دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مرند)

بتول زینالی[1]، مجتبی فرید پور[2] و صیاد اصغری سراسکانرود[3]

۱- استادیار، دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: zeynali.b@uma.ac.ir)
۲ و ۳- دانشجوی دکتری و استادیار، دانشگاه محقق اردبیلی
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۲۲

چکیده

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، دشت مرند با مساحتی معادل ۵۱۷/۴۲ کیلومترمربعدر شمال غرب استان آذربایجان شرقی می باشد. در این پژوهش، دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و SWI در شش بازه زمانی (٦، ٩، ١٢، ١٨، ٢٤ و ٤٨ ماهه) بررسی شد. بدین منظور، از متوسط بارش ماهانه هفت ایستگاه باران‌سنجی در دوره آماری (۹۱-۱۳۵۹)، داده‌های مربوط به پارامترهای کیفیت ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری و داده‌های ماهانه سطح آب ۲۳ پیزومتر در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) استفاده شد. نتایج بررسی شاخص SPI نشان داد که در سال ۱۳۸٦ خشکسالی شدید در منطقه اتفاق افتاده و تا سال‌های پایانی مورد مطالعه، نیاز آبی منطقه تأمین نشده است. همچنین نتایج شاخص SWI نمایانگر افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی برای جبران نیاز آبی دشت بوده و افت حدود سه متری آب زیرزمینی را به دنبال داشته است. همبستگی به‌دست آمده به روش پیرسون بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و تأثیر پذیری منابع آبزیرزمینی را بایک تأخیر پنج ماهه نمایان می‌سازد. ارزیابی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی براساس شاخص‌های قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کلر (CI)، نشان داد که تغییر کیفیت آب در سطح وسیعی از دشت مرند در اثر افزایش سطح زیر کشت و همچنین افزایش برداشت صورت گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده از دیاگرام ویلکاکس مشخص شد که حدود ٤٤ درصد مساحت آبهای زیرزمینی دشت در کلاس C1S4تا C4S1 قرارگرفته و دارای کیفیت آب خیلی شور برای مصارف کشاورزی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص SPI، شاخص SWI، کیفیت آب‌های زیرزمینی، دیاگرام ویلکاکس، دشت مرند

مقدمه

یکی از پیامدهای خشکسالی، فشار بر منابع آب و سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش تغذیه طبیعی آن‌ها بر اثر تخریب پوشش گیاهی به علت چرای بیش از حد دام بر عرصه‌های منابع طبیعی است (۱۰). درمناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش سطح ایستابی آب زیرزمینی و تنزل کیفیت شیمیایی آن (در اثر افزایش غلظت املاح) در ایجاد شوری ثانویه خاک، کاهش باروری خاک‌ها و غیره نقش اساسی دارد (۱۸). هالبرگ و همکاران (۱۳) به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی را با استفاده از اطلاعات عمیق می‌توان تشخیص داد. این پدیده در مناطق برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی به‌طور مشخصی واضح است. پاندا و همکاران (۲۵) مطالعه‌ای جهت تعیین کاهش سطح آب‌های زیرزمینی ایالت اورسیای هند و تشخیص مکانیزم‌های ایجادکننده خشکسالی و تأثیر انسان بر منابع آب انجام داده و به این نتیجه رسیدند که افت سطح آب زیرزمینی به علت کاهش بارش در سال‌های خشک، دماهای بالا و تأثیر انسانی در نتیجه‌ی تغذیه آن در سال‌های مرطوب جبران می‌شود. خان و همکاران (۱۵) در بررسی وضعیت خشکسالی در اراضی زراعی یکی از حوزه‌های کشور استرالیا با سطح آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم اینکه منابع آب زیرزمینی نواحی مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند اما در موارد زیادی بین شاخص SPI[1] و سطح آب زیرزمینی ارتباط قوی وجود دارد. یائوتی و همکاران (۲۶) فرآیندهای شوری‌زایی آبخوان‌های تحت فشار سواحل مدیترانه را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش شوری زمین‌های منطقه با نفوذآب شور دریا از خط ساحل همراه است. محمدی و همکاران (۲۲) با بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی دشت اراک نشان دادند که در این دشت، خشکسالی سفره‌های آبی در نقاط مختلف ایجادشده و روند مشخصی را پیروی نمی‌کنند و اوج شدت آن در جنوب دشت اراک بوده است. ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۷) در تحقیقی روی حوزه چغلوندی با استفاده از شاخص سطح آب استانداردشده (SWI)[2] و شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) شدت و تداوم خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی هیدرولیک در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی یک‌ساله بینوقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیک آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان دادند. هراثی و همکاران (۱۴) در تحقیقی نتیجه گرفتند که بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی دشت آذر شهر، باعث افت شدید سطح ایستابی و افزایش شوری آب و عوارض کم‌آبی برای این دشت شده است. بانژاد و محب زاده (۵) در تحقیقی جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت رزن- قهاوند برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی نشان دادند که ۴۷/۷ درصد این منطقه دارای غلظت نامناسب یون سدیم می‌باشد. همان‌گونه که از بررسی سوابق تحقیق استنتاج می‌شود، در زمینه پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های مختلف تحقیقات زیادی انجام‌شده است. در زمینه تأثیر خشکسالی روی منابع آب زیرزمینی نیز تحقیقاتی انجام شده است، در

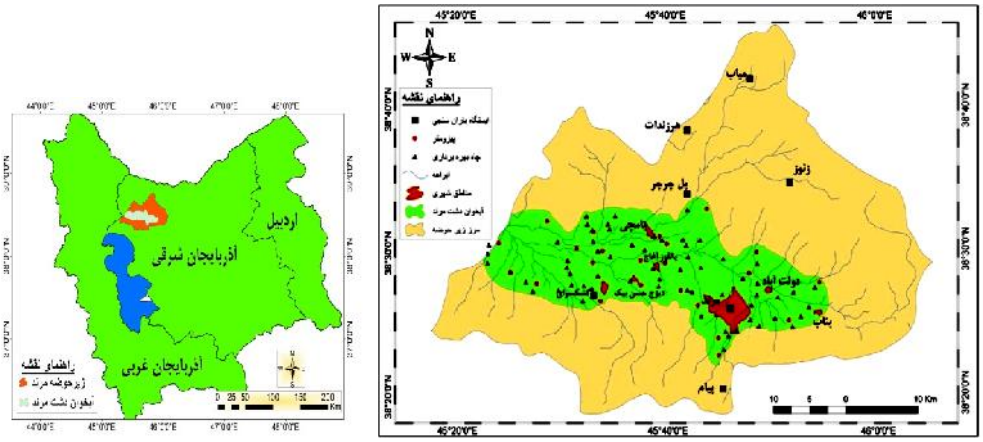
1- Standardize precipitation Index
2- Standardize Water Level Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

