



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌بخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

تعیین کمی سهم خشک‌سالی و عامل‌های انسانی بر افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان کوه‌دشت استان لرستان

رضا چمن‌پیرا^{۱*}، مهران زند^۲، ابراهیم کریمی‌سنگ‌چینی^۳، الهام داودی^۴

۱ و ۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۲- دانشیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- محقق، بخش تحقیقات حفاظت خاک آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

در استان لرستان به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی آبخوان کوه‌دشت، در زمره مناطق برداشت ممنوع آب است. هدف این پژوهش تبیین و توصیف علت‌های افت سطح آب زیرزمینی آبخوان کوه‌دشت بود. همچنین، سهم عامل‌های طبیعی و ارتباط میان رخداد و تأخیر زمانی خشک‌سالی‌های هواشناسی و زمین‌آب‌شناختی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین وضعیت رطوبتی سالانه منطقه، شاخص‌های بارندگی SPI و آب زیرزمینی GRI محاسبه شدند. ضریب‌های همبستگی میان شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماه متناظر، محاسبه شد. سپس، بیلان آب زیرزمینی بررسی و نوع محصولات زراعی منطقه تعیین شد. سرانجام، رابطه همبستگی میان اندازه مصرف آب با میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی تعیین و تأثیر اندازه برداشت آب برای هر محصول بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی بررسی شد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: chamanpira2000@gmail.com

استناد: چمن‌پیرا، ر.، زند، م.، کریمی‌سنگ‌چینی، ا.، داودی، ا. ۱۴۰۴. تعیین کمی سهم خشک‌سالی و عامل‌های انسانی بر افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان کوه‌دشت استان لرستان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۱): ۳۷-۱۹.

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmrj.2024.365631.1584

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۴۶، بهار ۱۴۰۴، صفحه‌های ۱۹ تا ۳۷.

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



نتایج و بحث

نتایج نشان داد ۳۱/۰۲٪ از کاهش آب آبیگرها مربوط به رخداد خشک‌سالی‌ها و ۶۸/۹۸٪ مربوط به عامل‌های انسانی (کشاورزی، شرب و صنعت) بود. حجم آب ورودی به آبخوان ۲۲/۴۶ میلیون مترمکعب و حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، شرب و صنعت ۶۱/۰۹ میلیون متر مکعب بود. از این رو، اندازه کاهش آب و اضافه برداشت از آبخوان ۳۸/۳۶ میلیون مترمکعب بود که از این اندازه ۱۱/۸۶ میلیون مترمکعب مربوط به خشک‌سالی و ۲۶/۴۷ میلیون مترمکعب مربوط به عامل‌های انسانی بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر پایه نتایج این پژوهش عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی، نوع مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، به‌ویژه در بخش کشاورزی بود. با توجه به تأخیر زمانی میان رخداد خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی فرصت مناسبی برای مدیریت و جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی ایجاد خواهد شد. از این رو، تغییر در مدیریت مصرف آب زیرزمینی از راه تغییر الگوی کشت افزون بر کاهش اثرات منفی خشک‌سالی، کمبود آب آبخوان را در بلندمدت برطرف می‌کند و سرانجام بیلان آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود با برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت الگوی مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی اصلاح شود و متناسب با اندازه آب تجدیدپذیر سالانه برای مصارف گوناگون برنامه‌ریزی و اقدام شود.

واژگان کلیدی: آبخوان کوهدشت، اضافه برداشت، بیلان آب زیرزمینی، شاخص GRI، شاخص SPI، مدیریت

مقدمه

وضعیت رطوبتی و حرارتی خاک، الگوی گردش هوا و وزش باد پایدار می‌شود و گسترش می‌یابد (سیمایی و کشتکاری ۲۰۱۲). از دیدگاه سازمان ملل، بحران مدیریت منابع آب پس از افزایش جمعیت به‌عنوان دومین چالش اصلی انسان‌ساخت جهان شناخته‌شده است. افت کمی و کیفی آب زیرزمینی یکی از اثرات خشک‌سالی و افزایش برداشت از آبخوان‌هاست (فاریابی و مظفری فرد ۲۰۱۷). شاخص‌های پرشماری برای ارزیابی خشک‌سالی ارائه‌شده است که هر یک بر اساس متغیرهای هواشناسی و آب‌شناختی (SPI، SDI، SPEI و GRI) می‌باشند (میراکبری و همکاران ۲۰۱۸). آبخوان‌های ایران سالانه با کاهش ۵/۵ میلیارد مترمکعبی مواجه هستند که این موضوع حساسیت بیشتر آب‌های زیرزمینی را نسبت به استفاده‌های بی‌رویه روشن می‌سازد (اسدزاده و همکاران ۲۰۱۶). برای کاهش اثرات ویرانگر خشک‌سالی و حفاظت از آب زیرزمینی به رویکردهای پیش‌گیرانه نیاز است؛ اما اکثر رویکردهای کاهش اثرات خشک‌سالی ناکارآمد است و بر تأمین کمبود آب که در دوره خشک‌سالی

در دنیای امروز پدیده خشکی و خشک‌سالی بلای بدون پیشگیری است و انسان با تمام پیشرفت‌های علمی و فنی هنوز نتوانسته زمان و محل رخداد خشک‌سالی‌های شدید را پیش‌بینی کند. به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، در بسیاری از نقاط ایران، کمبود آب و خشک‌سالی یک تهدید حتمی و اجتناب‌ناپذیر است؛ اما می‌توان با ارائه الگوهای بهینه مدیریتی اثرات و عوارض پیچیده آن را تعدیل کرد و مانع بروز بحران آب شد (ثمین و همکاران ۲۰۱۲). خشک‌سالی به دلیل گستردگی مقیاس زمان و فضای عمل، اصلی‌ترین عامل محیطی کمبود و اختلال جریان آب، گسیختگی توازن بوم‌شناخت و فقر غذایی به‌شمار می‌آید (ابراهیمی و همکاران ۲۰۰۹). با این وجود، کشورهای جهان در صدد دستیابی به توسعه پایدار و حفظ وضعیت موجود هستند. بدون تردید باید در بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود، خشک‌سالی را به‌عنوان یک عارضه و خطر چندبعدی و خودگستر، در نظر گرفت. خشک‌سالی آب و هوایی، زمانی که در یک منطقه لنگر اندازد، با تغییر

۴۸ ماهه معنی‌داری بود. چمن‌پیرا و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی دشت الشتر را در دوره ۱۳۷۰-۱۳۸۹ با استفاده از شاخص SPI بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI در سطح ۰/۰۱٪ معنی‌دار بود. ناصرزاده و احمدی (۲۰۱۷) در بررسی عملکرد شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در ارزیابی خشک‌سالی و پهنه‌بندی آن، دریافتند که شاخص SPI برای نشان دادن خشک‌سالی‌های شدید در اولویت جایگاه نخست بود. پورهت و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی و تفکیک دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در سرشاخه‌های آبخیز کرخه (آبخیز قره‌سو) نشان دادند که شاخص‌های SPI و GRI قابلیت مناسبی در تبیین و توصیف خشک‌سالی هواشناسی و زمین‌آب‌شناختی، کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون و بررسی اثر آن بر منابع آب زیرزمینی را دارد. عباسی‌نیا و همکاران (۲۰۲۱) برای ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی در دشت مهران استان ایلام از تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRI استفاده کردند و دریافتند که در یک دوره آماری ۲۵ ساله چهار دوره خشک‌سالی هواشناسی شدید و یک دوره خشک‌سالی آب زیرزمینی شدید رخ داده است. شدیدترین خشک‌سالی‌ها در دوره آماری ۷۵-۷۴ تا ۹۷-۹۶ و در هر دو دوره مربوط به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۰ بوده است. نتایج مقایسه شاخص‌های SPI و GRI به‌وسیله بهزادی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد اگرچه بارندگی در دشت مهیار جنوبی آبخیز تالاب گاوخونی، در سال‌های ۸۲-۸۱ تا ۹۶-۹۵ رخ داده است؛ اما افت سطح آب زیرزمینی متوقف‌نشده است. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، رخداد خشک‌سالی‌های پی در پی سبب افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود و رابطه میان خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی با تأخیرهای زمانی ماهانه و سالانه معنی‌دار است. اما بیشتر

