دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# پایش تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های GRI و SWI (مطالعه موردی: دشت ساری- نکا)

**سیدحسین روشان[1] و محمود حبیب‌نژاد روشن[2]**

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران (نویسنده مسوول: h.roshun@stu.sanru.ac.ir)
۲- استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۸

**چکیده**

**کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش برداشت از طریق چاه‌های عمیق جهت کشاورزی، افزایش دما و تبخیر و تعرق، تغییرات اقلیمی و تغییر نوع بارش موجب کاهش تراز و افت سطح آب‌های زیرزمینی شده که از آن به عنوان خشکسالی آب‌های زیرزمینی یاد می‌شود. شناسایی، پایش و بررسی خصوصیات خشکسالی در برنامه‌ریزی منابع آب بسیار مهم است. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های منبع آب زیرزمینی GRI و سطح آب استاندارد شده SWI در محدوده دشت ساری- نکا می‌باشد. برای این منظور، داده‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی ٤٠ حلقه چاه پیزومتری از سال ١٣٦٤ تا ١٣٩٤ مورد تحلیل قرار گرفت. سپس شاخص‌های GRI و SWI برای مقیاس‌های زمانی ۳، ٦، ۹، ۱۲، ۱۸، ٢٤ و ٤٨ ماهه در نرم‌افزارهای Minitab و M.S Excel محاسبه گردید. گستره مکانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت مورد مطالعه از روش IDW در نرم‌افزار ArcMap 10.3 بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که شدیدترین خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ ماه در شاخص GRI در شهریور ماه ١٣٩٤ با مقدار ۳/۹۳- و در شاخص SWI در مهر ماه ١٣٩٤ با مقدار ٤/٨٦ رخ داده است. تغییرات مکانی خشکسالی بیان کننده وقوع خشکسالی در بخش‌های شمالی دشت بوده که مربوط به مرداد ماه سال ١٣٨٤ می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان دادند که مرداد ماه دارای بیشترین مقدار پهنه خشکسالی و بهمن ماه دارای کمترین مقدار آن می‌باشد، که مهم‌ترین عامل آن برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی برای کشاورزی می‌باشد.**

**واژه‌های کلیدی: دشت ساری- نکا، خشکسالی آب زیرزمینی، روش IDW، شاخص GRI، شاخص SWI**

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی در سطح جهان همیشه یکی از مطمئن‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز بشر بوده است. این منابع به دلیل اینکه دارای ثبات نسبتاً مناسبی در کمیت و کیفیت خود هستند، همیشه مورد توجه بوده‌اند. همچنین این منابع به عنوان یکی از منابع طبیعی با ارزش (۱۳) و مهم آبی جهان است که به‌طور گسترده برای اهداف کشاورزی، خانگی و فعالیت‌های صنعتی استفاده می‌شود (۲۲،۱۱). افزایش جمعیت، استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی، بارش نامنظم در نتیجه تغییرات اقلیمی اثر منفی بر روی پتانسیل آب‌های زیرزمینی دارد. تعیین پتانسیل آب زیرزمینی هر حوزه آبخیز برای پایش منظم تغییرات سطح آب بسیار مهم است (۲۴). با این حال، برداشت بی‌رویه و مدیریت ضعیف منجر به مشکلات تخلیه شدید آب زیرزمینی و بدتر شدن کیفیت آن می‌شود (۲۷،۱۷). علاوه بر این، تغییرات در کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی منجر به پیامدهای شدید زیست محیطی و اجتماعی- اقتصادی می‌شود (۱۲). کاهش پیوسته سطح آب زیرزمینی در نتیجه بهره‌برداری بیش از اندازه یا کاهش تغذیه در بسیاری از مناطق دنیا موجب کاهش ذخایر آب زیرزمینی در مقیاس بزرگ شده است (۲۵). تخلیه آب‌های زیرزمینی و افت سطح آن به عنوان جزئی از خشکسالی هیدرولوژیکی به‌شمار می‌رود (۸). خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی غالباً به عنوان یک پدیده خزنده توصیف می‌شود و توصیف زمانی و مکانی آن بسیار مشکل است (۳) و بر خلاف خشکی که پدیده‌ی دائمی اقلیمی است، خشکسالی در مناطق خشک و مرطوب نیز رخ می‌دهد و حالت طبیعی و نرمال از اقلیم می‌باشد (۶). خشکسالی را به چهار نوع اصلی یعنی خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی می‌توان دسته‌بندی کرد (۲۹،۸،۹). خشکسالی آب زیرزمینی (GWD)[1] شرایط خطر آب‌های زیرزمینی در طی یک خشکسالی هواشناسی طولانی مدت را نشان می‌دهد که خود باعث کاهش، غیرقابل دسترس و غیرقابل استفاده شدن منابع آب‌های زیرزمینی برای استفاده انسان می‌شود. اصطلاح خشکسالی آب زیرزمینی برای توصیف وضعیت مکانی است که سطح منابع آب زیرزمینی به عنوان پیامد مستقیم خشکسالی، افت پیدا می‌کند (۲۸). زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، ابتدا تغذیه، سپس سطح آب زیرزمینی و نهایتاً تخلیه‌ی آب زیرزمینی کاهش می‌یابد که این نوع خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند و در اصل در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه اتفاق می‌افتد (۲۳). برای تعیین ویژگی‌های خشکسالی تاکنون شاخص‌های متعددی ارائه شده است. این شاخص‌ها بر مبنای یک یا چند متغیر اقلیمی محاسبه می‌شوند. از معروف‌ترین شاخص‌های خشکسالی می‌توان به شاخص‌های خشکسالی PDSI، CMI، SWSI، شاخص دهک (Deciles Index)، SPI، SMDI، CSDI، RI، RAI، RDI، ERI، BMDI و PNI (۳۰)، SWI (۴) و GRI (۱۹) اشاره کرد. بیشتر شاخص‌های خشکسالی در منابع آب سطحی و