این تحقیق به دنبال تأثیر خشکسالی هواشناسی روی کاهش آب زیرزمینی و با اثبات تاخیر زمانی این پدیده بر کاهش سطح آب زیرزمینی به دلیل افزایش برداشت جهت تأمین نیاز آبی کشاورزی، همزمان تغییر کیفیت آب در اثر افزایش برداشت در دشت مرند نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

دشت مرند با مختصات ۴۵ درجه و ۱۵ تا ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و با مساحتی معادل ۵۱۷/۴۲ کیلومترمربع، یکی از دشت‌های وسیع در شمال غرب استان آذربایجان شرقی می‌باشد.این منطقه از نظر وسعت سومین دشت استان محسوب می‌شود و آب مورد نیاز اراضی کشاورزی و بخش قابل توجهی از آب شرب شهر مرند و روستاهای اطراف را تأمین می‌کند. در بین شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی شهرستان‌های سراب و مرند به‌ترتیب ۱۲/۲ و ۱۱/۸ درصد دارای بیش‌ترین اراضی آبی می‌باشند (۲۴). منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی، هم‌چنین ۲۳ چاه پیزومتری و ۷۰ چاه بهره‌برداری که از اداره هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه شده در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure. 1 Case study

برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و چاه‌های پیزومتری و روش رگرسیون خطی استفاده و برای بررسی روند تغییرات بارندگی و آب‌های زیرزمینی و تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی و آب های زیرزمینی از شاخص‌های SPI و SWI استفاده شد. هم‌چنین برای بررسی همگنی داده‌های مورد مطالعه از آزمون توالی استفاده شد. شاخص SPI که توسط مک کی و همکاران ارایه شد (۱۹)، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\pm}$$ رابطه (۱)

در رابطه (۱)، X_{ij}: بارندگی فصلی در ایستگاه i، با j تعداد مشاهده، X_{im}: میانگین درازمدت بارندگی و $\pm$: انحراف معیار است.

شاخص SWI به‌عنوان معیار ارزیابی وقوع خشکسالی و ترسالی در دشت مرند مورد استفاده قرار گرفت. هدف شاخص SWI امکان پهنه‌بندی نوسان سطح آب زیرزمینی در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شاخص SWI توسط بویان و همکاران (۸)، ارائه شد. معادله محاسباتی این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\pm}$$ رابطه (۲)

در رابطه (۲)، W_{ij}: عبارت است از متوسط فصلی سطح آب در چاه مورد مطالعه i، با j: تعداد مشاهده، W_{im}: عبارت از میانگین درازمدت فصلی و $\pm$: انحراف معیار جامعه آماری مربوطه است. جدول (۱) طبقه‌بندی SPI و SWI را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های SPI و SWI (۱۹،۸)

Table 1. Classification of Index SPI & SWI (19, 8)

طبقه خشکسالی	مقدار SPI	مقدار SWI
خشکسالی بسیار شدید	≤ -۲	≥+۲
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹
خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

برای بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر نوسان سطح ایستابی، ابتدا ارتباط مقادیر SPI، سهتا ۴۸ ماهه با مقادیر SWI در همین بازه زمانی به‌طور همزمان و در تأخیرهای یک تا ۱۲ ماهه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون که مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیار آن‌ها تنظیم شده است، در سطوح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد با استفاده از رابطه زیر مورد بررسی قرار گرفت:

$$p_{xy} = \frac{\mathrm{cov}(x,y)}{\pm_x \pm_y}$$ رابطه (۳)

در این رابطه، p: همبستگی میان شاخص بارش استاندارد و سطح ایستابی، X: مقدار بارش استاندارد در یک ماه خاص و Y: سطح ایستابی در همان ماه است. برای تهیه نقشه‌های خشکسالی در دشت مرند، ابتدا با وارد نمودن مقادیر ماهانه در نرم‌افزار DIP، مقادیر SPI داده‌های بارش برای سری زمانی ۱۲ ماهه محاسبه شد. مقادیر SWI از داده‌های ماهانه سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری نیز مانند مقادیر SPI به کمک نرم‌افزار DIP و Minitab و Excel محاسبه شد. هم‌چنین پس از مشخص کردن دوره‌های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی فرآیند درون‌یابی با GIS انجام شد. کیفیت هیدروشیمیایی آب زیرزمینی منطقه به‌عنوان تابعی از خصوصیات تغذیه می‌تواند بازتابی از رژیم بارش در منطقه باشد که جزئیات این موضوع مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط نرمال با کاهش بارش و کاهش حجم ذخیره مخزن غلظت عناصر در آب زیرزمینی بایستی افزایش یابد. بدیهی است در صورتی عوامل شیمیایی پاسخ مشخص و قاطع به نوسانات بارش خواهد دادکه تغییرات سطح آب زیرزمینی در آن بازه زمانی قابل توجه باشد که این موضوع با بررسی خشکسالی اتفاق افتاده مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب ازنظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد، زیرا این دو نه‌تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازد. شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با معیار نسبت جذب سدیم (SAR) یا درصد سدیم محلول (SSP) یا درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) سنجیده می‌شودکه با داشتن غلظت عناصر در آب مقادیر آن‌ها از معادله زیر محاسبه می‌شود (۲).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$ رابطه (۴)

$$ESP = \frac{Na_{exch}}{CEC} \times 100$$ رابطه (۵)

در رابطه (۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی و Na_{exch} : سدیم قابل تبادل می‌باشد. تمامی مقادیر کاتیون‌ها در معادله‌های فوق برحسب میلی‌اکی والانت در لیتر می‌باشند. اما سدیم به‌تنهایی نمی‌تواند معیار کیفیت آب به لحاظ کشاورزی قرار گیرد و بهتر آن است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. روش طبقه‌بندی ویلکاکس (Wilcox) و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب ازنظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است (۲). بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس، کیفیت آب برای کشاورزی به‌صورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- کیفیت آب بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس

Table 2. Water quality based classification of Wilcox

کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
C1S1	شیرین- برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر
C2S1, C2S2	کمیشور- مناسب برای کشاورزی
C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3	شور - قابل‌استفاده برای کشاورزی
C1S4, C2S4, C3S4,C4S4, C4S3, C4S2, C4S1	خیلی شور- برای کشاورزی نامناسب