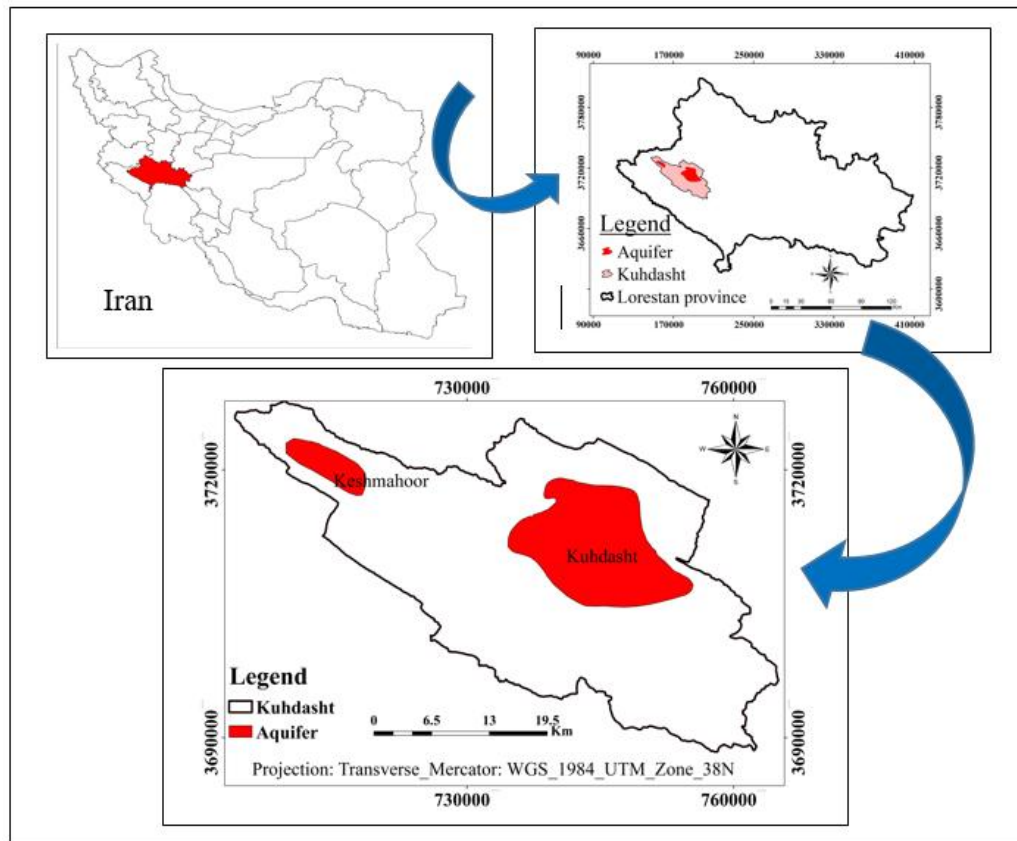
ایجادشده، از منابع آب زیرزمینی تمرکز دارد و به مدیریت همزمان آب زیرزمینی و خشک‌سالی توجهی نشده است (حبیب‌آبادی و همکاران ۲۰۲۳). توجه به اعمال مدیریت صحیح و کاهش پیامدهای خشک‌سالی نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدام‌های پیشگیرانه در مقابله با پدیده خشک‌سالی است که خود مستلزم به‌کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشک‌سالی‌ها است (بیات ورکشی و همکاران ۲۰۱۸). تاکنون شاخص‌های بسیاری برای پیش‌بینی خشک‌سالی ارائه شده است، اما برخی از آن‌ها به دلیل سادگی و قابل اجرا بودن، شانس بیشتری دارند (مندیسینو و همکاران ۲۰۰۸). به‌عنوان مثال شاخص SPI، که به‌وسیله مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای پیش‌بینی خشک‌سالی هواشناسی تدوین شد برای هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشک‌سالی اهمیت زیادی دارد (مساعدی و همکاران ۲۰۰۹). تود (۱۹۸۰) معتقد بود که نوسان سطح ایستابی آبخوان‌ها الگوهای فصلی و سالانه دارد و غالباً متأثر از بارندگی و پساب‌های کشاورزی است و خشک‌سالی آب‌شناختی در مقایسه با خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی معمولاً با تأخیر زمانی رخ می‌دهد. محمدی و شمسی‌پور (۲۰۰۲) تأثیر خشک‌سالی‌های گذشته بر افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند، خشک‌سالی‌های هواشناسی با تأخیر زمانی نه ماهه باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی شد. محمدی‌قلعه‌نی و ابراهیمی (۲۰۱۱) گزارش کردند رابطه میان شاخص SPI ایستگاه احمدآباد در دشت ساوه و سطح سفره آب زیرزمینی در مقیاس ۲۴ ماهه در سطح ۰/۰۱٪ معنی‌داری بود. ناصرزاده و احمدی (۲۰۱۲) عملکرد شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی را بررسی کردند و دریافتند که شاخص SPI برای نشان دادن خشک‌سالی‌های شدید در اولویت نخست بود. یاسمنی و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی تأثیر خشک‌سالی هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام خراسان رضوی از شاخص GRI استفاده کردند و گزارش کردند که رابطه میان خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی با تأخیر زمانی

وجود دارد. دشت کوهدشت اصلی‌ترین آبخوان منطقه مطالعه‌شده است و منابع آب قابل توجهی دارد. از این رو، آبخیز دشت کوهدشت به‌عنوان منطقه مطالعه‌شده انتخاب شد. سفره دشت کوهدشت از نوع آزاد و به‌شکل بیضوی است که در رسوبات آبرفتی است. بر اساس بررسی نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات ثبت‌شده در چاه‌های بهره‌برداری، سنگ کف مارن امیران و برخی مناطق از کنگلومرای کشکان تشکیل‌شده است. بیشترین ضخامت آبرفت در ژرف‌ترین قسمت‌های دشت (بخش میانی) ۱۷۰ متر است و میانگین ضخامت آبخوان کوهدشت ۷۸ متر برآورد شده است. مساحت این آبخوان ۲۴۸/۸ کیلومتر مربع است و میانگین بلندی دشت‌ها و بلندی‌ها به‌ترتیب ۱۲۶۱/۱ و ۱۳۹۶/۲ متر است و برای کل منطقه مطالعه‌شده ۱۳۶۰/۱ متر نسبت به سطح دریاهای آزاد است. میانگین بارش منطقه در دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۶۷ ۴۷۰ میلی‌متر است. در این دوره کمترین بارش سالانه ۲۲۶/۵ میلی‌متر و مربوط به سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ است و بیشترین آن ۸۸۷/۲ میلی‌متر مربوط به سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ است. برای محاسبه شاخص‌های استفاده‌شده در این پژوهش، از آمار بلندمدت بارندگی ایستگاه‌های منطقه و داده‌های ماهانه چاه‌های مشاهده‌ای دشت کوهدشت در دوره آماری مشترک ۱۳۹۹-۱۳۶۷ استفاده شد. سفره آب زیرزمینی در دشت‌های کوهدشت و کشماهور تشکیل‌شده است که مرز آن با استفاده از محل چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری، داده‌های چاه پیمایی و آب‌دهی چاه‌های موجود و زمین‌شناسی منطقه مشخص شد (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس، ۲۰۱۲).

رویکردهای مدیریت خشک‌سالی وابسته به رخدادهای تصادفی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی است. توجه به مدیریت همزمان خشک‌سالی و عامل‌های انسانی در کاهش اثرات زیانبار خشک‌سالی‌ها بسیار مؤثر است. غفلت از نقش عامل‌های انسانی که بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی را با چالش جدی مواجه کرده است فشار برداشت را در شرایط خشک‌سالی تشدید می‌کند و سبب نابودی آبخوان‌ها می‌شود. وضعیت کشاورزی آبی حاکم بر دشت کوهدشت عمدتاً به آبخوان وابسته است و تخلیه بیش از حد منابع آب زیرزمینی و رخداد خشک‌سالی‌های پی در پی در سال‌های گذشته، افزون بر افت شدید سطح سفره آب زیرزمینی سبب ایجاد وضعیت بحرانی حاکم بر آبخوان کوهدشت شده است. این پژوهش با هدف تعیین سهم خشک‌سالی‌های هواشناسی و عامل‌های انسانی بر کاهش سطح آب زیرزمینی دشت کوهدشت، و تعیین دلیل‌های رخداد خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت انجام شد. باید توجه داشت که بیشتر از ۵۰٪ از آب لازم در بخش کشاورزی منطقه مطالعه‌شده کوهدشت به‌وسیله منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود؛ از این رو، اجرای این پژوهش در تبیین و توصیف خشک‌سالی‌های هواشناسی و تعیین علت‌ها و عامل‌های افت سطح آب زیرزمینی به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر ارائه نتایج به‌دست آمده، گام مهمی در راستای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب منطقه خواهد بود.

مواد و روش‌ها

در منطقه مطالعه‌شده کوهدشت دو دشت به نام‌های کوهدشت در شمال و کشماهور در نواحی شمال‌غرب



شکل ۱- منطقه مطالعه‌شده در کوه‌دشت.

Figure 1- The study area of Kohdasht.