1 - Groundwater Drought

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

رودخانه‌ها استفاده شده و کمتر بر وضعیت منابع آب زیرزمینی تمرکز دارند (۱۹). در زمینه استفاده از شاخص‌های آب‌های زیرزمینی مطالعاتی در کشورمان و سایر نقاط جهان انجام شده است. بویان و همکاران (۶) در بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله SWI و SPI بر اساس داده‌های سنجنده‌ها و داده‌های زمینی و شاخص SPI نشان دادند که وجود خشکسالی هواشناسی در یک دوره زمانی خاص، دلیلی بر وقوع خشکسالی هیدرولوژیک نیست. ادیکاری و همکاران (۱) در تحقیقی با بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در شمال شرق بنگلادش به این نتیجه رسیدند که به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی شدت خشکسالی هیدروژئولوژیکی افزایش یافته است. عزین و همکاران (۱۰) با استفاده از سه شاخص SPI، SWI و SVI به بررسی خشکسالی در منطقه نیمه خشک مدیترانه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین SPI و SWI همبستگی خوبی وجود دارد و هماهنگی بین دو شاخص SVI و SWI بیشتر از شاخص‌های SVI و SPI می‌باشد. محمدی و همکاران (۲۰) به تعیین خشکسالی آب زیرزمینی در دشت اراک با استفاده از شاخص SWI[1] با رویکرد GIS پرداختند، آن‌ها شاخص SWI را در مقیاس زمانی ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که در دشت اراک، خشکسالی و استرس سفره‌های آبی در نقاط مختلف ایجاد شده و روند مشخصی ندارد و اوج شدت آن در جنوب دشت اراک بوده است. ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۸) شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک را در حوزه چغلوندی را با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده افزایش شدت و تداوم خشکسالی هیدرولوژیک آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده و پهنه بندی خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه گویای شدت بالای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در قسمت جنوبی و مرکز حوزه است. کریمی‌راد و همکاران (۱۵) اثر نوسانات اقلیمی بر سفره‌های آب زیرزمینی چندلایه را در دشت گرگان مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور آبخوان دشت مورد نظر با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و هیدرولوژی DI، PNI، SPI و GRI و روش تحلیل هم‌بستگی بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان دادکه پاسخ سفره‌ها در برابر وقوع خشکسالی هواشناسی متفاوت است و SPI بلند مدت ۱۸ ماهه برای سفره آزاد و ۴۸ ماهه برای سفره تحت فشار، بیشترین ارتباط را با نوسانات آب زیرزمینی داشته است. احمدی آخورمه و همکاران (۲) خشکسالی آب زیرزمینی آبخوان مرودشت خرامه استان فارس را با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش مقیاس‌های زمانی تداوم، شدت و فراوانی آن نیز بیشتر می‌شود طوری که شدیدترین خشکسالی در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در شاخص GRI در مهر ماه ۱۳۹۰ با مقادیر ۱/۹۴- و در شاخص SWI در شهریور ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۸ رخ داده است. همچنین در منطقه مورد مطالعه خشکسالی آب زیرزمینی رخ داده است. شفیعی و همکاران (۲۶) به‌منظور پایش خشکسالی دشت ارژن- پریشان از شش شاخص خشکسالی SPI، CZI، MCZI، ZSI، PN و DI در ۵ ایستگاه برگزیده پیرامون دریاچه و در سه مقیاس زمانی کوتاه مدت (۳ ماهه)، میان مدت (۱۲ ماهه) و بلند مدت (۴۸ ماهه) استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های SPI، CZI، MCZI و ZSI در همه ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی کوتاه مدت رخداد خشکسالی‌های شدید را با فراوانی و ماندگاری کم، و خشکسالی‌های ملایم و متوسط را با فراوانی و ماندگاری بیشتر نشان دادند. با افزایش مقیاس زمانی، خشکسالی‌های شدید با فراوانی کم، ولی ماندگاری بالا رخ دادند. نمایه‌های DI و PN، به ویژه در مقیاس زمانی کوتاه مدت، تغییرات رطوبتی را خیلی سریع و شدید منعکس کردند. خسروی و همکاران (۱۶) به بررسی روند زمانی و مکانی شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI)[2] دشت یزد اردکان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شدیدترین خشکسالی سالانه مربوط به سال ۱۳۹۰ می‌باشد و تغییرات زمانی شاخص GRI نشان‌دهنده بدتر شدن وضع آبخوان دشت یزد اردکان است. کریمی و همکاران (۱۴) به ارزیابی انواع روش‌های درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در دشت ساری- نکا پرداختند. آنان جهت ارزیابی خشکسالی هواشناسی از آمار ۱۰ ایستگاه هواشناسی موجود در دشت ساری- نکا و شاخص‌های خشکسالی RAI، ZSI، CZI و PNPI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها بعد از سال ۱۳۷۷ خشکسالی هواشناسی شدت یافته است و شدیدترین خشکسالی طبق مقادیر به‌دست آمده از هر یک از شاخص‌ها در سال ۱۳۸۴ رخ داده است. همچنین در بین انواع روش‌های درون‌یابی دو روش کریجینگ ساده برای شاخص‌های SPI، ZSI و CZI و برای شاخص PNPI روش تابع شعاعی به عنوان مناسب‌ترین روش از بین سایر روش‌های درون‌یابی انتخاب شدند. با توجه به اینکه اغلب مطالعات در زمینه بررسی خشکسالی منطقه مورد مطالعه اغلب خشکسالی هواشناسی را مورد تحقیق و بررسی قرار داده‌اند و تحقیقات صورت گرفته مرتبط با خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های GRI و SWI کمتر انجام شده بود. در این تحقیق پایش تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI انجام گرفته است همچنین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی هر کدام از شاخص‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه انجام و قابلیت‌های این شاخص‌ها در جهت پایش خشکسالی آب زیرزمینی جهت مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی نشان داده شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