برای نمایش بهتر توزیع مکانی کیفیت آب کشاورزی به روش ویلکاکس، با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در خردادماه سال‌های ترسالی و خشکسالی، کیفیت آب برای مصارف کشاورزی به‌صورت نقشه نمایش داده شد. پارامترهای هیدروشیمیایی که مورد بررسی قرار می‌گیرند، متفاوت است ولی بررسی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب در هر مطالعه‌ای اهمیت دارد. از آنجا که یون کلرید (CL) تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی نظیر فرآیند جذب و تعویض یونی قرار نمی‌گیرد لذا در موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در نفوذ آب شور به سفره‌های ساحلی می‌تواند به‌عنوان ردیاب تغییر ناپذیر مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور جهت ارزیابی آب از نظر قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و کلر (CL)، برای مصارف کشاورزی از رهنمودهای تفسیر کیفیت آب آبیاری، ارایه شده توسط مشاوران دانشگاه کالیفرنیا (۱۲) استفاده شد. این مقادیر به سه منطقه باکیفیت خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شدند (جدول ۳).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

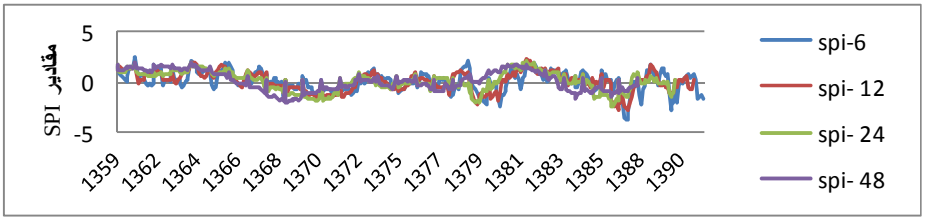
جدول ۳- کیفیت آب آبیاری (۱۲)

Table 3. Irrigation water quality (12)

پارامتر	واحد	درجه محدودیت در مصرف		
		هیچ	جزیی‌تا متوسط	شدید
EC	µS/cm	>۷۰۰	۷۰۰ – ۳۰۰۰	<۳۰۰۰
CL	Meq/l	>۴	۴ – ۱۰	<۱۰
SAR	بدون بعد (٪)	>۳	۳-۵	<۵
ESP	درصد	۱۰>	۱۵ – ۳۰	۳۰ – ۵۰

نتایج و بحث

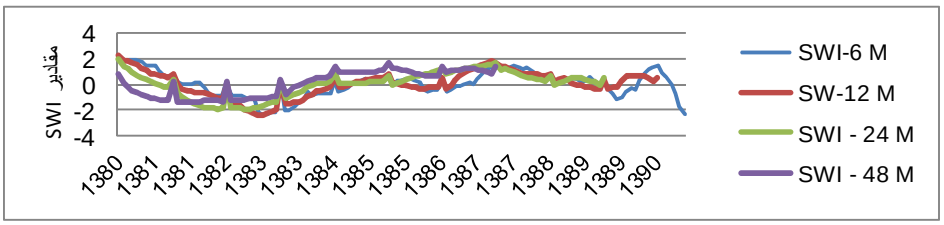
وضعیت خشکسالی هواشناسی در حوزه مرند با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه شد. به‌عنوان نمونه، نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه باران‌سنجی کشکسرای در شکل ۲ آورده شد. به دلیل وجود ماه‌های بدون بارش در فصل تابستان، شاخص SPI در مقیاس شش تا ۴۸ ماهه مورد بررسی قرار گرفت. وجود داده‌های صفر، محاسبه شاخص SPI را با مشکل مواجه می‌کند و ارزیابی ماهانه قابل انجام نخواهد بود (۷). مقیاس شش ماهه SPI نشان داد که شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده در این ایستگاه، در ماه مرداد ۱۳۸۷ اتفاق افتاده که مقدار آن ۳/۷۲- می‌باشد. خشکسالی در این سال در واقع از ماه فروردین سال ۱۳۸۷ شروع و تا مهر همان سال ادامه پیداکرده است و بیش‌ترین تداوم خشکسالی در مقیاس شش ماهه، تداوم هشت ماهه می‌باشد. از نظر فراوانی مطلق نیز، از مجموع ۳۷۹ ماه مورد مطالعه، تعداد خشکسالی‌های مشاهده شده در این ایستگاه و در این مقیاس، حدود ۴۵ درصد یعنی ۱۷۰ ماه می‌باشد. از آنجاییکه مقیاس‌های زمانی بزرگ‌تر ترسالی‌ها، خشکسالی هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد (۶)، می‌توان گفت که ایستگاه کشکسرای در سال‌های اخیر با خشکسالی هیدرولوژیک و با تداوم بیش‌تری مواجه بوده است. هر چه سری زمانی افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیش‌تر و تکرار آن کم‌تر می‌شود (۳)، به همین دلیل سری‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه، تعداد دوره‌های خشکی را کمتر و دارای تداوم بیش‌تری را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه نمونه (کشکسرای) در مقیاس‌های زمانی مختلف

Figure 2. Condition of Droughts and Wetness in sample station (Kashk saray) at different time scales

شاخص خشکسالی آب زیرزمینی (SWI) در دشت مرند در ابعاد زمانی شش تا ۴۸ ماه مورد بررسی واقع شد. همان‌طور که در شکل سه دیده می‌شود، شاخص SWI در پیزومتر نمونه (قره قوم) نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ که بارندگی مناسب در منطقه اتفاق افتاده دارای روند افزایشی بوده و مقادیر منفی که نشان‌دهنده افزایش سطح آب می‌باشند، در این سال‌های گویای این مدعا می‌باشد. از طرفی به دلیل کاهش بارندگی از سال ۱۳۸۴به بعد مشاهده می‌شود روند برداشت آب برای جبران نیاز آبی مصارف کشاورزی، از این پیزومتر و سایر پیزومترهای دشت رو به افزایش می‌باشد و کاهش سطح آب زیرزمینی را تا سال‌های پایانی باعث شده است.

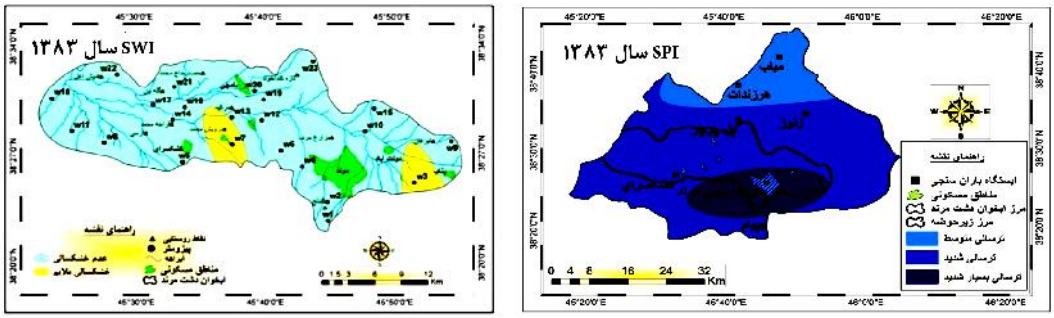


شکل ۳- وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های پیزومتر نمونه (قره قوم) در مقیاس‌های زمانی مختلف

