و توصیه می‌کند که با توجه به پرهزینه بودن آزمایش‌های لرزه‌نگاری و یا ژئوالکتریک، محدود کردن آن‌ها حائز اهمیت است. Ugwu و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی روش ژئوالکتریک در منطقه جنوب غرب نیجریه بیان کردند که لایه آبدار با ضخامت بین ۰/۷ تا ۳۷ متر، حدود ۷۰ درصد منطقه را فراگرفته است. Maniruzzaman و همکاران (۲۰۱۸) مناطق حاوی آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری در سنگ‌های افیولیتی منطقه جنوب آندمان را در اعماق ۳ تا ۲۰ متری به کمک روش ژئوالکتریک شناسایی کردند و با انجام گمانه‌های اکتشافی در نقاط پیشنهادی، نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک را تصدیق نمودند. هدف از این مطالعه بررسی و شناسایی آبرفت‌های مستعد مناطق نیمه‌خشک با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک جهت

روش تحقیق

حوزه آبخیز سد زیرزمینی را این از لحاظ جایگاه زمین‌شناسی در زون ساختاری ارومیه - دختر واقع شده که بیشتر سنگ‌های آن آتشفشانی است. برنزدهایی از پیروکلاست‌ها و روانه‌های بازیکی تا اسیدی، ریولیت‌هایی با توف در قسمت شرق و غرب محل مورد مطالعه و همچنین توف، توفیت و ریولیت در سمت شمال و شمال غرب، وجود دارد. سن این مجموعه رخنمون یافته مربوط به ائوسن فوقانی است. رسوبات عهد حاضر و کواترنری محل شامل پادگانه‌ها، آبرفت‌ها و آواری‌های قدیمی و جوان و رسوبات آبرفتی بستر رودخانه است. به لحاظ ساختاری ریولیت‌های شرق و جنوب شرقی منطقه به صورت تاقدیس با پلانژ به سمت جنوب شرق رخنمون دارد. ریز گسله‌ها بر برونزدها و محل تماس آن‌ها با رسوبات عهد حاضر تأثیرگذار بوده‌اند و همچنین جابجایی‌هایی در طول مسیر آبراه‌های ایجاد نموده‌اند که روند غالب آن‌ها شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند. منطقه مورد مطالعه واقع در بستر رودخانه تهرود واقع شده است. رودخانه با دبی بالا از ارتفاعات دوردست شرق و جنوب شرق نشأت گرفته و با روند شمال شرق - جنوب غرب در منطقه جریان دارد. منطقه مورد مطالعه به لحاظ تغذیه سفره‌های زیرزمینی در شرایط مساعد و مناسبی از نظر قرارگیری در بین ساختارها و عوامل توپوگرافی است (شکل ۲).



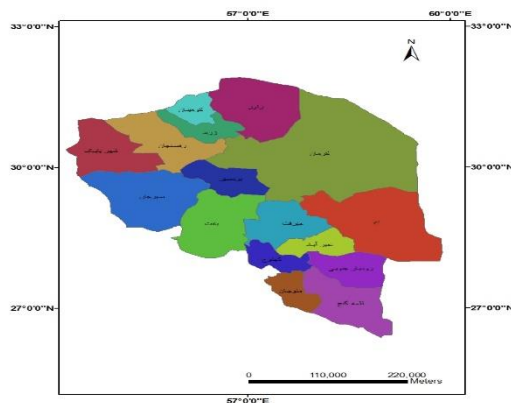
شکل ۲- تعیین محل اجرای سد زیرزمینی توتک
Figure 2- The site selection of the Tutak underground dam

احداث سدهای زیرزمینی است که با توجه به اهمیت بالای کشف و شناسایی منابع آبی جدید در مناطق نیمه‌خشک و همچنین سایر مناطق با اقلیم‌های مختلف، می‌تواند راهگشای کارهای علمی نوین در زمینه کشف سفره‌های آبی جدید در حوزه‌های آبخیز مختلف در سراسر کشور باشد. همچنین این روش مطالعه کمک می‌کند که به منابع آبی پایدارتر در عمق‌های مختلف زمین با کم‌ترین هزینه اکتشاف دست یافت و گام‌های اساسی‌تر و مهم‌تری در رفع نیازهای آبی بخش‌های مختلف کشور به‌خصوص بخش‌های کشاورزی و همچنین شرب و بهداشتی ایجاد شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

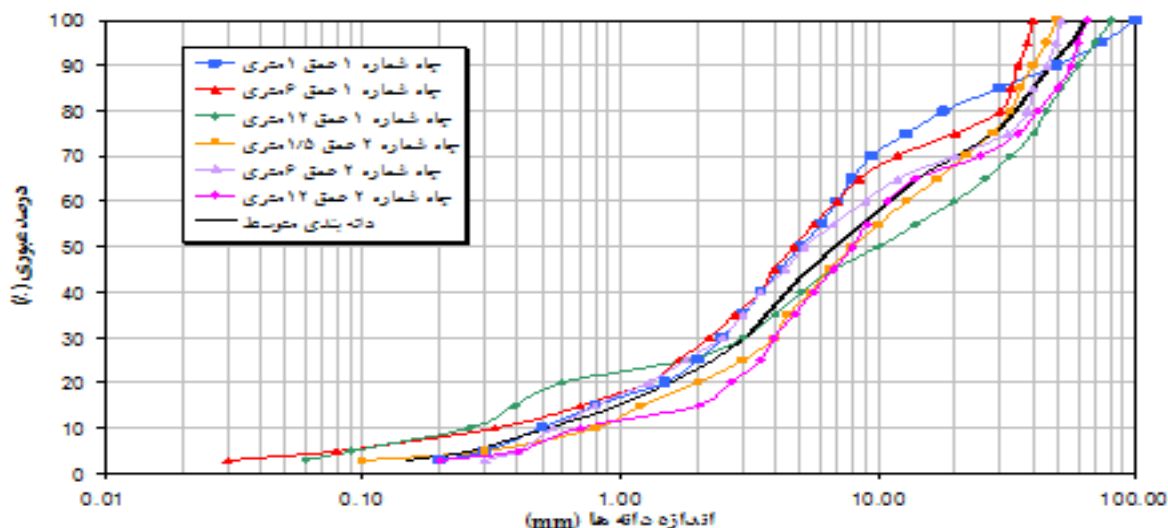
حوزه آبخیز سد زیرزمینی را این در جنوب شهر راین در استان کرمان و در فاصله حدوداً ۳۰ کیلومتری شهر راین و ۱۵۵ کیلومتری شهر کرمان قرار دارد و حدود ۱۲ کیلومتر از مسیر دسترسی به آن خاکی است. این محدوده جغرافیایی بین $14^{\circ} 00'$ تا $29^{\circ} 30'$ عرض جغرافیایی قرار دارد. این محدوده یکی از زیر حوزه‌های رودخانه‌ی تهرود بم و در محدوده کویر مرکزی واقع شده است. ارتفاع شهر راین از سطح دریا ۲۲۰۱ متر و میانگین بارش سالانه آن نیز ۹۳/۸ میلی‌متر است و دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کرمان
Figure 1- Location of the study area in Kerman province

برآورد میزان نفوذپذیری مصالح آبرفتی بستر رودخانه و همچنین افزایش میزان دقت در مکان‌یابی سد زیرزمینی است.

در منحنی دانه‌بندی مصالح (شکل ۳)، ملاحظه می‌گردد که در این منحنی‌ها دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید به شرح جدول ۱ است. علت استفاده از این طبقه‌بندی برای



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه
Figure 3- Grading curve of alluvial materials of river bed

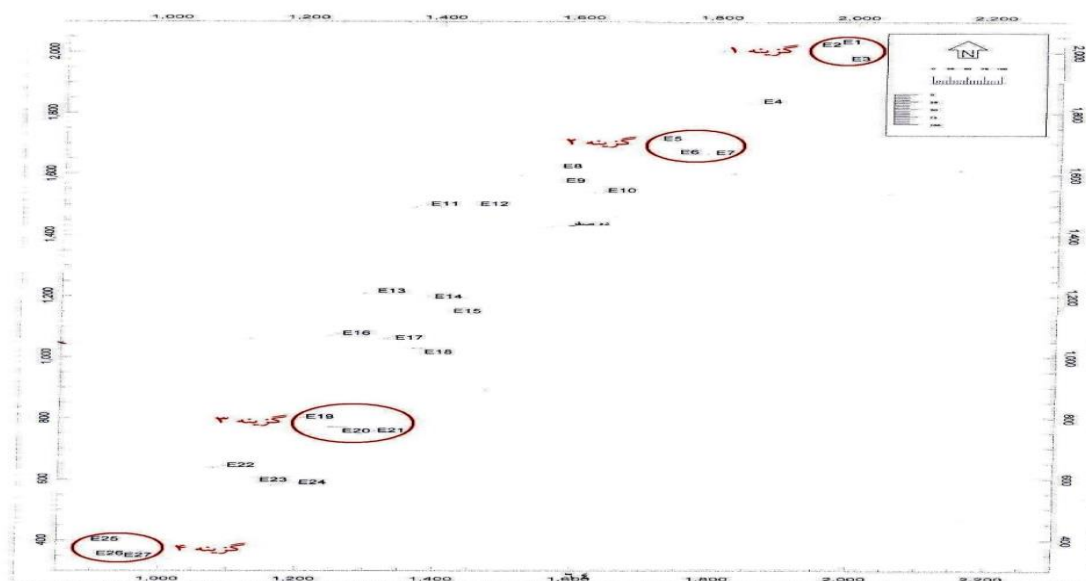
جدول ۱- دانه‌بندی مصالح آبرفتی بستر رودخانه راین بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید

Table 1- Grading alluvial materials of the Rayen River Bed based on unified classification

ضریب همبستگی (Cz)	ضریب یکنواختی (cu)	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	شرح دانه‌بندی	دانه‌بندی	عمق نمونه برداری (متر)	شرح
1.79	14	7	2.5	0.5	شن با دانه‌بندی خوب	GW	1	
2.10	21.21	7	2.2	0.33	شن با دانه‌بندی خوب	GW	6	چاه شماره 1
1.73	76.92	20	3	0.26	شن با دانه‌بندی خوب	GW	12	
1.54	16.25	13	4	0.8	شن با دانه‌بندی خوب	GW	1.5	
1.26	16.36	9	2.5	0.55	شن با دانه‌بندی خوب	GW	6	چاه شماره 2
2.08	15.71	11	4	0.7	شن با دانه‌بندی خوب	GW	12	
1.75	26.74	11.17	3.03	0.52	شن با دانه‌بندی خوب	GW	-	دانه‌بندی متوسط

و (۴). پس از برداشت داده‌ها و پردازش آن‌ها توسط نرم‌افزار IPI2win اطلاعات هر کدام از نقاط برداشتی در منطقه، مشخص گردیده است. آرایه شلومبرژه به‌طور گسترده در اکتشافات ژئوالکتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش برداشت در منطقه مورد مطالعه به شیوه برداشت چهار الکترودی با آرایه شلومبرژه صورت پذیرفت که در چهار نقطه سونداژی، فاصله بین ABهای برداشتی (خط فرستنده جریان و فاصله الکترودهای فرستنده) تا ۲۵۰ متر و MNها (فاصله الکترودهای گیرنده) به فاصله ۱، ۵ و ۱۰ متری اعمال گردیده است (شکل ۲



شکل ۴- موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک
Figure 4- Position of geoelectric sondages

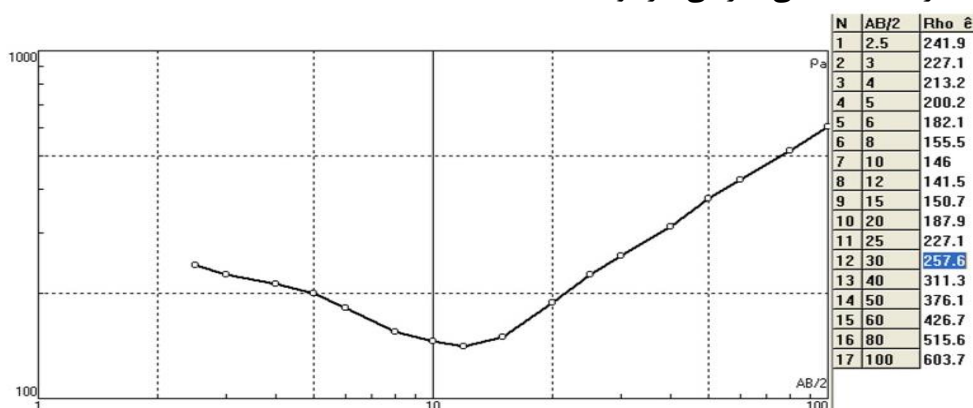
دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۴۹ اهم - متر است، همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۶ متر و مقاومت ۷۱ اهم - متر در عمق ۳ تا ۹ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۹ متر با مقاومت ۱۱۴۵ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۵ و ۶).

نتایج

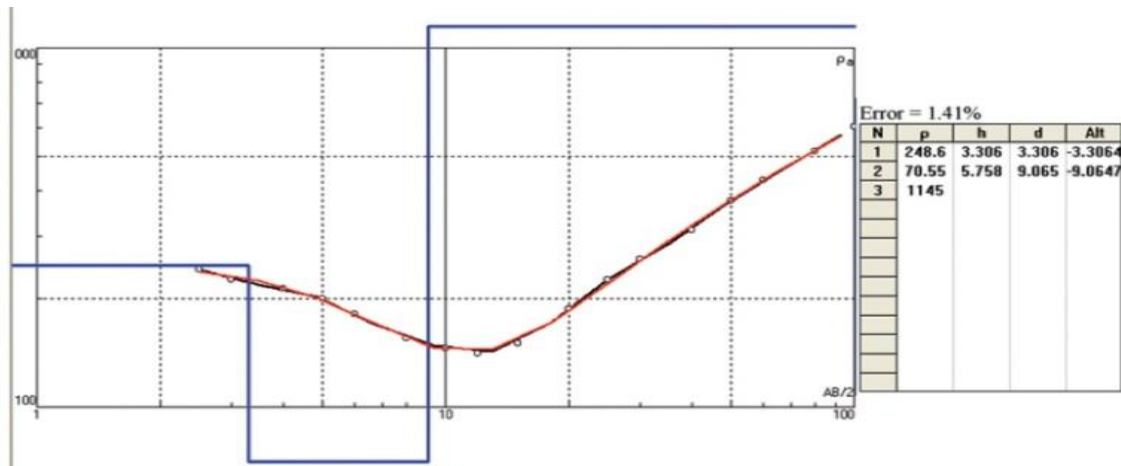
اطلاعات هرکدام از نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win و همچنین نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک سونداژهای مختلف در شکل‌های ۱ تا ۱۰ ارائه شده است.

سونداژ شماره یک

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره یک 19.9 25 29 N: و 57 35 09.8 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات



شکل ۵- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۱
Figure 5- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 1



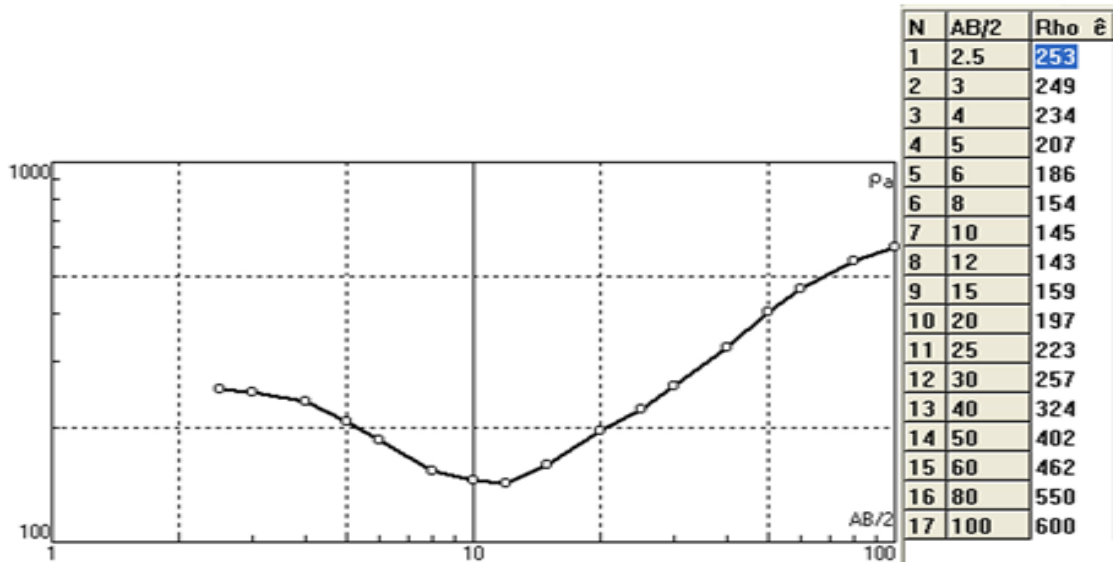
شکل ۶- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۱

Figure 6- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 1

همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۶ متر و مقاومت ۷۴ اهم - متر در عمق ۳ تا ۹ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۹ متر با مقاومت ۱۲۳۳ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۷ و ۸).

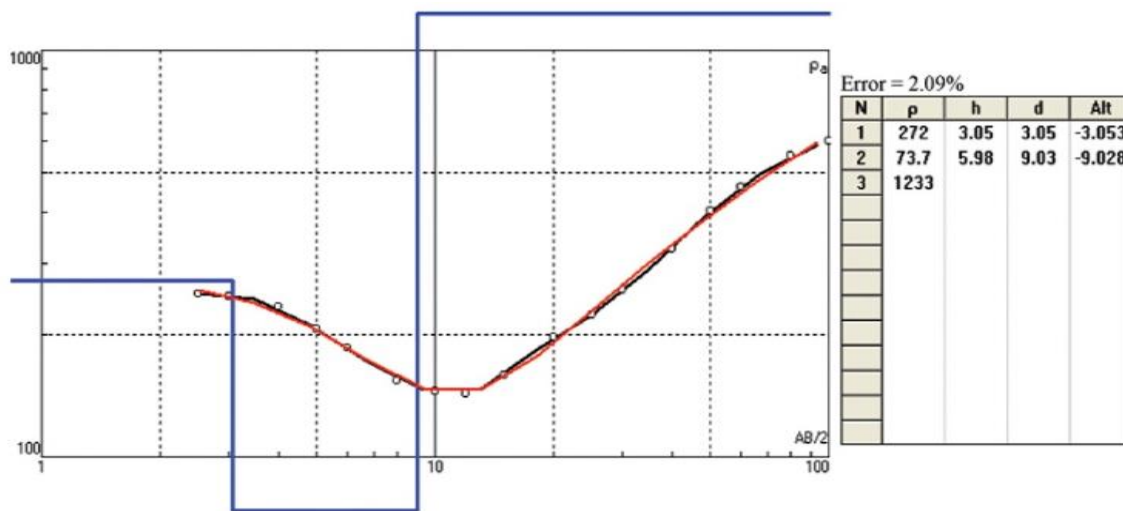
سونداژ شماره دو

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره دو 29 25 20.3 N: و 57 35 09.8 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۷۲ اهم - متر است،



شکل ۷- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۲

Figure 7- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 2



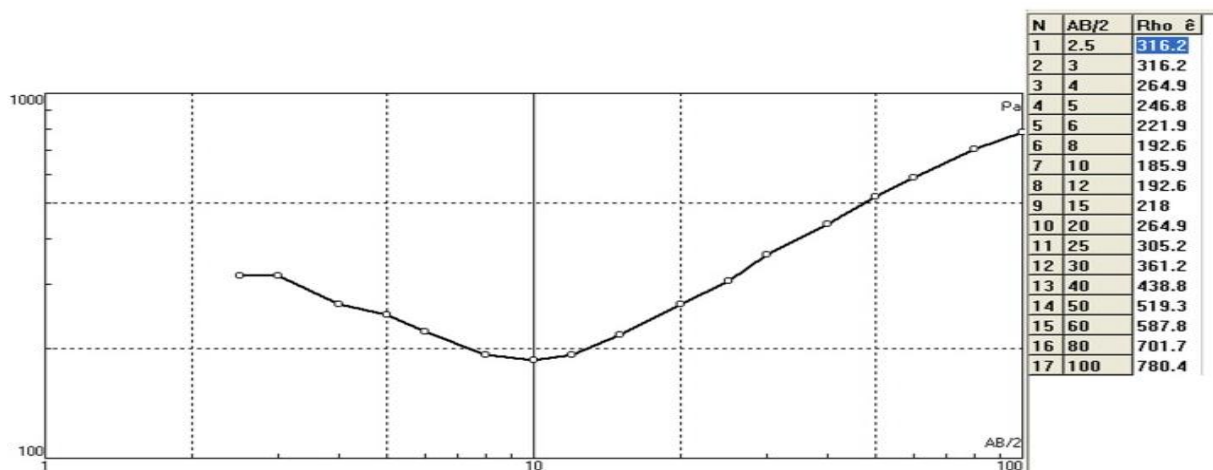
شکل ۸- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۲

Figure 8- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 2

است، همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۵/۵ متر و مقاومت ۹۸ اهم - متر در عمق ۲/۸ تا ۸/۵ متر است، همچنین لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیک در عمق تقریبی ۸/۵ متر با مقاومت ۱۳۱۳ اهم - متر وجود دارد (شکل- های ۹ و ۱۰).

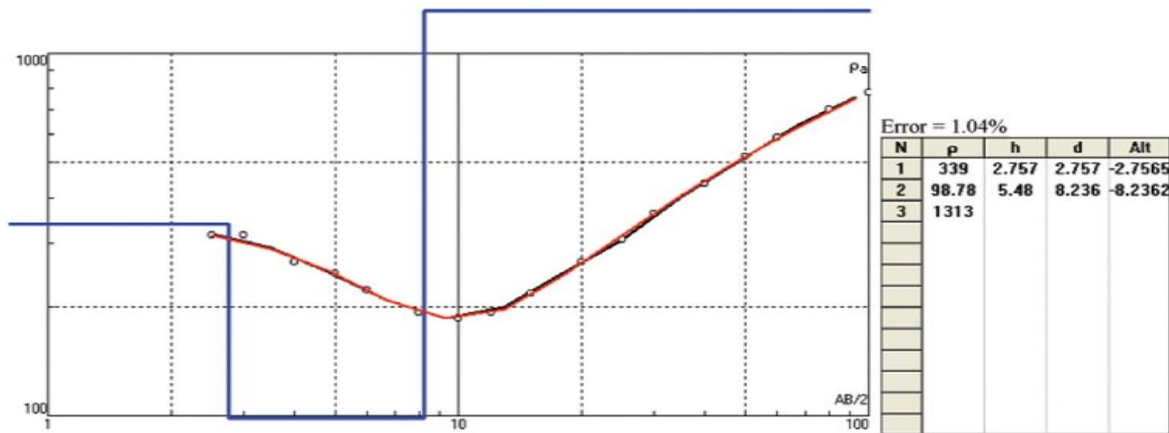
سونداژ شماره سه

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره سه 29 25 20.5 N: و 57 35 09.9 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۲/۸ متر و مقاومت ۳۳۹ اهم - متر



شکل ۹- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۳

Figure 9- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 3

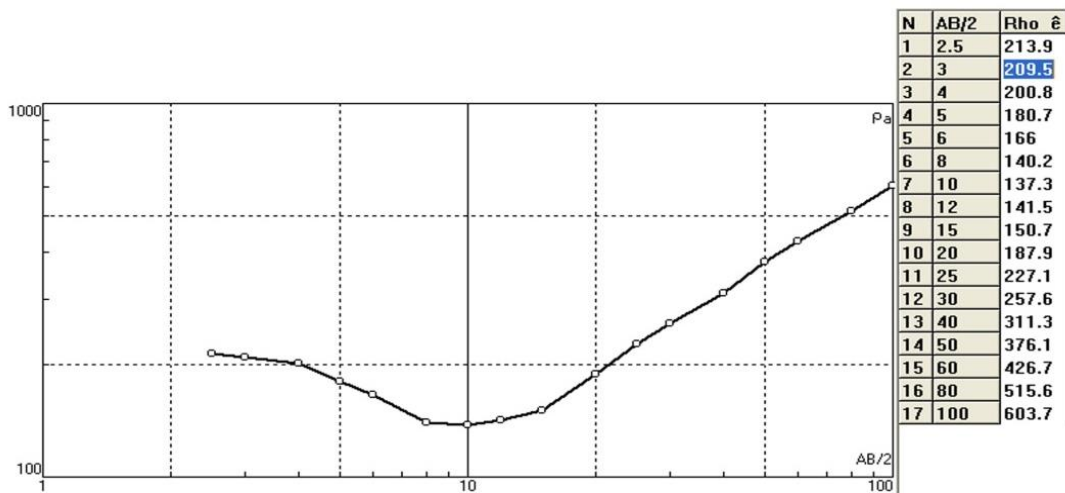


شکل ۱۰- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۳
 Figure 10- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 3

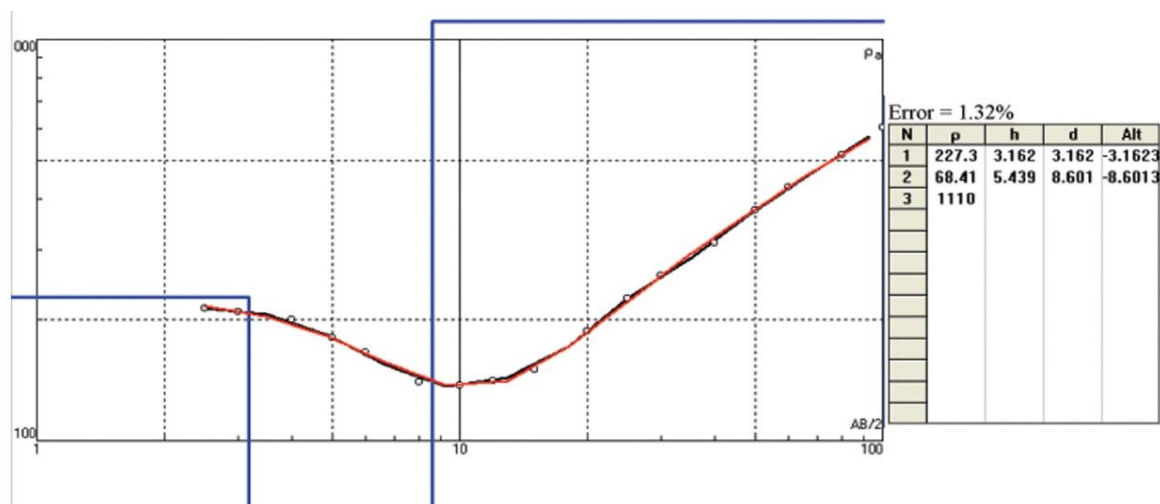
همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای آبدار با ضخامت حدوداً ۵/۵ متر و مقاومت ۶۹ اهم - متر در عمق ۳ تا ۸/۵ متر، و لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق تقریبی ۸/۵ متر با مقاومت ۱۱۱۰ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

سونداژ شماره چهار

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره چهار N: 29 25 و E: 57 35 10.1 است و اطلاعات به دست آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه سطحی آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) با ضخامت تقریبی ۳ متر و مقاومت ۲۲۷ اهم - متر، و



شکل ۱۱- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۴
 Figure 11- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 4



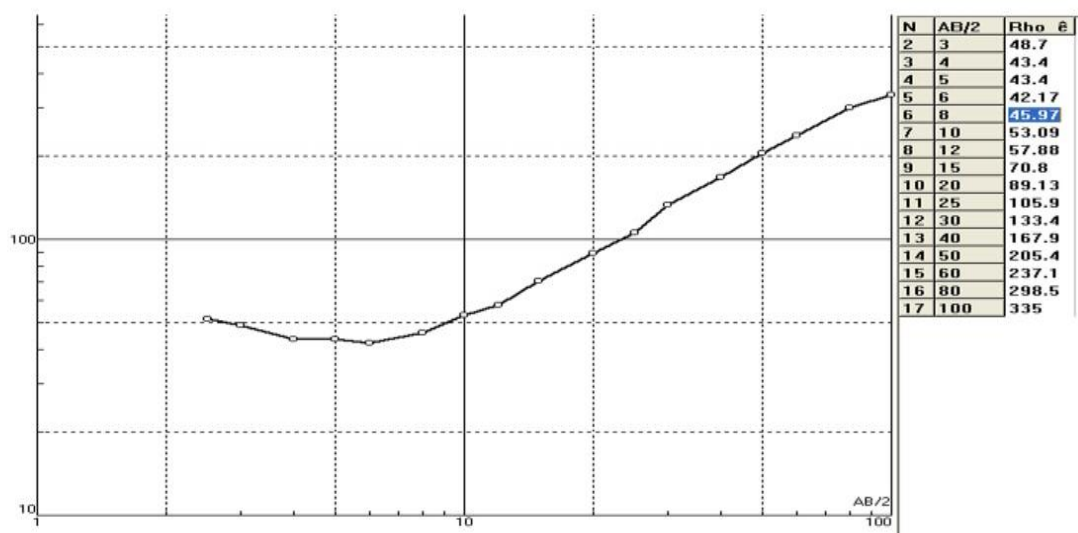
۱۲- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۴

Figure 12- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 4

اهم - متر، و همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای و دانه‌ریز واجد آب با ضخامت حدوداً ۶/۵ متر و مقاومت ۳۶ اهم - متر در عمق ۱ تا ۷/۵ متر، و لایه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق ۷/۵ متر با مقاومت ۱۰۸۸ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