همگنی، روی داده‌های بارندگی ماهانه انجام شد و کمبود آماری با روش تفاضل و نسبت‌ها برطرف شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات و آمار بارندگی ایستگاه‌های انتخاب‌شده باران‌سنجی و همدید (جدول ۱)، آزمون

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخاب‌شده.

Table 1- Description of selected stations.

Row	Station name	Long	Lat	elevation
1	Chamanjir	24829	3704599	1140
2	Gol-e-Zard	719097	3674072	680
3	Kuhdasht	704641	3695947	940
4	Kashkan	753340	3673051	650
5	Daretang	247350	3758130	1730
6	Nurabad	776923	3664441	1820

وضعیت رطوبتی بر حسب شاخص SPI تعیین شد. طبقه‌بندی و تعیین وضعیت رطوبتی در مدل GRI شبیه مدل SPI است؛ زیرا در هر دو روش از توزیع بهنجار استفاده‌شده است (نیکو و همکاران ۲۰۱۰). بنابراین برای محاسبه اندازه شاخص GRI همانند

به‌منظور تعیین وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، شاخص SPI با استفاده از نرم‌افزار DIP (مرید و همکاران ۱۹۹۶) در مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای منطقه مطالعه‌شده محاسبه شد. سپس، با توجه به اندازه SPI، وضعیت رطوبتی برای هر بازه زمانی با استفاده از جدول

عامل‌های ورودی و خروجی آب در منطقه مطالعه شده بود.

$$\Delta V = P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{UO} \quad (3)$$

P: حجم ریزش‌های جوی در منطقه بیلان (میلی‌متر)، Q_{SI}: حجم جریان‌های سطحی ورودی یا انتقالی به منطقه بیلان (مترمکعب)، Q_{UI}: حجم جریان‌های زیرزمینی ورودی یا انتقالی به منطقه بیلان، E: روش‌های گوناگون تبخیر (تبخیر از بارندگی، تبخیر از سطح آزاد آب، تبخیر از آب زیرزمینی، مصرف خالص) در منطقه بیلان (میلی‌متر)، Q_{SO}: حجم جریان سطحی خروجی یا انتقالی از منطقه بیلان، Q_{UO}: حجم جریان زیرزمینی خروجی یا انتقالی از منطقه بیلان، ΔV : تغییرات آبیگرها در آب‌های سطحی و زیرزمینی است.

تغییرات ذخیره آبخوان بر اساس اختلاف ورودی‌ها و خروجی‌ها و با نوسانات سطح آب زیرزمینی و لحاظ کردن ضریب ذخیره و مقایسه این دو، مشخص شد. بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی کوه‌دشت با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\Delta V = Q_{UI} + Q_P + Q_R + Q_I - Q_{SW} - Q_{OU} - Q_{EX} - Q_D - Q_{ET} \quad (4)$$

Q_{UI}: جریان زیرزمینی ورودی، Q_P: نفوذ از بارندگی بر سطح آبخوان، Q_R: تغذیه به‌وسیله جریان‌های سطحی، Q_I: نفوذ از آب مصرفی آبیاری، Q_{SW}: نفوذ از پساب صنایع، Q_{OU}: جریان زیرزمینی خروجی، Q_{EX}: تخلیه و برداشت به‌وسیله چاه، چشمه و قنات، Q_D: زهکشی آبخوان به‌وسیله رود، Q_{ET}: تبخیر از آب زیرزمینی است (واحدها بر حسب مترمکعب می‌باشد).

با توجه به نقشه‌های قابلیت انتقال و تراز آب زیرزمینی و استخراج اطلاعات لازم شامل طول جبهه ورودی و خروجی، شیب آبی آب زیرزمینی و اندازه میانگین قابلیت انتقال آبخوان در جبهه ورودی و خروجی، با استفاده از معادله داریسی (رابطه ۵)، حجم جریان زیرزمینی ورودی و خروجی محاسبه شد.

$$Q_{UI, UO} = T.L.i \quad (5)$$

Q: جریان ورودی یا خروجی بر حسب متر مکعب در روز T: میانگین قابلیت انتقال آبخوان (متر مربع در

شاخص SPI از رابطه ۱ برای آبخوان‌های مطالعه‌شده استفاده شد (مندیسینو و همکاران ۲۰۰۸).

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (1)$$

GRI: شاخص منابع آب زیرزمینی، D_{y,m}: اندازه‌های بلندی سطح آب زیرزمینی (متر) در سال y و ماه m، $\mu_{D,m}$: میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی (متر) در ماه m و $\sigma_{D,m}$: انحراف معیار سطح آب زیرزمینی در ماه m است.

پس از محاسبه شاخص‌های نامبرده، به‌نحیجار بودن داده‌ها در سطح ۰/۰۵٪ با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS Ver.20 انجام شد. به‌منظور بررسی شدت اثر بارندگی بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی، ضریب همبستگی میان شاخص SPI با میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در مقیاس‌های زمانی گوناگون، با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی محاسبه شد (یاسمنی و همکاران ۲۰۱۲؛ سیف و همکاران ۲۰۱۲). ضریب همبستگی میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (خان و همکاران ۲۰۰۸).

$$P_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

P_{x,y}: ضریب همبستگی میان شاخص معیارشده و میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی، x: شاخص بارندگی معیارشده، y: میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی (متر)، σ_x : انحراف معیار شاخص بارندگی معیارشده و σ_y : انحراف معیار میانگین سطح آب زیرزمینی است. محاسبات مربوط به ضریب‌های همبستگی میان متغیرها، پس از پردازش اولیه به‌وسیله Excel 2010، همگی در محیط نرم‌افزار MINITAB Ver.14 انجام شد. سپس، شاخص SPI با فراسنجه‌های کمی آب زیرزمینی، با تأخیرهای زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بررسی و تحلیل شد. بیلان عمومی آب با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد. بیلان عمومی آب تعیین‌کننده سهم هر یک از

پس از تجزیه و تحلیل نتایج بیلان آب زیرزمینی، برای هر یک از بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، حجم آب مصرفی و لازم تعیین شد. سپس، رابطه همبستگی میان اندازه مصرف آب با میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی تعیین شد و تأثیر اندازه برداشت و حجم آب برای هر بخش مشخص شد. سرانجام، با استفاده از اطلاعات آماری به دست آمده و رسم نقشه‌های حرارتی^۱ تأثیر خشک‌سالی هواشناسی و عامل‌های انسانی بر افت سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت تعیین شد.

نتایج و بحث

رسم آبنگار واحد آبخوان کوهدشت

با استفاده از آمار ۱۵ چاه مشاهده‌ای در پایه زمانی ۳۲ سال، آبنگار واحد معرف آبخوان کوهدشت رسم شد (شکل ۲). با توجه به شیب منفی خط روند آبنگار واحد آبخوان کوهدشت، تراز آب ۱۹/۵۵ متر در طول دوره آماری کاهش یافت و در ۳۲ سال، میانگین افت سالانه ۶۱ سانتی‌متر برآورد شد.

روز) ، L : طول جبهه ورودی و یا خروجی جریان (متر)، i : شیب آبی آب زیرزمینی است.

شیب آبی آب زیرزمینی از تقسیم اختلاف بلندی دو منحنی تراز سطح آب بر میانگین فاصله میان دو منحنی متوالی بر حسب متر بر متر و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$i = (H1 - H2) / x \quad (6)$$

x : فاصله میانگین میان دو منحنی متوالی تراز سطح آب (متر)، $H1$ و $H2$: بلندی دو منحنی متوالی تراز سطح آب (متر) است.

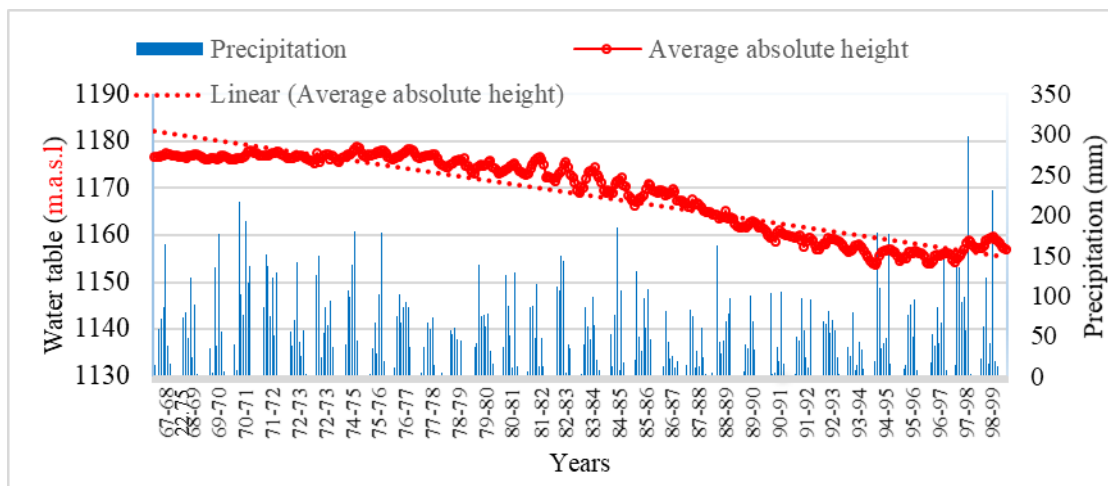
آبنگار معرف آبخوان نیز بر اساس روش تیسن و با استفاده از رابطه ۷ برای چاه‌های مشاهده‌ای در طول دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹ تهیه شد (چمن‌پیرا و همکاران ۲۰۱۴).

$$H = \sum a_i \cdot h_i / A \quad (7)$$

H : رقم‌های آبنگار از سطح دریا (متر)، a_i : مساحت هر پلی‌گون (متر مربع) ، A : مساحت آبخوان، h_i : رقوم سطح آب در چاه مشاهده‌ای نام است.