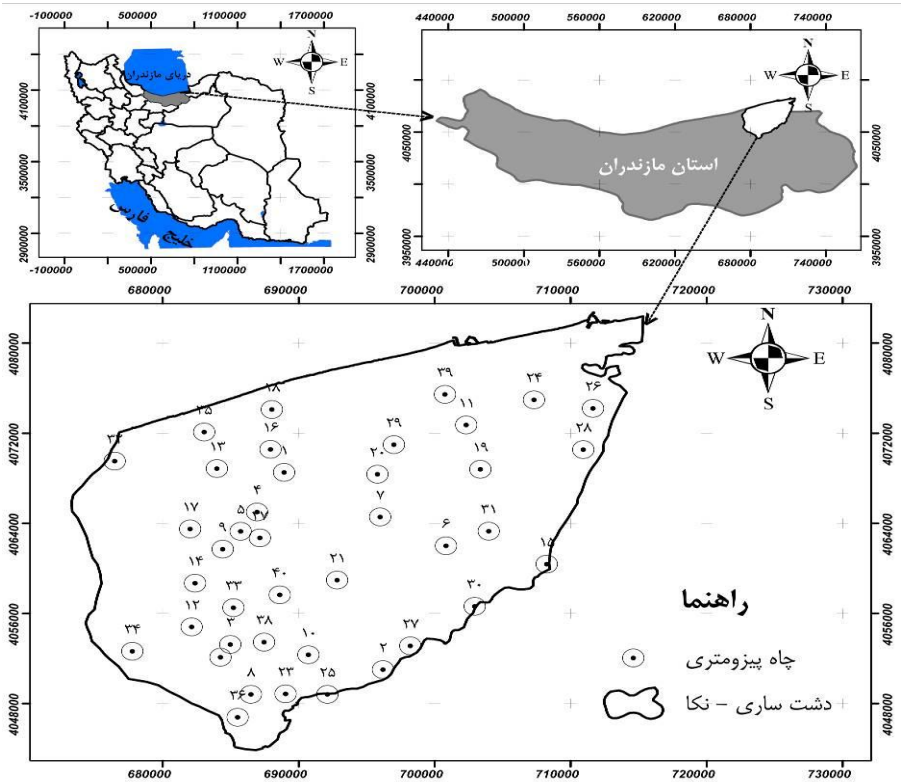
دشت ساری- نکا در شهرستان‌های ساری و نکا، استان مازندران واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این دشت بین طول شرقی "۱۴ '۳۷ °۵۲ تا "۱۵ '۰۹ °۵۴ و عرض شمالی "۲۸ '۵۱ °۳۵ تا "۰۳ '۱۱ °۳۷ می‌باشد. این منطقه از شمال به دریای مازندران، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از شرق به حوزه آبخیز شورش رستم کلا و از غرب به حد شرقی حوزه

1 - Standardise Water Index

2- Groundwater Resource Index

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

آبخیز رودخانه سیاه‌رود منتهی می‌شود. مساحت آن حدود ۹۵۱ کیلومتر مربع و محیط آن ۱۵۶ کیلومتر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارندگی سالیانه ۶۸۷/۱ میلی‌متر می‌باشد. دشت ساری- نکا از مهم‌ترین و بزرگترین آبخوان‌های استان مازندران بوده که بخش زیادی از آب مصرفی آن در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت استفاده می‌شود. مهم‌ترین ورودی و منابع تغذیه این آبخوان بارندگی سالانه و جریان رودخانه‌هایی است که از دشت عبور کرده و به دریای مازندران می‌ریزند. مهم‌ترین فعالیت‌ها در این دشت کشاورزی شامل مزارع برنج و باغات می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه‌های جاری در این دشت دو رودخانه دائمی تجن و نکارود است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این دشت در استان مازندران و کشورمان را نشان می‌دهد.




شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و کشور ایران

Figure 1. Geographical location of the case study in Mazandaran province and Iran country

## روش تحقیق

جهت انجام این تحقیق ابتدا داده‌های مربوط به سطح و تراز آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری دشت مورد نظر از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران اخذ گردید. در ادامه با کنترل کیفی و اصلاح و بازسازی داده‌ها و حذف داده‌های پرت با اجرای آزمون‌های آماری و پایش چاه‌های با دوره آماری طولانی مدت، ۴۰ چاه با طول دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۶۴-۱۳۹۴) انتخاب گردید. در نهایت به‌منظور تشخیص و پایش خشکسالی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شاخص‌های منبع آب زیرزمینی (GRI) و سطح آب استاندارد شده (SWI) در مقیاس‌های زمانی۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای کل چاه‌ها در نرم‌افزارهای M.S. Excel 2016 و Minitab محاسبه گردیدند. گسترش و تغییرات مکانی این دو شاخص و تعیین طبقه خشکسالی و تعیین مناطق خطر از نظر خشکسالی آب زیرزمینی با هدف مدیریت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد نظر با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش میان‌یابی فاصله وزنی معکوس (IDW) برای ۳ دهه (۱۳۷۴-۱۳۶۴)، (۱۳۸۴-۱۳۷۴) و (۱۳۹۴-۱۳۸۴) در دو ماه مرداد و بهمن انجام گردید.

### شاخص سطح آب استاندارد (SWI)

این شاخص کاهش آب سفره و تغذیه را به‌صورت غیرمستقیم اندازه می‌گیرد و در سال ۲۰۰۴ توسط بویان جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده (۴) و بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$SWI = \frac{W_{ij} \quad W_{im}}{\sigma}$$ رابطه (۱)

که در آن، $W_{ij}$: سطح ایستابی فصلی چاه‌های پیزومتری i تا j، $W_{im}$: میانگین فصلی سطح ایستابی و σ: انحراف معیار می‌باشد (۴). بر اساس این شاخص شدت خشکسالی در ۵ طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که مقادیر مثبت SWI نشان‌دهنده خشکسالی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده عدم خشکسالی یا شرایط نرمال است (جدول ۱).

### شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

این شاخص اولین بار توسط مندیسینو و همکاران (۱۹) در

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

کالابریای ایتالیا آزمایش و ارائه شد. تاکنون این شاخص به عنوان جدیدترین و کاربردی‌ترین شاخص با ۴۰ سال داده شبیه‌سازی شده آزمایش شده است (۲۱). جهت پایش خشکسالی آب‌های زیرزمینی از این شاخص به عنوان شاخص مفید و قابل اعتماد در ایران و سایر کشورهای دنیا به طور گسترده استفاده می‌شود (۷). مهم‌ترین قابلیت این شاخص همبستگی بالای آن با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوزه در پیش‌بینی خشکسالی‌های فصل تابستان می‌باشد. در این شاخص وضعیت سنگ‌شناسی حوزه تأثیر مهمی بر واکنش آب زیرزمینی حوزه در فصل تابستان نسبت به بارش‌های فصل زمستان دارد و به طور کلی مقادیر این شاخص تغییرات مکانی زیادی دارد و نسبت به خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز حساس می‌باشد (۱۹). شاخص GRI بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه (۲)

$$GRI = \frac{D_{y.m} \quad \mu_{D.m}}{\sigma_{D.m}}$$

که در آن، GRI: ارزش شاخص منبع آب زیرزمینی در ماه m از سال y، $D_{y.m}$: ارزش سطح ایستابی در ماه m از سال y، $\mu_{D.m}$: میانگین داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال، $\sigma_{D.m}$: انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال، بر اساس این شاخص شدت خشکسالی در ۵ طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که مقادیر آن برعکس شاخص SWI می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SWI و GRI (بویان و همکاران (۵)، مندیسینو و همکاران (۲۰))

Table 1. Severity classification of the SWI and GRI indices (Bhuiyan et al. (5), Mendicino et al. (20))

| طبقات خشکسالی | مقادیر SWI | مقادیر GRI |
|---|---|---|
| بدون خشکسالی | <۰ | >۰ |
| خشکسالی ملایم | ۰ – ۰/۹۹ | (-۰/۹۹) - ۰ |
| خشکسالی متوسط | ۱ - ۱/۴۹ | (-۱/۴۹) – (-۱) |
| خشکسالی شدید | ۱/۵۰ – ۱/۹۹ | (-۱/۹۹) – (-۱/۴۹) |
| خشکسالی بسیار شدید | ≥ ۲ | ≤ -۲ |

## نتایج و بحث

شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)، برای ۴۰ حلقه چاه پیزومتری دشت ساری- نکا در دوره آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ برای مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید که بخشی از نتایج آن در جداول ۲ و ۳ درج شده است.