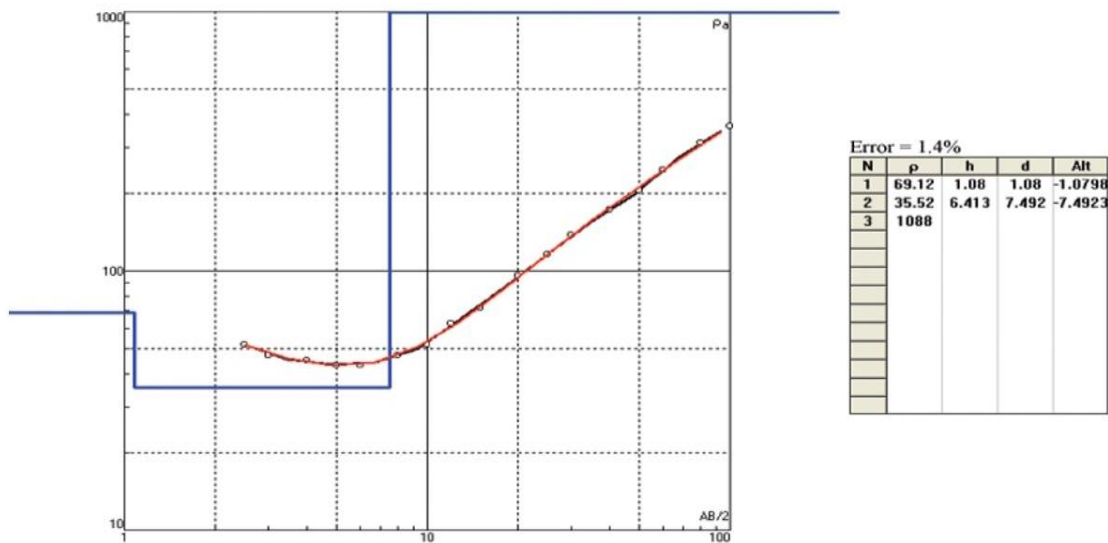
سونداژ شماره پنج

مختصات جغرافیایی سونداژ شماره پنج 29 25 20.7 N: و 57 35 08.9 E: است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه‌ای از رسوبات سطحی و آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) مرطوب و آبدار با ضخامت تقریبی ۱ متر و مقاومت ۷۰



شکل ۱۳- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۵

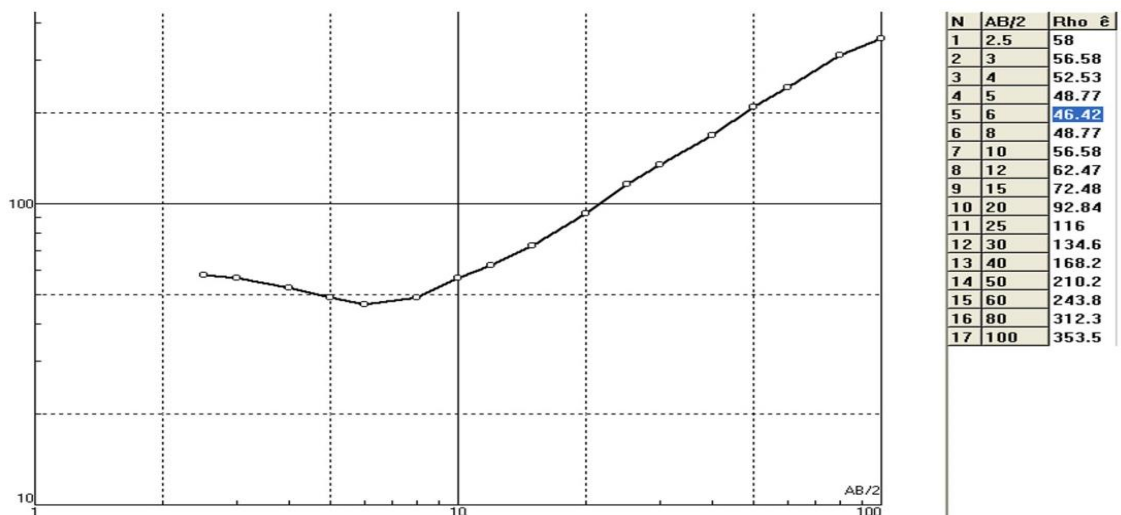
Figure 13- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 5



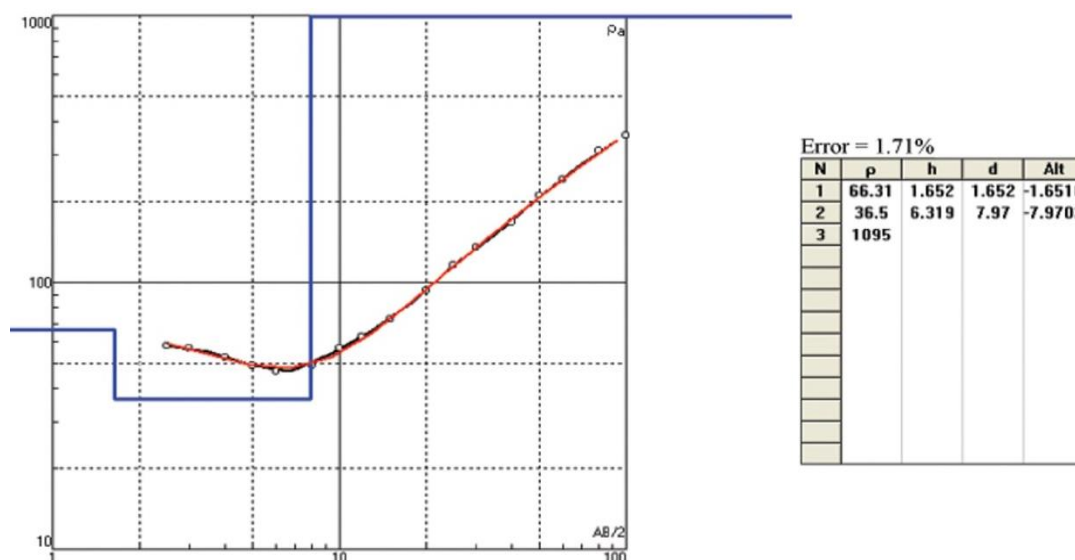
شکل ۱۴- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۵
Figure 14- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 5

۶۷ اهم - متر، و همچنین لایه‌ای از رسوبات ماسه‌ای و دانه‌ریز واجد آب با ضخامت حدوداً ۶/۵ متر و مقاومت ۳۷ اهم - متر در عمق ۱/۵ تا ۸ متر، و لایه‌ای از سنگ-های ولکانیکی و پیروکلاستیکی در عمق ۸ متر با مقاومت ۱۰۹۵ اهم - متر وجود دارد (شکل‌های ۱۵ و ۱۶).

سونداژ شماره شش
مختصات جغرافیایی سونداژ شماره شش 20 25 29 N: و 09 35 57 E است و اطلاعات به‌دست‌آمده از این سونداژ عبارت‌اند از لایه‌ای از رسوبات سطحی و آبرفتی (رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای و گراول‌های سخت نشده) مرطوب و آبدار با ضخامت تقریبی ۱/۵ متر و مقاومت



شکل ۱۵- اطلاعات نقاط برداشتی توسط نرم‌افزار IPI2win در سونداژ شماره ۶
Figure 15- Information of the points picked by IPI2win software in Sondage No. 6



شکل ۱۶- نتایج آزمایش‌ها ژئوالکتریک راین سونداژ شماره ۶
Figure 16- Results of the Rayen Sondage Geoelectric Experiments No. 6

سنگ کف) در محل سد شماره ۱ طبق اطلاعات حاصل از سونداژهای ژئوالکتریک نقاط E1، E2 و E3 حدود ۱۶ متر است. ضخامت آبرفت در محل گزینه پیشنهادی برای سد ۲، ۲۱/۵ متر است. ضخامت آبرفت در محل گزینه شماره ۳ حدود ۲۹ متر است. با جمع‌بندی مطالب فوق نتیجه می‌شود که محل پیشنهادی سد ۱ که دارای آبرفت با ضخامت ۱۶ متر است، دارای قابلیت اجرایی و ضخامت مناسب است و بعلاوه عرض دره و طول تاج پرده آب‌بند در محل سد ۱ کمتر از سایر گزینه‌ها بوده و به‌عنوان گزینه نهایی انتخاب می‌شود. در مجموع طبق مطالعه انجام‌شده استفاده از روش ژئوالکتریک برای اندازه‌گیری ضخامت آبرفت‌ها و کشف لایه‌های آبدار و همچنین آب‌های زیرزمینی مناسب است که با نتایج تحقیقات Maniruzzaman و همکاران (۲۰۱۸) و Ugwu و همکاران (۲۰۱۶) که از روش ژئوالکتریک برای کشف لایه‌های آبدار و همچنین کشف آب‌های زیرزمینی با عمق‌های مختلف استفاده کرده و نتایج مناسبی گرفتند، مطابقت دارد. تفسیر نتایج این سونداژها نشان می‌دهد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد. این مسئله بیانگر تغییر سنگ کف در

بحث

مطالعات ژئوالکتریک سد زیرزمینی راین در چند مرحله و در مجموع با ۳۵ سونداژ الکتریک انجام شد و در آن‌ها حداکثر فاصله الکترودهای جریان معادل $AB=100$ متر بود. بررسی‌های مربوط به سنگ کف ضخامت و نوع آبرفت مخزن سد یکی از پارامترهای مهم تعیین‌کننده جهت اطمینان از امکان ذخیره آب در فضاهای متخلخل آبرفت و نیز اطمینان از سهولت اجرای سد زیرزمینی است. جهت تعیین عمق سنگ کف مطالعات ژئوالکتریک و به‌طور ویژه سونداژهای ژئوالکتریک صورت گرفته است. محل‌های پیشنهادی برای اجرای سازه با شماره‌های اختصاری ۱، ۲، ۳ و ۴ شماره‌گذاری گردیده و در مجموع ۲۷ مورد سونداژ صورت پذیرفته است. با ترسیم داده‌های ژئوتکنیک و ترسیم گراف‌های مربوطه عمق سنگ کف در محل سونداژها مشخص گردید و نقشه‌های هم عمق سنگ کف و هم ضخامت آبرفت ترسیم گردید. با مراجعه به اطلاعات مذکور مشاهده گردید که بیش‌ترین مقدار عمق سنگ کف یا ضخامت آبرفت در محل مقطع ژئوالکتریک E26، E27 و E25 است که عمق سنگ کف ۴۰ متر است که محل پیشنهادی برای سد ۴ است. ضخامت آبرفت (عمق

نتیجه‌گیری

اهمیت سدهای زیرزمینی در سال‌های اخیر مورد توجه اکثر محققان در سراسر دنیا قرار گرفته است به طوری که از انواع روش‌های نوین نیز برای مطالعات دقیق آن‌ها استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از روش ژئوالکتریک برای مطالعه سدهای زیرزمینی است که این روش مهم در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. بررسی‌های ژئوتکنیکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های اجرای پروژه سد زیرزمینی است و به دلیل نیاز به عملیات صحرائی، زمان طولانی را نیز به خود اختصاص می‌دهد؛ اما علی‌رغم هزینه بالا و صرف زمان طولانی، چون این بررسی‌ها مهم‌ترین نقش را در اجرای این سازه‌ها به عهده دارد بایستی حتماً انجام شوند تا موجب صرفه‌جویی در تحمیل هزینه‌های اضافی در روند اجرای پروژه گردند. نتایج تحقیق نشان داد که مقاومت ویژه الکتریکی سنگ کف از بالادست به سمت محور پیشنهادی افزایش می‌یابد اما مقادیر مقاومت ویژه مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و مقادیر مقاومت ویژه سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه پائینی را نشان می‌دهد. علاوه بر این دامنه مقاومت ویژه رسوبات و سنگ‌های مختلف در مجموع حداقل ۳۶ اهم - متر و حداکثر ۱۳۱۳ اهم - متر را از خود نشان دادند. با توجه به اهمیت بالای سدهای زیرزمینی پیشنهاد می‌شود روش‌های ژئوالکتریکی مورد مطالعه در این تحقیق برای مطالعه سدهای زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز مختلف در سراسر کشور مورد پژوهش بیش‌تر و دقیق‌تر قرار گیرد.

References

Davoodi, M.H. (2004). Underground dams, economic strategies and effective in the management and development of water resources, *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*. (In Persian)

محدوده نزدیک به محور پیشنهادی نسبت به نقاط بالادست است؛ اما مقادیر مقاومت ویژه مربوط به لایه آبرفتی در کل محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و این حالت بیانگر وجود یکنواختی لایه آبرفتی در بازه مورد مطالعه است. مقادیر مقاومت ویژه سنگ کف، در مجموع نسبت به مقادیر ویژه لایه آبرفتی بالاتر است و لایه آبرفتی به علت وجود املاح فراوان و آب لب‌شور در آن مقاومت ویژه پائینی را نشان می‌دهد. هم‌چنین با توجه به مطالعات زمین‌شناسی منطقه راین و برداشت‌های ژئوالکتریک و توپوگرافی منطقه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقطع مورد مطالعه محصور به دو برونزد سنگی با جنس ریولیت و پیروکلاستیک است. هم‌چنین اطلاعات زیرسطحی سونداژهای ژئوالکتریک نشانگر تداوم سنگ آذرین ولکانیکی در زیر سطح حد واسط بین دو برونزد فوق‌الذکر در عمقی معادل ۸ تا ۱۴ متر از سطح بستر رودخانه است و شیب سنگ بستر از طرفین به سمت مرکز مقطع است به طوری که بیشینه عمق در مرکز رودخانه و کمینه عمق سنگ‌بستر در مجاورت برونزدها است؛ بنابراین احداث سدهای زیرزمینی و تأثیر آن‌ها بر ذخیره آب در آبخوان‌ها بسیار تأثیرگذار است که با نتایج تحقیق Rezazadeh و همکاران (۲۰۱۰) که معتقد است احداث سدهای زیرزمینی رویکردی مفید در افزایش ذخیره آب موجود در آبخوان‌ها به خصوص نواحی ساحلی است، مطابقت دارد؛ بنابراین روش ژئوالکتریک اگر با فناوری‌های نوین همراه شود، می‌تواند روشی مفید و ارزشمند در کشف سفره‌های آب‌های زیرزمینی محصور و غیر محصور باشد و در رفع خشک‌سالی مناطق مختلف دنیا نقش بسزایی داشته باشد.

Frohlich, R.K. & Kelly, W.E. (1987). Estimates of specific yield with the geoelectric resistivity method in glacial aquifers. *Journal of Hydrology*, 97, 33-44.

Jackson, P.N., Taylor Smith, D., & Stanford, P.N. (1978). Resistivity- porosity- particle shape relationships for marine

- sands. *Journal of Geophysics*, 43, 1250-1268.
- Habibzadeh, A., Hosseinpour, A., & Soleimanzadeh, S. (2020). Feasibility study and construction of an underground dam in the Daryan watershed (Case Study: Mashnaqchy Underground Dam), *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 8(25), 53-65. (In Persian)
- Khalifa, M.H., Lashkaripour, Gh.L., & Marandi, M.H. (2013). *Geotechnical Studies Requirements and their role in the construction of underground dam (Case Study: Pesband Lamerd Underground Dam)*, The 8th Conference of Geological Society of Engineering and Environment of Iran, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Kossinski, W.K., & Kelly, W.E. (1981). Geoelectric sounding for predicting Aquifer Properties. *Journal of Groundwater*. 19, 163-171.
- Maniruzzaman, SK., Ramanujam, N., Champoil, V., Biswas, S.K., Rasool, Q.A & Ojha, C. (2018). Identification of Groundwater in Hard Rock Terrain Using 2D Electrical Resistivity Tomography Imaging Technique: Securing Water Scarcity at the Time of Seasonal Rainfall Failure, South Andaman. *International Journal of Geosciences*, 9, 59-70.
- Nilssin, A. (1988). *Groud water Dams for small-scale water supply*. IT Publication, 69 p.
- Rezazadeh, N., Torabi Kachosangi, F., & Baghvand, A. (2010). *Underground dams and its impact on aquifer storage*, the 1st National Conference on Coastal Water Resources Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, December 8-9, Department of Water Engineering. (In Persian)
- Saffarian, A., & Ajal Lueian, R. (2014). Geotechnical Attributes Assessment of Underground Dams. *Journal of Engineering Geology*, 8(4), 2413-2434.
- Salahadin, S., Foad, A., Umary, A., Sarkawt, G.S., Nadhir, A., & Ansari, S. (2014). Evaluation of Selected Site Location for Subsurface Dam Construction within Isayi Watershed Using GIS and RS Garmiyan Area. Kurdistan Region. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 972-987.
- Sheikh Bahayee, A., Aminizadeh, M.R., Khodaei, A., & Nohegar, A. (2010). *The role of Geotechnical and geomorphologic factors in the groundwater dams (case study. Kahnouj Dam)*, the 4th International Conference on Geoengineering and Soil Mechanics of Iran. (In Persian)
- Telmer, K. & Best M. (2004). Underground Dams: A Practical Solution for the Water Needs of Small Communities in Semi-Arid Regions, *School of Earth and Oceans Sciences*, University of Victoria. 6 pp.
- Ugwu, N.U., Ranganai, R.T., Simon, R.E., & Ogubazghi, G. (2016). Geoelectric Evaluation of Groundwater Potential and Vulnerability of Overburden Aquifers at Onibu Eja Active Open Dump site, Osogbo, Southwestern Nigeria. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 311-329.

Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river)

Homa Razmkhah^{*1}, Emad Ghahremani², Alireza Fararouie¹, Amin Rostami Ravari¹

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

2- M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

*Corresponding author: Homarazmkhah@gmail.com

(Received: 14 October 2022

Revised: 03 November 2022

Accepted: 12 November 2022)

Extended Abstract

Introduction: Drought is a weather phenomenon that causes much damage every year. Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province is located in the Southwest of Iran. Since it provides a substantial portion of the water of Karoun, Maroon, and Zohreh, which are three important rivers in this province, and evaluation and prediction of drought in this province seems necessary. This study aims to evaluate the compliance of meteorological and hydrological drought of the Zohreh river basin in this province.

Materials and methods: Using SPI (Standardized Precipitation Index) and SWI index (Standardized Water level Indicator), the relationship between meteorological and hydrological drought was evaluated, and the comparison between the occurrence of meteorological and hydrological droughts was performed. The SPI was calculated for 10 meteorological stations with 30 years of data, and SWI for 11 piezometric wells for the whole statistical data available. The trend of the river streamflow and piezometric wells' groundwater levels was assessed using the Mann-Kendall test for 5 hydrometric stations and the piezometric wells. The Pearson correlation coefficient was used to assess the relationship between rainfall, discharge, and groundwater level in different time lags.

Results and Discussion: Results showed that in negative SPI durations, the groundwater level decreased with some delay. The delay increased when the drought scale increased. In recent years, the duration and intensity of drought have increased. Maximum volume of 3, 6, 9, and 12 months precipitation drought of Nazmakan station occurred in 1999, the maximum intensity of 3, 6, and 9 months in 2004, and 12 months occurred in 2009. When the drought scale increased, drought duration and intensity increased, and the drought frequency decreased. Results for the other stations were nearly similar. SWI of Basht well showed that 6, 12, 24, and 48 months droughts continued nearly 48 months, from the end of 2006 to the middle of 2010. The intensity of 48 months drought was maximum and 12, 24, and 6 months were in the next level of intensity. This trend shows the long time accumulating effect of meteorological trends on the decreasing level of groundwater, although pumping withdrawal of groundwater is also effective. The trend for other wells was nearly similar. The Mann-Kendall test did not confirm the trend of stations discharge, but the decreasing level of groundwater in all wells was statistically confirmed. The Pearson's coefficient of precipitation-discharge showed the maximum correlation with the same month data. It could be from the surface water's direct relation with groundwater, and the decreasing amount of snow precipitation in recent years, which lead to a delay between them. The maximum Pearson's correlation of the groundwater level -precipitation, and groundwater level -discharge was observed with two months delay. It could verify the groundwater recharge with surface water, and the time needed for infiltration and movement of water in the aquifer.

Conclusions: The results could be used for predicting the effects of meteorological drought on hydrological drought. The properties of meteorological and hydrological droughts could be used to manage drought and water resources, supply water for agriculture, industry, and livestock, and supply drinking water for humans in the province.

Keywords: Meteorological drought, hydrological drought, SPI index, SWI index.

Citation: Razmkhah, H., Ghahremani, E., Fararouie, A., & Rostami Ravari, A. (2022). Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river). *Integrated Watershed Management*, 2(3), 58-81. doi: 10.22034/iwm.2022.563458.1047

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 خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: رودخانه زهره)

هما رزمخواه^{۱*}، عماد قهرمانی^۲، علیرضا فرارویی^۱، امین رستمی راوری^۱

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

۲- دانش آموخته گروه علوم و مهندسی آب، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

*نویسنده مسئول: Homarazmkhah@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲

چکیده

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از آب سه رودخانه کارون، مارون و زهره از استان کهگیلویه و بویراحمد تأمین می‌شود، بررسی خشک‌سالی در این استان ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی تطابق خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه است. بدین منظور تغییرات ماهانه دبی، بارش و تراز آب زیرزمینی در سطح حوضه بررسی گردید. خشک‌سالی هواشناسی توسط شاخص SPI برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی و شاخص SWI برای ۱۱ چاه پیژومتریک محاسبه شد. در پایان مقایسه بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام گرفت. نتایج نشان داد که هر زمان SPI منفی باشد، سطح آب زیرزمینی افت بیشتری نشان می‌دهد. این کاهش با تأخیر زمانی همراه بوده و با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی، تأخیر بیشتر می‌شود. در سال‌های اخیر تداوم و شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است. بیشترین حجم کمبود بارش ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ایستگاه نازمکان در سال ۱۳۸۸، بیشترین شدت ۳، ۶ و ۹ ماهه در ۱۳۸۳ و ۱۲ ماهه در ۱۳۸۸ به وقوع پیوسته است. با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی‌ها، تداوم بیشتر و تکرار کمتر شده است. تغییرات SWI چاه باشت نشان داد که خشک‌سالی‌های ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه حدود ۴۸ ماه، از اسفند ۱۳۸۶ تا شهریور ۱۳۹۰ تداوم داشته‌اند. شدت ۴۸ ماهه بیشترین بود و بعد از آن به ترتیب ۱۲، ۲۴ و ۶ ماهه قرار دارد. روند فوق نشانگر تأثیر درازمدت و تجمعی خشک‌سالی هواشناسی بر روند نزولی آب زیرزمینی بوده، هرچند برداشت از آب‌ها نیز بی‌تأثیر نیست. مطابق آزمون Mann-Kendall در بررسی روند دبی رودخانه و تراز آب چاه‌ها، روند دبی تأیید نشد، ولی روند صعودی افت تراز چاه‌ها تأیید گردید. حداکثر همبستگی بارش-دبی در همان ماه مشاهده شد، که عمدتاً ناشی از ارتباط مستقیم آب سطحی و زیرزمینی، و کمبود بارش برف است. بیش‌ترین همبستگی تراز آب زیرزمینی-بارش، و تراز آب زیرزمینی-دبی با دو ماه قبل مشاهده شد که تأییدی بر تغذیه آب زیرزمینی توسط آب سطحی، و مدت‌زمان لازم برای نفوذ و حرکت آب در آبخوان است. نتایج مؤید ضرورت برنامه‌ریزی مناسب استفاده از منابع آب در استان است.

واژه‌های کلیدی: شاخص SPI، شاخص SWI، خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیک.

استناد: رزمخواه، ه.، قهرمانی، ع.، فرارویی، ع. و رستمی راوری، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک (مطالعه موردی: رودخانه زهره). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، (۳)، ۵۸-۸۱.

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 قابل‌دسترس است.

مقدمه

آب رکن اساسی توسعه است و کمبود آن (خشک‌سالی) باعث نابودی و تغییر اساسی در اکوسیستم‌ها می‌شود (Samiei, 2004). کمبود منابع آب تهدید بزرگی برای اقتصاد و زندگی مردم است و افزایش تقاضا برای منابع آب موجب تشدید رقابت بهره‌برداران و گسترش خشک‌سالی می‌شود (Hisdal & Tallaksen, 2003). خشک‌سالی یکی از بلایای طبیعی است که به آهستگی، تدریجی، برگشت‌پذیر و گاه به‌سرعت آثار خود را آشکار می‌کند و غالباً به‌عنوان پدیده‌ای خزنده تلقی می‌شود و ممکن است هفته‌ها یا ماه‌ها طول بکشد تا بتوان تأثیرات خشک‌سالی را تشخیص داد (Alizadeh, 2007). خشک‌سالی یک ویژگی اقلیمی است که خصوصیات آن بستگی به ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی هر ناحیه دارد، به‌کندی شروع می‌شود و تأثیر آن در دوره زمانی به نسبت طولانی در منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، مسائل اجتماعی-اقتصادی و... ظاهر می‌شود.

خشک‌سالی فقدان طولانی‌مدت بارش است به‌طوری‌که باعث آسیب به گیاهان و حیوانات و تخلیه منابع آب برای اهداف محلی و نیروگاه‌های برق‌آبی می‌شود. تشخیص انواع خشک‌سالی برای توسعه راهکارهای مقابله با آن مهم است. خشک‌سالی را به چهار نوع هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی دسته‌بندی می‌کنند (Dracup et al., 1980). خشک‌سالی هواشناسی معمولاً بر اساس کمبود بارش (در مقایسه با مقادیر نرمال یا میانگین) و طول دوره مشخص تعریف می‌شود (Glantz & Wilhute, 1985). خشک‌سالی هیدرولوژیکی به کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، مخازن و غیره مربوط است و خشک‌سالی کشاورزی به شرایطی گفته می‌شود که میزان رطوبت موجود در خاک برای محصول ناکافی است و منجر به خسارت در محصول می‌شود. تعریف خشک‌سالی اقتصادی-اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاهای اقتصادی با اجزا خشک‌سالی

هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است (Patel et al., 2007). به‌طور طبیعی دوره‌های متناوب سال‌های خشک و تر باعث نوسانات درازمدت سطح آب زیرزمینی می‌شود. وقوع خشک‌سالی‌های متناوب از عوامل اصلی کمبود آب به‌ویژه آب سطحی است که فشار مضاعفی بر آب زیرزمینی وارد می‌شود (Shamsi Pour & Morad Mohammadi., 2004). فشار به آب‌های سطحی، افت تراز آب زیرزمینی و شور شدن سفره‌ها از پیامدهای زیان‌بار خشک‌سالی است (Karami, 2011). امروزه خشک‌سالی هیدرولوژیکی به علت توسعه شهرسازی، صنعتی شدن و کمبود آب در بخش‌های زیادی از جهان به‌صورت مسئله پیچیده‌ای درآمده است (Faraj zadeh, 1997).

توجه به کاهش پیامدهای خشک‌سالی در توسعه مناطق، نیازمند برنامه‌ریزی است که خود مستلزم پیش‌بینی خشک‌سالی است (Khazaei, 2003). پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی را می‌توان به دودسته کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم نمود (Zealand et al., 1999). پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت اغلب دارای افق زمانی چندروزه می‌باشند و به‌منظور هشدار سیل و بهره‌برداری زمان واقعی سامانه‌های منابع آب بکار می‌روند. پیش‌بینی‌های بلندمدت دارای افق زمانی بیش از یک هفته تا یک سال بوده و برای تخصیص آب آبیاری و کاهش اثرات خشک‌سالی به کار می‌رود. پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت از دقت بیشتر و قابلیت شبیه‌سازی بهتری برخوردارند، اما پیش‌بینی‌های بلندمدت خطا و پیچیدگی‌های بیشتری داشته و به همان اندازه اهمیت آن در بهره‌برداری بیشتر است (Morid et al., 2006). پیش‌بینی خشک‌سالی نقش مهمی در مدیریت منابع طبیعی، سامانه‌های منابع آب، تعیین نیاز آبی و کاهش خسارات ایفا می‌نماید. در سال‌های گذشته شاخص‌های متعددی برای خشک‌سالی معرفی شده است که با یکی از انواع خشک‌سالی مرتبط است (Mendicino et al., 2008). یکی از این شاخص‌ها، شاخص بارش

سال می‌تواند اثر بگذارد. Mckee و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را به منظور پایش خشک‌سالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه دادند.

Sharma (۱۹۹۷) به برآورد شدت خشک‌سالی با استفاده از سری‌های هیدرولوژیکی مستقل و وابسته پرداخت. نتایج نشان داد در کلیه دوره بازگشت‌ها شدت در سطح معیارهای بالاتر، بیشتر از معیارهای پایین‌تر است. Faraj zadeh (۱۹۹۷) با استفاده از شاخص درصد نرمال به بررسی ویژگی‌های عمومی دوره‌های خشک کشور پرداختند. نتایج نشان داد که وقایع با حداکثر فراوانی، از گستردگی بیشتری برخوردارند، و هرچه از بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور فاصله گرفته می‌شود از شدت دوره‌های خشک کاسته می‌گردد. Byun و Wilhite (۱۹۹۹) شدت و مدت خشک‌سالی را مورد ارزیابی قرار داده و اشکالات شاخص‌های خشک‌سالی رایج را در تعیین شروع و پایان تنش تجمعی خشک‌سالی بیان کرده و شاخص‌های جدید خشک‌سالی با فواصل زمانی روزانه بجای ماهانه پیشنهاد دادند. Wu و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص‌های SPI، CZI و نمره Z (Z-Score) در مقیاس‌های زمانی مختلف در چین پرداختند. نتایج نشان داد که هر سه شاخص، نتایج یکسانی برای کلیه مقیاس‌ها به همراه دارد. Kahya و Kalayci (۲۰۰۴) روند دبی ماهانه رودخانه ترکیه به روش من کندال و SP (Spearman) و TS (Thiel-Sen) بررسی و نتیجه گرفتند که حوضه‌های غربی روند کاهشی دبی داشته و حوضه‌های شرقی، فاقد روند کاهشی بوده‌اند. Zarea Abyaneh و همکاران

استاندارد SPI^۱ است. بسیاری از محققین، به قابلیت انعطاف‌پذیری SPI و کاربرد آن برای هر مقیاس زمانی اذعان داشته‌اند (Hayes et al., 1999). SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی‌مدت آن محاسبه می‌شود (Khan et al., 2008).