در این پژوهش به منظور تعیین وضعیت بهره‌برداری به وسیله بررسی بیلان آب زیرزمینی از رابطه ۸ استفاده شد. در این رابطه با استفاده از تغییرات ذخیره آبخوان بر اساس اختلاف ورودی‌ها و خروجی‌ها با نوسانات سطح آب زیرزمینی (ΔH) و لحاظ کردن ضریب ذخیره (S) و A مساحت آبخوان (کیلومتر مربع) و مقایسه این دو با یکدیگر برآورد شد (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس ۲۰۱۲).

$$\pm \Delta V = S \cdot A \cdot \Delta H \quad (8)$$

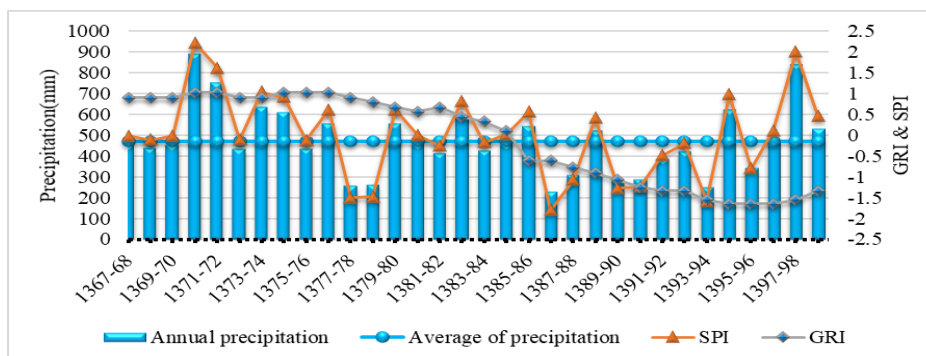


شکل ۲- نمودار معرف آبخوان کوهدشت.
Figure 2- Representative graph of Kohdasht Aquifer.

تعیین وضعیت خشک‌سالی هواشناسی و آب زیرزمینی

سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۱، ۱۳۷۳ و ۱۳۹۷ نیز به ترتیب معادل (۲/۲)، (۱/۶۱)، (۱/۰۱) و (۱/۹۹) بود. نتایج نشان داد نمره‌های منفی شاخص GRI از سال ۱۳۸۵ شروع شد و تا پایان دوره؛ به این ترتیب: (-۰/۶۲)، (-۱/۲۵)، (-۱/۰۷)، (-۰/۹۱)، (-۰/۷۷)، (-۱/۳۴)، (-۱/۳۴)، (-۱/۶۵)، (-۱/۶۵)، (-۱/۱۵۵)، (-۱/۳۴) و (-۱/۵۵) تداوم یافت که این موضوع نشان‌دهنده خشک‌سالی آب زیرزمینی بود. بررسی‌های انجام‌شده به وسیله واکاوی داده‌ها، روابط بارندگی و شاخص‌های خشک‌سالی با رسم نمودارهای مربوطه تأیید شد؛ به طوری که با کاهش بارندگی روند اندازه‌های SPI و GRI نیز کاهش می‌شد (شکل ۳).

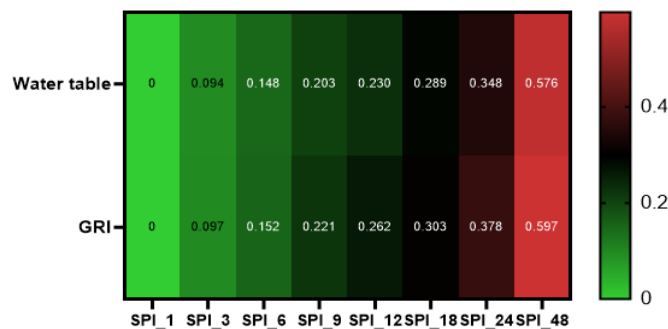
وضعیت رطوبتی دشت کوهدشت در مقیاس سالانه بر اساس شاخص‌های SPI و GRI با استفاده از اندازه‌های بارندگی و تراز سطح ایستابی ماهانه ایستگاه‌های انتخاب‌شده و چاه‌های مشاهده‌ای، در دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹ محاسبه شد. نمره‌های منفی شاخص SPI از ابتدای دوره شروع شد و تا سال ۱۳۹۳ ادامه یافت. اعداد کمتر از منفی یک با وضعیت خشک مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ به ترتیب معادل (-۱/۵)، (-۱/۴۸)، (-۱/۸۱)، (-۱/۰۷)، (-۱/۲۷)، (-۱/۲۴) و (-۱/۵۹) بودند. شاخص خشک‌سالی هواشناسی در دامنه وضعیت بسیار مرطوب و مرطوب مربوط به



شکل ۳- مقایسه بارش سالانه با وضعیت رطوبتی سالانه دشت کوهدشت بر اساس شاخص‌های SPI و GRI.
Figure 3- Comparison of annual Precipitation and the annual moisture status of Kohdasht Plain based on SPI and GRI indices.

سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش یافت. بیشترین ضریب همبستگی ماهانه میان شاخص SPI و فراسنجه های کمی آب زیرزمینی دشت کوهدشت، در مقیاس ۴۸ ماهه بود و در سطح ۰/۱۰٪ (احتمال ۰/۹۹٪) معنی دار شد. ضریب همبستگی شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه با میانگین سطح ایستابی ۰/۵۷۶ و با شاخص GRI برابر ۰/۵۹۷ بود (شکل ۴).

بررسی شدت اثر بارندگی بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی پس از محاسبه شاخص های GRI و SPI اندازه های ضریب های همبستگی میان شاخص SPI در مقیاس های زمانی گوناگون ماهانه با میانگین تراز سطح ایستابی و شاخص GRI در ماه متناظر، محاسبه شد. بررسی ها نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی SPI، ضریب همبستگی آن با میانگین بلندی

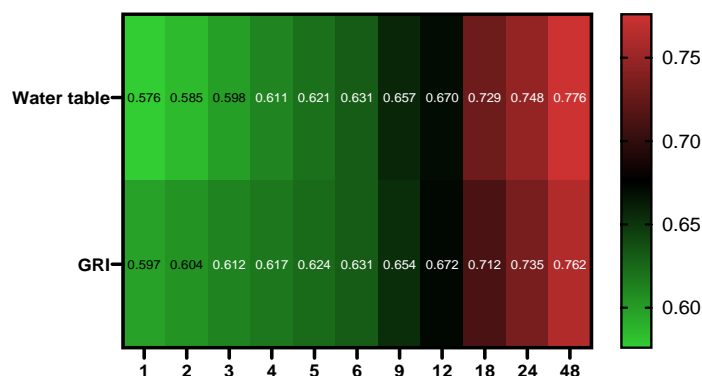


شکل ۴- نقشه حرارتی ضریب های همبستگی میان شاخص SPI ماهانه با میانگین تراز سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوهدشت در دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۶۷.

Figure 4- Heat map of the correlation coefficients between the monthly SPI index with the average water table and the Kohdasht GRI index during the statistical period of 1987-2019.

بود. همچنین، بیشترین همبستگی برابر ۰/۷۶۲ میان شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و شاخص GRI با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بود. ضریب همبستگی میان SPI_۴۸ و میانگین تراز سطح ایستابی بدون اعمال تأخیر زمانی برابر ۰/۵۷۶ بود و ضریب همبستگی میان SPI_۴۸ و GRI برابر ۰/۵۹۷ بود که در سطح ۰/۰۱ معنی دار شد (شکل ۵).

تأثیر تأخیر زمانی ماهانه خشک سالی هواشناسی بر میانگین تراز سطح ایستابی و شاخص GRI با تأخیرهای زمانی یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، نه، دوازده، هجده، بیست و چهار و چهل و هشت ماهه بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی ۰/۷۷۶ میان شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و میانگین سطح ایستابی با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه



شکل ۵- نقشه حرارتی ضریب‌های همبستگی شاخص SPI در مقیاس ۱۸ و ۲۴ ماهه با میانگین تراز سطح ایستابی و شاخص GRI دشت کوه‌دشت با اعمال تأخیر زمانی در دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹.