جدول ۲- شدیدترین مقادیر GRI در چاه‌های مورد مطالعه

Tabl 2. The most severe GRI values in studied wells

| ردیف | نام چاه | بیشترین مقدار | مقیاس زمانی | ماه | سال | کمترین مقدار | مقیاس زمانی | ماه | سال |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | اسفندان | ۲/۸۸ | ۳ | آبان | ۱۳۸۵ | -۲/۷۸ | ۲۴ ماهه | دی | ۱۳۹۲ |
| ۲ | انجیل نسام | ۲/۲۲ | ۹ | آذر | ۱۳۷۷ | -۲/۱۶ | ۳ ماهه | آبان | ۱۳۸۱ |
| ۳ | اوجا محله | ۱/۶۴ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۷۳ | -۳/۲۴ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ |
| ۴ | آبمال | ۲/۳۲ | ۹ | آذر | ۱۳۸۷ | -۲/۲۶ | ۴۸ | خرداد | ۱۳۹۴ |
| ۵ | آکند | ۳/۶۵ | ۳ | فروردین | ۱۳۷۸ | -۲/۵۸ | ۲۴ | بهمن | ۱۳۹۲ |
| ۶ | بزمین آباد | ۳/۰۱ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۶۷ | -۲/۱۷ | ۳ | دی | ۱۳۸۷ |
| ۷ | پارک وحش | ۳/۳۱ | ۳ | خرداد | ۱۳۸۰ | -۲/۴۹ | ۳ | تیر | ۱۳۸۶ |
| ۸ | پل تجن | ۲/۳۸ | ۳ | دی | ۱۳۶۶ | -۲/۵۵ | ۳ | بهمن | ۱۳۸۰ |
| ۹ | پنبه زارکتی | ۲/۱۵ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۶۵ | -۱/۵۷ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۰ |
| ۱۰ | تارده | ۱/۲۶ | ۳ | خرداد | ۱۳۹۳ | -۲/۸۹ | ۴۸ | بهمن | ۱۳۶۹ |
| ۱۱ | تازه آباد | ۳/۱۳ | ۳ | آذر | ۱۳۸۱ | -۱/۸۹ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۱۲ | تجنک | ۱/۹۹ | ۶ | شهریور | ۱۳۷۴ | -۱/۵۱ | ۳ | بهمن | ۱۳۸۳ |
| ۱۳ | جره سر | ۲/۶۹ | ۳ | فروردین | ۱۳۷۸ | -۲/۶۸ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۱۴ | چمازک | ۲/۲۸ | ۳ | دی | ۱۳۷۰ | -۱/۸۵ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۱۵ | چنارین | ۲/۳۳ | ۶ | شهریور | ۱۳۶۷ | -۲/۶۳ | ۳ | فروردین | ۱۳۹۰ |
| ۱۶ | حمید آباد | ۲/۳۷ | ۳ | بهمن | ۱۳۷۰ | -۱/۶۸ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۱۷ | خانه سرمرز | ۲/۶۵ | ۳ | بهمن | ۱۳۶۴ | -۱/۸۴ | ۳ | مهر | ۱۳۹۲ |
| ۱۸ | خزرآباد | ۲/۶۵ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۶۵ | -۲/۵۱ | ۳ | تیر | ۱۳۹۳ |
| ۱۹ | خورشید | ۲/۳۵ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۸۱ | -۲/۸۲ | ۳ | مهر | ۱۳۶۸ |
| ۲۰ | دلمرز | ۳/۹۸ | ۳ | مرداد | ۱۳۶۴ | -۱/۸۳ | ۱۸ | مرداد | ۱۳۸۴ |
| ۲۱ | دنگسرک | ۲/۵۱ | ۳ | مرداد | ۱۳۶۶ | -۲/۹۶ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۶۷ |
| ۲۲ | دیوکتی | ۳/۴۵ | ۳ | دی | ۱۳۹۴ | -۳/۹۳ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ |
| ۲۳ | ذغالچال | ۲/۶۲ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۶۹ | -۲/۷۳ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ |
| ۲۴ | زینوند | ۲/۵۲ | ۳ | خرداد | ۱۳۷۶ | -۲/۳۴ | ۳ | آذر | ۱۳۹۱ |
| ۲۵ | سمسکنده | ۲/۳۳ | ۳ | تیر | ۱۳۸۴ | -۱/۹۵ | ۳ | مرداد | ۱۳۶۴ |
| ۲۶ | سنگر | ۳/۹۵ | ۶ | شهریور | ۱۳۷۸ | -۳/۲۵ | ۶ | آذر | ۱۳۸۳ |
| ۲۷ | سه راه اسلام آباد | ۲/۷۴ | ۳ | اسفند | ۱۳۶۶ | -۲/۰۶ | ۳ | مرداد | ۱۳۸۷ |
| ۲۸ | سه راه عسگر آباد | ۳/۵۰ | ۳ | خرداد | ۱۳۸۰ | -۲/۱۹ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۲۹ | شرق عبور نودهک | ۲/۳۸ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۹۴ | -۲/۹۲ | ۳ | بهمن | ۱۳۷۳ |
| ۳۰ | طوسکا | ۲/۲۹ | ۹ | آذر | ۱۳۷۱ | -۳/۱۴ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۰ |
| ۳۱ | عروس کتی | ۲/۱۳ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۱/۹۸ | ۳ | آبان | ۱۳۷۵ |
| ۳۲ | شرق طبق ده | ۲/۷۰ | ۶ | بهمن | ۱۳۸۰ | -۲/۲۸ | ۳ | اسفند | ۱۳۷۶ |
| ۳۳ | فیروزکنده | ۴/۴۱ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | -۱/۷۶ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۳۴ | کارکنده | ۱/۹۹ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۱/۵۹ | ۳ | شهریور | ۱۳۶۷ |
| ۳۵ | گرجی پل | ۲/۵۹ | ۳ | فروردین | ۱۳۷۸ | -۳/۰۳ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۳۶ | مخزن ساری | ۲/۴۹ | ۳ | دی | ۱۳۶۶ | -۲/۵۰ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۸ |
| ۳۷ | مرز رود | ۳/۱۰ | ۲۴ | اسفند | ۱۳۶۵ | -۲/۲۳ | ۳ | اسفند | ۱۳۸۳ |
| ۳۸ | معلم کلابالا | ۳/۰۴ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۶۷ | -۳/۴۳ | ۲۴ | فروردین | ۱۳۷۰ |
| ۳۹ | نوذر آباد | ۲/۰۷ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۸۱ | -۲/۰۷ | ۴۸ | فروردین | ۱۳۹۴ |
| ۴۰ | ولشکلا | ۳/۵۰ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۶۷ | -۲/۱۹ | ۳ | فروردین | ۱۳۸۸ |