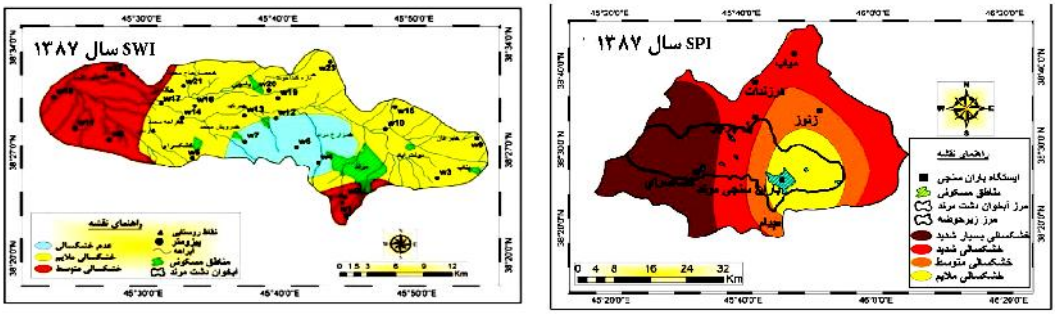
Figure 3. Condition of Droughts and Wetness Sample piezometers (Ghareh Ghom)in different time scales

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

به منظور ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی روی تراز آب‌های زیرزمینی، ابتدا با استفاده از مقادیر سالانه شاخص‌های بارش استاندارد و سطح آب استاندارد پهنه‌بندی خشکسالی‌های هواشناسی و افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در سطح منطقه انجام شد که برای نمونه سال‌هایی که بارندگی مناسب باعث کاهش برداشت‌شده است همچنین سالی که خشکسالی باعث افزایش برداشت‌شده است آورده شده است. فرآیند 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 اثر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک و به‌ویژه آب‌های زیرزمینی است ازنظر مدیریت منابع آب در یک حوزه از اهمیت زیادی برخوردار است و نتایج آن می‌تواند مورد استفاده مدیران و برنامه‌ریزان در این بخش قرار گیرد.

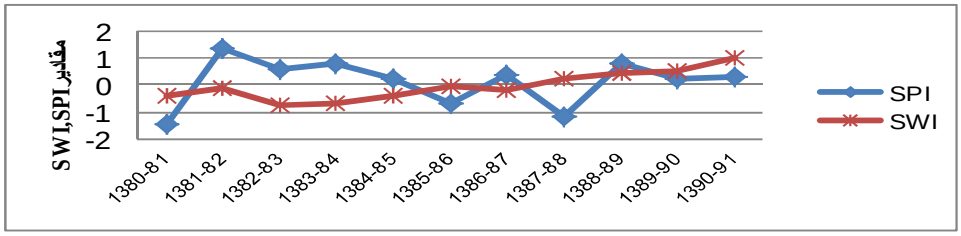


شکل ۴- کاهش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در نتیجه بارندگی مناسب در منطقه
Figure 4. Decrease withdrawals from the aquifers as a result of good rainfall in the region



شکل ۵- افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در نتیجه بروز خشکسالی در منطقه
Figure 5. Increase withdrawals from the aquifers as a result of drought in the region

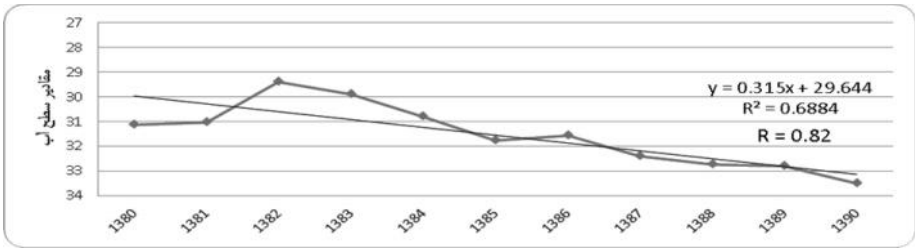
با توجه به مقادیر سالانه شاخص‌های بارش استاندارد و سطح آب استاندارد (در شکل ۴ و ۵) و همچنین شکل ۶، مشاهده می‌شود که طی یک دهه گذشته دو دوره خشکسالی شدید (۸۱-۱۳۸۰ و ۸۸-۱۳۸۷) اتفاق افتاده که خشکسالی ۸۱-۱۳۸۰ به‌طور محسوسی بر سطح آب در آبخوان دشت مرند تأثیر گذاشته است، اما به دلیل بارندگی‌های مناسب در سال‌های بعد نیاز آبی منطقه تأمین‌و میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی کم شده است. دومین خشکسالی شدید در منطقه مربوط به سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ می‌باشد. این خشکسالی در حقیقت از سال ۸۶-۱۳۸۵ آغازشده به دلیل اینکه سال‌های بعد بارندگی چشم‌گیری در منطقه رخ نداده است، در سال ۸۸-۱۳۸۷ به اوج شدت خود رسیده است.به دلیل تأمین نشدن نیاز آبی منطقه، میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی افزایش پیداکرده و تا پایان دوره آماری ادامه داشته است.



شکل ۶- نمودار مقایسه مقادیر سالانه SPI و SWI
Figure 6. Comparison Chart of annual amount SPI & SWI

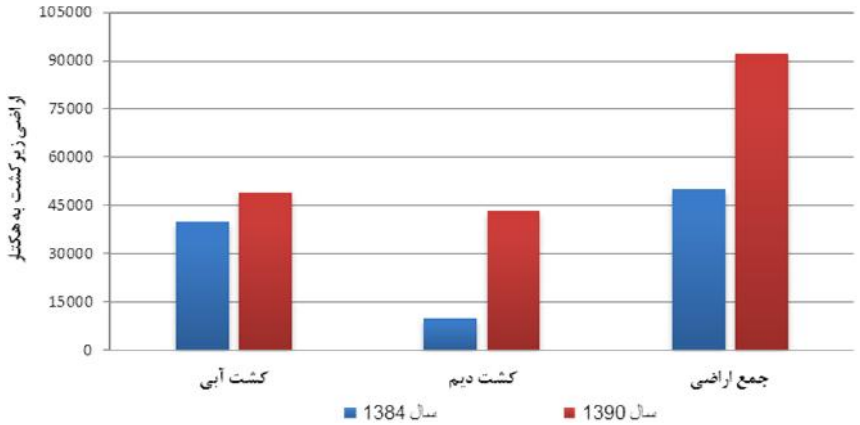
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

با محاسبه خط روند هیدروگرافسالانه (شکل ۷) که در اصل این هیدروگراف متوسط وزنی سطح ایستابی می‌باشد، مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی بین سطح آب سالانه و زمان ۰/۸۲ درصد می‌باشد. این در حالی است که سطح آب در منطقه مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۱۱ ساله، حدود سه متر افت داشته و مقدار افت سالانه حدود ۳۰ سانتی‌متر در سال بوده است.