Figure 5- Heat map of correlation coefficients of SPI index in 18 and 24 months scale with the average water table and GRI index of Kohdasht plain by applying delay time during the statistical period of 1987-2019.

$$D_{ym}=1167+4.73 \text{ SPI}_{48}, D_y \quad (9)$$

D_{ym} : اندازه‌های بلندی سطح آب زیرزمینی (متر) در سال y و ماه m , SPI_{48} : شاخص بارندگی معیار شده در مقیاس ۴۸ ماهه بدون تأخیر زمانی است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۶۷ رابطه میان میانگین تراز سطح ایستابی به‌عنوان متغیر وابسته و SPI_{48} به‌عنوان متغیر مستقل، از نوع وایزی خطی ساده و معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بود (جدول ۲). معادله وایزی خطی میان این دو متغیر در آبخوان دشت کوه‌دشت به‌شکل رابطه ۹ بود.

جدول ۲- نتایج وایزی خطی میان میانگین تراز سطح ایستابی و SPI_{48} آبخوان کوه‌دشت در دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۹۹.
Table 2- The results of linear regression between the average water table and SPI_{48} Kohdasht during the statistical period of 1987-2019.

Coefficients	P Value	R (adj)	R ²	dependent variable	Independent variable
Constant 1167	0.0	33	33.1	Dym	SPI_{18}
SPI_{18} 4.73					

آبخوان ۴/۹۵- میلیون مترمکعب محاسبه شد (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس ۲۰۱۲). جریان زیرزمینی ورودی عمدتاً از سمت بلندی‌ها و دشت‌های مجاور وارد آبخوان می‌شد و جریان‌های خروجی به سمت پایین دست منتقل می‌شدند (جدول ۳). جریان زیرزمینی ورودی به این آبخوان ۸/۱۶ میلیون مترمکعب بود که از سمت بلندی‌ها و دشت بالادست آبخوان، وارد آبخوان می‌شد. اندازه نفوذ مستقیم از بارندگی بر سطح دشت ۲/۸۶ میلیون مترمکعب در آبخوان به‌دست آمد. اندازه نفوذ از جریان‌های سطحی

بر اساس ضریب تبیین محاسبه‌شده، ۳۳/۱٪ از پراکنش میانگین تراز سطح ایستابی تحت تأثیر ۴۸ SPI_{48} بود و ۶۶/۹٪ تحت تأثیر دیگر عامل‌ها بود (چمن‌پیرا ۲۰۲۲).

تعیین وضعیت بهره‌برداری با بررسی بیلان آب زیرزمینی

با استناد به گزارش توجیهی تخصیص منابع آب منطقه مطالعه‌شده کوه‌دشت اندازه ضریب ذخیره آبخوان ۴٪ بود. با در نظر گرفتن مساحت آبخوان آبرفتی، حجم تغییرات ذخیره سالانه (کاهش آب) در

مساحت دشت (۲۴۸/۸ کیلومتر مربع) و آبخوان (۱۸۲/۱ کیلومتر مربع) و با توجه به توزیع بارندگی در سطح دشت، اندازه نفوذ از بارندگی در آبخوان کوهدشت ۲/۸۶ میلیون مترمکعب محاسبه شد. مناسب ترین روش محاسبه اندازه تغذیه آبخوان به وسیله رود و یا اندازه زهکشی آبخوان به وسیله رودها، اندازه گیری همزمان آب رود در چندین مقطع از طول مسیر آن است. اندازه کاهش آب در مسیر رود، معادل تغذیه آبخوان (با توجه به اندازه برداشت از آب رود) به وسیله رود بود و افزایش آب، مربوط به زهکشی آبخوان به وسیله رود بود، که عملاً این اندازه گیری ها در این پژوهش امکان پذیر نبود. از این رو، با توجه به اینکه داده هایی از ضریب نفوذپذیری بستر و دیواره رودها (K) در دست نبود، استفاده از فرمول های تجربی نیز امکان پذیر نبود. بنابراین رقم های مربوط به زهکشی و یا تغذیه آبخوان با آزمون و خطا و مهار با توجه به خطوط تراز آب زیرزمینی و شکل خطوط در مجاورت رود، شرایط منطقه و بازدیدهای میدانی و نیز تجارب کارشناسی تعیین شد (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس ۲۰۱۲). از این رو، می توان گفت اندازه ۱/۸۱ میلیون مترمکعب (حدود ۰.۲٪) از جریانات سطحی تولید شده در مناطق مشرف به آبخوان در سطح آبخوان نفوذ یافته است.

۱/۸۱ میلیون مترمکعب برآورد شد. اندازه نفوذ آب برگشتی از آبیاری و آب شرب و صنعت به ترتیب، ۶/۶۷ و ۲/۹۶ میلیون مترمکعب بود. اندازه آب تخلیه شده به وسیله منابع آب زیرزمینی ۲۷/۴۱ میلیون مترمکعب بود. حجم آب تبخیر شده از آبخوان با توجه به ژرفای بیش از ۵ متر سطح آب زیرزمینی به صفر بود. برای برآورد حجم ورودی آب زیرزمینی به آبخوان، طول مقاطع ورودی از روی نقشه تراز اندازه گیری شد و اندازه میانگین شیب آبی نیز برای هر مقطع با توجه به نسبت تغییرات بلندی سطح آب به مسافت برآورد شد. اندازه ضریب میانگین قابلیت انتقال نیز با استفاده از نقشه قابلیت انتقال آبخوان محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده **Error! Reference source not found.** اندازه حجم ورودی از مقطع شمالی ۵/۵ و مقطع جنوب شرقی ۶۶/۲ میلیون مترمکعب برآورد شد. با توجه به منحنی های تراز در ماه های تر و خشک، جهت جریان آب زیرزمینی از اطراف آبخوان به سمت مرکز بود و به این ترتیب خروجی آب زیرزمینی از آبخوان صفر شد. یکی از مؤلفه های بیلان آبخوان، اندازه نفوذ از بارندگی به آبخوان بود. در این پژوهش حجم نفوذ از بارش در دشت با کم کردن حجم تبخیر و رواناب از بارش کل به دست آمد. با توجه به حجم نفوذ از بارش در دشت (۳/۹۱ میلیون مترمکعب) و با وجود رابطه میان

جدول ۳- بیلان عمومی منطقه مطالعه شده کوهدشت (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس ۲۰۱۲).

Table 3- The general water balance of Kohdasht study area (Sangab Zagros Consulting Engineers 2012).

ΔS		Output flows							Input Flows				
Groundwater	Surface	Total	Groundwater	Surface water	Evapotranspiration			Total	Precipitation				
					net used	Groundwater	Free surface		Precipitation	Groundwater	Surface	Moutain	Plain
-4.95	0	528	0	48.63	39.54	0	0	439.83	523.05	0	0	386.09	136.96

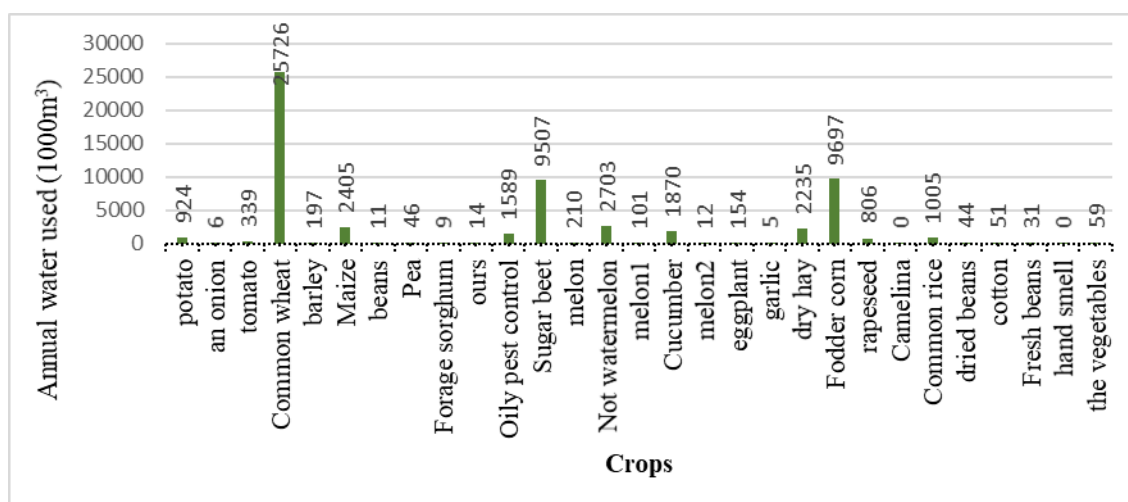
جدول ۴- وضعیت بیلان آب زیرزمینی منطقه مطالعه‌شده کوه‌دشت (شرکت مهندسی مشاور سنگاب زاگرس ۲۰۱۲).