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

جدول ۳- شدیدترین مقادیر SWI در چاه‌های مورد مطالعه

Table 3. The most severe SWI values in studied wells

| ردیف | نام چاه | بیشترین مقدار | مقیاس زمانی | ماه | سال | کمترین مقدار | مقیاس زمانی | ماه | سال |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | اسفندان | ۲/۷۵ | ۳ | آبان | ۱۳۸۵ | -۲/۹۹ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۲ | انجیل نسام | ۲/۶۵ | ۳ | مهر | ۱۳۷۵ | -۳/۰۳ | ۳ | فروردین | ۱۳۸۴ |
| ۳ | اوجا محله | ۲/۷۱ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۲/۹۰ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۴ | آبمال | ۲/۵۶ | ۱۲ | اسفند | ۱۳۸۸ | -۲/۴۹ | ۶ | بهمن | ۱۳۷۶ |
| ۵ | آکند | ۳/۰۸ | ۳ | فروردین | ۱۳۷۸ | -۲/۵۹ | ۲۴ | بهمن | ۱۳۹۲ |
| ۶ | بزمین آباد | ۱/۹۱ | ۹ | آذر | ۱۳۸۷ | -۳/۴۶ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۷ | پارک وحش | ۳/۰۸ | ۳ | خرداد | ۱۳۸۰ | -۲/۷۴ | ۳ | تیر | ۱۳۸۶ |
| ۸ | پل تجن | ۲/۷۴ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۸۱ | -۲/۶۰ | ۳ | آذر | ۱۳۹۳ |
| ۹ | پنبه زارکتی | ۲/۹۶ | ۳ | تیر | ۱۳۸۷ | -۴/۲۳ | ۳ | آبان | ۱۳۶۷ |
| ۱۰ | تارده | ۴/۸۶ | ۶ | آذر | ۱۳۹۴ | -۳/۴۶ | ۴۸ | خرداد | ۱۳۶۸ |
| ۱۱ | تازه آباد | ۳/۰۵ | ۳ | آذر | ۱۳۸۱ | -۲/۲۵ | ۳ | بهمن | ۱۳۹۱ |
| ۱۲ | تجنک | ۴/۱۲ | ۶ | دی | ۱۳۹۴ | -۲/۹۸ | ۳ | فروردین | ۱۳۹۲ |
| ۱۳ | جره سر | ۲/۸۹ | ۳ | فروردین | ۱۳۷۸ | -۳/۶۳ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۱۴ | چمازک | ۳/۷۱ | ۱۲ | آبان | ۱۳۹۴ | -۲/۷۷ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۱۵ | چنارین | ۲/۲۵ | ۳ | فروردین | ۱۳۹۰ | -۲/۴۳ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۱۶ | حمید آباد | ۲/۵۵ | ۳ | اسفند | ۱۳۷۰ | -۲/۹۰ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۱ |
| ۱۷ | خانه سرمرز | ۲/۸۰ | ۳ | اسفند | ۱۳۷۷ | -۲/۷۰ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۷۱ |
| ۱۸ | خزرآباد | ۲/۶۱ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۶۵ | -۲/۹۱ | ۳ | تیر | ۱۳۹۳ |
| ۱۹ | خورشید | ۲/۱۵ | ۳ | خرداد | ۱۳۸۰ | -۳/۶۱ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۲۰ | دلمرز | ۳/۶۰ | ۳ | مرداد | ۱۳۶۴ | -۲/۰۲ | ۱۲ | فروردین | ۱۳۸۴ |
| ۲۱ | دنگسرک | ۲/۴۵ | ۳ | خرداد | ۱۳۷۴ | -۲/۴۵ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۶۷ |
| ۲۲ | دیوکتی | ۳/۸۱ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۳/۲۷ | ۳ | تیر | ۱۳۷۱ |
| ۲۳ | ذغالچال | ۳/۳۵ | ۳ | مهر | ۱۳۹۴ | -۳/۳۰ | ۳ | فروردین | ۱۳۸۴ |
| ۲۴ | زینوند | ۲/۵۰ | ۳ | خرداد | ۱۳۷۶ | -۲/۹۶ | ۳ | آذر | ۱۳۹۱ |
| ۲۵ | سمسکنده | ۱/۴۵ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۹۰ | -۲ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۷۱ |
| ۲۶ | سنگر | ۲/۳۳ | ۶ | فروردین | ۱۳۸۱ | -۲/۲۱ | ۳ | فروردین | ۱۳۹۲ |