حال مروری بر برخی از تحقیقات صورت گرفته خواهیم داشت. Palmer (۱۹۶۵) یکی از جامع‌ترین تعریف‌های خشک‌سالی را ارائه نمود. خشک‌سالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی که از جمله مشخصه‌های آن، تداوم^۲، شدت^۳ و بزرگی^۴ است. تداوم و شدت دو ویژگی اولیه و بزرگی ویژگی ثانویه خشک‌سالی است. نحوه تعیین خصوصیات خشک‌سالی در پژوهش‌های Khani Temeliyeh و همکاران (۲۰۲۰) آورده شده است. شاخص پالمر^۵ یک مقیاس زمانی دوازده‌ماهه را که در آن متغیرهای گوناگونی مانند بارندگی، تبخیر و تعرق، وضعیت خاک و رواناب سطحی نیز دخالت دارند را مورد بررسی قرارداد. Alley (۱۹۸۵) به بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیکی پرداخت. بدین منظور ۳ شاخص آب‌های زیرزمینی، PDSI و جریان رودخانه را مورد ارزیابی قرارداد. ارزش PDSI و شاخص آب‌های زیرزمینی، شرایط غیرطبیعی ماندگار را بیشتر از شاخص جریان نشان داد. هم‌چنین مشخص شد که ۳ شاخص خشک‌سالی می‌تواند ۳ خصوصیت متفاوت خشک‌سالی را نشان دهد. Guttman (۱۹۹۱) به بررسی آنالیز حساسیت شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی پالمر به میانگین و شرایط بارش پرداخت. نتایج نشان داد که اثر ناهنجاری‌های درجه حرارت در مقایسه با بارش ناچیز است. در بعضی از موارد، یک مقدار بارش غیرعادی، در ایجاد رطوبت یا خشکی بیشتر از ۲

6. China Z-Index

1. Standard Precipitation Index (SPI)
2. Duration
3. Severity
4. Magnitude
5. Palmer

بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی با تغییرات سطح آب زیرزمینی در استرالیا نشان داد که علی‌رغم بهره‌برداری آب زیرزمینی، در موارد زیادی بین SPI و سطح آب زیرزمینی ارتباط قوی وجود دارد. Shaban (۲۰۰۹) به بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک آب سطحی و زیرسطحی لبنان پرداخت. نتایج نشان داد که رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی، کاهش ۲۹-۲۳ درصدی نسبت به چهار دهه گذشته داشتند. Razmkhah و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی خشک‌سالی در استان فارس با استفاده از SPI پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر نقاط استان وضعیت خشک‌سالی متوسط تا شدید بوده، در قسمت‌های مرکزی شدت بیشتری دارد. لذا قسمت‌های مرکزی نسبت به سایر بخش‌ها در معرض آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارد.

Kariminazar و همکاران (۲۰۱۰) عوامل اقلیمی مؤثر بر وقوع خشک‌سالی زایل را با مدل اسکالوگرام بررسی کردند. نتایج نشان داد که همیشه کم بارش‌ترین سال مصادف با شدیدترین خشک‌سالی نیست. هم‌چنین تبخیر و تعرق پتانسیل از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع خشک‌سالی است. Maleki Nejad و Soleimani-Motlaq (۲۰۱۱) شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک حوضه چغلوندی لرستان را با SPI و SWI^۳ مطالعه کردند. پهنه‌بندی خشک‌سالی با روش کریجینگ انجام و روند خشک‌سالی با آزمون من-کندال بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش شدت و تداوم خشک‌سالی‌ها به‌ویژه هیدرولوژیک، و تأخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی بود. Al-Tabbaa و Pal (۲۰۱۱) به بررسی روند بارش فصلی هند با روش من کندال و REG (linear regression) پرداختند. نتایج نشان داد که بارش در بهار و تابستان روند کاهشی و در پاییز و زمستان روند افزایشی داشته است. Safi و Razmkhah (۲۰۱۲) به تحلیل

روند خشک‌سالی هواشناسی سالیانه و فصلی همدان را با شاخص‌های آستانه ۶۰٪، درصد نرمال، استاندارد بارش، انحراف از میانگین، کلاسه‌بندی دامنه بارش و دهک‌ها بررسی نمودند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی به‌صورت سالیانه و گاهی فصلی رخ داده است. Moghadassi و همکاران (۲۰۰۵) خشک‌سالی تهران را با شاخص خشک‌سالی مؤثر EDI^۱ روزانه، به‌صورت نقطه‌ای و مکانی ارزیابی کردند. Ensafi Moghadam (۲۰۰۵) شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی درصد نرمال، دهک‌ها و ZSI^۲ را در حوضه دریاچه نمک ارزیابی و مناسب‌ترین شاخص را تعیین کرد. نتایج نشان داد که جهت تحلیل بلندمدت، SPI و شاخص دهک‌ها در جایگاه اول، ZSI دوم و درصد نرمال سوم است. Kucuk و Partal (۲۰۰۶) در بررسی روند بلندمدت بارندگی ترکیه با روش من کندال نشان دادند که روند کاهشی بارش در اکثر ایستگاه‌ها وجود دارد. آن‌ها روند بارش ماهیانه و سالانه را با روش من کندال و شیب سن در ۹۶ ایستگاه بارش ترکیه بررسی نمودند. نتایج نشانگر وجود روند معنی‌دار در ژانویه، فوریه و سپتامبر و بارش متوسط سالانه بود. Mozafari (۲۰۰۶) در بررسی تطابق خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دو حوضه هم‌جوار شیرکوه یزد، تفاوت‌هایی در حوضه‌ها نشان دادند. علی‌رغم عدم تأیید روند خشک‌سالی هواشناسی در دو منطقه، روند خشک‌سالی هیدرولوژیکی در اسلامیه تأیید، ولی در فخرآباد تأیید نگردید. هم‌چنین رابطه معنادار بین بارش و دبی در فخرآباد تأیید، و در اسلامیه تأیید نشد.

Samiei و Telvari (۲۰۰۸) به بررسی شدت و تداوم خشک‌سالی هیدرولوژیک در استان تهران پرداختند. نتایج همبستگی بالایی بین تداوم و شدت خشک‌سالی در همه ایستگاه‌ها نشان داد و با افزایش سطح آستانه، شدت خشک‌سالی بیشتر گردید. Khan و همکاران (۲۰۰۸) در

3. Standardized Water level Index (SWI)

1. Effective Drought Index
2. Z-Score Index

هیدرولوژیک بر آب زیرزمینی با تأخیر زمانی ۶ ماه تا ۱ سال صورت می‌گیرد. Khani Temeliyeh و همکاران (۲۰۲۰) به تحلیل چندمتغیره خشک‌سالی هواشناسی ایران با شاخص کمبود توأم و مقایسه آن با شاخص بارش استاندارد اصلاح شده پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد اصلاح‌شده تغییرات فصلی بارش را به خوبی توصیف می‌کند. جهت رفع نقایص شاخص اعم از حساسیت به مقیاس‌های زمانی و احتمال ظهور نتایج ناسازگار در مقیاس‌های زمانی مختلف از شاخص کمبود توأم (JDI^۴) استفاده گردید. Janbozorgi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییرات زمانی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی با SPI و SDI در مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر شدت خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است.

با توجه به تأثیرپذیری فعالیت‌های مختلف نظیر تأمین آب شهری، کشاورزی و منابع طبیعی، اعمال مدیریت بحران و ریسک و طرح و اجرای برنامه‌ها و عملیات سازگار با فعالیت‌های فوق، متناسب با مقدار و تداوم خشک‌سالی‌ها است. از آنجاکه بخش عمده‌ای از آورد سه رودخانه مهم کارون، مارون و زهره از کهگیلویه و بویراحمد تأمین می‌شود، بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی ضروری به نظر می‌رسد. در بررسی مطالعات صورت گرفته نیز تحقیقی در این مورد در منطقه مشاهده نگردید. هدف از این پژوهش بررسی تطابق خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی رودخانه زهره در کهگیلویه و بویراحمد است. بررسی تغییرات روزانه، ماهانه، سالانه میزان دبی و بارش حوضه رودخانه زهره، ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی آب سطحی و زیرزمینی و تعیین رابطه و تطابق خشک‌سالی‌ها، از اهداف این پژوهش است.

خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی رودخانه کر پرداختند. بدین منظور آمار ۳۱ ساله بررسی، حد آستانه تئوری ران برابر با ۷۵٪ دبی میانگین لحاظ و خصوصیات دوره‌های خشک‌سالی استخراج گردید. مطالعات بسیاری نیز به بررسی خصوصیات خشک‌سالی از جمله مقدار، شدت و مدت آن با استفاده از تئوری چندمتغیره، منحنی‌های SDF^۱ پرداخته‌اند. به‌طور نمونه Razmkhah (۲۰۱۶) به تهیه منحنی‌های SDF خشک‌سالی هیدرولوژیکی حوزه آبریز رود زرد با استفاده از تئوری ران پرداخت. در این تحقیق ۷۰٪ میانگین دبی به‌عنوان حد آستانه لحاظ گردید. نتایج نشانگر یکسان بودن روند افزایش و کاهش مدت و حجم خشک‌سالی بود.

Razmkhah (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر حدود آستانه ۷۰ و ۹۰٪ بر منحنی SDF خشک‌سالی هیدرولوژیکی حاصله پرداخت. نتایج بیانگر یکسان بودن روند افزایش و کاهش مدت و حجم خشک‌سالی‌ها در هر دو آستانه بوده هرچند خصوصیات خشک‌سالی محاسبه‌شده در آستانه‌ها متفاوت است. Mesbahzadeh و Soleimani Sardoo (۲۰۱۸) به بررسی روند زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از SPI و شاخص جریان‌ات رودخانه‌ای SDI^۲ در حوضه کرخه پرداختند. نتایج نشان داد زمان وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ۹۹٪ معنی‌دار و در بازه ۴۸ ماهه حداکثر است. وقوع خشک‌سالی در منطقه، اثر خود را با تأخیر ۱ تا ۲ ماه بر آب سطحی نشان داد. Zandifar و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی روند زمانی و مکانی خشک‌سالی آب زیرزمینی حوضه زهره-جراحی با شاخص‌های GRI^۳ و SDI پرداختند. نتایج نشانگر وجود همبستگی بین SDI و GRI در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی بود. در اغلب موارد تأثیر خشک‌سالی

4. Joint Deficit Index

1. Severity Duration Frequency
2. Stream flow Drought Index
3. Groundwater Resource Index

دنا با ارتفاع ۴۴۰۹ متر و پست‌ترین ناحیه آن بیشتر به ارتفاع ۵۰۰ متر از سطح دریا است. عواملی درونی چون اختلاف ارتفاع و جهت کوه‌ها، جنگل‌ها، فاصله از دریا و عامل بیرونی ورود توده‌های هوای مختلف در فصول گرم و سرد سبب تنوع آب و هوایی و ایجاد دو اقلیم متمایز سردسیری و گرمسیری در استان شده است. در منطقه سردسیر واقع در شمال و شرق استان برف و باران زیاد می‌بارد. بارندگی‌ها از ماه‌های سرد سال آغاز می‌شود و تا ابتدای فصل گرم ادامه می‌یابد. میانگین بارش سالیانه بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است. در منطقه گرمسیر شامل جنوب و غرب استان بارندگی به‌طور معمول از اواخر آبان شروع می‌شود و تا اوایل اردیبهشت ادامه می‌یابد و میانگین بارش این مناطق بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است. شکل ۱ موقعیت استان در ایران و شکل ۲ حوزه‌های آبخیز اصلی استان را نشان می‌دهد.

در این ارتباط، چگونگی تأثیرپذیری خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک آب‌های سطحی و زیرزمینی از خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI از نظر تداوم، شدت و تأخیر زمانی در حوزه آبریز رودخانه زهره صورت خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

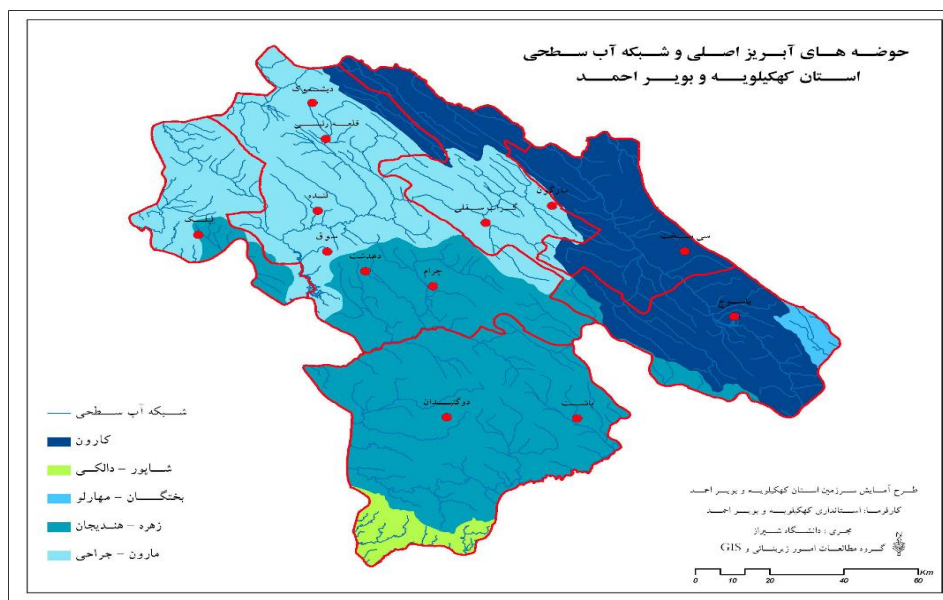
منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویر احمد واقع در دامنه‌های زاگرس در جنوب غربی ایران و در فاصله ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی، و ۴۹ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۱ درجه طول شرقی، با ۱۶۲۶۴ کیلومتر مربع وسعت، واقع گردیده است. این استان سرزمینی کوهستانی و به نسبت مرتفع بوده که کوه‌های زاگرس با رشته‌های موازی شمال آن را در بر گرفته است. بلندترین نقطه استان قله



شکل ۱- موقعیت استان کهگیلویه و بویر احمد در کشور

Figure 1- Location of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province in Iran



شکل ۲- حوزه‌های آبریز اصلی استان کهگیلویه و بویر احمد (Ghahremani, 2015)
 Figure 2- Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province watersheds (Ghahremani, 2015)

دشت و از آنجا به سمت غرب است که در نهایت توسط رودخانه بشار در انتهای دشت زهکشی، و در ورودی رودخانه بشار، بخش زیادی از تغذیه لایه آبدار زیرزمینی توسط جریان رودخانه انجام می‌شود. از نظر اقلیم این منطقه به روش آمبروزه جزء مناطق نیمه مرطوب سرد و به طریقه گوسن جزء اقلیم استپی سرد محسوب می‌گردد. اطلاعات لازم برای انجام این تحقیق، داده‌های بارش، دبی و سطح ایستابی چاه‌های پیرومتریک استان است، که با مراجعه به سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای استان جمع‌آوری گردید. به منظور محاسبه شاخص SPI از اطلاعات بارندگی ماهانه مربوط به ۱۰ ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی استان استفاده شد (جدول ۱). برای محاسبه شاخص SWI از داده‌های چاه‌های پیرومتری حوضه (جدول ۲)، و برای بررسی روند دبی نیز از داده‌های ۵ ایستگاه هیدرومتری حوضه در کل بازه زمانی موجود استفاده شده است (جدول ۳).

سرشاخه‌های سه رودخانه بزرگ کارون، زهره و مارون در استان کهگیلویه و بویر احمد واقع است. رژیم این رودخانه‌ها برفی و بارانی بوده، زهکش کننده عمده دشت‌های استان هستند و آبدهی قابل توجهی در خارج استان دارند. دشت یاسوج که تنها گستره آبرفتی حاوی آبخوان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به شمار می‌رود، بر پهنه‌ای از رسوبات آبرفتی عهد حاضر قرار دارد. به سبب ناهمواری سنگ کف آبرفتی و محدود بودن ضخامت طبقات آبرفتی در دشت یاسوج، آبخوان زیرزمینی در تمام بخش‌ها شرایط یکسانی نداشته و به جز در محدوده مخروط افکنه‌ها، در سایر نواحی دشت ضخامت لایه آبدار و پیوستگی آبخوان‌های زیرزمینی تحت تأثیر ناهمواری و عدم پیوستگی طبقات آبرفتی قرار گرفته و در پتانسیل آب زیرزمینی دشت محدودیت‌هایی ایجاد گردیده است. آبخوان دشت یاسوج از نوع آزاد بوده و جهت کلی حرکت آب زیرزمینی از شمال و شرق و جنوب به سمت مرکز

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی

Table 1- Rainfall stations characteristics

مختصات ایستگاه			نوع ایستگاه Station Type	نام ایستگاه Station Name
Station Geographical Coordinate				
ارتفاع Altitude	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude		
793	30-29	50-41	باران‌سنجی	آبچیرک
1040	30-26	51-03	باران‌سنجی	آبدگاه
740	30-16	50-46	باران‌سنجی	بی‌بی جان آباد
1100	30-32	50-57	باران‌سنجی	تلچگاه
800	30-48	50-34	سینوپتیک	دهدشت
760	30-38	50-48	سینوپتیک	دوگنبدان
870	30-33	50-46	باران‌سنجی	دیل
820	30-40	50-30	باران‌سنجی	سرفاریاب
640	30-41	50-43	باران‌سنجی	سیدآباد
650	30-38	50-46	باران‌سنجی	نازمکان

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

Table 2- Hydrometry stations characteristics

مختصات ایستگاه			نوع ایستگاه Station Type	نام ایستگاه Station Name
Station Geographical Coordinate				
طول جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Longitude		
390	30-10	50-46	هیدرومتری	پل زهره
800	30-17	51-14	هیدرومتری	تنگ بریم
640	30-15	51-12	هیدرومتری	حاج قلندر
640	30-41	50-43	هیدرومتری	سیدآباد
650	30-38	50-46	هیدرومتری	نازمکان

جدول ۳- مشخصات چاه‌های پیزومتری

Table 3- Piezometer stations characteristics

مختصات ایستگاه			نام چاه پیزومتری Piezometric Station Name
Station Geographical Coordinate			
طول جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Longitude	
858	51-08	30-22	تنگ تیزاب
883	51-05	30-23	جاده باشت-دهدشت
799	51-11	30-20	تل مویزی
918	51-04	30-23	سرابیز
772	51-13	30-19	شوش
810	51-10	30-20	کنه
870	51-07	30-22	گروس
813	51-10	30-20	منصورآباد
934	51-04	30-24	سنگ‌شکن
812	51-10	30-21	گوهرگان
793	51-12	30-19	بوستان

نمایه استاندارد بارش

شاخص بارندگی استاندارد شده توسط Mckee و همکاران (۱۹۹۳) تدوین شد. کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در صورتی که کمبود بارش طولانی‌مدت اغلب بر روی آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر منابع آب مؤثر است (Mehry et al., 2017). با توجه به این موضوع Mckee و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه SPI برای هر مکان، بر اساس بارش‌های طولانی‌مدت است.

توزیع احتمالی برازش داده‌شده، سپس نرمال می‌گردند، به طوری که میانگین SPI هر منطقه صفر گردد. مقادیر مثبت SPI بالاتر از میانه و مقادیر منفی SPI پایین‌تر از میانه داده‌های بارندگی خواهد بود. چون SPI نرمالیزه شده است، طبقه‌بندی خشک‌سالی و ترسالی از نظر بازه‌ها متقارن خواهد بود. تحقیقات نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال داده‌های بارندگی تابع توزیع گاما است (Mostafazadeh et al., 2015). از این رو نخستین مرحله برازش تابع گاما به داده‌های بارندگی است. سپس پارامترهای تابع برای مقیاس زمانی برآورد می‌گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی محاسبه و به تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل می‌گردد (Rostami, 2013).

تابع توزیع گامای دو پارامتری به صورت رابطه (۱) است:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \quad (1)$$

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، x مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است.

تابع گاما به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

تابع توزیع گاما دارای چولگی به راست بوده و حد پایینی آن صفر است. این توزیع بسیار شبیه توزیع فراوانی بارش است. پس از برازش تابع گاما بر داده‌های ایستگاه مورد مطالعه، احتمال تجمعی برای هر رویداد

بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (3)$$

از آنجایی که تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشند، لذا در این حالت احتمال تجمعی از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$H(X) = q + (1 - q)g(x) \quad (4)$$

که در آن q احتمال بارش ماهانه صفر است.

در مرحله بعد احتمال تجمعی $H(x)$ به متغیر نرمال استاندارد z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌گردد که برابر با شاخص SPI است. برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد روش‌های متعددی پیشنهاد شده است. در این مطالعه جهت تبدیل احتمال تجمعی به متغیر نرمال استاندارد از روش پیشنهادی Abramowitz و Stegun (۱۹۶۵) استفاده گردید. در این روش مقادیر متغیر نرمال استاندارد (z) با روابط (۵) و (۶)، (۷) و (۸) محاسبه می‌شود:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (5)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (6)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (7)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]}, \quad \text{for } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (8)$$

در روابط فوق مقادیر زیر صادق است:

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010308,$$

برسد و زمانی که به مقادیر مثبت برگردد تمام می‌شود؛ بنابراین هر رویداد خشک‌سالی دارای یک دوره زمانی است که به وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. جدول ۴ طبقه‌بندی شاخص SPI را نشان می‌دهد.

$$d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308.$$

خشک‌سالی زمانی به وقوع می‌پیوندد که شاخص SPI به‌طور مداوم منفی باشد و شدت آن به ارقام ۱- یا کمتر

جدول ۴- طبقه‌بندی شدت شاخص SPI (Mckee et al., 1993)
Table 4- SPI drought classification (Mckee et al., 1993)

مقادیر SPI SPI Value	طبقه خشک‌سالی Drought Class
>0	بدون خشک‌سالی
-0.99-0	خشک‌سالی ملایم
-1.49-(-1)	خشک‌سالی متوسط
-1.99-(-1.5)	خشک‌سالی شدید
<=(-2)	خشک‌سالی بسیار شدید

که W_{ij} : سطح ایستابی چاه‌های i تا j ، W_{im} : میانگین ماهانه آن‌ها و σ : انحراف معیار است. مقادیر محاسبه‌شده SWI طبقه‌بندی‌شده، شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی مشخص می‌شود. از آنجایی که سطح آب زیرزمینی از سطح زمین به پایین اندازه‌گیری می‌شود، مقادیر مثبت SWI نشان‌دهنده خشک‌سالی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده عدم خشک‌سالی یا شرایط نرمال است (Bhuiyan, 2004). جدول ۵ طبقه‌بندی شاخص SWI را نشان می‌دهد.

شاخص سطح آب استاندارد (SWI)

شاخص خشک‌سالی هیدرولوژی سطح آب استاندارد SWI توسط Bhuiyan (۲۰۰۴) جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک ارائه شد. این شاخص که به‌عنوان معیاری جهت تعیین میزان کاهش تغذیه در آب‌های زیرزمینی نیز به کار می‌رود، با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma \quad (9)$$

جدول ۵- طبقه‌بندی شدت شاخص SWI (Bhuiyan, 2004)
Table 5- SWI index classification (Bhuiyan, 2004)

مقادیر SWI SWI Value	طبقه خشک‌سالی Drought Class
<0	بدون خشک‌سالی
0-0.99	خشک‌سالی ملایم
1-1.49	خشک‌سالی متوسط
1.5-1.99	خشک‌سالی شدید
>=2	خشک‌سالی بسیار شدید

سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از

آزمون من کندال

آزمون من کندال به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژی و هواشناسی به کار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند

در صورتی که $|z| \leq z\alpha / 2$ باشد، فرض صفر پذیرفته و در غیر این صورت رد و فرض مقابل پذیرفته می‌شود. α سطح معنی‌داری آزمون است که معمولاً این آزمون برای سطوح ۰.۹۵٪ و ۰.۹۹٪ به انجام می‌رسد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن نزولی در نظر گرفته می‌شود (Khorrooshi et al., 2017).

روش تحقیق

این تحقیق طی مراحل زیر انجام پذیرفته است:

- ۱- ایستگاه‌های هواشناسی منتخب با در نظر گرفتن موارد مختلفی از قبیل داشتن آمار طولانی‌مدت و نواقص آماری کم در منطقه انتخاب شده‌اند.
 - ۲- داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌ها به لحاظ همگنی توسط روش ران تست مورد بررسی قرار گرفت.
 - ۳- به منظور محاسبه شاخص SPI از اطلاعات بارندگی ماهانه مربوط به ۱۰ ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی استان استفاده و محاسبات توسط نرم‌افزار DIP انجام گردید.
 - ۴- وجود روند با استفاده از آزمون من کندال بررسی شد.
 - ۵- شاخص SWI (شاخص سطح آب استاندارد) در چاه‌های مورد بررسی در کل دوره آماری موجود محاسبه گردید.
 - ۶- مقایسه بین رخداد خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیک در سطح حوزه آبخیز رودخانه زهره انجام پذیرفت.
- شکل ۳ فلوجارت مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است. همانند سایر آزمون‌های آماری این آزمون نیز بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند (Khorrooshi et al., 2017). فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. برای محاسبه این آزمون ابتدا آماره S به صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (10)$$

که در آن n تعداد جملات سری، x_j داده j ام سری و x_k داده k ام سری است. تابع Sgn نیز از رابطه (۱۱) تعریف می‌گردد.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

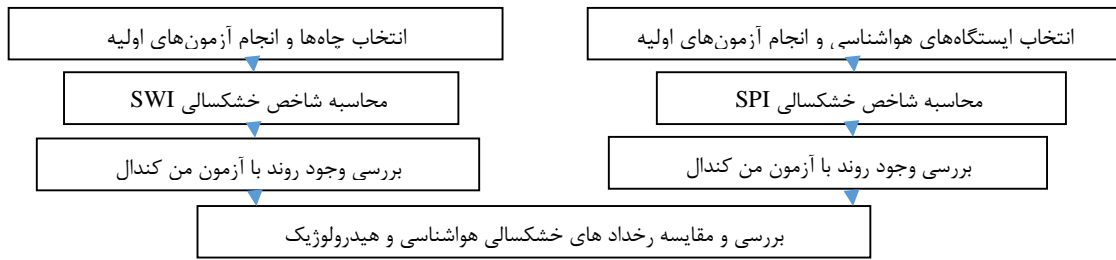
سپس واریانس S از طریق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m (t-1)(2t+5)}{18}, \quad n > 10$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}, \quad n < 10 \quad (12)$$

در رابطه فوق، m تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t فراوانی داده‌های بارزش یکسان است. پس از برآورد واریانس S مقدار Z بر اساس رابطه (۱۳) استخراج شده و با Z جدول مقایسه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (13)$$



شکل ۳- فلوجارت مراحل تحقیق

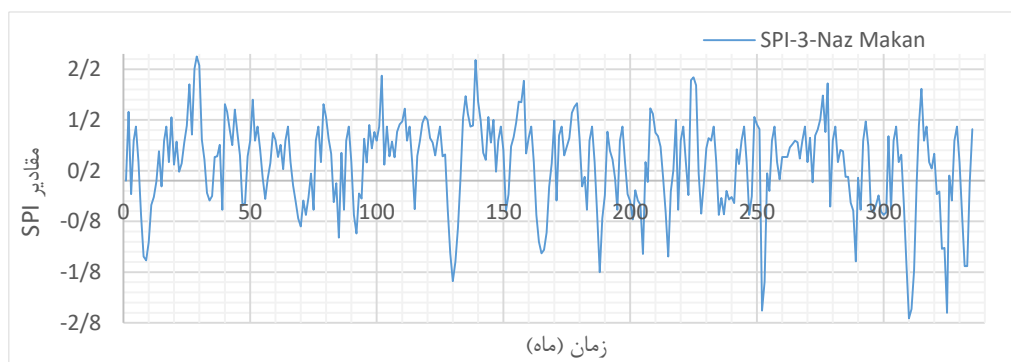
Figure 3- Research flow chart

نتایج

شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI

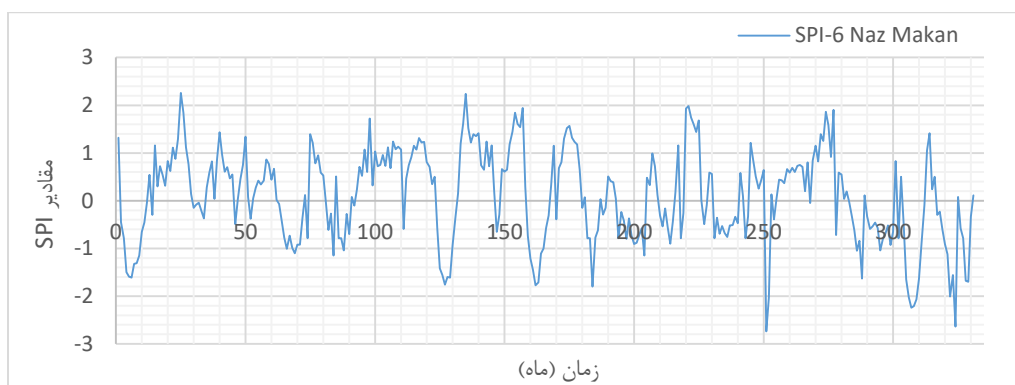
مقیاس‌های زمانی مختلف شاخص SPI به‌منظور نشان دادن تأثیرات کاهش بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده‌اند. برای مثال تغییر رطوبت خاک واکنشی است در برابر نوسان بارندگی در رابطه با مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، درحالی‌که جریان‌ات سطحی، مخازن آب و آب‌های زیرزمینی واکنشی طولانی‌مدت به بارندگی است. از آنجایی‌که هدف این تحقیق ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و رابطه آن با آب‌های سطحی و زیرزمینی بود، SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه گردید. نمودار سری زمانی ۳۰ ساله تغییرات SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ایستگاه نامکان در شکل ۴ آورده شده است. مطابق با نتایج، بیش‌ترین حجم کمبود (مقدار) خشک‌سالی ۳ ماهه در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به وقوع پیوسته است. بیش‌ترین تداوم ۷ ماه به طول انجامیده و در سال‌های ۶۲-۶۳، ۶۷-۶۸، ۷۸-۷۹، ۸۱-۸۲ و ۸۶-۸۷ تکرار شده است. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی در یک دوره

دوماهه در سال ۱۳۸۳ رخ داده است. بیش‌ترین حجم کمبود خشک‌سالی ۶ ماهه در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به وقوع پیوسته است. بیش‌ترین تداوم ۱۱ ماه به طول انجامیده و در سال‌های ۶۲-۶۳، ۶۷-۶۸، ۷۸-۷۹ و ۸۶-۸۷ تکرار شده است. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی در یک دوره دوماهه برابر در سال ۱۳۸۳ رخ داده است. بیش‌ترین حجم کمبود خشک‌سالی ۹ ماهه در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ به وقوع پیوسته است. بیش‌ترین تداوم ۱۱ ماه به طول انجامیده و در سال‌های ۸۶-۸۷ و ۸۸-۸۹ تکرار شده است. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی در یک دوره دوماهه برابر در سال ۱۳۸۳ و بیش‌ترین حجم کمبود خشک‌سالی ۱۲ ماهه در سال ۱۳۸۸ به وقوع پیوسته است. بیش‌ترین تداوم ۱۱ ماه به طول انجامیده و در سال‌های ۷۷-۷۸، ۷۹، ۸۶، ۸۷، ۸۸ و ۸۹ تکرار شده است. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی در یک دوره ۱۱ ماهه برابر در سال ۱۳۸۸ رخ داده است. با افزایش مقیاس از ۳ تا ۱۲ ماه شدت و مقدار خشک‌سالی‌ها افزایش یافته و تعداد کل وقایع کمتر شده است. به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله نمودارهای سایر ایستگاه‌ها در متن آورده نشده است.