Table 4- The groundwater balance of Kohdasht study area (Sangab Zagros Consulting Engineers 2012).

$\Delta S(mm^3)$	Discharge(mm^3)					Recharge (mm^3)							Area (km^2)
	Total	Groundwater discharge	Aquifer evaporation	drainage	spring and Well Qanat	total	Wastewater infiltration	agricultural wastewater Infiltration	Surface flow infiltration	Precipitation infiltration	Groundwater recharge		
-4.95	27.41	0	0	0	27.41	22.46	2.96	6.67	1.81	2.86	8.16	182.1	

گوناگون از سازمان جهاد کشاورزی استان لرستان دریافت شد (آمار منتشر نشده). با استفاده از اندازه آب لازم سالانه در هکتار و سطح زیر کشت هریک از محصولات، میانگین سطح زیر کشت و آب لازم سالانه برای آن‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شد. جمع کل آب لازم سالانه برای تولید محصولات زراعی ۷۸۶۲۶/۸۹ هزار مترمکعب و کل آب مصرفی ۵۹۷۵۶ هزار مترمکعب برآورد شد. در میان این محصولات بیشترین اندازه مصرف آب کشاورزی مربوط به گندم، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند به‌ترتیب با مصرف سالانه آب ۳۳۸۵۱، ۱۲۷۵۹ و ۱۲۵۰۹ هزار مترمکعب بود (شکل ۶).

تعیین نوع محصولات زراعی و حجم آب لازم برای هر یک از محصولات در منطقه مطالعه‌شده کوه‌دشت ۳۵ نوع محصول زراعی در پنج گروه غلات، حبوبات، سیفی‌جات، گیاهان علوفه‌ای و دانه‌های روغنی کشت می‌شد. میانگین نیاز آبی سطح زیر کشت غلات بیش از ۱۰ هزار مترمکعب در هکتار در سال است. از میان غلات کشت شده، گندم با میانگین نیاز آبی سالانه ۶ هزار مترمکعب در هکتار در سال در مقایسه با دیگر محصولات کشاورزی آبی بیشتر کشت می‌شد. پس از تعیین نوع محصولات زراعی که در سال‌های گذشته به‌وسیله کشاورزان منطقه کشت شده است، اطلاعات سطوح زیر کشت این محصولات در سال‌های



شکل ۶- حجم سالانه مصرف آب کشاورزی در منطقه مطالعه‌شده کوه‌دشت.

Figure 6- The annual volume of agricultural water used in the study area of Kohdasht.

به‌عنوان متغیر وابسته و اندازه مصرف آب به‌عنوان متغیر مستقل، وایزی خطی ساده بود. به‌طوری‌که، این

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در دوره آماری مطالعه‌شده رابطه میان میانگین تراز سطح ایستابی

با توجه به ضریب تبیین محاسبه شده، ۶۶/۷٪ از پراکنش میانگین تراز سطح ایستابی تحت تأثیر اندازه مصرف آب کشاورزی و ۳۳/۳٪ تحت تأثیر خشک سالی، شرب و صنعت بود.

رابطه در سطح ۰/۰۵ معنی دار شد (جدول ۵). معادله وایازی خطی میان این دو متغیر در آبخوان دشت کوهدشت به شکل رابطه ۱۰ بود.

$$W_t = 1148.3 + 0.0001C_y \quad (10)$$

W_t: اندازه های بلندی مطلق میانگین سطح آب زیرزمینی (متر) در سال y و C_y: اندازه مصرف آب سالانه است.

جدول ۵- نتایج وایازی خطی میان میانگین تراز سطح ایستابی و اندازه مصرف آب آبخوان کوهدشت در دوره آماری.

Table 5- The results of linear regression between the average water level and water used of Kohdasht Aquifer during the statistical period.

Coefficients	P.Value	R (adj)	R ²	dependent variable	Independent variable	
Constant	1148.2	0.05	58.4	66.7	C _{y,m}	W _t
W _t	0.0001					

بود. بیشترین درصد میانگین سالانه مصرف آب کشاورزی ۲۹۳۶۸ هزار مترمکعب در سال مربوط به گروه غلات به ویژه گندم بود. حجم کل آب مصرفی در بخش کشاورزی ۴۱/۹ میلیون مترمکعب در سال بود که با بیلان آب منطقه تناسب نداشت (جدول ۶). اندازه کاهش آب با توجه به بیلان محاسبه شده ۷/۳۱ میلیون مترمکعب برآورد شد (جدول ۷). گروه غلات شامل گندم، ذرت علوفه ای، ذرت دانه ای، شلتوک و جو به ترتیب با ۳۳۸۵۱، ۱۲۷۵۹، ۳۱۶۵، ۱۳۲۲ و ۲۶۰ هزار مترمکعب به ترتیب بیشترین تا کمترین اندازه سالانه مصرف آب کشاورزی را کسب کردند.

حجم آب برداشت شده برای شرب و صنعت ۴/۳۵ میلیون مترمکعب بود. ضریب نفوذ از پساب شرب و صنعت ۶۸٪ بود. از این رو، اندازه کل آب مصرفی در این بخش ۱/۳۹ میلیون مترمکعب برآورد شد و اندازه نفوذ از پساب شرب و صنعت به آبخوان ۲/۲۹۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد.

مقایسه تأثیر خشک سالی هواشناسی و عامل های انسانی بر افت سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت با استفاده از اطلاعات آماری به دست آمده و رسم نقشه های حرارتی

کمترین درصد میانگین سالانه مصرف آب کشاورزی ۴۷ هزار مترمکعب در سال مربوط به گروه حبوبات

جدول ۶- اندازه میانگین مصرف آب در گروه های گوناگون زراعت آبی (برحسب هزار مترمکعب).

Table 6- The average amount of water used in different groups of irrigated (1000m³).

E	D	C	B	A	Groups	Row/column
Average area percentage	Average percentage of water used	Average annual requirement per hectare	Average annual water used	Average cultivated area		
0.21	0.26	9.6	3.92	47	Legumes	1
6.78	7.27	6.6	127.98	1683.4	Oilseeds	2
6.78	11.13	11	127.98	7874.25	summer crops	3
6.51	10.22	13	122.91	2930.71	Fodder	4
79.73	71.11	10	1505.77	29368	cereal	5
			41903.36	1888.56	Total	

جدول ۷- بیلان آب منطقه مطالعه‌شده کوهدشت با استفاده از آمار مصرف آب کشاورزی (میلیون مترمکعب).

Table 7- Water balance of Kohdasht study area using agricultural water used statistics.

ΔS	Output Flows					Input flows					
	total	Evapotranspiration				total	Precipitation				
		Average net used in agriculture	Surface water	Groundwater	Free surface		Precipitation	Groundwater	Surface water	Mountain	Plain
-7.31	530.36	41.9	48.63	0	0	439.83	523.05	0	0	386.09	136.96

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش یافت. بیشترین ضریب همبستگی ماهانه میان شاخص SPI و فراسنجه‌های کمی آب زیرزمینی دشت کوهدشت، در مقیاس ۴۸ ماهه در سطح ۰/۰۱ و احتمال ۹۹٪ معنی‌دار شد. بیشترین همبستگی میان شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و میانگین سطح ایستابی با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بود. همچنین، بیشترین همبستگی (۰/۷۶۲) میان شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه و شاخص GRI با اعمال تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بود. ضریب همبستگی میان SPI_۴۸ و میانگین تراز سطح ایستابی بدون اعمال تأخیر زمانی ۰/۵۷۶ بود و ضریب همبستگی میان SPI_۴۸ و GRI ۰/۵۹۷ بود که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شد. این یافته‌ها با نتایج بررسی‌های ناصرزاده و احمدی (۲۰۱۲) و محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی (۲۰۱۱) همخوانی دارد. رابطه وایازی خطی ساده میان میانگین تراز سطح ایستابی به‌عنوان متغیر وابسته و SPI_۴۸ به‌عنوان متغیر مستقل در دوره آماری ۱۳۹۹-۱۳۶۷ ضریب تبیین ۳۳/۱٪ را نشان داد. از این‌رو، ۳۳/۱٪ از پراکنش میانگین تراز سطح ایستابی تحت تأثیر SPI_۴۸ و ۶۶/۹٪ تحت تأثیر عامل‌های انسانی بود.