| ۲۷ | سه راه اسلام آباد | ۲/۰۸ | ۶ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۳/۰۳ | ۳ | اسفند | ۱۳۶۶ |
| ۲۸ | سه راه عسگر آباد | ۳/۱۴ | ۳ | خرداد | ۱۳۸۰ | -۲/۵۳ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۲۹ | شرق عبور نودهک | ۲/۰۷ | ۱۲ | اسفند | ۱۳۸۰ | -۲/۱۴ | ۹ | فروردین | ۱۳۶۸ |
| ۳۰ | طوسکا | ۲/۶۳ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | -۲/۶۰ | ۳ | مهر | ۱۳۶۷ |
| ۳۱ | عروس کتی | ۲/۶۱ | ۳ | شهریور | ۱۳۹۴ | -۲/۵۵ | ۳ | تیر | ۱۳۹۱ |
| ۳۲ | شرق طبق ده | ۲/۱۱ | ۳ | خرداد | ۱۳۷۴ | -۱/۹۴ | ۴۸ | مهر | ۱۳۹۴ |
| ۳۳ | فیروزکنده | ۴/۰۷ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | -۲/۰۸ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۳۴ | کارکنده | ۳/۵۳ | ۳ | مهر | ۱۳۹۴ | -۲/۵۲ | ۳ | اردیبهشت | ۱۳۷۱ |
| ۳۵ | گرجی پل | ۲/۵۱ | ۹ | اردیبهشت | ۱۳۹۰ | -۳/۵۵ | ۳ | شهریور | ۱۳۸۳ |
| ۳۶ | مخزن ساری | ۲/۱۹ | ۶ | شهریور | ۱۳۸۸ | -۲/۸۲ | ۳ | اسفند | ۱۳۶۶ |
| ۳۷ | مرز رود | ۳/۱۵ | ۲۴ | اسفند | ۱۳۶۵ | -۲/۶۶ | ۳ | اسفند | ۱۳۸۳ |
| ۳۸ | معلم کلابالا | ۱/۶۳ | ۳ | بهمن | ۱۳۹۴ | -۳/۸۶ | ۴۸ | بهمن | ۱۳۶۸ |
| ۳۹ | نوذر آباد | ۲/۰۶ | ۱۸ | شهریور | ۱۳۸۱ | -۲/۱۳ | ۴۸ | فروردین | ۱۳۹۴ |
| ۴۰ | ولشکلا | ۳/۴۶ | ۴۸ | اسفند | ۱۳۶۷ | -۲/۳۰ | ۳ | فروردین | ۱۳۸۸ |

بر اساس جداول فوق در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شاخص GRI شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی را در شهریور ماه ۱۳۹۴ با مقدار ۳/۹۳- در چاه دیوکتی نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، شاخص GRI به ترتیب با مقادیر ۳/۲۵- آذر ماه ۱۳۸۳، چاه سنگر، ۳/۱۸- دی ماه ۱۳۸۳، چاهسنگر، ۳/۰۱- دی ماه ۱۳۹۲، چاه معلم کلابالا، ۳/۳۵- آبان ماه ۱۳۶۹، چاه معلم کلابالا، ۳/۴۳- فروردین ۱۳۷۰، چاه معلم کلابالا، ۲/۸۹- بهمن ماه ۱۳۶۹، چاه تارده، شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شاخص SWI شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی را در مهر ماه ۱۳۹۴ با مقدار ۴/۸۶ در چاه تارده نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، شاخص SWI به ترتیب با مقادیر ۴/۸۶ آذر ماه ۱۳۹۴، چاه تارده، ۴/۵۳ آذر ماه ۱۳۹۴، چاه تارده، ۴/۱۳ اسفند ماه ۱۳۹۴، چاه تارده، ۳/۶۸ آذر ماه ۱۳۶۹، ۳/۲۵ اسفند ماه ۱۳۷۰، چاه چمازک، ۲/۶۰ اسفند ماه ۱۳۶۹، چاه عروس کتی، شاخص SWI شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های ذکر شده، در نتیجه برداشت بی‌رویه از طریق پمپاژ جهت کشاورزی و مصارف دیگر می‌باشد که در برنامه‌ریزی‌های آینده باید مدیریت این مناطق مد نظر قرار گیرد و برداشت بهینه صورت گیرد. شدت برداشت در سال‌های مختلف پراکنده است و به‌طور کلی سال۱۳۹۴ تکرار بیشتری دارد. با گذشت زمان از سال آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ با افزایش جمعیت و سطح زیر کشت در دشت مورد نظر تلاش برای برداشت از آب‌های زیرزمینی بیشتر شده و تعداد چاه‌های برداشت نیز رو به افزایش بوده است.