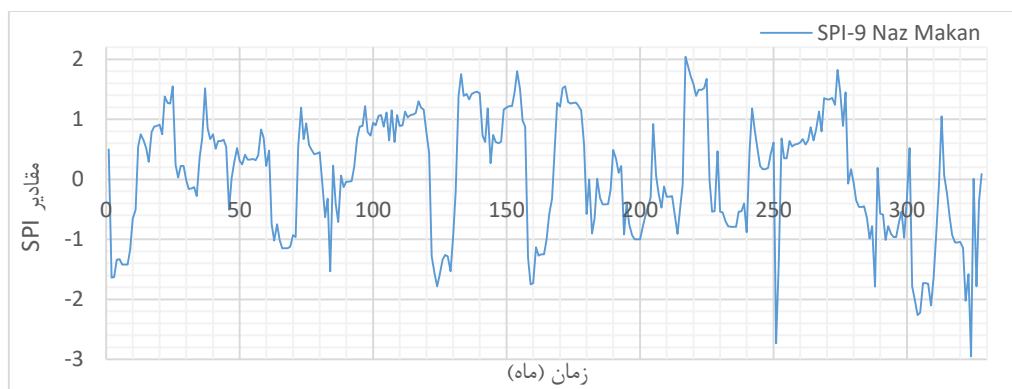


الف - SPI ۳ ماه

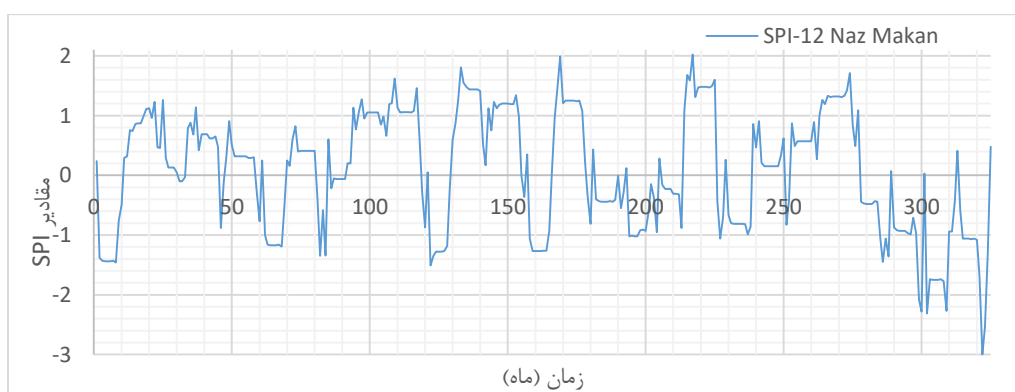
a. SPI 3-months



ب- SPI ۶ ماهه
b. SPI 6-months



پ- SPI ۹ ماهه
c. SPI 9-months



ت- SPI ۱۲ ماهه
d. SPI 12-months

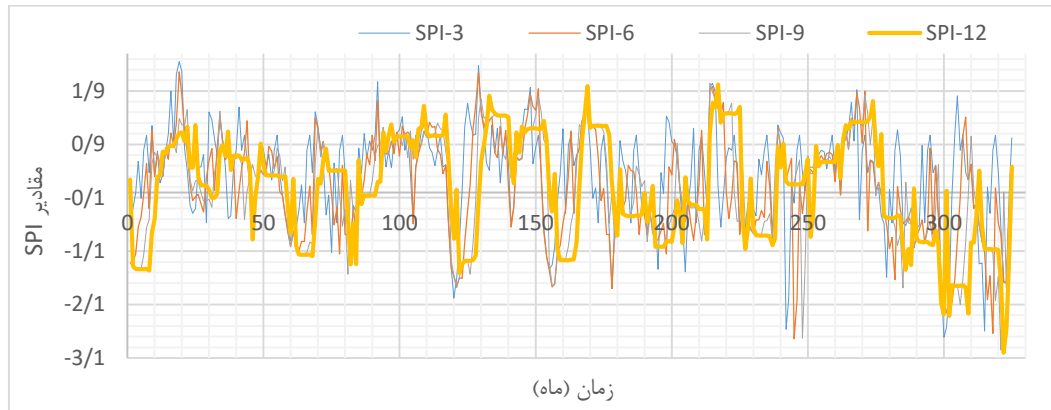
شکل ۴- تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه نازمکان
Figure 4- SPI variation in different time periods in Nazmakan station

مقدار و شدت خشک‌سالی هواشناسی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در سال‌های اخیر، با توجه به روند کاهشی بارش ثبت‌شده در این ایستگاه دارد.

شکل ۵ سری‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه شاخص SPI ایستگاه نازمکان را در یک نمودار نشان می‌دهد. روند نزولی شاخص در کلیه مقیاس‌ها نشان از افزایش

گنبدان بود و ایستگاه بی‌بی‌جان‌آباد نیز از روندی تقریباً مشابه برخوردار بود. قابل ذکر است که با افزایش مقیاس زمانی شاخص، روند تغییرات در کلیه ایستگاه‌ها شباهت بیشتری می‌یابد.

نتایج بررسی شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف در ایستگاه‌های آبچیرک، نازمکان، سیدآباد و دیل مشابه با تغییرات زمانی شاخص‌های ایستگاه نازمکان بود. در ایستگاه‌های آبدگاه، سرفاریاب، دهدشت و تلچگانه به‌جز خشک‌سالی اولیه، روند تغییرات مشابه با ایستگاه دو

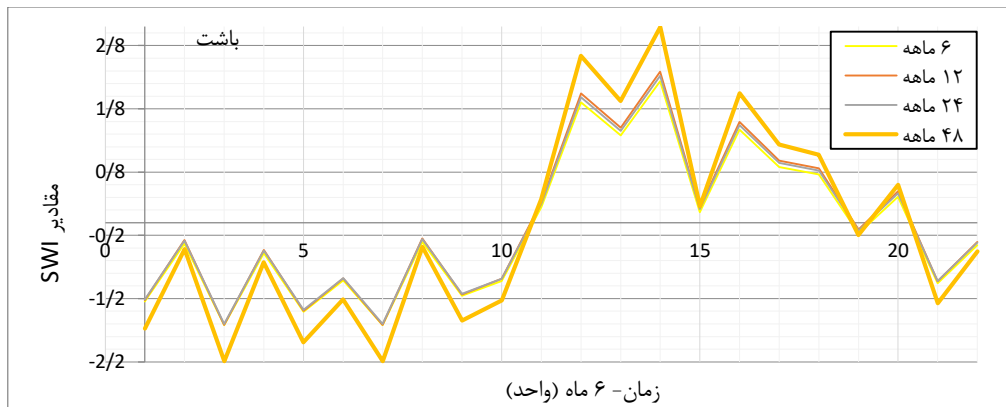


شکل ۵- تغییرات شاخص SPI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ایستگاه نازمکان
Figure 5- SPI variation in different time periods in Nazmakan station

طول انجامیده‌اند. شدت خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی ۴۸ ماهه بیش‌ترین مقدار و بعداز آن به ترتیب ۱۲، ۲۴ و ۶ ماهه قرار دارد. روند فوق نشانگر تأثیر درازمدت و تجمعی خشک‌سالی بر روند نزولی سطح آب‌های زیرزمینی بوده، هرچند برداشت از آب‌ها نیز در این زمینه بی‌تأثیر نیست. روند زمانی شاخص SWI در سایر چاه‌ها به‌طور تقریبی مشابه با چاه باشت بود. روند تغییرات زمانی در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در سایر ایستگاه‌ها مشابه با باشت تقریباً به‌موازات یکدیگر بود.

خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی

در این پژوهش مقادیر شاخص SWI با مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه و جهت مشخص کردن شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی به کار رفت. شکل ۶ تغییرات شاخص SWI چاه پی‌زومتری باشت را در بازه‌های زمانی متفاوت نشان می‌دهد. مقادیر مثبت این شاخص نشانه وقوع خشک‌سالی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خشک‌سالی‌های ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه همگی حدود ۴۸ ماه، از اسفندماه سال ۱۳۸۶ تا شهریور سال ۹۰ به

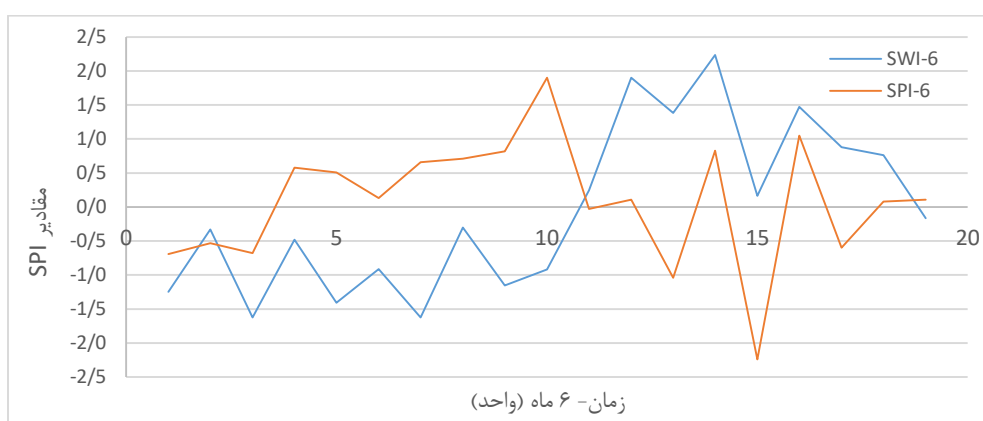


شکل ۶- تغییرات شاخص SWI در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه باشت
Figure 6- SWI variation in different time periods in Basht station

سال‌های اخیر تداوم و شدت خشک‌سالی‌ها با افزایش توأم بوده است. با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی‌ها، تداوم خشک‌سالی‌ها بیش‌تر و تکرار آن‌ها کم‌تر شده است. به همین دلیل با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی، تعداد دوره‌های کمتر با تداوم بیشتر به چشم می‌خورد. قابل ذکر است، کاهش بارندگی و به تبع آن منابع آب‌های سطحی و متعاقباً افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی نیز می‌تواند بر افزایش شدت خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی مؤثر باشد. تغییر شکل ریزش‌های جوی از شکل بارش برف به باران نیز می‌تواند دلایل این تغییر روند باشد. در ارزیابی تغییرات شاخص SPI و SWI سالانه (شکل ۷) در اواسط دهه هشتاد با توجه به عدم وجود خشک‌سالی هواشناسی شاهد افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه باشت و گچساران هستیم. میزان تداوم و شدت خشک‌سالی‌ها به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر در دوره آماری مورد مطالعه فراوان است. میزان تأخیر خشک‌سالی هیدرولوژیک آب زیرزمینی نسبت به خشک‌سالی هواشناسی در نقاط مختلف یکسان نیست و علت این تفاوت در سرعت حرکت جریان‌های سطحی و زیرزمینی است.

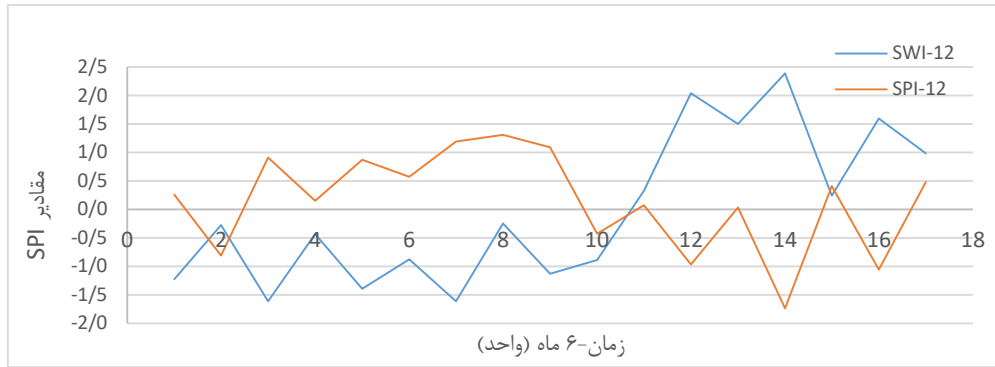
ارزیابی اثرات خشک‌سالی هواشناسی روی تراز آب زیرزمینی

شکل ۷ روند تغییرات بارش ایستگاه نازمکان و تراز آب زیرزمینی چاه باش را در قالب شاخص‌های SPI و SWI در بازه زمانی ۶ و ۱۲ ماهه را نشان می‌دهد. فرایند کند حرکت آب در محیط متخلخل خاک، آبرفت و یا درز و شکاف سازندهای زمین‌شناسی سبب می‌شود تا تأثیر افزایش یا کاهش نزولات جوی بلافاصله در سفره‌های آب زیرزمینی نمایان نشود. تعیین این تأخیر زمانی که همان تأخیر زمانی بین دو رخداد خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک است از نظر مدیریت منابع آب در یک حوضه از اهمیت زیادی برخوردار است و نتایج آن می‌تواند مورد استفاده مدیران و برنامه‌ریزان در این بخش قرار گیرد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، هر زمان که شاخص SPI دارای مقادیر منفی (خشک‌سالی) است، سطح آب زیرزمینی افت بیش‌تری نشان می‌دهد (مقادیر مثبت SWI). این کاهش در سطح آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه بوده و با افزایش مقیاس زمانی خشک‌سالی تأخیر زمانی اندکی بیشتر بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در



الف - SPI و SWI 6 ماهه

a. SPI and SWI 6-month period



ب- SPI و SWI ۱۲ ماهه

b. SPI and SWI 12-month period

شکل ۷- تغییرات شاخص SPI و SWI با میانگین متحرک‌های ۱۲ و ۶ ماهه

Figure 7- SPI and SWI variation on 6 and 12-month periods

احتمال ۹۹ درصد بالاترین همبستگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود تراز آب زیرزمینی با تأخیرهای ۱، ۲ و ۳ ماهه با مقدار دبی رودخانه همبستگی معناداری دارد. بیش‌ترین ضریب همبستگی تراز آب زیرزمینی با دبی جریان سطحی در دو ماه قبل است، که می‌تواند تأییدی برای تغذیه آب زیرزمینی توسط جریان آب سطحی و مدت‌زمان لازم برای نفوذ و حرکت آب در آبخوان باشد.

به‌منظور تعیین مقدار کمی ارتباط بین بارش، دبی رودخانه و نوسانات تراز آب زیرزمینی، ضرایب همبستگی بارش-دبی، بارش-تراز آب زیرزمینی (جدول ۶) و دبی-تراز آب زیرزمینی محاسبه شد (جدول ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود حداکثر همبستگی بارش-دبی مربوط به داده‌های همان ماه است. بیش‌ترین ضریب همبستگی بین تراز آب زیرزمینی و بارش دو ماه قبل است، به‌طوری‌که با

جدول ۶- ضرایب همبستگی پیرسون بارش-دبی و بارش-تراز آب زیرزمینی (متوسط ماهانه)

Table 6- Pearson correlation coefficients of Rainfall-Discharge and Rainfall-Groun water Level (monthly)

بارش سه ماه قبل 3 months before precipitation	بارش دو ماه قبل 2 months before precipitation	بارش یک ماه قبل Last month precipitation	بارش همان ماه Same month precipitation	
**0.262	**0.38	**0.542	**0.593	دبی
**0.289	**0.303	**0.251	0.11	تراز آب زیرزمینی
				Groundwater level

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون دبی - تراز آب زیرزمینی (متوسط ماهانه)

Table 7- Pearson correlation coefficients of Discharge-Groun water Level (monthly)

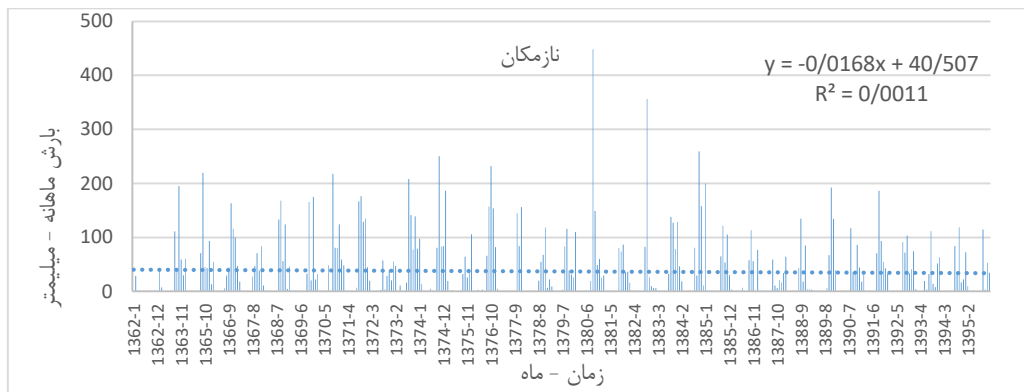
دبی سه ماه قبل 3 months before discharge	دبی دو ماه قبل 2 months before discharge	دبی یک ماه قبل Last month discharge	دبی همان ماه Same month discharge	
**0.483	**0.506	**0.487	**0.383	تراز آب زیرزمینی
				Groundwater level

**معنی‌داری در سطح 0.01

تعیین روند خطی

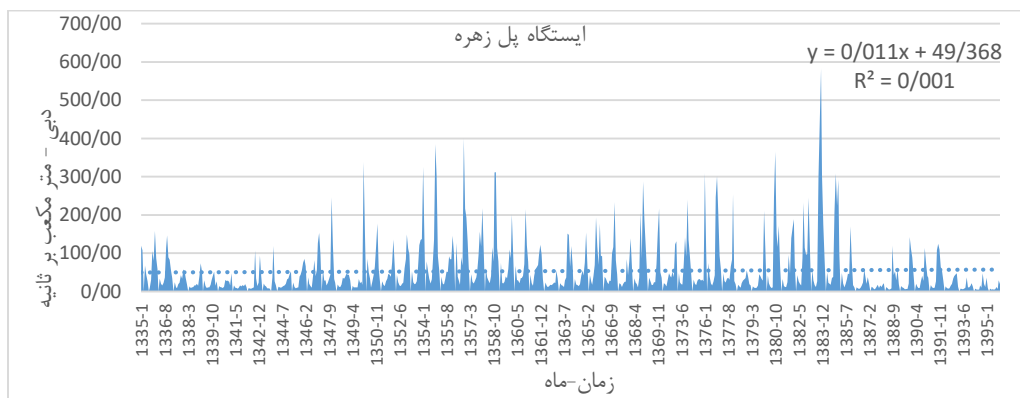
به‌منظور بررسی وجود روند خطی، معادلات خطی بر داده‌ها برازش داده شد. همان‌طور که در شکل ۸، ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود روند خطی در آمار بارش و دبی مشهود نیست، اما در تراز آب زیرزمینی قابل تأمل است.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۶ ساله مورد بررسی (بازه زمانی ثبت داده) در چاه باشت به‌طور متوسط ۴ متر افت، و به‌طور مقطعی در سال ۱۳۸۸ حدود ۱۶ متر افت داشته شده است.



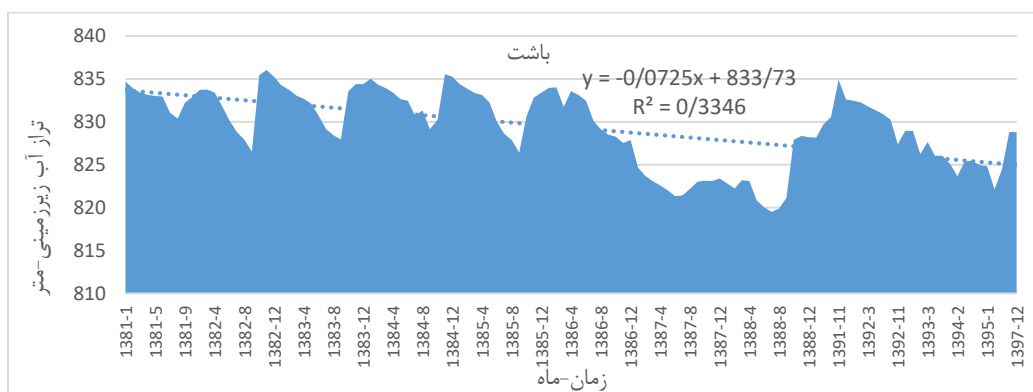
شکل ۸- روند زمانی بارش ماهانه در ایستگاه نازمکان

Figure 8- Monthly rainfall trend in Nazmakan station



شکل ۹- روند زمانی دبی ماهانه در ایستگاه پل زهره

Figure 9- Monthly discharge trend in Pole Zohreh station



شکل ۱۰- روند زمانی تراز آب زیرزمینی در چاه باشت

Figure 10- Monthly ground water level trend in Basht station

بررسی روند با آزمون من کندال

از آزمون من کندال که از متداول‌ترین روش‌های تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیک است جهت بررسی روند خشک‌سالی آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده شد. این آزمون توسط نرم‌افزار Excel (xlstat) انجام گرفت. جدول ۸ نتایج آزمون من

کندال را در بررسی روند دبی جریان آب سطحی در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. وجود روند در داده‌های دبی سالانه ایستگاه‌های تنگ بریم، پل زهره، حاج قلندر، سیدآباد و نازمکان از نظر آماری تأیید نگردید اما در بررسی چاه‌های پیزومتری روند افت سطح آب (P-value کمتر از ۰/۰۵+) از نظر آماری تأیید شد. (جدول ۹).

جدول ۸- مقادیر P-value آزمون من کندال بررسی روند زمانی در ایستگاه‌های هیدرومتری

Table 8- P-value of Mann-Kendall test in hydrometry stations

نتیجه Result	P-value	ارتفاع Altitude	ایستگاه هیدرومتری Hydrometric Station
عدم وجود روند	0.052	390	پل زهره
عدم وجود روند	0.134	800	تنگ بریم
عدم وجود روند	0.139	640	حاج قلندر
عدم وجود روند	0.468	640	سیدآباد
عدم وجود روند	0.145	650	نازمکان

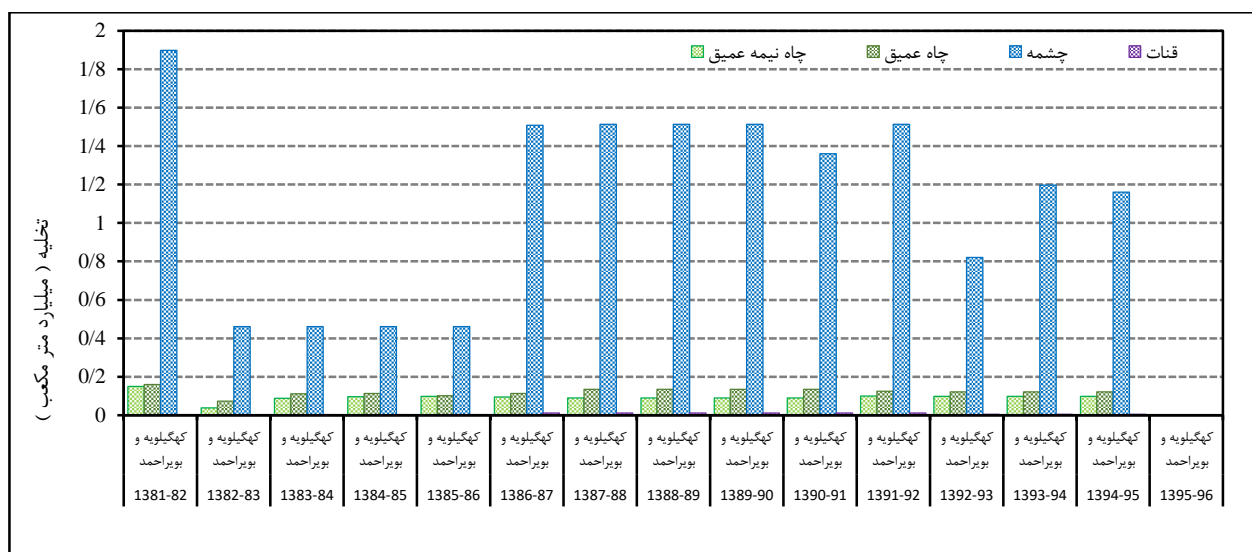
جدول ۹- مقادیر P-value آزمون من کندال بررسی روند زمانی در چاه‌های پیزومتری

Table 9- P-value of Mann-Kendall test in piezometric wells

نتیجه Result	P-value	چاه پیزومتری Piezometric Station
وجود روند	0.003	تنگ تیزاب
وجود روند	0.003	جاده باشت-دهدشت
وجود روند	0.003	تل مویزی
وجود روند	0	سرابیز
وجود روند	<0.0001	شوش
وجود روند	0.001	کته
وجود روند	0	گروس
وجود روند	<0.0001	منصورآباد
وجود روند	0.003	سنگ‌شکن
وجود روند	0.003	گوهرگان
وجود روند	0.003	مرکز تحقیقات بوستان

توجه به حجم تجمعی برداشت از این سفره، روند نزولی تراز آب زیرزمینی قابل توجیه به نظر می‌رسد. روند رو به رشد کاهش تراز آب زیرزمینی در درازمدت می‌تواند به خشک شدن چشمه‌ها و بسیاری از چاه‌ها به‌عنوان منابع اصلی تأمین حیات منطقه بیانجامد.

عدم مشاهده روند در مقدار بارش به‌عنوان منبع تغذیه (عدم وجود روند)، و آب‌های سطحی، به‌رغم وجود روند نزولی آب زیرزمینی، مؤید نقش برداشت بیشتر از تغذیه، از سفره‌های آب‌های زیرزمینی است. شکل ۱۱ مقدار برداشت از منابع آب زیرزمینی استان را در محدوده ساله‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. با



شکل ۱۱- تغییرات سالانه تخلیه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات استان (مرجع - سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران)
 Figure 11- Yearly withdrawal variation of the wells, springs and Qantas of Kohgilouyeh and Boyer Ahmad province (WRM website)

اثر خشک‌سالی بر آب زیرزمینی در ایران مطالعات

ارزشمندی انجام‌شده است. برای مثال Shamsi و Pour و Mohammadi (۲۰۰۴) در مطالعه تأثیر

خشک‌سالی‌ها در افت آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان نشان دادند که خشک‌سالی به‌صورت غیرمستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره‌ها، افزایش برداشت از چاه‌های عمیق برای مصارف کشاورزی، افزایش تبخیر و تعرق و غیره بر منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان مؤثر است. در این راستا، بررسی تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی در منابع آب زیرزمینی و افت سطح ایستابی آب در حوضه رودخانه زهره ضروری به نظر رسید. این پژوهش نشان داد که هر دو نوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه رودخانه زهره حاکم بوده و روند صعودی خشک‌سالی‌ها به‌طور کامل مشهود است. در بررسی خشک‌سالی هواشناسی با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مشاهده شد که هرچه مقیاس زمانی طولانی‌تر می‌شود، تداوم خشک‌سالی‌ها بیشتر و

تکرار آن‌ها کم‌تر شده است که با نتایج Maleki و Nejad و Soleimani-Motlaq (۲۰۱۱) تطابق داشته

بحث

گرچه وقوع خشک‌سالی بخش معمولی از اقلیم هر منطقه است، اما مدیریت خشک‌سالی پیشرفت کمی در اکثر نقاط دنیا داشته است. به‌طور معمول پس از وقوع این بلای طبیعی، دولت‌ها برای مدیریت آن به فعالیت‌هایی مانند ارزیابی اثرات، واکنش، ترمیم و بازگشت منطقه به شرایط قبل از آن می‌پردازند (مدیریت بحران) و توجه کمتری به فعالیت‌های آمادگی، تسکین خسارات و هشدار به‌موقع، قبل از آن (مدیریت ریسک) دارند. در این راستا اصل غالب مدیریت خشک‌سالی، تأکید بر مدیریت ریسک با اتکا بر اقدامات لازم برای آمادگی و تخفیف اثرات آن است. پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و فصلی، سامانه‌های پایش و پیش‌آگاهی از ملزومات مدیریت ریسک خشک‌سالی است. متأسفانه سابقه مقابله با خشک‌سالی در کشور ما و بسیاری از کشورهای دیگر غالباً از نوع مدیریت بحران بوده است. در این حالت، جوامع این وقایع را سپری نموده و با بحران بعدی در حالی روبرو شده‌اند که نه تنها درصد خطرپذیری چندان تغییری نیافته، بلکه بیشتر هم شده است (Rostami, 2013). در مورد

آب زیرزمینی در غالب دشت‌ها طوری است که در دوران بارندگی روند افزایش تراز آغاز و تا پایان فصل بارش ادامه می‌یابد. پس‌از آن با آغاز دوره گرم سیر نزولی تراز آب شروع می‌گردد. با توجه به اینکه پس از شروع خشک‌سالی هواشناسی، این پدیده در کلیه بخش‌های سیستم هیدرولوژی انتشار می‌یابد و تمامی چرخه را متأثر می‌سازد (Karami, 2011). منطقه مورد مطالعه ما نیز تحت تأثیر این فرآیند واقع شده و خشک‌سالی هواشناسی پس از ۲ ماه به خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی منجر شده است. اگرچه نتایج نشان داد که ترسالی‌های بعد از خشک‌سالی غالباً افت تراز ناشی از خشک‌سالی را جبران کرده، و علت اصلی افت در طولانی‌مدت، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است. میزان تأخیر خشک‌سالی هیدرولوژیک منابع آب زیرزمینی نسبت به خشک‌سالی هواشناسی در نقاط مختلف حوضه، متفاوت است. دلیل این تفاوت، به عمق سطح آب زیرزمینی، خصوصیات خاک و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان در هر منطقه مربوط می‌شود. تعیین این تأخیر زمانی در مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت است، زیرا در بعضی از مواقع بارندگی زیاد است و دوره خشک‌سالی هواشناسی وجود ندارد، اما در همان زمان ممکن است خشک‌سالی هیدرولوژیک وجود داشته باشد (Bhuiyan et al., 2006). به همین دلیل ممکن است به لحاظ شرایط بارندگی مناسب کشاورزان اقدام به افزایش سطح زیر کشت و بهره‌برداری زیاد از منابع آب سطحی و زیرزمینی نمایند که برای کنترل و هشدار بحران آب خود نیاز به اقدامات مدیریتی دارد. حداکثر همبستگی بارش-دبی مربوط به داده‌های همان ماه است و این مسئله به‌طور عمده ناشی از ارتباط مستقیم آب‌های سطحی و زیرزمینی و کمبود بارش به شکل برف در سال‌های اخیر در ارتفاعات است که باعث تأخیر رواناب نسبت به بارش می‌شود. بیش‌ترین ضریب همبستگی بین تراز آب زیرزمینی و

این موضوع به مدیریت منابع آب در حوضه مورد مطالعه کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشک‌سالی، راهکارهای مناسبی ارائه کرد. برای رفع معضل خشک‌سالی در حوضه، می‌توان از راهکارهایی مانند تغییر الگوی کشت در سال‌های خشک جهت کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و حفظ تعادل آبخوان (Zarea Baghabari, 2003) مانند کاهش سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی زیاد مانند هندوانه و کشت دانه‌های روغنی مثل کلزا یا حبوبات به جای آن، قیمت‌گذاری واقعی آب، استفاده از روش‌های مدرن آبیاری مثل آبیاری قطره‌ای و تکنیک کم آبیاری، آموزش و فرهنگ‌سازی مردم و کشاورزان برای مصرف بهینه آب و ذخایر آب زیرزمینی، جلوگیری و نظارت بر حفر چاه‌های غیرمجاز بهره‌گرفته و به حفاظت بیش‌تر منابع آب کمک کرد. در ارزیابی تغییرات شاخص SPI و SWI سالانه در اواسط دهه هشتاد با توجه به عدم وجود خشک‌سالی هواشناسی افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه باشت و گچساران مشاهده شد که علت این افت مربوط به حفر چاه‌های عمیق جهت پروژه‌های نفتی منطقه گچساران، همچنین عملیات وسیع کشاورزی در دشت باشت و دشت ابدلان و تأمین آب شرب شهرستان گچساران از چاه‌های عمیق در این منطقه است. با ادامه این روند سازمان جهاد کشاورزی چاه‌های آب موجود در منطقه را پلمپ و آب بخش کشاورزی و شهری را از طریق سد کوثر واقع در نزدیکی شهرستان گچساران تأمین نمود. با وجود این اقدامات در سال‌های پایانی دهه هشتاد شاهد خشک‌سالی هواشناسی و به دنبال آن افت تراز آب زیرزمینی در منطقه می‌باشیم. همان‌طور که مشاهده شد، تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی مورد بررسی در باشت به‌طور متوسط ۴ متر افت، و به‌طور مقطعی در سال ۱۳۸۸ حدود ۱۶ متر افت داشته شده است (Ghahremani, 2015). الگوی نوسانات فصلی سطح

می‌گردد. خشک‌سالی انواع مختلفی را شامل می‌گردد که هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی از مهم‌ترین آن‌ها هستند. توصیه می‌شود تا مطالعه‌ای با استفاده از یافته‌های این تحقیق و تجربیات و نظرات دستگاه‌های اجرایی، تعریفی خاص و موردقبول جهت کمی کردن انواع خشک‌سالی‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف و یا ترکیبی از آن‌ها ارائه گردد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. بدین‌وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت تقدیر می‌شود.