بررسی بیلان آب زیرزمینی نشان داد، اندازه تغذیه ۲۷/۴۶ و اندازه تخلیه از آبخوان کوهدشت ۴۱/۲۷ میلیون مترمکعب بود و ۴/۹۵ میلیون مترمکعب نیز

نتایج این پژوهش نشان داد روند تغییرات شیب سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهدشت در دوره آماری ۳۲ ساله منفی است؛ تراز آبخوان با ۱۹/۵۵ متر افت، سالانه به‌طور میانگین ۶۱ سانتی‌متر کاهش یافته است. خشک‌سالی هواشناسی در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ رخ داده است. رخدادهای ترسالی مربوط به سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۱، ۱۳۷۳ و ۱۳۹۸ بود و در باقی سال‌ها شرایط عادی بود. بررسی‌ها نشان داد که رخداد خشک‌سالی آب زیرزمینی با دو سال تأخیر پس از خشک‌سالی هواشناسی رخ داد که به‌دلیل کاهش محسوس بارندگی و تغییر الگوی کشت منطقه بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های محمدی و شمسی‌پور (۲۰۰۲)، یاسمنی و همکاران (۲۰۱۲) و چمن‌پیرا و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. توسعه کشت ذرت در دهه ۱۳۸۰ و تخلیه بی‌رویه آب زیرزمینی از دلایل اصلی خشک‌سالی آبخوان دشت کوهدشت در ۱۰ ساله سوم به‌شمار می‌آید. بیشترین درصد رطوبت بارندگی و تراز آبخوان به‌ترتیب با ۸۱ و ۶۹٪ مربوط به وضعیت عادی و به‌ترتیب منطبق بر ماه مهر و اسفند بود. اندازه‌های ضریب‌های همبستگی میان شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ماهانه گوناگون با میانگین بلندی سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماه متناظر، در دوره آماری در آبخوان دشت کوهدشت نشان داد، با افزایش مقیاس زمانی SPI، ضریب همبستگی آن با

نفوذ بارندگی در سطح، جریان ورودی زیرزمینی، نفوذ از جریان‌های سطحی، نفوذ پساب کشاورزی و نفوذ از فاضلاب شهری و صنعتی ۲۲/۴۶ میلیون مترمکعب بود. حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، شرب و صنعت ۶۱/۰۹ میلیون مترمکعب بود. از این‌رو، ۳۸/۳۶ میلیون مترمکعب کاهش آب و اضافه برداشت از آبخوان انجام‌شده است. از این اندازه ۱۱/۸۶ میلیون مترمکعب مربوط به خشک‌سالی و ۲۶/۴۷ میلیون مترمکعب مربوط به عامل‌های انسانی شامل اضافه برداشت برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت بود. از این‌رو، ۳۱/۰۲٪ کاهش آب مربوط به رخداد خشک‌سالی‌ها و ۶۸/۹۸٪ مربوط به عامل‌های انسانی شامل کشاورزی، شرب و صنعت بود.

تأثیر شدت و تداوم خشک‌سالی هواشناسی بر نوسانات سفره آب زیرزمینی، کمتر از برداشت و مصارف آب زیرزمینی منطقه بود. از این‌رو، بیلان منفی فقط نتیجه تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر آبخوان نبود بلکه نوع مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، به‌ویژه در بخش کشاورزی عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی و کاهش آبگیر بود. با توجه به تأخیر زمانی میان رخداد خشک‌سالی‌های هواشناسی و خشک‌سالی آب زیرزمینی فرصت مناسبی برای مدیریت و جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی ایجاد خواهد کرد. از این‌رو، تغییر در مدیریت مصرف آب زیرزمینی به‌وسیله تغییر الگوی کشت افزون بر کاهش اثرات منفی خشک‌سالی باعث می‌شود تا در بلندمدت کاهش آب آبگیر برطرف شود و سرانجام، بیلان آب زیرزمینی افزایش یابد. پیشنهاد می‌شود با برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت و از سوی دیگر با اصلاح الگوی مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی گام‌های مؤثری برداشته شود و متناسب با اندازه آب تجدیدپذیر سالانه که از پژوهش‌های بیلان به‌دست می‌آید، برای مصارف گوناگون برنامه‌ریزی و اقدام شود.

کاهش آب وجود داشت. آب از آبخوان به‌وسیله چاه، چشمه و قنات بهره‌برداری شده و معمولاً صرف کشاورزی، شرب و صنعت می‌شده است. با توجه به میانگین مساحت ۹۸۴۵ هکتاری زمین‌های آبی منطقه، بیشترین اندازه آب لازم از آبخوان با ۷۸/۶ میلیون مترمکعب مربوط به بخش کشاورزی بود. نفوذ از پساب شرب که ساختار دفع فاضلاب آن که به‌وسیله چاه‌های جذبی بود، عموماً حدود ۶۰ تا ۸۰٪ در نظر گرفته شد. نوع صنعت و اندازه آب‌بری آن و نحوه دفع پساب در صنایع نیز، اندازه نفوذ را تعیین کرد. اندازه نفوذ از پساب صنایع به شرط استفاده از چاه‌های جذبی، عموماً حدود ۶۰ تا ۸۰٪ در نظر گرفته شد. با توجه به نحوه دفع پساب، ضریب نفوذ از آب شرب و صنعت در کل منطقه مطالعه‌شده بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان ۶۸٪ در نظر گرفته شد. کل اندازه آب برداشت‌شده از آبخوان برای کشاورزی ۷۸/۶ میلیون مترمکعب بود. ضریب نفوذ از پساب کشاورزی ۲۴٪ بود. از این‌رو، اندازه کل آب مصرفی در این بخش ۵۹/۷ میلیون مترمکعب برآورد شد. اندازه نفوذ از پساب کشاورزی به آبخوان ۱۸/۹ میلیون مترمکعب بود. حجم آب برداشت‌شده برای شرب و صنعت ۴/۳۵ میلیون مترمکعب بود. ضریب نفوذ از پساب شرب و صنعت ۶۸٪ بود. از این‌رو، اندازه کل آب مصرفی در این بخش ۱/۳۹ میلیون مترمکعب برآورد شد و اندازه نفوذ از پساب شرب و صنعت به آبخوان ۲/۹۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. در مجموع حجم آب سالانه مصرفی از آبخوان ۶۱/۰۹ میلیون مترمکعب بود که از این اندازه ۹۷/۷٪ در بخش کشاورزی و ۲/۳٪ در بخش‌های شرب و صنعت مصرف‌شده است.

آبخوان منطقه مطالعه‌شده تأمین‌کننده اصلی آب در بخش‌های گوناگون کشاورزی شرب و صنعت است. برداشت بی‌رویه در اثر تخلیه آب زیرزمینی مشکلات پرشماری از جمله تنش خشکی در بخش کشاورزی را ایجاد کرده است. حجم آب ورودی به آبخوان ناشی از

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش، از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

رضا چمن‌پیرا: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله. مهران زند: راهنمایی و کنترل نتایج.

ابراهیم کریمی سنگچینی: مشاوره و تحلیل‌های آماری.

الهام داودی: مفهوم‌سازی، ویرایش و بازبینی متن مقاله

فهرست منابع

- Abbasinia A, Morshedi M, Zohorian m, Ghorbanian j. 2021. Analysis and comparison of SPI and GRI indicators in the evaluation of meteorological drought and underground water. Case study: Mehran lain, Ilam Province. Quarterly Journal of Natural Geography. 13 (51): 95- 114 (In Persian).
- Asadzadeh F, Kaki M, Shakiba S, Raei B. 2016. Impact of drought on groundwater quality and groundwater level in qorveh-chardoli Plain. Iran-Water Resources Research. 12 (3 IR-WRR): 153-165. (In Persian).
- Bayat-Varkeshi M, Farahani M, Ghabaei Sough M. 2018. Effect of meteorological drought on groundwater resource (Case stusy: Komijan Aquefer in Markazi Province). Iran-Water Resources Research. 14 (1 IR-WRR): 114-124. (In Persian).
- Behzadi F, Javadi S, Moridi A. 2022. Assessing drought using SPI and GRI indices and investigating the drop in groundwater levels using Geographical Information System (GIS). 2nd National Conference on Deficit Irrigation and the Use of Non-Conventional Water for Agriculture in Dry Regions Fasa. 11 p. (In Persian).
- Chamanpira R. 2022. Evaluation of the effect of meteorological drought on groundwater of Koohdasht Aquifer in Lorestan Province. Iran-Water Resources Research. 18(1 IR-WRR): 166-179. (In Persian).
- Chamanpira, Zehtabian Gh, Ahmadi H, Malekian A. 201۴. Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar. Watershed Engineering and Management. 6 (1): 10-20. (In Persian).
- Chamanpira R, Zehtabian Gh, Ahmadi H, Malekian A. 2015. Optimal management pattern for water resources utilization. Case study: Alashtar Plain. Watershed Engineering and Management. 7 (3): 274-285. (In Persian).
- Ebrahimi A, Mohamadi F, Kave N, Malekmohamadi M. 2009. Analysis and evaluation of the effect of drought on the reduction of the water level of wetlands in Chaharmahal and Bakhtiari Province using GIS and RS techniques. Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran Gorgan. 14 p. (In Persian).
- Fatehi Marj A, Taie Semiromi M, Kolahchi A, Mirnia Kh. 2011. Forecasting of water table fluctuations using MODFLOW numerical model from 1387 to 1437 in Garbaygan Aquifer. Journal of Irrigation Sciences and Engineering. 34(2): 41-50. (In Persian). DOR: 20.1001.1.25885952.1390.34.2.5.4
- Faryabi M, Mozafarizade J. 2017. The impact of drought on the quantity and quality of groundwater resources in Bushan Plain. 14th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction papers Kerman. 8 p. (In Persian).
- Habibabadi Gazor N, Derakhshan1 H. 2023. Groundwater -drought conjunctive management: A review of California Experiences. Water and Sustainable Development. 10(1): 77-86. (In Persian). DOI: 10.22067/JWSD.V10I1.2302-1219
- Khan S, Gabrie H, Rana T. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of Precipitation on water tables in irrigation areas. Irrigation Drainage System. 22: 159-177. DOI: 10.1007/s10795-008-9049-3
- Mohamadi H, Shamsipor A. 2002. The impact of recent droughts on the decline of groundwater resources in the plains of North Hamadan. Geography Research. 45(35): 115-130. (In Persian).
- Mosaedi A, Marashi M, Kavakebi Gh. 2009. Comparative study of drought in rainy and low