شکل ۷- هیدروگراف سالانه آب زیرزمینی دشت مرند (سال‌های ۹۰-۱۳۸۰)
Figure 7. Annual Hydrograph of Groundwater in Marand plain

با توجه به داده‌هایی که از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی اخذ گردید مشخص شد که افزایش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در شهرستان مرند در سال‌های اخیر با توجه به کاهش بارندگی باعث افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۸۴ حدود ۴۰۰۷۸ (هکتار) برابر با ۱۰/۸۲ درصد از اراضی کشاورزی مرند به کشت آبی اختصاص داشته که این میزان در سال ۱۳۹۰ به حدود ۴۸۹۸۹ (هکتار) برابر با ۱۱/۸۱ درصد تغییر کرده که نشان‌دهنده ۲۲/۲۳ درصد رشد می‌باشد. بر همین اساس مساحت اراضی زیر مشت دیم این شهرستان در سال ۱۳۸۴ حدود ۹۹۷۴ (هکتار) برابر با ۲/۰۱ درصد بوده که این میزان در سال ۱۳۹۰ به حدود ۴۳۳۶۳ (هکتار) برابر با ۵/۳۷ درصد تغییر کرده که ۳۳۴/۷۶ درصد رشد را نشان می‌دهد. هم‌چنین جمع اراضی زیرکشت شهرستان مرند در سال ۱۳۸۴ حدود ۵۰۰۵۲ هزار هکتار (۵/۷۷ درصد) و در سال ۱۳۹۰ حدود ۹۲۳۵۲ هزار هکتار (۷/۵۶ درصد) بوده که ۸۴/۵ درصد رشد را نشان می‌دهد.



شکل ۸- تغییرات اراضی زیرکشت شهرستان مرند طی دوره زمانی ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۰
Figure 8. Changes in land under cultivation Marand city (2005-2011)

به‌منظور تعیین ارتباط بین بارش‌های ماهانه و نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت، ضرایب همبستگیبین بارش ماهانه و نوسان ماهانه سطح آب بهدست آمد. ضرایب همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و بارش‌های یک تا هفت ماه قبل به ترتیب در جدول (۴) ارائه شد. با توجه به اینکه اعداد بزرگ‌تر مربوط به سطح آب زیرزمینی، نشان‌دهنده افت سطح ایستابی می‌باشند در این صورت با کاهش بارندگی شاهد افزایش برداشت و کاهش سطح آب هستیم. در نتیجه ضرایب همبستگی‌های مربوط به بارندگی و سطح آب به دست آمده منفی بوده که در واقع نشان‌دهنده ارتباط مستقیم این دو می‌باشند. این ضرایب نشان می‌دهند که بارش پنج ماه قبل بالاترین ضریب همبستگی را با سطح آب زیرزمینی دارد. این ضریب همبستگی در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

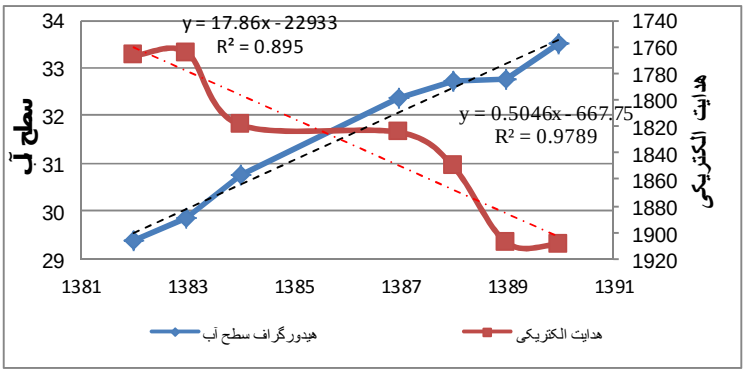
جدول ۴- ضرایب همبستگی بین بارش‌های ماهانه و سطح آب زیرزمینی

Tabale 4. The correlation coefficient between monthly precipitation and ground water level

بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه همزمان	بارندگی ماهانه یک ماه قبل	بارندگی ماهانه دو ماه قبل	بارندگی ماهانه سه ماه قبل	بارندگی ماهانه چهار ماه قبل	بارندگی ماهانه پنج ماه قبل	بارندگی ماهانه شش ماه قبل
ضریب همبستگی	-۰/۱۹۹	-۰/۲۴۴**	-۰/۲۹۰**	-۰/۶۳۵**	-۰/۷۱۲**	-۰/۷۲۰**	-۰/۶۶۷**
تعداد مشاهدات	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱

** و *: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

کاهش بارندگی و بهره‌برداری بیش از حد مجاز از سفره آب زیرزمینی برای مصارف گوناگون باعث افت شدیدی در سطح آب زیرزمینی شده و این به نوبه خود باعث نزول کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. شکل ۹ ارتباط هیدروگراف واحد (متوسط سطح آب زیرزمینی) و متوسط هدایت الکتریکی را به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی را نشان داده و مشاهده می‌شود که با افزایش برداشت و افت سطح ایستابی متوسط تغییرات هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد و برعکس.



شکل ۹- رابطه هیدورگراف واحد سطح آب زیرزمینی و متوسط هدایت الکتریکی در دشت مرند

Figure 9. Relationship between hydrograph of groundwater level and average electrical conductivity in Marand Plain

تمام آب‌های زیرزمینی موجود در منطقه مورد مطالعه، از بارش و بارندگی منشأ می‌گیرند و آب‌های زیرزمینی در منطقه جزیی از چرخه هیدرولوژیکی هستند. در بیش‌تر قسمت‌های منطقه، رابطه عمومی بین ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی و مقدار بارندگی و تبخیر بیانگر این موضوع است که آب‌های بی‌کربناته در مناطقی که بارندگی زیاد و تبخیر کم است، برتری دارند و هرچه به مناطق تبخیر و تخلیه نزدیک‌تر می‌شود، ترکیب آب‌ها کلر بیشتری خواهد داشت. با توجه به مسائل فوق، نقش سازندهای زمین‌شناسی، غیر قابل انکار می‌باشد. به‌طوری که بر روی ترکیبات آب زیرزمینی در طول مسیر جریان از منطقه تغذیه به منطقه تخلیه اثر گذاشته و ترکیب آن را تغییر می‌دهد و اثر این سازندها بسته به نوع و تشکیلات متفاوت است. برخی سازندها نظیر سازندهای آذرین و رسوبی ممکن است تأثیر چندانی بر روی کیفیت آب زیرزمینی نگذارند ولی برخی سازندها نظیر سازندهای مارنی، ژیپسی و نمکی تغییرات شدیدی را در کیفیت آب زیرزمینی خواهند گذاشت. نظیر این مورد را می‌توان در مناطق شمالی و حاشی جنوب غربی دشت مشاهده نمود (۱).