References

- Abramowitz, M., & Stegun, A. (Eds.). (1965). *Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. Dover Publications, Inc., New York, USA.
- Alizadeh, A. (2007). *The Principles Applied hydrology principles*. Ferdowsi university of Mashhad (In Persian).
- Alley, W.M. (1985). Palmer drought severity index as a measure of hydrologic drought, *Water Resources Bulletin*, 21(1), 105-114.
- Bhuiyan, C. (2004). Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: *Proceedings of the ISPRS Conference*. Int. Soc. Photogram Remote Sens. Istanbul.
- Bhuiyan, C., Singh, R.P., & Kogan, F.N. (2006). Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remote Sensing Data, *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, 289-302.
- Byun, H.-R. & Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration, *J. Climate*, 12(9), 2747-2756.
- Dracup, J.A., Lee K.S., & Paulson E.G. (1980). On the definition of droughts, *Water Resources Research*, 16(2), 297-302.
- بارش دو ماه قبل است، به طوری که با احتمال ۹۹ درصد بالاترین همبستگی را نشان می‌دهد و این نتیجه با نتایج Karami (۲۰۱۱) همخوانی دارد.
- ### نتیجه‌گیری کلی
- استفاده از سایر شاخص‌های خشک‌سالی و مقایسه آن‌ها می‌تواند به روشن شدن ابعاد دیگر موضوع کمک کند. آمار و اطلاعات این تحقیق مبتنی بر اندازه‌گیری در ایستگاه‌های زمینی بوده و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های مربوطه و بررسی نحوه رفتار آن‌ها در مقایسه با شاخص‌های زمینی، در ادامه پیشنهاد می‌شود. با توجه به اهمیت ویژه منطقه، استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌های پیش‌بینی شده مبتنی بر آن‌ها جهت برنامه‌ریزی کشت و بهره‌برداری از منابع آب این منطقه نیز پیشنهاد
- Ensaifi Moghadam, T. (2005). An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian J of rangeland and desert research*, 14(2), 271-288 (In Persian).
- Faraj zadeh, M. (1997). Drought study methods. *Forest and Range*, 32, 22-28 (In Persian).
- Ghahremani, E. (2015). *Analysis of meteorological and hydrological drought in zohreh river basin*. M.S. Thesis, Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Marvdasht branch, Marvdasht, Iran (In Persian).
- Glantz, M.H., & Wilhite, D.A. (1985) Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10(3), 111-120.
- Guttman, N. B. (1991). Sensitivity analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index, *Water Resources Bulletin*, 27(5), 797-807.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., & Vanyarkho, O.V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, 429-438.
- Hisdal, H., & Tallaksen, L.M. (2003). Estimation of regional meteorological

- and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark, *J. of Hydrology*, 281:230–2.
- Janbozorgi, M., Hanifepour, M. & Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (case study: Guilan province). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 1-14. (In Persian).
- Karami, F. (2011). Evaluation of meteorological drought effects in the reduction of ground water table (Case study: Tabriz plain). *Geography and Planning*, 16(37), 111-131 (In Persian).
- Kariminazar, M., Moghadam Nia, A.R. & Mosaedi, A. (2010). Investigation of climate factors affecting occurrence of drought (case study: Zabol region). *J. of Water and Soil Conservation*, 17(1), 145-158 (In Persian).
- Kalayci, S. & Kahya, E. (2004). Trend analysis of stream flow in Turkey, *J. of Hydrology*, 289, 128-144.
- Khan, S., Gabriel, H.F. & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas, *Irrigation and Drainage Systems J.*, 22, 159-177.
- Khani Temeliyeh, Z.A., Rezaei, H. & Mirabbasi Najafabadi, R. (2020). Multivariate Analysis of Meteorological Droughts in Iran Using Joint Deficit Index (JDI). *Scientific J. of Agricultural Meteorology*, 8(1), 26-39 (In Persian).
- Khazaei, M.R. (2003). Hydrological drought frequency distribution analysis, case study: Ghareh soo river basin. *Geography and Development*, 1(2), 45-56. (In Persian).
- Khorooshi, S., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A. & Raof, M. (2017). Spatiotemporal assessment of the hydrologic river health index variations in Ardabil Province Watersheds. *Ecology and Hydrology*, 4(2), 379-393 (In Persian).
- Maleki Nejad, H. & Soleimani-Motlaq, M. (2011). Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi basin, *Iranian Water Research J.*, 9, 61-72. (In Persian).
- Mckee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). The Relationship of drought Frequency and Duration to Time Scales, *8th Conference on Applied Climatology*, 179-184.
- Mehry, S., Haji, Kh., Alizadeh, V. & Mostafazadeh, R. (2017). Assessment of spatial variations of meteorological drought periods severity in Kurdistan Province at different time scales. *Geographical Data*, 26(102), 151-162 (In Persian).
- Mendicino, G., Senatore, A. & Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in Mediterranean climate, *J. of Hydrology*, 357(3-4), 282-302.
- Mesbahzadeh, T. & Soleimani Sardoo, F. (2018). Temporal Trend Study of Hydrological and Meteorological Drought in Karkheh Watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 12(40), 105-114 (In Persian).
- Moghadassi, M., Paymozd, Sh. & Morid, S. (2005). Monitoring the drought during 1998 to 2000 in Tehran province, using EDI, SPI, DI indices and geographical information system. *Modarres Human Sciences*, 9(1), 197-215 (In Persian).
- Morid S., Smakhtin, V. & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran, *International J. of Climatology*, 26, 971–985.
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M. & Zabihi, M. (2015). Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140. (In Persian).
- Mozafari, G.A. (2006). Unconformity in meteorological and hydrological drought in two neighboring basin at north mountain slope of Shirkoh Yazd. *Modarres Human Sciences*, 10(1), 173-190. (In Persian).
- Pal, I. & Al-Tabbaa, A. (2011). Assessing seasonal precipitation trends in India using parametric and non-parametric statistical techniques, *Theoretical and Applied Climatology*, 103, 1–11.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought, *US Department of Commerce Weather Bureau*, Washington, DC., Research Paper No. 45.

- Partal, T. & Kucuk, M. (2006). Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region (Turkey), *Physics and Chemistry of Earth, Part A/B/C*, 31(18), 1189-1200.
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkey precipitation data, *Hydrological Processes*, 20, 2011–2026.
- Patel, N.R., Chopra P. & Dadhwal V.K. (2007). Analysing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index, *Meteorological Application*, 14(4), 329–336.
- Razmkhah, H. (2016). Preparing stream flow drought severity-duration-frequency curves using threshold level method, *Arabian J. of Geosciences*, 9:513.
- Razmkhah, H. (2017). Comparing threshold level methods in development of stream flow drought severity-duration-frequency curves, *Water Resources Management*, 31, 4045–406.
- Razmkhah, H., Akhond Ali, A.M., Roustaie, R. & Abdollahi, K. (2009). Assessing spatiotemporal pattern of meteorological drought, case study: Fars Province, *The Second National Seminar on Drought Effects/Management*, Esfahan (In Persian).
- Razmkhah, H. & Safi, Z. (2012). *Analysis of Bakhtegan basin Hydrological drought*. 4th Iran Water Resources Management Conference, Tehran, Iran (In Persian).
- Rostami, E. (2013). *Monitoring and prediction of hydrological drought in Kohgilouyeh and BoyerAhmad province, using meteorological drought indexes and Artificial Neural Networks*. M.S. Thesis, Water science and engineering, Islamic Azad University, Marvdasht branch, Marvdasht, Iran (In Persian).
- Samiei, M. & Telvari, A.A.R. (2008). Investigation of hydrological drought severity and duration at Tehran province watersheds. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 21(2), 21-27 (In Persian).
- Samiei, M. (2004). *Regional generalization of low flows in Tehran Province*. M.S. Thesis, Watershed Management, Tehran University (In Persian).
- Shaban, A. (2009). Indicators and Aspects of Hydrological Drought in Lebanon, *Water Resources Management*, 23(10), 1875-1891.
- Shamsi Pour, A.A. & Morad Mohammadi, H. (2004). Effect of recent droughts on ground water depletion of Hamadan north plains. *Geographical Researches*, 35(45), 115-130. (In Persian).
- Sharma, T.C. (1997). Estimation of drought severity on independent and dependent hydrologic series, *Water Resources Management*, 11(1), 35-49.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. & Hu., Q. (2001). An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score, *International J. of Climatology*, 21, 745-758.
- Zandifar, S., Fijani, E., Naeimi, M. & Khosroshahi, M. (2020). Spatiotemporal variations of groundwater drought indices, Case study: Zohreh- Jarrahi watershed. *Hydrogeology*, 4(2), 180-130. (In Persian).
- Zarea Abyaneh, H., Mahboubi, A.A. & Neyshabouri, M.R. (2004). Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 17(3), 2-17. (In Persian).
- Zarea Baghabari, M. (2003). *Management of ground water usage of alluvial aquifer in drought years*. M.S. Thesis, Hydrogeology, Shiraz University (In Persian).
- Zealand, C.M., Burn, D.H. & Simonovic, S.P. (1999). Short term streamflow forecasting using artificial neural networks, *J. of Hydrology*, 214(1-4), 32–48.

Evaluation of IHACRES models and neural-fuzzy inference system in forecasting the runoff of the Kurit dam catchment in the future period

Rasool Karami¹, Mahdi Amirabadizadeh^{2*}, Mohsen Pourreza bilondi³, Mostafa Yaghoobzadeh³

1- MSc student, Water engineering department, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Assistant Professor, Water engineering department, University of Birjand, Birjand, Iran

3- Associate Professor, Water engineering department, University of Birjand, Birjand, Iran

*Corresponding author: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

(Received: 15 October 2022

Revised: 18 November 2022

Accepted: 06 December 2022)

Extended abstract

Introduction: Today, the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere causes changes in the components of water resources on a global and regional scale. On the other hand, forecasting the river flow in the future period is considered a basic tool in water resources management. The rainfall-runoff process is completely non-linear, and it is completely random in terms of time and place. Therefore, it is not possible to easily describe its mechanism using simple models. The IHACRES hydrological model is used to simulate precipitation and runoff in large basins and most weather conditions, and it is also an integrated and conceptual model. The main advantage of this model compared to other rainfall-runoff simulation models is the acceptable accuracy of the results along with the use of minimal input data and its simple structure. The aim of this research is to compare the performance of IHACRES models and the fuzzy neural inference system in the simulation of the outflow of the catchment of Kurit Dam in Golshan Tabas and its forecast in the near future under the RCP4.5 scenario and the large-scale GISS-E2-R model.

Material and method: In this research, the performance of IHACRES models and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in forecasting the runoff was investigated. Model performance comparison of these models introduced the superior model. To simulate the future climate, the downscaling LARS-WG5.0 model was used under the RCP4.5 scenario. The temperature and precipitation data of the output of the large-scale model of the fifth GISS-E2-R report of the American country were extracted from the site. The precipitation and temperature data from 2022 to 2051 were downscaled and then the discharge values for the mentioned years were estimated with the superior model. The input data to the IHACRES rainfall-runoff simulation models and the ANFIS model include rainfall and temperature on a monthly scale. In this research, 60% of observed precipitation, temperature, and runoff data were used for training and the remaining 40% of data were used for validation of ANFIS and IHACRES models. After calibration of the two models, evaluation was done using RMSE and NS indices.

Results and Discussion: Investigation of linear correlation between precipitation and temperature with observed runoff showed that there is a significant relationship between precipitation and runoff in low and high monthly precipitation, but changes in observed runoff and temperature do not have a significant correlation (at the 95% confidence level). The evaluation criteria of RMSE and NS in the validation section of the IHACRES model were calculated as 0.1 and 0.95, respectively, and for the ANFIS model as 0.05 and 0.52 respectively, which shows the superiority of the IHACRES model over the fuzzy neural inference system model at this stage. In order to complete this section, as explained in the research method section, the LARS-WG5.0 software was used for downscaling of precipitation and temperature output of the large-scale model GISS-E2-R in the near future (2022-2051) under the RCP4.5 scenario. Extracting the long-term monthly average showed that the average values of precipitation and temperature in the future horizon are equal to 17.38 mm and 21.7 °C, which, compared to the same values in the base period, shows that an increase of 5.45 mm in the average monthly precipitation and 2.9 °C an increase in the average temperature will occur. It can also be expected that this change in the values of climatic parameters will cause changes in the runoff caused by precipitation in the future. After simulating the monthly rainfall and temperature data from 2022 to 2051 by the LARS-WG5.0 downscaling model, these data were given as input to the IHACRES model to simulate the discharge by this model for the near future time period. Based on the results of flow simulation by the superior model (IHACRES model), the flow rate in the river will increase in the near future horizon.

Conclusion: In this research, in order to evaluate the IHACRES models and the adaptive neuro-fuzzy inference system, the available data (2013-2018) were divided based on the ratio of 60% to 40% for calibration (2013-2016) and validation (2016-2018). The validation result showed that the IHACRES model was more capable than the neural-fuzzy inference system model in simulating the observed runoff at Mavder station. The American GISS-E2-R large-scale model and the RCP4.5 scenario was used as input of hydrological model to simulate the runoff in the near future horizon. The results of statistical downscaling by LARS-WG from 2022 to 2051 showed an increase of 2.9 °C in temperature and an increase of 5.45 mm in total monthly precipitation. The output of the downscaling model was used as the input to the superior IHACRES model to simulate the runoff in the near future horizon for the investigated watershed.

Keywords: Adaptive Neuro-fuzzy Inference System, Climate change, Golshan Tabas, Rainfall-runoff model.

Citation: Karami, R., Amirabadizadeh, M., Pourreza bilondi, M., & Yaghoobzadeh, M. (2022). Evaluation of IHACRES models and neural-fuzzy inference system in forecasting the runoff of the Kurit dam catchment in the future period. *Integrated Watershed Management*, 2(3), 82-94. doi: 10.22034/iwm.2022.563130.1046

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 مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی در پیش‌بینی رواناب حوزه آبخیز سد کریت در دوره آتی

رسول کرمی^۱، مهدی امیرآبادی‌زاده^{۲*}، محسن پوررضا بیلندی^۳، مصطفی یعقوب‌زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه آموزشی مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- استادیار گروه آموزشی مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشیار گروه آموزشی مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

*نویسنده مسئول: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

چکیده

امروزه افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر سبب تغییر در مؤلفه‌های منابع آب در مقیاس جهانی و منطقه‌ای شده است. از سوی دیگر پیش‌بینی آورد رودخانه در دوره آتی، ابزاری کارآمد در مدیریت منابع آب به حساب می‌آید. در این پژوهش عملکرد مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی - فازی (ANFIS) در پیش‌بینی رواناب حوضه سد کریت در طبس گلشن مورد بررسی قرار گرفت. داده ورودی به مدل‌های شبیه‌سازی بارش- رواناب IHACRES و مدل سیستم استنتاج عصبی فازی شامل بارش و دما در مقیاس ماهانه است. پس از واسنجی دو مدل در بازتولید آورد رودخانه مشاهداتی، ارزیابی با استفاده از شاخص‌های RMSE و NS صورت پذیرفت. در این تحقیق، ۶۰ درصد داده‌های بارش، دما و رواناب مشاهداتی برای آموزش و ۴۰ درصد باقیمانده داده‌ها برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. معیارهای ارزیابی RMSE و NS در بخش صحت‌سنجی در مدل IHACRES به ترتیب ۰/۱ و ۰/۹۵ و برای مدل ANFIS به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۵۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده برتری مدل IHACRES نسبت به مدل سیستم استنتاج عصبی فازی در بازتولید دبی جریان مشاهداتی در این مرحله است. پس از مشخص شدن مدل برتر، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS- WG5.0 تحت سناریوی RCP4.5 و خروجی مدل گردش عمومی جو- اقیانوس GISS-E2-R، داده‌های بارش و دما برای سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۵۱ ریزمقیاس گردید و سپس با مدل برتر، مقادیر دبی برای سال‌های آینده نزدیک برآورد گردید. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان توسط مدل برتر (مدل IHACRES) در افق آینده مقادیر دبی جریان در رودخانه در مقیاس ماه‌های متناظر در دوره پایه، افزایش اندکی خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، طبس گلشن، مدل بارش-رواناب، عصبی-فازی

استناد: کرمی، ر.، امیرآبادی‌زاده، م.، پوررضا بیلندی، م.؛ و یعقوب‌زاده، م. (۱۴۰۱). ارزیابی مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی در پیش‌بینی رواناب حوزه آبخیز سد کریت در دوره آتی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۳)، ۸۲-۹۴.

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 به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی کاری دشوار ولی دارای اهمیت است، چراکه این فرآیندها در نتیجه تأثیرات متقابل پارامترهای مؤثر زیادی که نمایانگر یک سامانه پیچیده است، حاصل می‌شوند؛ بنابراین توسعه مدلی که بتواند رواناب حاصل از بارندگی در یک حوضه آبریز را با استفاده از عوامل تأثیرگذار، با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند امری ضروری و مهم به نظر می‌رسد. در بررسی سامانه‌های منابع آب ضمن نیاز به بررسی و تحلیل داده‌های گذشته، نیاز به مدل‌سازی برای پیش‌بینی وقایع آینده، لازم به نظر می‌رسد. فرآیند بارش- رواناب یک فرآیند کاملاً غیرخطی و از نظر زمانی و مکانی کاملاً تصادفی است، همچنین تشریح مکانیسم آن با استفاده از مدل‌های ساده به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. مدل هیدرولوژیک IHACRES برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه‌های بزرگ و اغلب شرایط آب و هوایی کاربرد دارد و همچنین یک مدل یکپارچه و مفهومی است. مزیت اصلی این مدل نسبت به سایر مدل‌های شبیه‌سازی بارش- رواناب، دقت قابل قبول نتایج این مدل در کنار استفاده از حداقل داده ورودی و ساختار ساده آن است. همچنین از این مدل در شبیه‌سازی جریان آینده، تحت شرایط تغییر اقلیم نیز می‌توان بهره جست (Zarei و همکاران، ۲۰۱۱). در ادامه تحقیقات مرتبط با این پژوهش به اختصار ذکر می‌شود.

Lotfirad و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با استفاده از مدل نیمه مفهومی IHACRES به تخمین رواناب روزانه در حوضه آبریز ناورود گیلان پرداختند. در این پژوهش، رواناب حوضه ناورود گیلان به کمک مدل IHACRES با استفاده از داده‌های مشاهداتی دبی روزانه در ایستگاه

خرجگیل در خروجی حوضه و نیز بارش و دما شبیه‌سازی شد. ارزیابی واسنجی و صحت‌سنجی در شبیه‌سازی، بر اساس ضریب کارایی مدل نش-ساتکلیف، میانگین خطای کل و میانگین خطای نسبی انجام شد که نتایج این پژوهش عملکرد مدل را قابل قبول ارزیابی نمود. Zandi Daregharibi و همکاران (۲۰۱۷) به مقایسه عملکرد دو مدل بارش- رواناب IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی دبی ماهانه حوضه دره تخت در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۲ پرداختند. واسنجی و صحت‌سنجی این مدل‌ها بر اساس معیارهای نش، مجذور میانگین خطا و خطای کل در حجم جریان برآورد شد. شبیه‌سازی رواناب نشان‌دهنده عملکرد رضایت‌بخش دو مدل در شبیه‌سازی جریان بود. همچنین نتایج نشان داد که مدل IHACRES با ضریب نش ۰/۷ و معیار خطای ۰/۶۵ بهتر از مدل GR2M است.

در تحقیق دیگری Hafezparast و Marabi (۲۰۲۱) به مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و IHACRES در شبیه‌سازی آورد رودخانه خرم‌رود پرداختند. در این تحقیق مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از کتابخانه Scikit-Learn در محیط نرم‌افزار پایتون و مدل IHACRES در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان از برتری مدل IHACRES نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی در بازتولید دبی مشاهداتی در خروجی حوضه داشت.

Abushandi و Merkel (۲۰۱۳) با هدف توسعه چارچوبی برای به‌کارگیری مدل بارش- رواناب در حوضه‌های خشک به دنبال تکمیل داده‌های ماهواره‌ای اصلاح‌شده بارش برای تعیین محل رگبار بودند. آن‌ها یک رویداد بارش در حوضه خشک وادی دولیل^۱ اردن که

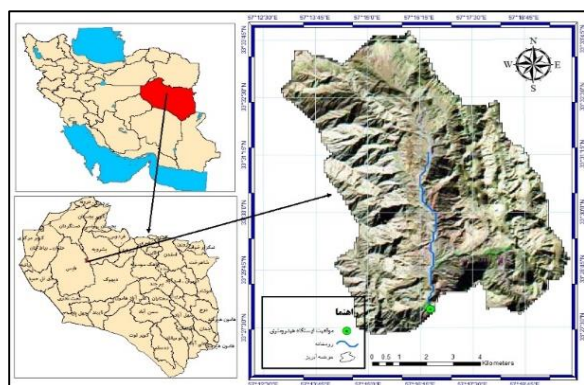
با یک روز تأخیر با ریشه میانگین مربعات خطا $0/05$ و ضریب تبیین $0/62$ ، عملکرد قابل قبولی داشته است که می‌توان نتیجه گرفت وارد کردن آب معادل برف به مدل، موجب افزایش دقت آن در بازتولید دبی مشاهداتی شده است.

Fakhr Hashemian و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به ارزیابی مدل سیستم استنتاج فازی در برآورد جریان رودخانه بابامان بجنورد پرداختند. در این پژوهش، برای پیش‌بینی دبی متوسط روزانه و دبی حداکثری در شرایط سیلابی رودخانه که خروجی نهایی محدوده شهر بجنورد با سرشاخه‌های متعدد مناطق چناران، بازخانه، بش قارداش، حمید و سایر سرچشمه‌های روانابی منتهی به رودخانه بابامان است، از سیستم استنتاج فازی (FIS) استفاده شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سیستم استنتاج فازی با مدل ارائه شده می‌تواند به‌عنوان روشی دقیق و کارا در پیش‌بینی جریان رودخانه و سیلابی شدن آن به‌کاربرده شود.

Ahmadpour و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی خطی باکس-جنکینز، مدل مفهومی IHACRES، مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و مدل هیبریدی ARMA-ANN برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان روزانه حوضه مارون پرداختند. در این تحقیق از دو آماره اکائیک و شوارتز برای تحلیل سری زمانی باکس-جنکینز استفاده نمودند. در ارزیابی عملکرد مدل‌ها مشخص شد که مدل هیبریدی ARMA-ANN نسبت به سایر مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش دارای برتری است. به‌گونه‌ای که مدل ARMA-ANN بیشترین مقادیر عددی ضریب تبیین $0/86$ و ضریب نش-ساتکلیف $0/81$ به خود اختصاص داد.

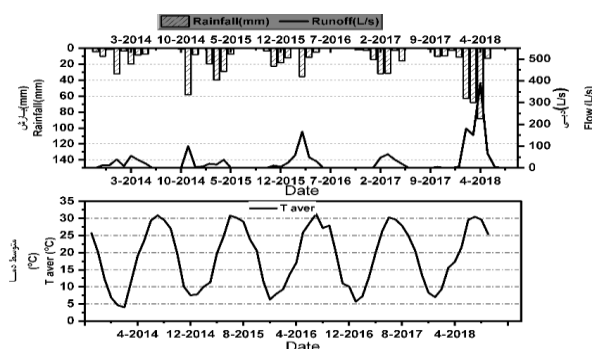
اطلاعات آن به‌صورت ساعتی موجود بود را با استفاده از مدل‌های IHACRES و HEC-HMS مدل‌سازی کردند. مدل IHACRES عملکرد ضعیفی در شبیه‌سازی داده‌های ساعتی نسبت به مدل HEC-HMS نشان داد، به‌طوری‌که ضریب کارایی مدل (نش-ساتکلیف) به ترتیب، $0/51$ و $0/88$ به دست آمد. Amiri و Roudbari Mousavi (۲۰۱۶) ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژی IHACRES در شبیه‌سازی دبی مشاهداتی روزانه رودخانه‌های پلرود و سلمان‌رود در استان گیلان را که در منطقه مرطوب واقع است، موردبررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده انحراف کم مدل در شبیه‌سازی مقادیر روزانه دبی بود. در پژوهشی دیگر به مقایسه کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز سد زاینده‌رود توسط Dastorani و همکاران (۲۰۱۱) پرداخته شد. نتایج این تحقیق پس از آموزش و صحت‌سنجی مدل‌ها نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی-فازی بسته به ترکیب‌های مختلف پارامترهای ورودی، نتایج متفاوتی را از خود نشان می‌دهند ولی در کل، این دو روش به میزان قابل قبولی قادر به تخمین رواناب حاصل از بارش با به‌کارگیری پارامترهای ورودی مناسب هستند. Sedighi و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی را در پیش‌بینی رواناب در حوزه آبخیز لتیان موردبررسی قرار دادند. این پژوهش با هدف شبیه‌سازی بارش-رواناب با دخالت دادن ارتفاع آب معادل برف به کمک استنتاج عصبی فازی تطبیقی در حوزه آبخیز رودک واقع در استان تهران انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل نروفازی با ساختار بارندگی دما و آب معادل برف

لوت در منتهی‌الیه غربی رشته‌کوه‌های شتری واقع شده است. داده‌های هیدرومتری مورداستفاده متعلق به ایستگاه ماودر در خروجی حوضه است. رودخانه ماودر یکی از شاخه‌های رودخانه نمک است و ایستگاه هیدرومتری ماودر بر روی آن واقع گردیده است. مساحت حوضه موردبررسی $74/93 \text{ km}^2$ است که در بخش واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها دارای اهمیت است. نقشه موقعیت و مدل رقومی ارتفاع حوضه در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز سد کریت

Figure 1- location of the Kurit dam catchment



شکل ۲- سری زمانی بارش، دما و رواناب مشاهداتی در حوضه سد کریت طی دوره آماری

Figure 2- Time series of observed precipitation, temperature and runoff in the Kurit dam catchment during the statistical period

داده‌های مورداستفاده در این تحقیق مشتمل بر داده‌های مشاهداتی بارندگی (برحسب میلی‌متر) و درجه حرارت

Momeneh (۲۰۲۲) کارایی مدل‌های هوش مصنوعی و IHACRES در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه گاماسیاب را مورد مقایسه قرار دادند. مدل‌های هوش مصنوعی مورداستفاده شامل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی و مدل حافظه طولانی کوتاه‌مدت (LSTM) بود. نتایج شاخص ارزیابی نش-ساتکلیف در دوره صحت‌سنجی برای مدل‌های LSTM, RBF, ANN و IHACRES به ترتیب برابر با $0/93$ ، $0/907$ ، $0/903$ و $0/512$ بود. بر اساس این نتایج، مدل LSTM عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در تخمین دبی جریان ارائه نموده و نتایج نشان از عملکرد بهتر مدل‌های ANN, RBF و LSTM در شبیه‌سازی مشخصات نقاط اوج جریان نسبت به IHACRES برای منطقه مورد مطالعه بود.