- rain regions (Case study: Golestan Province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 16(1): 277-290. (In Persian).
- Mirakbari M, Mortezaei G, Mohseni M. 2018. Investigation of effect meteorological drought on surface and ground water resources by indices SPI, SPEI, SDI and GRI. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 12(42): 70-80. (In Persian).
- Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim. pp.179-184.
- Medicino G, Senatore A, Versace P. 2008. A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*. 357(3-4): 282-302. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.005
- Mohammadi-Ghaleni M, Ebrahimi K. 2011. Assessing impact of irrigation and drainage network on surface and groundwater resources· case study: Saveh Plain· Iran. 21st International Congress on Irrigation and Drainage. pp.15-23.
- Morid S, Moghadasi M, Arshad S, Omid M. 1996. Drought indices package. Water Resources Management Co. (WRMSC), Ministry of Energy, Tehran, Iran.
- Naserzadeh M, Ahmadi E. 2012. Meteorological drought indices in assessing the performance of the drought and its zoning in Qazvin. *Applied Research of GIS (Geographical Sciences)*. 12(27): 141-162
- Nico W, Van Lanen AJ, Loon AF. 2010. Indicators for drought characterization on a global scale. Wageningen, Netherlands, Water and Global Change, (Technical Report No. 24). 93 p.
- Porhemat J, razi T, Rahimibandarabadi S. 2015. Investigation on spatio-temporal variability of meteorological drought in southwestern Iran (Case study in Karkheh Basin). *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 5 (3): 60-79. (In Persian).
- Porhemmat MS, Porhemmat J, Mirzaee M. 2021. Investigation on drought impact on the depletion of spring discharge in western parts of Iran. *Watershed Engineering and Management*. 12(4): 1040-1054. (In Persian). Doi.org/10.22092/ijwmse.2019.127081.1689
- Samin M, Tabatabaei M, Soltani J. 2012. The position of management and sustainable development of water resources during drought. The first national conference on sustainable development in arid and semiarid regions Islamic Azad University Abarkoh Branch. 8 p. (In Persian).
- Sangab Zagros Consulting Engineers. 2012. Studies on the preparation of a balance and justification report for the allocation of study areas in Lorestan Province. Khorramabad: Regional Water Company of Lorestan. 85 p. (In Persian).
- Seif M, Mohamadzade H, Mosaedi A, Sayad H. 2012. Assessing the effect of drought on the groundwater resources of the Fasa Plain Aquifer using standardized Precipitation indicators, groundwater resources and standardized electrical conductivity. *Water Resources Engineering*. 5 (13): 57-74. (In Persian). DOI: 0.1001.1.20086377.1391.5.13.4.7
- Simaei A, Kheshtkari S. 2012. Investigating the environmental aspects of the drought and dust with a perspective on West Azarbaijan province. 2nd National Seminar on Biological Diversity and Its Impact on Agriculture and the Environment, Orumieh. 10 p. (In Persian).
- Shakiba A, Mirbagheri B, Kheiri A. 2010. Drought and its effect on groundwater resources in the east of Kermanshah province using SPI index. *Geography (Scientific Quarterly of the Iranian Geographical Society)*. 8 (25): 104-124. (In Persian).
- Taghipoor-Javi A, Faramarz B. 2023. Assessing the Groundwater Governance in Critical Forbidden Plains of Chaharmahal and Bakhtiari Province (Emphasizing the effectiveness principle of OECD). *Iran Water Resources Research*. 19 (3): (IR-WRR): 57-78. (In Persian). DOI: 20.1001.1.17352347.1402.19.3.4.3
- Tood DK. 1980. *Groundwater hydrology*. California Berkeley. 652 p.
- Yasamani S, Mohamadzade H, Mosaedi A. 2012. Investigating the effect of drought on changes in the groundwater level of Torbat Jam-Fariman plain by using SPI and GRI indices. 16th Symposium of Geological Society of Iran Shiraz. 12 p. (In Persian)



Determination the Quantitative Impact of Drought and Human Factors on Groundwater Level Decline in the Kohdasht Aquifer, Lorestan Province

Reza Chamanpira^{*1}, Mehran Zand², Ebrahim Karimi Sangchini³, Elham Davoodi⁴

1 and 3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

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

4- Researcher, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Khorramabad, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

In Lorestan Province, due to the severe decline in the groundwater level of the Kohdasht Aquifer it falls under the category of prohibited water extraction areas. The aim of this research was explaining and describing the causes of the decline in the groundwater level of the Kohdasht Aquifer. Also, the contribution of natural factors and the relationship between the occurrence and time delay of meteorological and geohydrological droughts were investigated.

Materials and Methods

In order to determine the annual moisture situation of the region standardized precipitation indices (SPI) and groundwater index (GRI) were calculated. The correlation coefficients between the SPI at annual, seasonal 3, 6, 9, 12, 18, 24 and 48-month time scales with the mean height of the groundwater level and the GRI in the corresponding month were calculated. Then, the groundwater balance was examined, and the types of agricultural products in the region were determined. Finally, the correlation relationship between the amount of water consumption and the mean height of the groundwater level was determined and the effect of the amount of water drop for each product on the quantitative changes in groundwater resources was examined. On the other hand, the correlation relationship between the amount of water drop for the drinking and industrial sectors and the quantitative changes in groundwater resources was determined and the effect of meteorological drought and human factors on the decline in the groundwater level of the aquifer was determined and examined by drawing heat maps.

Results and discussion

The result showed that 31.02% of the reservoir deficit is related to droughts and 68.98% was related to human factors (agriculture, drinking and industry).

The volume of water entering the aquifer is 22.46 million m³ and the volume of water used in agriculture, drinking and industry is 61.09 million m³.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** chamanpira2000@gmail.com

Citation: Chamanpira, R., Zand, M., Karimi sangchini, E., Davoodi, E. 2025. Determination the Quantitative Impact of Drought and Human Factors on Groundwater Level Decline in the Kohdasht Aquifer, Lorestan Province. Watershed Management Research. 38(1): 19-37.

DOI: 10.22092/wmrj.2024.365631.1584

Received: 05 May 2024, **Received in revised form:** 18 June 2024, **Accepted:** 19 September 2024

Published online: 21 March 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.1, Ser. No:146, Spring 2025, pp. 19-37.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



Therefore, the amount of water deficit and over-extraction from the aquifer was 38.36 million m³, of which 11.86 million m³ was related to drought and 26.47 million m³ was related to human factors.

Conclusion and suggestions

Base on the finding of this study, the main cause contributing to the drop on groundwater levels was type of management and exploitation of groundwater resources, particularly in the agricultural sector. Due to the delay time between the occurrences of meteorological and groundwater droughts, there is a good opportunity to manage and prevent the drop of the groundwater level. Therefore, changes in groundwater consumption management by changing the cultivation pattern, in addition to reducing the negative effects of drought, led to the long-term elimination of the water deficit in the reservoir and ultimately an increase in the groundwater balance. It is suggested that the water consumption pattern, especially in the agricultural sector, be improved through short-term, medium-term, and long-term planning, and that planning and action be taken for various uses in proportion to the amount of annual renewable water.

Keywords: GRI Index, Groundwater budget, Kohdasht Aquifer, management, overdraft, SPI Index

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' Contribution

Reza Chamanpira: conceptualization, performing software/statistical analysis, writing the first version of the article.

Mehran Zand: guidance and control of results.

Ebrahim Karimi Sangchini: consulting and statistical analysis.

Elham Davoodi: Conceptualization, editing and revision of the text of the article