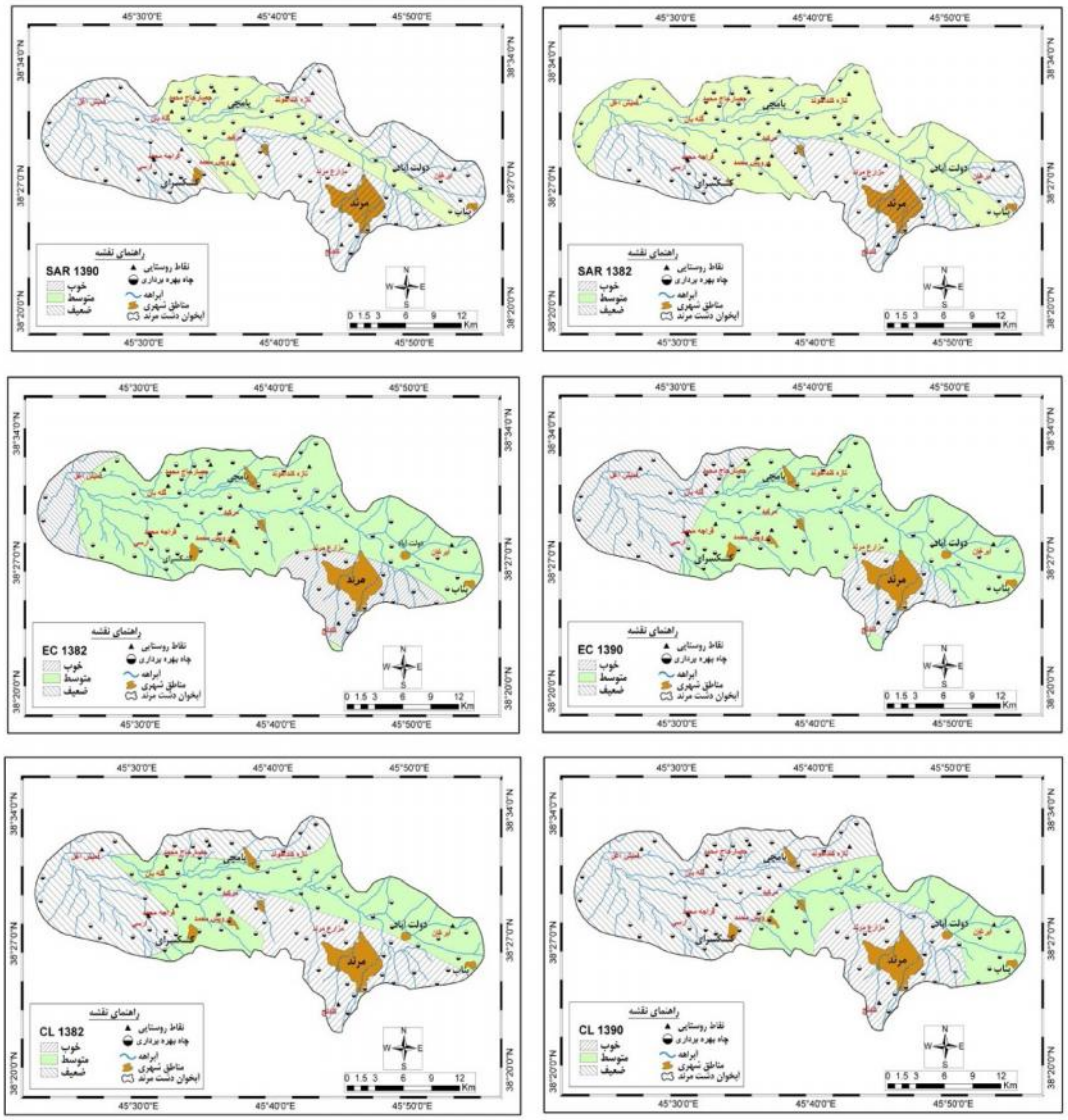
برای نشان دادن تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت مرند نسبت به نوسان سطح ایستابی، در این قسمت به‌عنوان نمونه، ابتدا مقادیر مربوط به ماه خرداد سال‌های ۱۳۸۲، به‌عنوان سالی که به دلیل بارندگی مناسب سطح ایستابی افزایش‌یافته و مقادیر خرداد ماه مربوط به سال ۱۳۹۰ به‌عنوان سالی که به دلیل جبران نشدن نیاز آبی منطقه به دلیل خشکسالی و افزایش برداشت، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است، برای مقادیر نسبت جذبی سدیم (SAR)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و کلر (CL) موردبررسی قرار گرفتند که نتایج به‌صورت نقشه (شکل ۱۰) و همچنین مساحت تغییر پارامترهای کیفی دشت مرند به صورت درصد در جدول ۵ نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

جدول ۵- درصد مربوط به مقادیر SAR، EC و Cl در خرداد ماه سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰

Tabale 5. Percent of the amount of SAR, EC Cl in June 2003 & 2011

سال	مقادیر	درصد مساحت SAR	درصد مساحت EC	درصد مساحت Cl
	خوب	۸۱/۲۳	۱۵/۴۵	۲۶/۶۸
۱۳۸۲	متوسط	۵۹/۵۷	۷۷/۰۸	۴۱/۴۹
	ضعیف	۵۸/۱۸	۷/۴۶	۳۱/۸۱
	خوب	۷۳/۲۵	۱۱/۸۶	۵۹/۲۲
۱۳۹۰	متوسط	۴۵/۲۷	۶۲/۰۴	۷۸/۲۷
	ضعیف	۸۰/۴۶	۲۶/۰۸	۶۱/۴۹



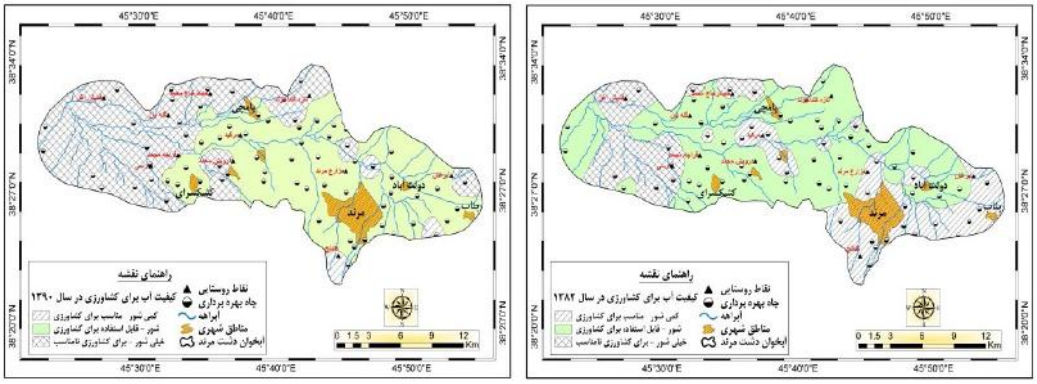
شکل ۱۰- گستره مقادیر SAR، EC و Cl در خرداد ماه سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰