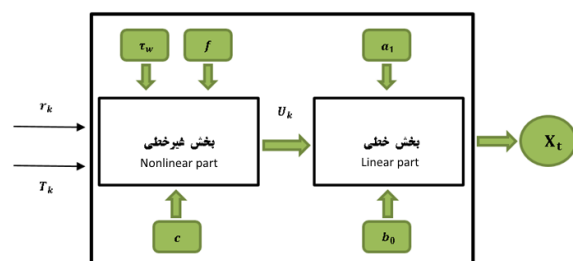
هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی فازی در شبیه‌سازی رواناب خروجی حوزه آبخیز سد کریت طبس گلشن و پیش‌بینی آن در افق آینده نزدیک تحت سناریو RCP4.5 و مدل بزرگ‌مقیاس GISS-E2-R است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان طبس گلشن که یکی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی است، بین طول جغرافیایی $30^{\circ} 55'$ تا $22^{\circ} 58'$ طول شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 31'$ تا 35° عرض شمالی قرار دارد. اقلیم این شهرستان گرم و خشک است و تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد دارد. متوسط بارندگی سالانه این شهرستان ۸۰ میلی‌متر است. سد کریت در ۳۳ کیلومتری جنوب شرقی شهر طبس گلشن بین بلوک طبس گلشن و بلوک

به رواناب) است. در حوضه‌های دارای آمار کامل، روش کار این مدل بدین صورت است که بر اساس سری‌های زمانی در اختیار، به روش آزمون و خطا مقدارهای بهینه پارامترهای مدل برآورد می‌شود.



شکل ۳: ساختار کلی مدل IHACRES

Figure 3- General structure of the IHACRES model

مهم‌ترین پارامترهایی که در بخش واسنجی مدل بایستی مقادیر بهینه آن مشخص شود عبارت‌اند از: τ_w : مدت زمانی که طول می‌کشد تا حوزه خشک شود (برحسب روز)، f : تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات برحسب $\frac{1}{C}$) و C : ضریب تعادل حجم بارش برحسب میلی‌متر که نشان‌دهنده سرعت واکنش باشد، به طوری که هرچه مقدار آن بیشتر باشد، حوزه واکنش آهسته‌تری نسبت به بارش نشان می‌دهد.

سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS^۲)
سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی از فرایندهای یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور ارتباط بین یک فضای ورودی به یک فضای خروجی بهره‌گیری می‌نماید و در واقع یک شبکه پیشخور چندلایه است. انفیس قابلیت بالایی در آموزش، ساخت و دسته‌بندی دارد و همچنین دارای مزایایی از جمله اجازه استخراج قوانین فازی از اطلاعات عددی یا دانش متخصص است. مشکل

(برحسب درجه سانتی‌گراد) مربوط به ایستگاه کریت از سازمان هواشناسی استان خراسان جنوبی و رواناب مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری ماودر از شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی دریافت گردید. از آنجاکه تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه سد کریت در افق آینده نزدیک نیز جزو اهداف این تحقیق بوده است، داده‌های درجه حرارت و بارش خروجی مدل بزرگ‌مقیاس گزارش پنجم GISS-E2-R کشور آمریکا نیز از سایت <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5> استخراج گردید. در این تحقیق، ۶۰ درصد داده‌های بارش، دما و رواناب مشاهداتی برای آموزش و ۴۰ درصد باقیمانده داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل انفیس و IHACRES مورد استفاده قرار گرفت.

مدل IHACRES'

مدل بارش- رواناب IHACRES به صورت مشترک به وسیله هیدرولوژیست‌های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوزه آبخیز (iCAM) دانشگاه ملی استرالیا، کنبرا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (HEC) انجمن پژوهش‌های زیست‌محیطی انگلستان توسعه یافته است که به صورت مستمر در تحقیقات مرتبط با منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است. ساختار این مدل به گونه‌ای است که در حوضه‌های فاقد آمار بین خصوصیات حوزه آبخیز از قبیل تراکم زهکشی، شیب، طول دامنه و پارامترهای واسنجی مدل رابطه رگرسیونی برقرار نموده و مقادیر بهینه پارامترهای مدل شبیه‌سازی تعیین می‌شود (شکل ۳). همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است ساختار این مدل شامل دو بخش غیرخطی (تبدیل بارش به بارش مؤثر) و بخش خطی (تبدیل بارش مؤثر

سینوپتیک کریت به‌عنوان بردار ورودی و رواناب مشاهداتی حوضه سد کریت در ایستگاه ماودر به‌عنوان بردار خروجی در شبیه‌سازی دبی جریان استفاده شد.

مدل گردش عمومی جو-اقیانوس GISS-E2-R

مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس یکی از مهم‌ترین ابزارهای موجود به‌منظور شبیه‌سازی رفتار اقلیمی در افق آینده می‌باشند. این مدل‌ها، مقیاس‌های کوچکی نظیر آب‌وهوای یک منطقه تا مقیاس‌های بزرگ مانند تغییرات اقلیم در حد قاره‌ای را شامل می‌شوند. با توجه به اینکه مدل‌های گردش عمومی جو بزرگ مقیاس می‌باشند، از این مدل‌ها، به‌صورت مستقیم نمی‌توان برای مطالعات در مقیاس ایستگاهی و حتی حوضه استفاده نمود. لذا خروجی‌های این مدل‌ها بایستی در مقیاس ایستگاه ریزمقیاس شوند. در این تحقیق از مدل بزرگ مقیاس GISS-E2-R استفاده گردید که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات مدل بزرگ مقیاس مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the used large-scale model

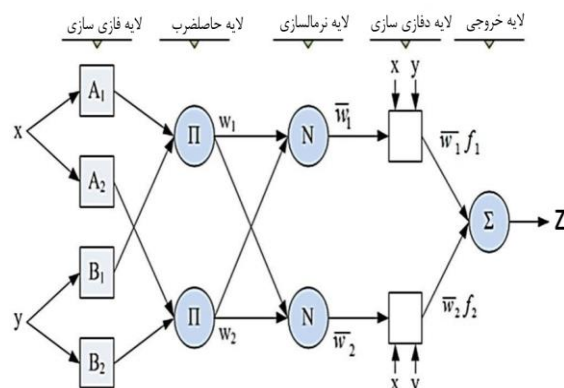
نام مدل	کشور سازنده	مقیاس شبکه
GISS-E2R	آمریکا	$2.5^{\circ} \times 2^{\circ}$

ریزمقیاس نمائی

با توجه به اینکه داده‌های مشاهداتی در مقیاس محلی (مقیاس کوچک) و داده‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم در مقیاس بزرگ می‌باشند لذا برای پر کردن فاصله بین این مقیاس‌ها و نیز استفاده از خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس نیاز به ریزمقیاس سازی است. در این تحقیق از روش LARS-WG5.0 که متعلق به ریزمقیاس سازی آماری است استفاده گردید. این روش ریزمقیاس نمائی دارای

اصلی مدل انفیس، زمان بر بودن آن برای آموزش ساختار و تعیین پارامترها است (Bacanli *et al.*, 2009).

روش آموزش اصلی در سامانه استنتاج عصبی فازی تطبیقی، روش پس انتشار خطا است. در این مدل، فازی-سازی به‌عنوان یک نگاشتی از یک نقطه (پارامتر ورودی مدل) به یک مجموعه تعریف می‌شود. خروجی فازی-سازی، ایجاد درجه عضویت متناظر با آن پارامتر ورودی است. در این روش با استفاده از الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطا به سمت ورودی‌ها توزیع می‌گردد و با این روش پارامترها تصحیح می‌شوند. شکل ۴ ساختار کلی مدل انفیس با دو ورودی x, y و خروجی Z و نیز وزن‌های ضرایب W_i را نشان می‌دهد:



شکل ۴- ساختار مدل ANFIS با دو ورودی x, y و خروجی Z

Figure 4- Structure of ANFIS model with two input variables x, y and output z

بیشتر سیستم‌های استنتاج عصبی-فازی شامل سه نوع سیستم ممدانی^۱، سیستم سوگنو^۲ و سیستم تسوکاموتو^۳ می‌باشند. در این تحقیق از سیستم سوگنو و تابع عضویت مثلثی استفاده شد. در این تحقیق برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های IHACRES و ANFIS از بارش و دمای میانگین مشاهداتی در ایستگاه

1. Mamdani
2. Sugeno
3. Tsukamoto

نتایج و بحث

بررسی همبستگی بین متغیر وابسته (رواناب) و متغیرهای مستقل (بارش و دما) دارای اهمیت بسزایی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی است. البته لازم به ذکر است که در این تحقیق از مدل هیدروژیکی IHACRES استفاده شد و یکی از مهم‌ترین مزایای این مدل استفاده از کمترین پارامترهای اقلیمی در مدل‌سازی است. در عین حال بررسی ارتباط بین پارامترها در واسنجی مدل تأثیرگذار است. جدول ۲ نتایج بررسی همبستگی و مقادیر P-Value برای هر یک از این بررسی‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میانگین رواناب مشاهداتی ماهیانه در ایستگاه هیدرومتری ماودر با بارش و دما ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نشان می‌دهد. همبستگی بین بارش و رواناب مستقیم و نسبت به رواناب و دما بسیار بالاتر است و لذا میزان تأثیرپذیری رواناب از بارش ماهانه نسبت به دما بیشتر است. نحوه تغییرات این متغیرها در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در مقادیر کم و بالای بارش ماهانه ارتباط معنی‌داری بین بارش و رواناب وجود دارد، اما تغییرات رواناب مشاهداتی و دما دارای همبستگی معنی‌داری (در سطح ۹۵ درصد) نمی‌باشند. همچنین مقادیر همبستگی در این شکل نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی رواناب با بارش و دما در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد

Table 2- The results of the correlation test of runoff with precipitation and temperature at 95% significance level

متغیرهای مستقل و وابسته Dependent and independent variables	P		T	
	ρ	P-value	ρ	P-value
Q	0.85	$2.2 \times 10^{-16}*$	-0.23	0.0004

سه بخش اصلی است که شامل واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دوره آینده است. نیاز اساسی مدل LARS- WG در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیمی در دوره گذشته است. در این تحقیق سناریوی RCP4.5 استفاده گردید. این سناریو توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن میزان غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ حدود 750 ppm تخمین زده شده و بازتابش ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. در این سناریو میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6 تخمین زده شده است. ارزیابی این مدل‌ها در بخش واسنجی و صحت‌سنجی، با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و نش-ساتکلیف (NS) صورت گرفت که در ادامه معادلات (معادله ۱ و ۲) مورد استفاده در این تحقیق ارائه می‌گردد:

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_s - Q_o)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Q_s - Q_o)^2}{n}} \quad (2)$$

که در این رابطه Q_s دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{Q}_o میانگین مقادیر داده‌های مشاهداتی و Q_o دبی مشاهداتی در ایستگاه ماودر است. شاخص NS بین منهای بی‌نهایت تا یک تغییر می‌نماید و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده کارایی بالاتر مدل است. همچنین مقدار ایده‌آل شاخص RMSE برابر صفر است و بیانگر این است که مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هیچ اختلافی ندارند.

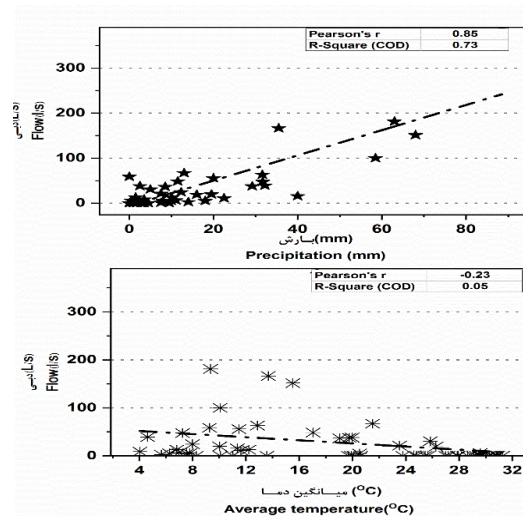
جدول ۳- مقدار بهینه پارامترهای مازول غیرخطی در گام

واسنجی

Table 3- The optimal value of parameters of the nonlinear module in the calibration step

پارامترهای مدل IHACRES Parameters of IHACRES model	مقدار بهینه پارامترها Value of optimal parameters
C	0.00044
t_w	26
F	1.84

با توجه به شکل ۶، سه پیک اصلی در بخش صحت‌سنجی مشاهده شد. پیک اول در مارس ۲۰۱۷ با دبی ۰/۰۶۳ مترمکعب بر ثانیه، پیک دوم در فوریه ۲۰۱۸ با دبی ۰/۱۸ مترمکعب بر ثانیه و پیک سوم در آوریل ۲۰۱۸ با دبی ۰/۳۹ مترمکعب بر ثانیه. مدل IHACRES در دبی اوج اول از نظر زمان رسیدن به پیک با دقت بالا و از نظر مقدار دبی پیک با اختلاف اندک ۰/۰۶ مترمکعب بر ثانیه بیشتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی انجام داده و عملکرد خوبی از خود در این پیک نشان داده است. مدل در اوج دوم از نظر زمان رسیدن به پیک با دقت بالا و از نظر مقدار دبی پیک با اختلاف ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه کمتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی انجام داده و عملکرد خوبی از خود در این پیک نشان داده است. در پیک سوم، مدل IHACRES، از نظر زمان رسیدن به پیک، با دقت بالا و از نظر مقدار دبی پیک به ترتیب با اختلاف ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه کمتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی انجام داده و عملکرد خوبی از خود در این پیک نشان داده است.



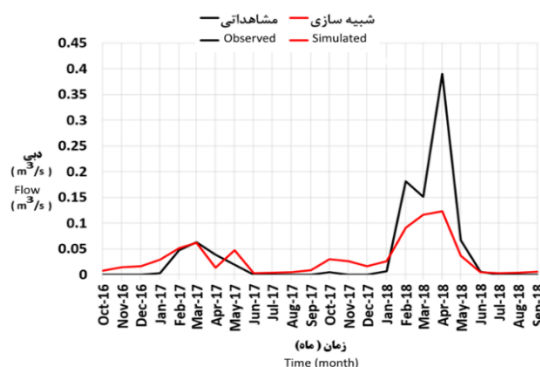
شکل ۵- بررسی ارتباط متغیرهای بارش و دمای میانگین با رواناب مشاهداتی

Figure 5- Investigating the relationship between precipitation and average temperature variables with observed runoff

برای اجرای مدل IHACRES و استنتاج عصبی-فازی در بخش واسنجی از داده‌های بارش، دما و دبی در بازه زمانی سپتامبر ۲۰۱۳ تا سپتامبر ۲۰۱۶ و در بخش صحت-سنجی از سپتامبر ۲۰۱۶ تا سپتامبر ۲۰۱۸ در مقیاس ماهانه استفاده شد (۶۰ درصد داده‌های مشاهداتی برای واسنجی (آموزش) و ۴۰ درصد مابقی آن برای صحت-سنجی (آزمون) استفاده شد). شکل ۶ نتایج حاصل از اجرای مدل در بخش واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. مقادیر پارامترهای بهینه‌شده مدل IHACRES در جدول ۳ آورده شده است.

همان‌گونه که در خصوص پارامترهای مدل IHACRES گفته شد، پارامتر f بیانگر تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات است که مقدار $\frac{1}{84}$ توسط مدل محاسبه شده است. پارامتر t_w بیانگر این است که چه مدت‌زمانی طول می‌کشد تا حوضه خشک شود. مقدار محاسبه‌شده این پارامتر برابر ۲۶ روز است (جدول ۳).

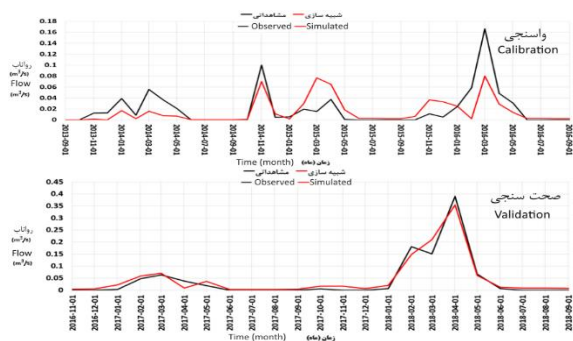
۲۰۱۶ و داده‌های ارزیابی از تاریخ سپتامبر ۲۰۱۶ تا سپتامبر ۲۰۱۸ در مقیاس ماهانه وارد مدل شد و بر اساس تکرارهای مختلف بهترین نتایج بر اساس این تنظیمات به دست آمد که تعداد توابع عضویت برابر ۲، نوع تابع عضویت ورودی trimf، نوع تابع عضویت خروجی ثابت و از ۶۰ تکرار برای بخش آموزش استفاده گردید. نتایج مرحله آزمون انفیس ساخته‌شده در گام قبل بر اساس شاخص RMSE برابر ۰/۰۱۸ مترمکعب بر ثانیه پذیرفته شد و بخش آزمون مدل انجام شد. شکل ۷ مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل سیستم استنتاج عصبی فازی در بخش آزمون مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۷- مقایسه دبی رواناب مشاهداتی در مقابل مقادیر شبیه‌سازی‌شده آن با سیستم استنتاج عصبی فازی در مرحله آزمون

Figure 7- The comparison of observed and simulated values with Addaptive neuro-fuzzy inference system in the validation section

با توجه به شکل ۷ سه پیک در بخش صحت‌سنجی شامل پیک اول در مارس ۲۰۱۷ با دبی ۰/۰۶۳ مترمکعب بر ثانیه، پیک دوم در فوریه ۲۰۱۸ با دبی ۰/۱۸ مترمکعب بر ثانیه و پیک سوم در آوریل ۲۰۱۸ با دبی ۰/۳۹ مترمکعب بر ثانیه مشاهده می‌شود. مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی در پیک اول از نظر زمان رسیدن به پیک با



شکل ۶- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل IHACRES در بازه ۲۰۱۳-۲۰۱۸

Figure 6- The results of the calibration and validation of the IHACRES model during 2013-2018 period

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل IHACRES در بخش‌های

واسنجی و صحت‌سنجی

Table 4- Evaluation results of IHACRES model in calibration and validation sections

شاخص ارزیابی Evaluation index	واسنجی Calibration	صحت‌سنجی Validation
NS	0.48	0.95
RMSE(m)	0.02	0.01

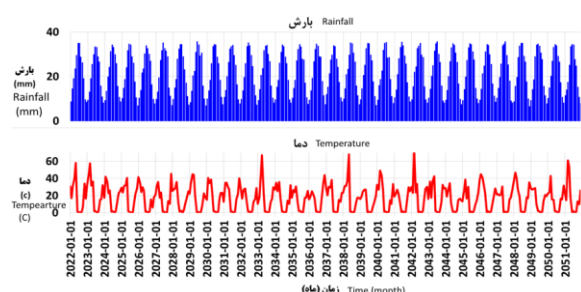
همان‌گونه که در **Error! Reference source**

not found. مشاهده می‌شود در گام صحت‌سنجی

مدل IHACRES که دارای اهمیت بالایی است، از نظر معیارهای ارزیابی RMSE و NS مدل عملکرد خوبی از خود نشان داده است. در مرحله واسنجی مدل نیز، شاخص‌های ارزیابی دارای نتایج قابل قبولی می‌باشند که با نتایج تحقیق Rezaei Moghaddam و همکاران (۲۰۱۹) و Zandi Daregharibi و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد. به بیان دیگر این مدل علی‌رغم استفاده از حداقل داده‌های ورودی، توانمندی خوبی در شبیه‌سازی رواناب حداکثر را دارد که به دلیل بهینه‌سازی خوب پارامترهای این مدل مفهومی است.

در مرحله آموزش و صحت‌سنجی مدل استنتاج عصبی-فازی نیز داده آموزش از تاریخ سپتامبر ۲۰۱۳ تا سپتامبر

دبی اوج بازتولید می‌نماید. مقایسه مدل‌های استنتاج سیستم عصبی-فازی با IHACRES نشان داد که مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب IHACRES دارای توانمندی بالاتری در بازتولید رواناب مشاهداتی ناشی از شرایط اقلیمی حادث شده است؛ لذا در گام بعدی این تحقیق، این مدل برتر در پیش‌بینی رواناب ناشی از بارش و درجه حرارت در افق آینده مورد استفاده قرار گرفت. در جهت تکمیل این بخش، از نرم‌افزار LARS-WG5.0 برای ریزمقیاس نمائی بارش و دما از خروجی مدل بزرگ‌مقیاس GISS-E2-R در افق آینده نزدیک (۲۰۵۱-۲۰۲۲) تحت سناریو RCP4.5 استفاده گردید. نتایج ریزمقیاس نمائی بارش و دمای متوسط در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: بارش و دمای ماهانه ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG5.0 تحت سناریو RCP4.5 در افق آینده نزدیک

Figure 8- Monthly downscaled precipitation and temperature by the LARS-WG5.0 model under the RCP4.5 scenario in the near future horizon

استخراج میانگین درازمدت ماهانه، نشان داد که مقادیر میانگین بارش و دما در افق آینده معادل ۱۷/۳۸ میلی‌متر و ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با مقادیر مشابه در دوره پایه ۵/۴۵ میلی‌متر افزایش در میانگین بارش ماهانه و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دما اتفاق خواهد افتاد. همچنین می‌توان انتظار داشت که این تغییر در مقادیر پارامترهای اقلیمی، باعث وقوع تغییراتی در رواناب ناشی از بارش در آینده شود.

دقت بالا و از نظر مقدار دبی پیک با اختلاف اندک ۰/۰۲ بیشتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی انجام داده و عملکرد خوبی داشته است. مدل در پیک دوم از نظر زمان رسیدن به دبی حداکثر، با دقت بالا و از نظر مقدار دبی با اختلاف ۰/۰۹ مترمکعب بر ثانیه کمتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی انجام داده و به نسبت دبی اوج قبل عملکرد ضعیف‌تری داشته است. در دبی اوج سوم، مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی، از نظر زمان رسیدن به دبی پیک، با دقت بالا و از نظر مقدار دبی پیک با اختلاف ۰/۲۷ مترمکعب بر ثانیه کمتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی کم‌تخمینی داشته و لذا عملکرد ضعیفی از خود نشان داده است. این نتیجه می‌تواند به دلیل روش متفاوت این مدل در نمونه‌گیری از داده‌ها برای آموزش باشد زیرا در انتخاب داده‌ها برای آموزش یا آزمون مدل امکان استفاده از داده‌هایی با تغییرات زیاد نسبت به داده‌های قبلی وجود دارد. مقادیر معیارهای ارزیابی مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی برای شاخص نش-ساتکلیف و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۰۵ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد؛ لذا بر اساس نتایج به دست آمده از مرحله آزمون، این مدل از نظر معیارهای ارزیابی RMSE و NS عملکرد خوبی از خود نشان نداده است.

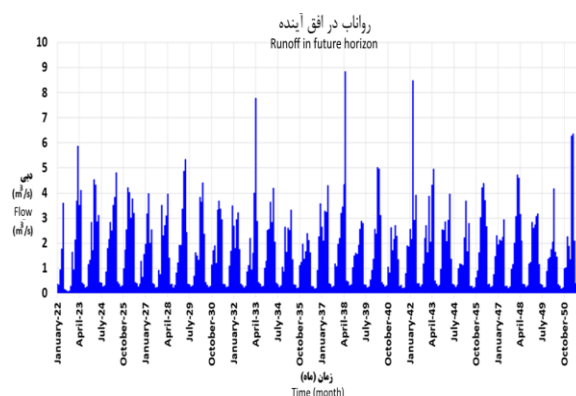
مقدار معیار ارزیابی RMSE در بخش صحت‌سنجی برای مدل‌های IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی به ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مترمکعب بر ثانیه و مقدار معیار ارزیابی نش-ساتکلیف به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۵۲ محاسبه شد. همچنین مقایسه نمودار مقادیر دبی شبیه‌سازی شده با مشاهداتی نشان داد که مدل IHACRES نسبت به مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی نتایج بهتری را از نظر شبیه‌سازی مقادیر دبی اوج رواناب و هم‌زمان رسیدن به

اقلیم در ایجاد مقادیر حدی بارش و دما در آینده، مقادیر بالای مجموع بارش ماهانه، وقوع رواناب با مقادیر حدی بالا را در پی خواهد داشت؛ لذا بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل بارش-رواناب، افزایش میانگین رواناب مشاهداتی در تعدادی از ماه‌های سال نسبت به همان ماه‌ها در دوره پایه دیده می‌شود که با نتایج Hejazizadeh و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، توانمندی دو مدل IHACRES و سیستم استنتاج عصبی-فازی در شبیه‌سازی بارش و رواناب ورودی سد کریت در طبرستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج صحت‌سنجی این دو مدل نشان از برتری مدل IHACRES نسبت به مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی در شبیه‌سازی رواناب مشاهداتی در ایستگاه ماودر (ورودی به سد کریت) دارد. با عنایت به بررسی تأثیر اقلیم بر رواناب ورودی به سد کریت در افق آینده، مدل LARS-WG5.0 و خروجی مدل بزرگ‌مقیاس GISS-E2-R و سناریو RCP4.5 استفاده گردید. نتایج ریزمقیاس نمائی آماری برای سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۱ نشان از افزایش ۲/۹ درصدی سانی‌گراد در دما و افزایش ۵/۴۵ میلی‌متری در مجموع بارش ماهانه دارد. نتایج شبیه‌سازی مدل بارش-رواناب نشان از افزایش میانگین رواناب مشاهداتی در تعدادی از ماه‌های سال نسبت به همان ماه‌ها در دوره پایه دارد.

پس از ریزمقیاس‌سازی داده‌های روزانه بارش و دما برای سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۵۱ توسط مدل ریزمقیاس LARS-WG5.0، این داده‌ها به‌عنوان ورودی به مدل IHACRES داده شد تا شبیه‌سازی دبی توسط این مدل صورت گیرد. شکل ۹ مقادیر دبی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل IHACRES با استفاده از داده‌های بارش و دمای خروجی مدل ریزمقیاس LARS-WG5.0 را نشان می‌دهد.



شکل ۹- مقادیر رواناب شبیه‌سازی‌شده در افق آینده نزدیک

توسط مدل IHACRES

Figure 9- Simulated runoff values in the near future horizon by the IHACRES model

با توجه به شکل ۹، تعداد چهار دبی پیک در افق آینده برآورد شده است که پیک اول در ماه آوریل ۲۰۳۳ با دبی ۷/۷۶ مترمکعب بر ثانیه در اثر بارش ۶۷/۳۴ میلی‌متر، پیک دوم در ماه می ۲۰۳۸ با دبی ۸/۸۴ مترمکعب بر ثانیه در اثر بارش ۴۴/۹ میلی‌متر، پیک سوم در ماه مارس ۲۰۴۲ با دبی ۸/۴۶ مترمکعب بر ثانیه در اثر بارش ۷۵ میلی‌متر، پیک چهارم در ماه آوریل ۲۰۵۱ با دبی ۶/۳۴ مترمکعب بر ثانیه در اثر بارش ۵۳/۵ میلی‌متر است. با توجه به خصوصیات پدیده تغییر

References

- Ahmadpour, A., Mirhashemi, S. & Haghightajou, P. (2020). Evaluation of classical, conceptual ihacres and hybrid arma-ann models in simulation and prediction of daily discharge of Maroun River. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 727-736. (In Persian)
- Abushandi, E. & Merkel, B. (2013). Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan. *Water Resource Management*, 27(7), 2391-2409. DOI: 10.1007/s11269-0130293-4.
- Amiri, E. & Roudbari Mousavi, M.M. (2016). Evaluation of IHACRES hydrological model for simulation of daily flow (Case study Polrood and Shalmanrood rivers). *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(4), 533-543. (In Persian)
- Bacanli, U.G., Firat, M., & Dikbas, F. (2009). Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(8), 1143-1154.
- Dastorani, M.T., Sharifi Darani, H., Talebi, A. & Moghadam Nia, A. (2011). Evaluation of the application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems for rainfall-runoff modeling in Zayandeh-rood dam basin. *J. of Water and Wastewater*, 80, 114-125.
- Fakhr Hashemian, S., Farabi, H., Kazemi, M., & Solaimanian, M. (2017). *Presenting an efficient model for river flow estimation using fuzzy inference system, case study of Baba Aman River*. The 5th National Conference on Geomorphology and Environmental Challenges, September. Mashhad, Iran. (In Persian)
- Hafezparast, M., & Marabi, S. (2021). Prediction of Discharge Using Artificial Neural Network and IHACRES Models Due to Climate Change. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 8-3, 75-85.
- Hejazizadeh, Z., Ashofteh, P.S., Fatahi, E., & Gholampour, Z. (2015). Analysis of streamflow changes under climate change using rainfall-runoff model in the Kor River basin. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 15(38), 31-47 (In Persian)
- Lotfirad, M., Adib, A. & Haghghi, A. (2018). Estimation of Daily Runoff Using of the Semi-Conceptual Rainfall-Runoff IHACRES Model in the Navrood Watershed (a watershed in the Gilan province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), 449-460. (In Persian)
- Momeneh, S. (2022). Performance comparison of artificial intelligence models with IHACRES model in streamflow modeling of the Gamasiab River catchment. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(3), 1-16. (In Persian)
- Rezaei Moghaddam, M.H., Hejazi, M.A. & Behbuodi, A. (2019). A Calibration and Dvaluation of IHACRES Model in Runoff Simulation the Lanbaran Sub-basin, Ahar Chay. *Hydrogeomorphology*, 6(20), 187-204. (In Persian)
- Sedighi, F., Vafakhah, M. & Javadi, M.R. (2014). *Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Rainfall-Runoff Forecasting in Latyan Watershed*. The second national conference of applied research in civil engineering, architecture and urban management, Tehran, Iran. (In Persian)
- 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)
- Zarei, M., Habibnezhad, R.M., Shahedi, K., & Ghanbarpour, M.R. (2011). Calibration and Evaluation of IHACRES Hydrological Model for Daily Flow Simulation. *Journal of Water and Soil*, 25(1), 104-114. (In Persian)

Evaluation of Artificial Neural Network and regression models in prediction of soil organic carbon (Case study: The Pakal Catchment, Markazi province)

Amir Moradinejad^{1*}, Saied Khosrobeig²

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Arak, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Iran

2- PhD in Watershed Management and Head of Technical and Engineering Department of the General Department of Natural Resources of Markazi Province, Iran

* Corresponding author: amir_24619@yahoo.com

(Received: 15 November 2022

Revised: 10 December 2022

Accepted: 18 December 2022)

Extended Abstract

Introduction: Organic carbon is one of the most important components of soil ecosystems, and changes in its amount and composition have fundamental effects on the processes that occur in each system. Soil is a source for carbon storage and deposition in connection with the atmosphere. Since pastures have a great capacity for carbon sequestration and are broad in arid and semi-arid areas of Iran, the study of organic carbon content and spatial changes in these ecosystems are important. In developing countries such as Iran, which are facing a soil erosion crisis, this issue can lead to the creation of a solution that aims at soil conservation, optimal utilization of land, as well as reforming and reviving destroyed pastures. Considering the role of organic carbon in soil management and stability, preventing soil erosion, monitoring the amount of carbon dioxide in the air, and predicting soil organic carbon on a regional, national and global scale are of particular importance.