Figure 10. Rang of values SAR, EC and CI at Jun 2003 & 2011

با بررسی توزیع مکانی کیفیت آب ازنظر کشاورزیبر اساس دیاگرام ویلکاکس در سال‌هایی که برداشت از سطح آب‌خوان کم بوده است مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مساحت آب‌خوان دشت مرند ازنظر کشاورزی، دارای کیفیت شور تاکمی شور می‌باشد و برای کشاورزی مناسب است. در این سال‌ها به دلیل بارندگی‌های مناسب و بالا بودن سطح ایستابی، کیفیت آب نیز در سطح مناسبی ازنظر کشاورزی می‌باشد. قسمت شرق آب‌خوان درخردادماه هر دو سال مورد مطالعه کم‌ترین میزان شوری را دارا می‌باشد، اما در سال ۱۳۹۰ از میزان مساحت آب‌های مناسب برای کشاورزی به‌شدت کم شده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

است و به‌طرف خروجی آب‌خوان کیفیت آب‌ها برای مصارف کشاورزی نامناسب شده است. بیش‌ترین مساحت مربوط به کیفیت خیلی شور حدود ۴۴ درصد در خرداد ماه سال ۱۳۹۰ بوده است.



شکل ۱۱- کیفیت آب زیرزمینی از نظر کشاورزی بر مبنای دیاگرام ویلکاکس در خرداد ماه سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰
Figure 11. Groundwater quality in terms of agriculture based on Wilcox diagram at Jun 2003 & 2011

از بررسی نقشه‌های به‌دست‌آمده بر اساس دیاگرام ویلکاکس، می‌توان نتیجه گرفت که به‌طرف غرب آب‌خوان کلاس مربوط به آب‌های خیلی شور به‌ویژه در خرداد ۱۳۸۲ از حدود ۱۷/۲۷ به حدود ۴۴/۰۱ در سال ۱۳۹۰ افزایش‌یافته است که بیانگر کیفیت ضعیف به‌منظور آبیاری کشاورزی می‌باشد. مقایسه تغییرات درازمدت کیفیت آب، نامناسب بودن آب‌های زیرزمینی از نظر کشاورزی، به‌ویژه در غرب آب‌خوان و در سال ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. نتایج بررسی سطح آب زیرزمینی دشت مرند نشان می‌دهد که اثرات بارندگی بر روی نوسانات آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت بوده. به طوریکه وقوع خشکسالی شدید در سال ۱۳۸۶ و عدم جبران بارندگی باعث افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی برای جبران نیاز آبی منطقه شده است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع خشکسالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی در دشت مرند حاکم بوده و روند صعودی خشکسالی‌ها و به دنبال آن تغییر کیفیت آب از جهات گوناگون کاملاً مشهود است. این موضوع به مدیریت منابع آب در حوزه مورد مطالعه کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشکسالی، راهکار مناسبی ارائه کرد. با توجه به اینکه عامل آب و هوا بیش‌ترین تأثیر را درافت سطح ایستابی طی سال‌های اخیر داشته، ولی این بحران حاصل مجموعه عواملی ازجمله برداشت‌های بی‌رویه در اثر افزایش سطح زیرکشت، است که خود معلولی از خشکسالی می‌باشد. بنابراین، چون روند تغییرات سطح ایستابی با تغییرات خشکسالی هم‌خوانی دارد، می‌توان نتیجه گرفت که افت سطح ایستابی دشت مرند عمدتاً تحت تأثیر خشکسالی می‌باشد که این نتیجه با نتایج تحقیقات نادریان‌فر و انصاری (۲۳)، خوشحال و همکاران (۱۶) و محمدی قلعه‌نی و همکاران (۲۰) هم‌خوانی داشته و با نتیجه تحقیق دانشور وثوقی و همکاران (۹) مغایر می‌باشد.

با توجه به تأثیر عوامل مختلف بر تغییر کیفیت آب زیرزمینی مشخص شد که برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی مهم‌ترین دلیل برای تغییر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت مرند می‌باشد. نمودار مقایسه تغییر پارامتر EC با نوسان سطح آب بیانگر این موضوع می‌باشد. که این نتیجه با پژوهشی که علاف نجیب (۱) به منظور بررسی هیدرولوژیکی دشت مرند انجام داده است هم‌خوانی دارد. از نظر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نتایج بررسی ۷۰ حلقه چاه بهره‌برداری نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی دشت مرند بر اساس شاخص‌های قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کلر (CL) به لحاظ درجه در طبقه خوب، تنها در اطراف شهرمرند می‌باشند. از مرکز آبخوان به‌طرف خروجی (غرب آبخوان) از کیفیت آب زیرزمینی کاسته شده به‌طوری‌که در انتهای آب‌خوان به آب‌های خیلی شور تبدیل می‌شوند. این وضعیت در دوره‌هایی که برداشت از آب‌خوان افزایش یافته است بسیار تشدید شده است. نتایج تحقیق در منطقه نشان داد که بین خشکسالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی یک تأخیر زمانی پنج ماهه وجود دارد، که در مقایسه با سایر نتایج تأخیر زمانی به این صورت می‌باشد، در نتیجه عزیزی (۴) در دشت قزوین تأخیر دو الی سه ماه، محمدی و شمسی پور (۲۱) در دشت‌های شمال همدان تأخیر ۹ ماهه، اسلامیان و همکاران (۱۱) در دشت بوئین تأخیر سه ماهه، ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۷) در حوزه چغلوندی تأخیر یک ساله و محمدی قلعه‌نی و همکاران (۲۰) در دشت ساوه تأخیر پنج ماهه بین دو خشکسالی هواشناسی و آب های زیرزمینی را به دست آورده‌اند. وقوع بارندگی پایین‌تر از نرمال در منطقه باعث می‌شود با توجه به مصارف بالای آب زیرزمینی به‌منظور مصارف کشاورزی، در یک بازه زمانی نه‌چندان طولانی بر منابع آب زیرزمینی تأثیر گذاشته و به دنبال آن کاهش کیفیت را به همراه داشته باشد. آگاهی از این مسئله می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای مدیریت بهینه منابع آب کمک زیادی کند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

منابع

1. Alaf Najib, M. 2002. Hydrology of Marand Plain and Effect of Water Level Changes on Groundwater Quality, M.A thesis, Sistan and Baluchistan University, 1-100 (In Persian).
2. Alizadeh, A. 2005. Principles of Applied Hydrology, Publication of Imam Reza (AS), 18th Ed, 1-800 (In Persian).
3. Asadi, M.A., M.R. Kousari, M. Fallahpour and T. Shrghi. 2009. Drought Analysis by Standardized Precipitation Index (SPI) for Different Time Scales, Shahrood, Iran: 1-10 (In Persian).
4. Azizi, Gh. 2003.Relationship of Recent Droughts and Groundwater Sources in Qazvin Plain, Journal of Geography Researches, 46: 131-146 (In Persian).
5. Banejhad, H. and H. Mohebzadeh. 2012. Assessment of Groundwater Quality of Razan-Nahavand Plain for Providing Water for Agriculture by GIS, Journal of Geographical Space, 38: 99-110 (In Persian).
6. Barooti, H., R. Fazli and S. Emam Golizadeh. 2009. Analysis and Monitoring Drought Phenomena Using SPI Index at the Qazvin Province, International Conference of Water Resources, Shahrood Technology University, Shahrood, 1-9 (In Persian).
7. Bazrafshan, J. 2002. Comparative Study of Meteorological Drought Indices in Some Samples of Iran Climate, M.Sc. Thesis Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture. Tehran University: 1-120 (In Persian).
8. Bhuiyan C., R.P. Singh and F.N. Kkogan. 2006. Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remote Sensing Data, International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information, 8: 289-302.
9. Daneshvar Vousoughi, F., Y. Dinpashoh, M.T. Alami. 2011. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case Study: Ardabil Plain), Journal of Water and Soil Knowledge, 21: 165-179.
10. Davar panah, GH.R. 2004. The Effects of Floods and Droughts and Solutions to Deal within, Journal of Water and Wastewater, 1: 73-76 (In Persian).
11. Eslamian, S., M. Nasry and N. Rahimi. 2009. Wet and Dry Periods and its Effects on Water Sources Changes in Buin Plain Basin. Journal of Geography and Environmental Planning, 20: 75-90 (In Persian).
12. Hajrasouliha, Sh. 2003. Water Quality for Agriculture (Translation), Academic Publishing Center, Tehran, 12nd Ed., 263 (In Persian).
13. Hallberg, G.R. and D.R. Keeney. 1993. Nitrate. In Regional Ground-Water Quality, W.M. Alley (Editor). Van Nostrand Rein hold, New York, New York: 297-322.
14. Harasi, S., A. Asghari Moghadam and H. Seddigh. 2011. Investigation of Changes in Groundwater Quality Due to a Drop in the Water Table Azarshahr Plain, The Thirtieth Meeting of Earth Sciences, Geological Organization & Mineral Explorations, Tehran: 1-6 (In Persian).
15. Khan, S., H.F. Gabriel and T. Rana. 2008. Standard Precipitation Index to Track Drought and Assess Impact of Rainfall on Water Tables in Irrigation Areas, Irrigation and Drainage Systems, 22: 159-177.
16. Khoshhal, J., H.A. Ghayoor and M. Moradi. 2012.A Survey on the Impact of Groundwater Drought in Dehgolan Basin, Kurdistan Province, Researches of Physical Geography, 79: 19-36 (In Persian).
17. Maleki nejhad, H. and M. Soleymani Motlagh. 2011. Assessing the Severity of Climatic and Hydrologic Droughts in Chaghalvandi Basin, Journal of Iran Water Research, 5: 61-72 (In Persian).
18. Malins, D. and G. Metternicht. 2006. Assessing the Spatial Extent of Dry Land Salinity through Fuzzy Modeling. Ecological Modeling, 193: 387-411.
19. Mckee B.T., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim CA, American Meteorological Society, 179-184.
20. Mohammadi Ghaleni, M., K. Ebrahimi and SH. Eraghinejhad. 2012. Evaluation of Climate Factors on Decrease of Groundwater Sources of Saveh Plain Aquifer, Journal of Soil and Water Conservation, 19: 189-201 (In Persian).
21. Mohamadi, H.M. and A.A. Shamsipour. 2003. Impact of Recent Droughts in Declining Ground water Northern Plains of Hamadan, Journal of Geography Researches, 45: 115-130 (In Persian).
22. Mohamadi, M., H.R. Moradi and M. Vafakhah. 2008. Determining Ground water Drought of Arak Plain by SWI and GIS, Third Conference of Iran Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz: 1-6 (In Persian).
23. Naderianfar, M. and H. Ansary. 2011. Evaluation of Effects of Intensity-Duration Drought on Groundwater Level Changes (Case Study: Nyshapoor plain). Journal of Water Resources Engineering, 4: 1-15 (In Persian).
24. Organization of Agriculture of East Azerbaijan, Statistical Landscape, 2005-2011: 1-200 (In Persian).
25. Panda. D., A. Mishra, S.K. Jason, B.K. James and A. Kumar. 2007. The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Level in Orissa, India, Journal of Hydrology, 343: 140-153.
26. Yaouti, F.E.L., A.E.L. Mandour, D. Khattach, J. Benavente and O. Kaufmann. 2009. Salinization Processes in the Unconfined Aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A Geostatistical, Geochemical, and Tomographic Study, Applied Geochemistry, 24: 16-31.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]

Investigate the Effect Meteorological and Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain)

Batool Zeinali[1], Mojtaba Faridpour[2] and Sayyad Asghari Saraskanroud[3]

1- Assistant Professor, University of Mohaghegh Ardabili (Corresponding author: zeynali.b@uma.ac.ir)
2 and 3- PHD student and Assistant Professor, University of Mohaghegh Ardabili
Received: January 8, 2015 Accepted: October 14, 2015

Abstract

The studied area in this study is Marand plain with an area equivalent to 517.42 square kilometers in the North West of East Azerbaijan province. In this research, consecutive periods of meteorological and hydrogeological droughts were detected by SWI and SPI drought index at 6 periods (6, 9, 12, 18, 24 and 48 months). For this purpose was used monthly precipitation mean of 7 rain-gauge stations in period (1980-2012), Water quality data of 70 wells and monthly water levels data of 23 piezometers wells in period 2001-2011.Results of SPI index indicated that in the studied area, severe drought has occurred in 2007 year and regional wate/r requirement has not been supplied until the end of the studied years. Also SWI index results is indicator of increased extraction of groundwater for compensate of plain water requirement that have been followed fell about three meters of groundwater. Pearson's correlation between the meteorological drought and groundwater levels is significant at the 1% level of confidence and show influence of groundwater resources with a 5-month delay. Quality of groundwater chemistry based on the electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR) and chlorine (Cl) showed that Changes in water quality in a wide range of Marand plain has been occurred cause of increasing the area under cultivation and increasing extraction. The results obtained from diagram Wilcox showed that about 44 percent of the area of groundwater Plains is in classes C1S4 to C4S1 and is a salty for agriculture.

Keywords: Diagram Wilcox, Groundwater quality, Marand plain, SPI index, SWI index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.26.8]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.187]