Materials and methods: The study area of this project is the Pakel catchment from the sub-basins of the Qara Chai River. This catchment is located in the southwest of Shazand city, at a distance of 43 kilometers from the city of Arak. Random-systematic sampling was done in 60 points from the soil depth of 0-30 cm. Soil properties such as apparent specific gravity by cylinder method, pH and EC were measured after the preparation of saturated soil. Organic matter were measured using cold method based on oxidation of organic carbon. Then, soil properties were used to model soil organic carbon. For this purpose, statistical regression and artificial neural network (ANN) were used.

Discussion and results: The amount of organic carbon in the soil is affected by the physical and chemical properties of the soil. It is therefore necessary to use calculation methods with optimal accuracy in estimating this complex and important parameter. It is possible to compare different models using RMSE, R^2 and CE indices. Paying attention to the index values shows the relative advantage of the models. The general results of the research show that in natural areas where the problem of sampling and the costs of their analysis are at a high level, it is possible to use artificial intelligence methods with the help of data to estimate soil organic carbon. It is expected that in future studies, in order to create a more reliable model that predicts more variability of the amount of soil organic carbon, denser sampling and integration of physiographic and soil variables affecting organic carbon will lead to satisfactory results. Due to the complexity of soil organic carbon relationships and soil physical and chemical properties, it is better to ignore complex analyses that include various coefficients for adjusting the mathematical formulas of models and use artificial intelligence methods which have high flexibility.

Conclusion: The results showed that the ANN with RMSE=0.043 and CE=0.87 compared to the regression model with RMSE=0.08 and CE=0.51 is better in estimating organic carbon. The comparison between the regression and neural network models showed that the values estimated by the neural network are more accurate than the regression method. It is suggested to carry out periodic carbon deposition monitoring studies in the study area in order to check the temporal changes of carbon deposition in the intended land uses.

Keywords: soil properties, modeling, efficiency coefficient, soil carbon.

Citation: Moradinejad, A., & Khosrobeig, S. (2022). Evaluation of Artificial Neural Network and regression models in prediction of soil organic carbon (Case study: The Pakal Catchment, Markazi province). *Integrated Watershed Management*, 2(3), 95-110. doi: 10.22034/iwm.2022.1972720.1050

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 مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی در برآورد کربن آلی خاک (منطقه

مورد مطالعه: حوزه آبخیز پاکل، استان مرکزی)

امیر مرادی نژاد^{۱*}، سعید خسروبیگی^۲

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

۲- دکتری آبخیزداری و رئیس بخش فنی و مهندسی اداره کل منابع طبیعی استان مرکزی، ایران

*نویسنده مسئول: amir_24619@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

چکیده

با توجه به نقش کربن آلی در مدیریت و پایداری خاک، جلوگیری از فرسایش خاک و پایش میزان دی‌اکسید کربن هوا، پیش‌بینی کربن آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این تحقیق به منظور برآورد کربن آلی خاک از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. برای این منظور در ابتدا، ۶۰ نمونه خاک از حوزه آبخیز پاکل اراک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. سپس خصوصیات خاک شامل نیتروژن، رس، سیلت، کربن آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی و وزن مخصوص ظاهری خاک اندازه‌گیری گردید. به منظور ارزیابی کارکرد مدل‌های مورد استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی استفاده گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با مجذور میانگین مربعات $RMSE=0/043$ و ضریب کارایی $CE=0/87$ نسبت به مدل رگرسیونی با مجذور میانگین مربعات $RMSE=0/08$ و ضریب کارایی $CE=0/51$ کارایی بهتری در برآورد کربن آلی داشت. مقایسه بین مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی نشان داد که مقادیر برآورد شده به وسیله شبکه عصبی دارای دقت بیشتری نسبت به روش رگرسیونی است. روش‌های آماری و نتایج شبکه‌های عصبی برتری مدل‌های شبکه عصبی را در برآورد کربن آلی بیان می‌کند. نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در عرصه‌های طبیعی که مشکلات خاص نمونه‌برداری، هزینه‌های تجزیه و آنالیز نمونه‌ها در سطح زیاد وجود دارد، می‌توان از روش‌های هوش مصنوعی و به کمک داده‌های زود یافت برای تخمین کربن آلی خاک سود جست. انجام مطالعات دوره‌ای پایش ترسیب کربن در منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی تغییرات زمانی ترسیب کربن در کاربری‌های مورد نظر پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات خاک، مدل‌سازی، ضریب کارایی، کربن خاک.

استناد: مرادی نژاد، ا. و خسروبیگی، س. (۱۴۰۱). ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی در برآورد کربن آلی خاک (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز پاکل، استان مرکزی). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، (۳)، ۹۵-۱۱۰.

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

کربن آلی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اکوسیستم‌های خاکی است و تغییر در فراوانی و ترکیب آن اثرات اساسی روی فرآیندهایی خاک دارد (Crowther Thomas *et al.*, 2013). مدیریت دقیق خاک برای اهداف مختلف، مستلزم شناخت دقیق و کمی خصوصیات و فرآیندهای آن است. مقدار کربن آلی خاک از خصوصیات مهم در تعیین کیفیت خاک است و به‌عنوان یکی از شاخص‌های اولیه کیفیت خاک، در کشاورزی، محیط‌زیست و مرتع در نظر گرفته می‌شود (Broge *et al.*, 2005). با توجه به اینکه مراتع قابلیت زیادی برای ترسیب کربن داشته و در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران از وسعت بالایی برخوردار هستند، مطالعه محتوای کربن آلی و تغییرات مکانی آن در اکوسیستم‌های مزبور حائز اهمیت است. این موضوع می‌تواند در کشورهای در حال توسعه‌ای همچون ایران که با بحران فرسایش خاک مواجه هستند، کمک به ایجاد راه‌کاری شود که حفاظت اراضی، بهره‌وری بهینه از اراضی و همچنین اصلاح و احیای مراتع تخریب یافته را به دنبال داشته باشد. خاک منبعی برای ذخیره و ترسیب کربن در ارتباط با اتمسفر است. ظرفیت بالای خاک برای ترسیب و یا رهاسازی کربن باعث می‌شود تا این سیستم نقش مهمی در کنترل میزان دی‌اکسید کربن اتمسفر داشته باشد (Follett *et al.*, 2001). یکی از دقیق‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های ارزیابی کربن آلی خاک، پایش زمینی و نمونه‌برداری مستقیم خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی است (Bird *et al.*, 2013). اندک تغییری در کربن آلی خاک می‌تواند مقدار دی‌اکسید کربن اتمسفر را به شدت تحت تأثیر قرار داده و به تبع آن روی اقلیم تأثیرگذار باشد (Chen *et al.*, 2019). بررسی توزیع مکانی مقدار کربن آلی خاک، اساسی‌ترین قدم در سیاست‌گذاری اقلیم و مدیریت خاک، افزایش تولید غذای بشر (Taghizadeh-*Mehrjardi et al.*, 2017) و تهیه داده‌های استاندارد

برای مدل‌سازی اکوسیستم است (Mahmoudzadeh *et al.*, 2020). پیلوری و همکاران (Pilevari *et al.*, 2010) در تحقیقی تحت عنوان مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین به این نتیجه دست یافتند که مدل شبکه-عصبی مصنوعی نسبت به آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره به‌عنوان ابزار قدرتمندتری در پیش‌بینی کربن آلی عمل می‌کند. پارسافر و معروفی (Parsafar *and Marofi*, 2011) نیز در مطالعه برآورد دمای عمق-های مختلف خاک از دمای هوا با به‌کارگیری روابط رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی، مدل شبکه عصبی-فازی را به‌عنوان مدلی با دقت بالا نسبت به سایر شبکه عصبی و رگرسیونی معرفی کردند. هلنبرگ و همکاران (Holmberg *et al.*, 2006) از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان کربن آلی، نیتروژن و فسفر استفاده کردند. پارساورمان و همکاران (Parasurman *et al.*, 2006) برای برآورد هدایت آبی اشباع در مقیاس مزرعه‌ای، دو مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی نمودند. پارامترهای ورودی در مدل اول درصد رس، سیلت و شن بود و در مدل دوم علاوه بر سه ویژگی یادشده، جرم ویژه ظاهری اضافه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده عملکرد بهتری در برآورد هدایت آبی اشباع داشته‌اند. مردون و همکاران (Merdun *et al.*, 2006) از مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع استفاده کردند، نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، برآورد بهتری از هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به رگرسیونی داشته‌اند. طیف وسیعی از الگوریتم‌های ماشین یادگیری برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در مقیاس منطقه‌ای و ملی استفاده شده است. به‌عنوان مثال، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) در لیائونینگ چین توزیع مکانی کربن آلی خاک

توزیع مکانی ویژگی‌های خاک را با استفاده از متغیرهای محیطی و تجزیه و تحلیل‌های آماری چندمتغیره در منطقه نیمه‌خشک بروجن مورد بررسی قرار دادند. به‌طور کلی نتایج ایشان بیانگر این بود که عوامل محیطی مانند مورفولوژی تپه‌ها و کلیه متغیرهای سنجش از دور تا حد زیادی می‌توانند تغییرپذیری کربن آلی خاک را در منطقه مورد مطالعه توضیح دهند. خاموشی و همکاران (Khamoshi *et al.*, 2019) با استفاده از مدل جنگل تصادفی، نقشه رقومی پراکنش کربن آلی را در خاک‌های زراعی دشت قزوین تهیه کردند. نتایج اعتبارسنجی در سه عمق خاک نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل‌سازی برای کربن با استفاده از جنگل تصادفی نتایج بهتری می‌دهد. ایشان همچنین بیان کردند در صورتی که مدل جنگل تصادفی با متغیرهای محیطی مناسب آموزش داده شود می‌توان آن را به‌عنوان یک الگوریتم یادگیرنده مؤثر در نقشه برداری رقومی کربن آلی خاک به کار برد. پهلوان‌راد و همکاران (Pahlavan-Rad *et al.*, 2018) طی پژوهشی غلظت کربن آلی خاک را در منطقه زهک در شرق ایران مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، توزیع کربن آلی خاک با استفاده از نقشه برداری رقومی خاک در منطقه - ای با مساحت ۴۱۰۰۰ هکتار و تعداد ۴۱۷ نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفت و از رویکرد جنگل تصادفی نیز برای مدل‌سازی استفاده شد. مقدار دو آماره ارزیابی صحت مدل MAE و RMSE به ترتیب برابر ۰/۱۶ و ۰/۲۱ به دقت آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که نقشه پیش‌بینی‌شده با واقعیت‌های منطقه مورد مطالعه سازگاری دارد. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2017) در خصوص پیش‌بینی کربن آلی خاک به دو روش جنگل تصادفی و رگرسیون خطی نیز برتری روش جنگل تصادفی را نسبت به روش رگرسیون خطی نشان دادند و بیان داشتند که برتری مدل جنگل تصادفی نسبت به مدل‌های خطی در پیش‌بینی کربن آلی خاک مربوط به روابط غیرخطی است که بین کربن آلی خاک و متغیرهای پیش‌بینی

را در پنج عمق با استفاده از مدل رگرسیون درختی بررسی کرده‌اند. اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2018) در بررسی توزیع مکانی کربن آلی خاک در شهرستان مریوان به این نتیجه رسیدند که پارامترهای توپوگرافی از طریق عوامل فرسایش و رسوب، حفظ پوشش گیاهی، عمق توسعه ریشه، زهکشی خاک همگی بر روی مقدار تجزیه کربن آلی خاک و نیز پوشش گیاهی اثر دارند و توزیع مکانی و تشکیل خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محمودزاده و همکاران (Mahmoudzadeh *et al.*, 2020) در تحقیقی به رقومی‌سازی کربن آلی خاک با شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در استان کردستان پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که پراکنش کربن آلی بیش‌تر تحت تأثیر عوامل توپوگرافی و اقلیم است. همچنین در مناطقی که به هر دلیل امکان نمونه برداری در کل منطقه وجود ندارد، می‌توان از طریق متغیرهای کمکی مانند پارامترهای توپوگرافی، اقلیمی و پوشش گیاهی و با روش‌های نوین داده‌کاوی برای برآورد کربن آلی خاک بهره گرفت. متین‌فر و همکاران (Matinfar *et al.*, 2018) در تحقیقی به ارزیابی روش‌های یادگیری ماشین در نقشه برداری رقومی کربن آلی خاک‌های زراعی بخشی از دشت خرم‌آباد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مجموع مدل‌های با رویکرد غیرخطی صحت بالاتری نسبت به مدل‌های خطی در مدل‌سازی تغییرات مکانی کربن آلی خاک دارند. در روش‌های مرسوم نقشه برداری خاک بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی کربن آلی خاک، میانگین کربن آلی خاک در هر واحد نقشه خاک گزارش می‌شود که این نحوه مطالعه تغییرات مکانی به دلیل عدم ارائه تغییرات پیوستگی مکانی این ویژگی نیازمند بهره‌گیری از روش‌های نوینی است که قادر باشند تغییرات مکانی خصوصیات خاک را در نظر گرفته و موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه مطالعات تهیه نقشه ویژگی‌های خاک شوند (Somarathna *et al.*, 2017). زراعت‌پیشه و همکاران (Zeraatpisheh *et al.*, 2019) در مطالعه‌ای

است. در ایران بیشتر مطالعات صورت گرفته در زمینه برآورد ماده آلی خاک از مدل‌های تجربی و نیمه‌تجربی استفاده شده است. حال آنکه به دلیل محدود بودن اطلاعات پیرامون مواد آلی و دشواری و هزینه‌های زیاد حاصل از آزمایش شیمیایی این فاکتور، پیش‌بینی کربن آلی خاک به‌عنوان عاملی مهم در کاربری‌های مختلف خاک ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل پیچیدگی روابط کربن آلی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، بهتر است برای تحلیل از روش‌های هوش مصنوعی که از قدرت انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است استفاده شود. مدل‌های ریاضی به خاطر داشتن ضرایب گوناگون در تنظیم معادلات، برای تحلیل بسیار پیچیده می‌باشند. روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی است که مزیت اصلی آن‌ها سرعت بالا و دقت مطلوب در پیش‌بینی متغیرهای پیچیده با نگاشت خطی و غیرخطی است. اصولاً روش‌های هوش مصنوعی در حل مسائل پیچیده که مدل‌های تجربی یا نیمه‌تجربی در حل آن کارایی مناسب نداشته باشند، بسیار کارا هستند. در کشور ایران با وجود وسعت زیاد مراتع و توانایی عظیم در ترسیب کربن و با توجه به نقش کربن آلی خاک در پایداری و کیفیت خاک و جلوگیری از فرسایش، تا به حال تحقیقات کاربردی محدودی در زمینه تخمین کربن آلی خاک در حوزه‌های آبخیز انجام شده است. لذا این مطالعه به‌منظور مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و رگرسیون چندمتغیره برای تخمین کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های زودیافت خاک و همچنین تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر مقدار کربن آلی ذره‌های خاک در حوزه آبخیز پاکل شازند در استان مرکزی انجام گرفته است.

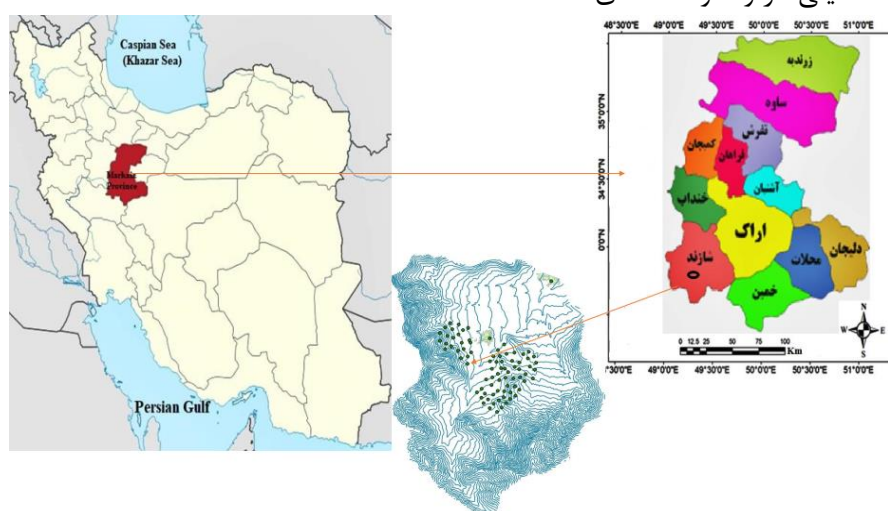
کننده وجود دارد. کرکج و همکاران (Karkaj *et al.*, 2017)، در مطالعه خود، ارتباط ذخیره کربن آلی با برخی ویژگی‌های خاک در مراتع آذربایجان شرقی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ذرات ریز سیلت و رس با ضریب تحلیل مسیر به ترتیب ۰/۱۷۵ و ۰/۲۲۳ ظرفیت و پتانسیل بالایی در ذخیره کربن آلی خاک دارند. خورده‌بین و همکاران (Khordehbin *et al.*, 2020) در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک در بخشی از اراضی شهرستان بهبهان از متغیرهای کمکی از جمله اجزای سرزمین، داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور و نقشه کاربری اراضی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل جنگل تصادفی با بالاترین ضریب تبیین ($R^2=0/96$) و کمترین مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE=2/32$) کارایی بهتری در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک را نشان داده است. راعی و همکاران (Raei *et al.*, 2020) در تحقیقی به ارزیابی کارایی برخی روش‌های هوش مصنوعی^۱ در مدل‌سازی فرسایش‌پذیری بادی خاک، در بخشی از اراضی شرق دریاچه ارومیه پرداختند. این پژوهش با هدف مقایسه کارایی چهار روش مختلف شامل رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی مصنوعی هیبرید شده با الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی هیبرید شده با الگوریتم بهینه‌سازی وال در مدل‌سازی فرسایش‌پذیری بادی در بخشی از اراضی انجام شد. برای این منظور، ۹۶ نمونه خاک به روش تصادفی نظارت‌شده جمع‌آوری و ۳۲ ویژگی مختلف فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در آزمایشگاه تعیین شدند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی هیبرید شده با الگوریتم بهینه‌سازی وال با توجه به کمترین مقادیر میانگین خطا ($0/11$) و جذر میانگین مربعات خطا ($2/9$) و بیشترین مقادیر ضریب تبیین ($0/87$) و ضریب کارایی نش-سانتکلیف ($0/87$) از کارایی مطلوب‌تری در پیش-بینی فرسایش‌پذیری بادی خاک‌های منطقه برخوردار

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز پاکل از زیر حوزه‌های آبخیز رودخانه قره چای است. این حوضه با مساحت ۳۴۳۷/۲۷ هکتار در حاشیه شهر آستانه و در محدوده ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۹ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه طول جغرافیایی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه دارای ارتفاع متوسط حدود ۲۲۲۵ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه ۴۵۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه

آن ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است. این حوزه آبخیز در جنوب غربی شهرستان شازند، با فاصله ۴۳ کیلومتری از شهر اراک و در مجاورت شهر آستانه قرار دارد. در این منطقه عملیات آبخیزداری شامل بذرکاری، بانکت-بندی، احداث بند خاکی، تورکینست، بندهای گابیونی و احداث بند خشکه‌چین انجام شده است، لذا با توجه به اینکه در طرح تحقیقاتی هدف بررسی تأثیر عملیات بیومکانیکی آبخیزداری بر ترسیب کربن بوده است، این منطقه انتخاب شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری شده

Figure 1- Geographical location of the study area along with the sampled points

روش تحقیق

روش نمونه‌برداری میدانی

پس از شناسایی مقدماتی و تعیین حدود منطقه دو سایت مطالعاتی به نام‌های سرسختی و پاکل انتخاب و در هر سایت دو کاربری مرتع، عملیات بیومکانیکی آبخیزداری (احداث بانکت و بادام‌کاری)، مشخص شد. روش نمونه‌برداری به صورت تصادفی-سیستماتیک بود. با توجه به توپوگرافی، شیب، نوع خاک و پوشش گیاهی، ترانسکت‌هایی به طول ۱۰۰ متر و به صورت تصادفی و با فواصل مناسب از هم مستقر شد. در امتداد هر ترانسکت حداقل سه پلات مستقر شد. اندازه پلات بر اساس ویژگی‌های پوشش گیاهی تعیین شد که در کاربری مرتع شاهد از پلات ۲*۲ و در کاربری عملیات

بیومکانیکی آبخیزداری (احداث بانکت و بادام‌کاری) از پلات ۱۰*۱۰ استفاده شد (Agharaz, 2018). علاوه بر این در کف و پشته بانکت‌ها، ترانسکت‌هایی مستقر و در امتداد هر ترانسکت از سه پلات استفاده شد تا میزان ترسیب کربن آن‌ها به طور مجزا ارزیابی شود. نمونه-برداری زیست‌توده و لاشبرگ در مجاورت پروفیل خاک، در پلات‌های ۱*۱ متر، انجام شد. در هر پلات، تراکم بوته، ترکیب گونه‌های، درصد تاج پوشش و لاشبرگ تعیین شد. همچنین تعدادی بوته معرف از هر گونه در هر پلات انتخاب و با کل ریشه جمع‌آوری، در آن خشک شده و توزین شد. سپس زیست‌توده تاج پوشش و ریشه محاسبه شد. در گونه‌های درختی و درختچه‌ای حجم تاج پوشش با اندازه‌گیری قطرهای

تعیین درصد ماده خشک و کربن برداشت شد. هم- چنین در ۱۰ درصد پلات‌ها، با حفر پروفیل خاک تا عمق گسترش ریشه‌ها، اندازه‌گیری طول ریشه‌ها و برآورد زیست‌توده زیرزمینی انجام شد (شکل ۲). در مجموع ۶۰ نمونه خاک برداشت شد (Agharaz, 2018). نمونه‌ها در هوای آزاد خشک گردید و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری (مش ۲۰) عبور داده شد (Hernandez et al., 2004). خصوصیات خاک نیز شامل وزن مخصوص ظاهری به روش استوانه (Blake and Hartge, 1986)، اسیدیته و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از تهیه گل اشباع، با دستگاه pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) و ماده آلی و کربن آلی با استفاده از روش سرد و بر مبنای اکسیداسیون کربن آلی به کمک بیکربنات پتاسیم در محیط کاملاً اسیدی (H_2SO_4) اندازه‌گیری شد (Allison, 1975) (شکل ۳).

بزرگ و کوچک، ارتفاع و قطر تنه محاسبه و با نمونه- برداری از حجم مشخصی از گیاه، زیست‌توده و کربن در آن‌ها تعیین و به کل گونه و سطح مؤثر پروژه تعمیم داده شد. در داخل هر پلات ابتدا فهرست گونه‌های گیاهی موجود و فراوانی آن‌ها ثبت شد، سپس وزن اندام‌های هوایی گونه (های) غالب بر اساس روش اندازه- گیری مضاعف^۱، وزن سایر گونه‌ها بر اساس روش قطع و توزین و وزن لاشبرگ بر اساس نمونه‌برداری مستقیم یادداشت شد. هم‌چنین صفات، درصد پوشش گونه‌های غالب و همراه، اندازه‌گیری سطح تاج پوشش (قطرهای بزرگ و کوچک)، تراکم تاج پوشش، ارتفاع گیاه، قطر تنه گیاه، برای همه پلات‌ها انجام شد. در هر پلات یک پروفیل خاک حفر و نمونه‌های خاک از عمق‌های ۱۵- ۰ و ۳۰- ۱۵، به وزن حدود یک کیلوگرم برداشت شد. علاوه بر این در یک‌چهارم پلات‌ها، با قطع و توزین اندام‌های هوایی، زیست‌توده هوایی گونه‌های غالب تعیین شد و نمونه‌های زیست‌توده و لاشبرگ برای



شکل ۲- مراحل نمونه‌برداری خاک از منطقه مورد مطالعه

Figure 2- The stages of soil sampling from the study area



شکل ۳- انجام آزمایش‌ها برای گرفتن فاکتورهای خاک

Figure 3- Conducting experiments to obtain soil factors

درصد داده‌ها برای آموزش و ۱۵ درصد داده‌ها برای آزمون انتخاب شد.

نرمال‌سازی داده‌ها

پیش از آموزش شبکه عصبی، داده‌های ورودی به آن نرمال شدند. هدف از نرمال‌سازی این است که داده‌ها به اعدادی بین صفر تا یک تبدیل شوند (Menhaj, 1998). بدین منظور از رابطه (۱) برای نرمال‌سازی استفاده گردید (Raei et al., 2020).

$$Ni = \left(\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \quad (1)$$

که در آن: N_i داده نرمال‌سازی شده، X_i داده اولیه، X_{\max} بزرگ‌ترین داده و X_{\min} کوچک‌ترین داده است.

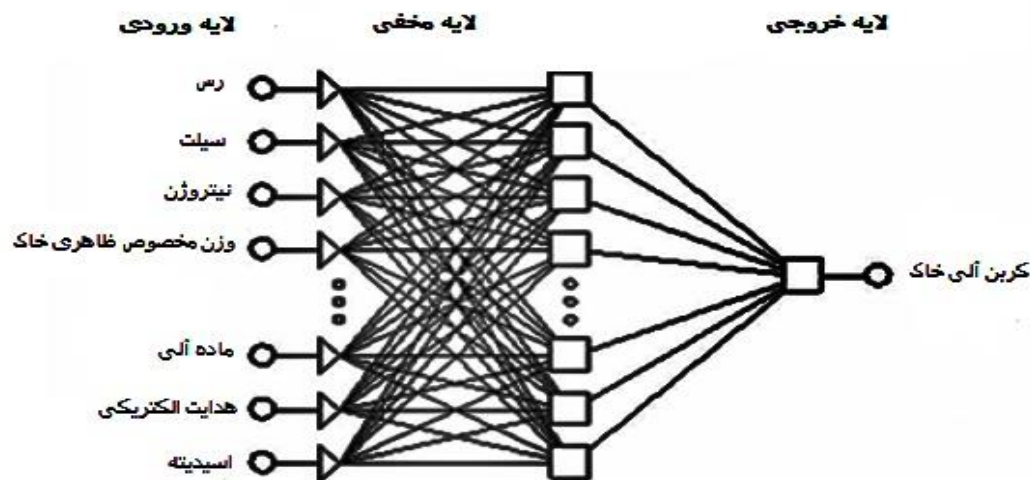
شبکه عصبی مصنوعی

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی از شبکه‌های پرسپترون چندلایه با یک شبکه سه‌لایه‌ای پیش‌خور استفاده شد. برای تعمیم‌دهی مناسب شبکه، باید

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات ابتدا داده‌های موردنیاز به نرم‌افزار SPSS انتقال داده شد. این اطلاعات دسته‌بندی و با رسم باکس پلات مربوط به داده‌های هر پارامتر، داده‌های پرت شناسایی و حذف شد. سپس برای مدل‌سازی کربن آلی خاک از ویژگی‌های هدایت الکتریکی، اسیدیته، وزن مخصوص ظاهری، درصد رس، درصد سیلت، درصد ماده آلی و درصد نیتروژن استفاده شد. برای این کار از رگرسیون آماری و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. برای ایجاد شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی تطبیقی-فازی از نرم‌افزار MATLAB ۲۰۱۰ و برای رگرسیون آماری از نرم‌افزار SPSS 19 استفاده شد. شبکه عصبی مورد استفاده در این پژوهش از نوع شبکه عصبی پرسپترون چندلایه است. روش ورود داده‌ها بدین گونه بود که به صورت تصادفی ۷۰ درصد نمونه‌ها در شبکه عصبی مصنوعی برای آموزش^۱ مدل، ۱۵ درصد داده‌ها برای انجام فرآیند اعتبارسنجی^۲ مدل و ۱۵ درصد داده‌ها نیز برای آزمون^۳ مدل انتخاب گردید. در رگرسیون چندمتغیره نیز از ۸۵

توزیع خاص فرض می‌شوند (شکل ۴). پارامترهای تنظیم با یک واریانس نامعلوم از این توزیع‌ها مرتبط هستند؛ بنابراین می‌توان با استفاده از تکنیک‌های آماری آن را تخمین زد. یک ویژگی این الگوریتم این است که یک اندازه‌گیری از تعداد وزن‌ها و بایاس‌های مؤثر در شبکه ارائه می‌دهد. به این معنی که در پایان آموزش می‌توان تشخیص داد که چند پارامتر شبکه در آموزش مؤثر بوده‌اند (Schaap, 1996).

به‌گونه‌ای از آموزش بیش‌ازاندازه^۱ جلوگیری نمود. در مطالعه حاضر، برای جلوگیری از آموزش بیش‌ازاندازه در شبکه‌های پرسپترون چندلایه از روش تنظیم خودکار^۲ استفاده شد. در این روش تعیین پارامترهای کارایی به‌صورت اتوماتیک بسیار مطلوب است. یک راه برای رسیدن به این فرآیند استفاده از الگوریتم یادگیری لوبنبرگ مارکوت^۳ است. در این الگوریتم، وزن‌ها و بایاس‌های شبکه، دارای مقادیر تصادفی با یک



شکل ۴- ساختار شبکه عصبی مورد استفاده به منظور مدل‌سازی کربن آلی خاک
Figure 4- Structure of the neural network used to model soil organic carbon

بین ۱- تا ۱ است و مقدار ۱ و ۱- بیان‌کننده پیش‌بینی بدون خطا است. روابط مربوط به محاسبه نمایه‌های آماری به شرح زیر است. روابط (۲ تا ۴) است.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_m)(P_i - \bar{P}_m)}{(\sum_{i=1}^N ((O_i - \bar{O}_m)^2)^{0.5} (\sum_{i=1}^N ((P_i - \bar{P}_m)^2)^{0.5})} \quad (4)$$

که در این روابط: O_i مقدار مشاهده‌شده، P_i مقدار پیش‌بینی‌شده، N تعداد داده‌های مشاهداتی، \bar{O}_m

معیارهای ارزیابی

به‌منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی و برآوردهای رگرسیونی از مجذور میانگین مربعات خطا^۴ (RMSE)، ضریب کارایی^۵ (CE) و ضریب تبیین^۶ (R^2) استفاده گردید. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا بین صفر و یک قرار دارد و مقدار آن هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالای پیش‌بینی است. شاخص پراکندگی برحسب درصد است؛ و بیان‌گر درصد پراکندگی داده‌های پیش‌بینی‌شده نسبت به مقادیر واقعی است که مقدار صفر بیان‌کننده عدم پراکندگی در پیش‌بینی است. همچنین مقدار ضریب تبیین (R^2)

3. Levenberg-Marquardt

1. Over Fitting
2. Automated Regularization
3. Root of Mean Squares Error
4. Coefficient of Efficiency
5. Coefficient of Determination

(۱) ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که کربن آلی خاک تغییرپذیری نسبتاً زیادی از خود نشان می‌دهد. آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف - اسمیرونوف نشان داد که متغیر کربن آلی خاک دارای توزیع نرمال است.

مقدار میانگین مشاهدات و \bar{P}_m مقدار میانگین پیش‌بینی شده است.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی کربن آلی خاک و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول

جدول ۱- آمار توصیفی فاکتورهای اندازه‌گیری شده و درصد کربن آلی خاک در حوزه پاکل

Table 1- Descriptive statistics of measured factors and percentage of soil organic carbon in Pakel area

دامنه تغییرات variation range	انحراف معیار standard deviation	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	تعداد Number	عوامل خاکی مورد بررسی The studied soil factors
0.43	0.23	0.52	0.98	0.17	60	کربن (%) (C%)
0.36	8.71	23.79	40.6	8.6	60	رس (Clay)
0.45	13.15	28.70	60	0	60	سیلت (Silt)
0.44	0.02	0.05	0.12	0.01	60	نیترژن (N)
0.12	0.17	1.37	1.71	0.96	60	وزن مخصوص ظاهری خاک apparent specific gravity of the soil
0.09	0.04	0.43	0.53	0.30	60	ماده آلی (OC)
3.03	3.53	1.17	21	0.53	60	هدایت الکتریکی (EC)
0.03	0.25	7.42	8.02	6.85	60	اسیدیته (PH)

عدم وجود همبستگی بین خطاها رد نمی‌شود و می‌توان از رگرسیون استفاده کرد. فرض دیگر رگرسیون خطی بررسی هم‌راستایی بین متغیرهای مستقل است. بدین منظور از فاکتور عامل تورم واریانس^۲ (VIF) استفاده شد. متغیرهایی که VIF آن‌ها کمتر از ۱۰ باشد مشکل هم‌راستایی نخواهند داشت. مقادیر بین ۲-۱ این فاکتور برای متغیرهای مستقل نشان‌دهنده این است که این متغیر مشکل هم‌راستایی ندارد. از فرضیات دیگر رگرسیون نرمال بودن متغیر وابسته است که به همین منظور از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای آزمون نرمال بودن استفاده شد (Hengl et al., 2004). نتایج این آزمون نشان داد که کربن آلی خاک دارای توزیع نرمال است. بعد از تعیین معادله توسط داده‌های آموزش کارایی این مدل در برآورد کربن آلی خاک توسط داده‌های آزمون بررسی شد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر ضریب تبیین،

در این تحقیق برای به دست آوردن مدل رگرسیونی خطی چندمتغیره برای کربن آلی خاک با استفاده از متغیرهای مستقل شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته، درصد ماده آلی، درصد رس، درصد سیلت و وزن مخصوص ظاهری، از روش توأم^۱ ورود متغیرها استفاده شد. در رابطه ۵ مدل با استفاده از روش توأم نشان داده شده است. یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، استقلال خطاها (تفاوت بین مقدار واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشند امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمون دوربین-واتسون استفاده می‌شود. از آنجایی که مقدار آماره دوربین واتسون (۱/۹۴) در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد، فرض

۰/۵۱ است که نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی خطی دقت نسبتاً خوبی در برآورد کربن آلی خاک داشت.

$$c(\%) = 0.009 + 0.11clay \pm 0.47silt \pm (5)$$

$$0.32N + 0.2723E + 0.61OC + 0.04EC + 0.24ph$$

جدول ۲- خلاصه مدل رگرسیونی محاسبه شده به منظور مدل سازی کربن آلی خاک

Table 2- Summary of the regression model calculated to model soil organic carbon

ضریب همبستگی (CC)	ضریب تبیین (R^2)	ضریب تبیین تعدیل شده (R^2)	دوربین-واتسون
0.94	0.89	0.88	1.94

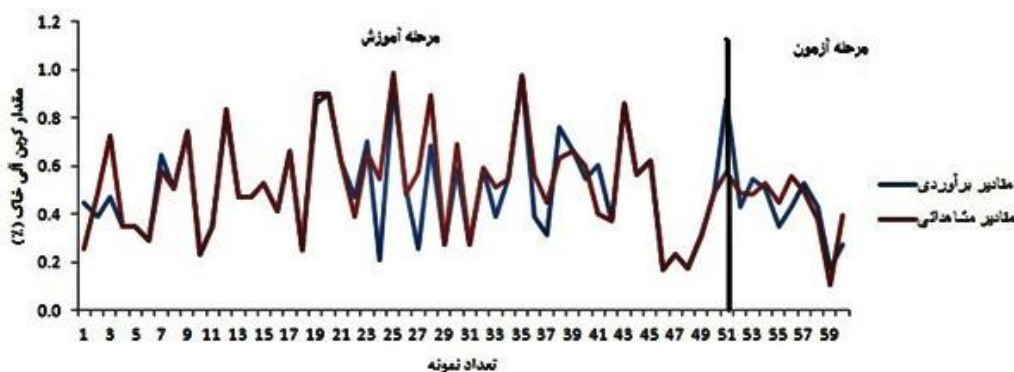
جدول ۳- نتایج آموزش و آزمون مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای کربن آلی خاک

Table 3- Results of training and testing of multivariable linear regression model for soil organic carbon

مرحله آموزش (Training stage)				مرحله آزمون (Test stage)				مدل رگرسیون Regression model
R	CE	RMSE	R^2	R	CE	RMSE	R^2	
0.81	0.65	0.13	0.66	0.80	0.51	0.08	0.64	

با یکدیگر داشته و اختلاف حاصل از برازش نمودارها در قسمت آزمون و آموزش در این نمودار آشکار است.

شکل (۵) نشانگر این نکته است که مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی در دو مرحله آزمون و آموزش انطباق کمتری



شکل ۵- برازش مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره در مرحله آموزش و آزمون

Figure 5- Fitting the observed and estimated values using multi-variable linear regression in the training and test phase

با $CE=0.87$ و $RMSE=0.36$ ، $R^2=0.96$

به عنوان بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی انتخاب شد. شکل (۶) نحوه انطباق نتایج حاصل از داده‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمون را در شبکه عصبی مصنوعی بر روی هم نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر این نکته است که پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی تا حدود زیادی مشابه با یکدیگر بوده و منطبق برهم است.

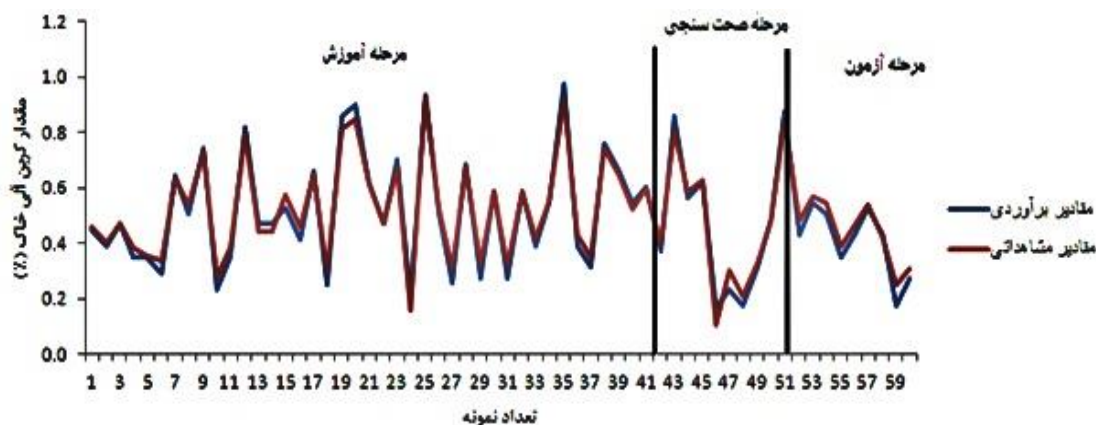
نتایج مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

در جدول (۴) آماره‌های خطا ضریب تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی برای سه مرحله آموزش، صحت‌سنجی و آزمایش در برآورد کربن آلی خاک ارائه گردیده است. ساختار مورد استفاده در این تحقیق شامل هفت لایه ورودی، دوازده لایه پنهان و یک لایه خروجی است. شبکه ۱-۱۲-۷ با قانون یادگیری لونیبرگ مارکوت با تابع انتقال سیگموئید در مرحله آزمون

جدول ۴- آماره‌های خطا و ضریب تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی برای مرحله‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمون در برآورد کربن آلی ذره‌های خاک

Table 4- Error statistics and coefficient of determination resulting from the implementation of ANN for the stages of training, verification and testing in the estimation of organic carbon of soil particles

نوع شبکه عصبی Neural network type	قانون یادگیری Law of learning	تابع فعالیت Activity function	آرایش Arrangement	مراحل Steps	R ²	RMSE	CE
				آموزش (Training)	0.99	0.031	0.97
برسپترون چند لایه	لونبرگ مارکوت	سیگموئید	۷-۱۲-۱	صحت سنجی Validation	0.99	0.036	0.94
				آزمون (Test)	0.96	0.043	0.87



شکل ۶- برازش مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی با شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آزمون، صحت‌سنجی و آموزش
Figure 6- Fitting the observed and estimated values with the ANN in the testing, validation and training stages

مقایسه مدل‌های مختلف با استفاده از شاخص RMSE و $CE=0.51$ به‌عنوان بهترین روش تعیین گردید. دلیل این امر در نظر گرفتن روابط غیرخطی بین پدیده‌ها در روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد (Navabian, et al., 2007). مدل توسعه یافته شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه ۹۶ درصد از تغییرپذیری در سطح ویژگی‌های زودبافت را توجیه نمود و در نهایت حدود ۴ درصد از تغییرپذیری کربن آلی خاک در این منطقه تبیین نگردید، که این موضوع تا اندازه زیادی به دلیل در نظر نگرفتن و عدم اندازه‌گیری پارامترهای مدیریتی می-

مقایسه مدل‌های مختلف با استفاده از شاخص RMSE، R^2 و CE امکان‌پذیر است. این فاکتورها زمانی می‌توانند برتری مدل‌ها را تعیین نمایند که بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده محاسبه شوند. توجه به مقادیر $RMSE$ ، R^2 و CE مزیت نسبی مدل‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب تبیین، بیشترین مقدار ضریب کارایی و کمترین میزان خطا، بهترین روش را معرفی می‌نماید؛ بنابراین روش شبکه عصبی مصنوعی با نوع تابع سیگموئید ($R^2=0.96$ ، $RMSE=0.043$ و $CE=0.87$) نسبت به رگرسیون چندمتغیره ($R^2=0.64$)

تغییرات کربن آلی را پیش‌بینی کنند. مقایسه بین مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی نشان داد که مقادیر برآورد شده به وسیله شبکه عصبی دارای دقت بیشتری نسبت به روش رگرسیونی می‌باشد. روش‌های آماری و نتایج شبکه‌های عصبی برتری مدل‌های شبکه عصبی را در برآورد کربن آلی ذره‌های خاک بیان می‌کند. سایر محققین نیز (Moghaddamnia et al., 2009; Parasurman et al., 2006; Baiat varkesh et al., 2009; Parsafar and Marofi, 2011) در مطالعات خود به این موضوع اشاره نموده و این مدل را دارای صحت و دقت بالا معرفی کرده‌اند. علت تفاوت بین عملکرد بهتر شبکه‌های عصبی در مقایسه با روش‌های آماری را می‌توان در قابلیت تخمین و پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تقریب غیرخطی با حجم کم داده‌ها جستجو نمود. این در حالی است که عملکرد و دقت روش‌های رگرسیونی به شدت از حجم کم نمونه‌ها تبعیت می‌کند و حجم کم نمونه‌ها می‌تواند عامل محدودیت مدل‌های آماری گردد (Norani and Salehi, 2008). نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در عرصه‌های طبیعی که مشکلات خاص نمونه‌برداری، هزینه‌های تجزیه و آنالیز نمونه‌ها در سطح زیاد وجود دارد، می‌توان از روش‌های هوش مصنوعی و به کمک داده‌های زودیافت برای تخمین کربن آلی خاک سود جست. انتظار می‌رود در مطالعات آتی برای ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از مقدار کربن آلی خاک در این منطقه را پیش‌بینی نماید، از نمونه‌برداری متراکم‌تر و تلفیق متغیرهای فیزیوگرافی و خاکی مؤثر بر کربن آلی به نتایج رضایت بخش‌تری دست یافت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور برآورد کربن آلی خاک از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی خاک

باشد. در همین ارتباط در پژوهشی، پس از مقایسه مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد کربن آلی خاک، با توجه به مقدار مجموع مربعات خطا (SSE) که در مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیونی چندمتغیره به ترتیب ۵/۴۳ و ۶/۲۳ بودند، به برتری مدل شبکه عصبی پی بردند (Ingleby and Crowe, 2001). مدل‌های شبکه عصبی به دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان ویژگی‌های زودیافت خاک و کربن آلی خاک و به دنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدل‌سازی کربن آلی خاک باشد (Navabian et al., 2007). پیرامون ارتباط فاکتور کربن آلی خاک با ویژگی‌های زودیافت خاک تاکنون پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است اما در ارتباط با کربن آلی کل با داده‌های آنالیز سطح زمین تحقیقات زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیق ایوبی و علیزاده (Auobi and Alizadeh, 2006) اشاره کرد. آنها از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای برآورد کربن آلی براساس ویژگی‌های پستی و بلندی در ۳ واحد سنگ‌شناسی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل می‌تواند ۲۸ تا ۳۵ درصد از تغییرات کربن آلی خاک را در منطقه توجیه نماید و همچنین نتایج نشان داد که فاکتورهای پستی و بلندی مهم که با کربن آلی ارتباط داشتند و در مدل رگرسیونی نیز وارد شده، به‌طور عمده شامل شیب و جهت آن، ارتفاع، شاخص قدرت جریان و شاخص حمل رسوب بوده است. در همین ارتباط سومفلت و دوتمن (Sumfleth and Duttman, 2008) از داده‌های عوارض زمین برای پیش‌بینی توزیع خصوصیات خاک از جمله کربن آلی خاک استفاده کردند. تامسون و کولکا (Thompson and Kolka, 2005) نیز با مدل رگرسیون زمین‌نما توانستند ۷۰ درصد از

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در عرصه‌های طبیعی که مشکلات خاص نمونه‌برداری، هزینه‌های تجزیه و آنالیز نمونه‌ها در سطح زیاد وجود دارد، می‌توان از روش‌های هوش مصنوعی و به کمک داده‌های زودیافت برای تخمین کربن آلی خاک سود جست. انجام مطالعات دوره‌ای پایش ترسیب کربن در منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی تغییرات زمانی ترسیب کربن در کاربری‌های مورد نظر و تهیه نقشه ذخیره کربن آلی خاک در نواحی مختلف برای تشخیص مناطق دارای پتانسیل ترسیب کربن و مدیریت حاصلخیزی خاک می‌تواند مناسب باشد. این نوع مطالعات برای ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تغییر کربن آلی خاک نیز مفید خواهد بود. در نهایت پیشنهاد می‌شود که از سایر روش‌ها و مدل‌ها در تخمین و پیش‌بینی کربن آلی خاک استفاده شود.

References

- Agharaz, H. (2018). Biomechanical Operation effect on soil carbon of Pakal Basin, Markazi Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 10(4), 529-536.
- Allison, L.E. (1975). Organic carbon. In: Black CA, Evans DD, White JL, Ensminger LE, Clark FE. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison. 1367p.
- Auobi, S. & Alizadeh, M. (2006). Soil surface attributes prediction using digital topographic model (Case Study: part of Mehr Watershed, Sabzevar, and Khorasan Province). *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10(2), 85-96.
- Baiat varkesh, M., Zare abiane, H., Marofi, S., Sabziparvar, A. & Soltani, F. (2009). Simulates daily crop reference evapotranspiration using artificial intelligence methods and compared with experimental measurements of having cold semi arid climate, Hamedan. *J SOIL WATER CONSERV*. 16(4), 79-83.
- متأثر از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه می‌باشد، لذا لازم است از روش‌های محاسباتی با دقت مطلوب در تخمین این پارامتر پیچیده و مهم استفاده شود. مقایسه مدل‌های مختلف با استفاده از شاخص $RMSE$ ، R^2 و CE امکان‌پذیر است. این فاکتورها زمانی می‌توانند برتری مدل‌ها را تعیین نمایند که بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده محاسبه و مقایسه انجام شود. توجه به مقادیر شاخص‌ها، مزیت نسبی مدل‌ها را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به مباحث مطرح شده روش شبکه عصبی مصنوعی با نوع تابع سیگموئید ($CE=0/87$ و $RMSE=0/43$ ، $R^2=0/96$) به عنوان روش بهتری نسبت به رگرسیون چندمتغیره ($CE=0/64$ ، $RMSE=0/08$ و $R^2=0/51$) تعیین گردید. روش‌های آماری و نتایج شبکه‌های عصبی، برتری مدل‌های شبکه عصبی را در برآورد کربن آلی ذره‌های خاک بیان می‌کند.
- Bird, S.B., Herrick, J.E., Wander, M.M., & Wright, S.F. (2013). Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. *Environ. Poll*, 116(3), 445-455.
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986). Bulk density Methods of Soil Analysis, Physical & Mineralogical Methods. *Soil Science Society of America Journal*, 9(1), 361-376.
- Broge, N.H., Greve, M.H. & Larsen, R. (2005). Estimating topsoil organic matter content in two experimental fields in Denmark using multi-spectral aerial imagery and topographic data. *Geografisk Tidsskrift*, D, J, G. 105(2), 1-14.
- Chen, S., Arrouays, D., Angers, D.A., Chenu, C., Barré, P., Martin, M.P., Saby, N.P. & Walter, C. (2019). National estimation of soil organic carbon storage potential for arable soils: A data-driven approach coupled with carbon-landscape zones. *Science of the Total Environment*, 666, 355-367.
- Crowther Thomas, W., Mark, A. & Bradford, A. (2013). Thermal acclimation in widespread heterotrophic soil microbes. *ECOL LETT*, 16.4, 469-477.

- Eskandari, Sh., Nabiollahi, K., & Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2018). Digital Mapping of Soil Organic Carbon (Case Study: Marivan, Kurdistan Province). *Journal of Water and Soil*, 2-4, 737-750 (In Persian)
- Follett, R.F., Samson-Liebig, E., Kimble, J.M., Pruessner, E.G. & Waltman, S. (2001). Carbon sequestration under CRP in the historic grassland soils of the USA. *SSSA Special Publication*, 57, 27-40.
- Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. 383-411p, In: *Methods of soil analysis*. Part 2nd ed. Klute, A. (Ed). Agron. Monogr. 9. ASA. Madison. WI.
- Hengl, T., Huvelink, G.B.M., & Stein, A. (2004). A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120(1-2), 75-93.
- Hernandez, R., Koohafkan, P. & Antoine, J. (2004). Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration throughland-use change, 166 pp.
- Holmberg, M., Forsius, M., Starr, M., & Huttunen, M. (2006). *An application of artificial neural networks to carbon, nitrogen and phosphorus concentration in three boreal streams and impacts of climate change*. International Society for Ecological Information 3rd Conference. Grottaferrata, Roma, ITALIE. 195, 51-60.
- Ingleby, H.R., & Crowe, T.G. (2001). Neural network models for predicting organic matter content in Saskatchewan soils. *Can, Biosyst, Eng*. 43, 71-75.
- Karkaj, A., Sepehri, E., Barani, H. & Motamedi, J. (2017). The relationship between soil organic carbon storage and some soil properties in East Azarbaijan rangelands. *Rangeland Scientific Journal* 2, 125-138. (In Persian).
- Khamoshi, S.E., Sarmadian, F.S., Mousavi, R. & Rahmani, A. (2019). *Organic soil carbon mapping using random forest model*. In: 16th Iranian Soil Science Congress, University of Zanjan, Iran, 1-6. (In Persian).
- Khordehbin, S., Hojatia, S., Landi A. & Ahmadianfar, I. (2020). Comparison of different data mining methods in predicting soil organic carbon storage in some lands of Behbahan city. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 4(51), 1041-1054. (In Persian).
- Mahmoudzadeh, H., Matinfar, H.R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., & Kerry, R. (2020). Spatial prediction of soil organic carbon using machine learning techniques in western Iran. *Geoderma Regional*.
- Mahmoudzadeh, H., Metinfar, H. & Taghizadeh Mehrjardi, R. (2020). Digitization of soil organic carbon with artificial neural network and multivariable linear regression in Kurdistan province. *Journal of soil management and sustainable production*, 10(4), 77-98. (In Persian).
- Matinfar, H.R., Mahmodzadeh, H. & Fariabi, A. (2018). Estimation soil organic matter (SOM) content using visible and near infrared spectral data, PLSR and PCR statistical models. *Iranian Remote Sensing & GIS*, 10(2), 15-32. (In Persian).
- Menhaj, M.B. (1998). *Fundamentals of neuralnetworks*. First Edition, Professor Hesabi Publishers, 502 pp.
- Merdun, H., Ozer, T., Meral, R. & Apan, M. (2006). Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 90, 108-116.
- Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S. & Han, D. (2009). Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro fuzzy inference system techniques. *Adv Water Resour*, 32, 89-97.
- Navabian, M., Liaghat, A.M. & Homaei, M. (2007). Comparison of transfer functions of artificial neural network and regression in estimating the saturated hydraulic conductivity. *Proceedings of the Tenth Soil Science Congress of Iran, Karaj*, Pp. 189-204.
- Norani, V. & Salehi, K. (2008). *Rainfall-runoff modeling using adaptive fuzzy neural network and comparison with neural network and fuzzy inference*. *National*

- Congress on Civil Engineering, Tehran University*. Proceedings of the Fourth National Congress of Civil Engineering. Proceedings of the Tenth Soil Science Congress of Iran, Karaj, Pp. 967-969.
- Pahlavan-Rad, M.R., Dahmardeh, K., & Brungard, C. (2018). Predicting soil organic carbon concentrations in a low relief landscape, eastern Iran. *Geoderma Regional* 15, e00195.
- Parasurman, K, Elshorbagy, A. & Si, B. (2006). Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network in Ensembles. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1851-1859.
- Parsafar, N. A. & Marofi, S. (2011). Estimated temperatures at depths using network neural network - Fuzzy (Case Study: Kermanshah region). *Journal of Soil and Water Sci.* 21(3), 21-22. (in Persian).
- Pilevari, A., Auobi, S.h. & Khademi, H. (2010). Comparison of artificial neural network and multiple linear regression analysis to predict soil organic carbon data to the ground. *Journal of Soil and Water Conservation*, 24(6), 1151-1163.
- Raei, B., Ahmadi, A., Neyshaburi, M.R., Ghorbani, M.A., & Asadzadeh, F. (2020). *Journal of water and soil research in Iran*, 51(1), 61-76. DOI: 0.22059/ijswr. 2019. 283359. 668233
- Schaap, M.G. & Bouten, W. (1996). Modeling water retention curves of sandy soil using neural networks. *WATER RESOUR RES*, 32, 3033-3040.
- Somarathna, P.D.S.N., Minasny, B. & Malone, B.P. (2017). More data or a better model? Figuring out what matters most for the spatial prediction of soil carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1413-1426.
- Sumfleth, K., & Duttmann, R. (2008). Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators. *ECOL, INDIC*, 8, 485 – 501.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Neupane, R., Sood, K. & Kumar, S. (2017). Artificial bee colony feature selection algorithm combined with machine learning algorithms to predict vertical and lateral distribution of soil organic matter in South Dakota, USA. *Carbon Management*, 8-3, 277-291.
- Thompson, J.A. & Kolka, R.K. (2005). Soil carbon storage estimation in a forested watershed using quantities soil - landscape modeling. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1086–1093.
- Wang, B., Waters, C., Orgill, S., Cowie, A., Clark, A., Liu, D.L., Simpson, M., McGowen, I. & Sides, T. (2018). Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. *Ecological Indicators*, 88, 425-438.
- Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Tajik, S. & Finke, P. (2019). Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma*, 338, 445-452.
- Zhang, H., P. Wu., Yin, A., Yang, X., Zhang, M. & Gao, C. (2017). Prediction of soil organic carbon in an intensively managed reclamation zone of eastern China: A comparison of multiple linear regressions and the random forest model. *Science of the Total Environment* 592, 704-713.

Content

A comprehensive overview on applied drought indicators

Hamzah Saeediyan

1-30

The use of rainwater in sloping lands for the cultivation of Damask rose

Amir Moradinejad, Mahdie Karimie, Rashin Pourmatin and Abass Saberie

31-43

Study of susceptible alluvial semi-arid areas using geoelectric studies for underground dams construction

Najmeh Haj Seyed Ali Khani, Hamzeh Saeediyan and Fereydun Solaimani

44-57

Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river)

Homa Razmkhah, Emad Ghahremani, Alireza Fararoeie and Amin Rostami Ravari

58-81

Evaluation of IHACRES models and neural-fuzzy inference system in forecasting the runoff of the Kurit dam catchment in the future period

Rasool Karami, Mahdi Amirabadizadeh, Mohsen Pourreza bilondi and Mostafa Yaghoobzadeh

82-94

Evaluation of Artificial Neural Network and regression models in prediction of soil organic carbon (Case study: The Pakal Catchment, Markazi province)

Amir Moradinejad and Saied Khosrobeig

95-110



Journal of Integrated Watershed Management

Vol: 2, No: 3. Autumn 2022

Online ISSN:

2783-4581

Publisher:

Ilam University in association with **Iranian Rainwater Catchment Systems Association**

Director-in-Charge:

Dr. Noredin Rostami

Editor-in-Chief:

Dr. Haji Karimi

Editorial Board:

Dr. Hosein Arzani (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran)

Dr. Gholamreza Zehtabian (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran)

Dr. Forood Sharifi (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran)

Dr. Ali Salajegheh (Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran)

Dr. Abolfazi Mosaedi (Professor, Department of Water Science and Engineering Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran)

Dr. Haji Karimi (Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran)

Dr. Hamid Reza Nassery (Professor, Department of Minerals and Groundwater Resources, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran)

Dr. Hassan Pourbabaei (Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran)

Dr. Mohsen Rezaei (Professor, Department of Geology, Shiraz University, Faculty of Sciences, Shiraz, Iran)

Dr. Zargham Mohammadi (Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran)

Dr. Jahangir Porhemmat (Professor, Research Group of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran)

Dr. Hamid Reza Pourghasemi (Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran)

Dr. Mohsen Tavakoli (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran)

Dr. Noredin Rostami (Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran)

Dr. Marzban Faramarzi (Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran)

Dr. Mehdi Heydari (Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran)

Dr. Lahcen Benaabidate (Professor, University of Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculty of Sciences and Techniques/ Environment Teaching and Research)

Dr. Pedro J.M. Costa (Assistant Professor, Departamento de Ciencias da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal)

Manager:

Dr. Mehdi Heydari

Editor (English Version):

Mohammad Najafi Shooa

Editor (English Version):

Dr. Mehdi Heydari; Noredin Rostami; Dr. Negar Sadeghi Nejad; Eng. Padideh Sadat Sadeghi

Cover and Page Designer:

Farshad Rahmani



Ilam University



Address: **Deputy of Research and Technology, Ilam University,**

Pajoohesh Bolvd, Ilam- Iran

P. O. Box: **69317-516**

Telefax: **0843222703**

Email: **iwm@ilam.ac.ir**

Web Site: **www.iwm.ilam.ac.ir**

Journal of

**Integrated Watershed
Management**



Ilam University

Vol: 2, No: 3. Autumn 2022

Online ISSN: 2783-4581

A comprehensive overview on applied drought indicators

Hamzah Saeediyan

1-30

The use of rainwater in sloping lands for the cultivation of Damask rose

Amir Moradinejad, Mahdie Karimie, Rashin Pourmatin and Abass Saberie

31-43

Study of susceptible alluvial semi-arid areas using geoelectric studies for underground dams construction

Najmeh Haj Seyed Ali Khani, Hamzeh Saeediyan and Fereydon Solaimani

44-57

Assessment of meteorological and hydrological drought (Case study: Zohreh river)

Homa Razmkhah, Emad Ghahremani, Alireza Fararoie and Amin Rostami Ravari

58-81

Evaluation of IHACRES models and neural-fuzzy inference system in forecasting the runoff of the Kurit dam catchment in the future period

Rasool Karami, Mahdi Amirabadizadeh, Mohsen Pourreza bilondi and Mostafa Yaghoobzadeh

82-94

Evaluation of Artificial Neural Network and regression models in prediction of soil organic carbon

(Case study: The Pakal Catchment, Markazi province)

Amir Moradinejad and Saied Khosrobeig

95-110