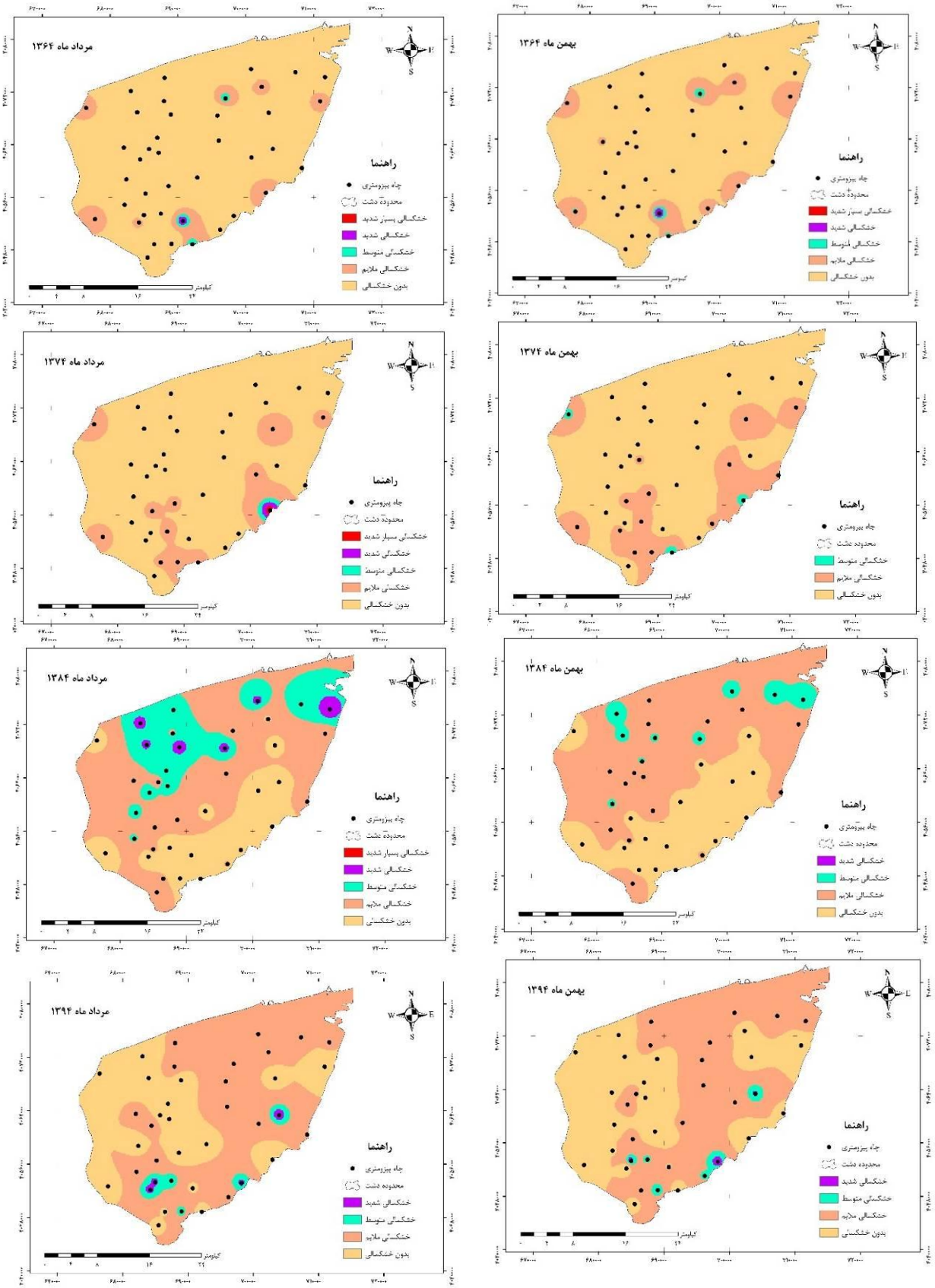
**توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی در دشت ساری - نکا با استفاده از شاخص GRI**

نقشه‌های گستره مکانی خشکسالی آب زیرزمینی بر اساس شاخص GRI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ماه‌های مرداد و بهمن سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۴، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ با استفاده از روش IDW در نرم‌افزار ArcMap10.3 تهیه گردید (شکل ۲).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]




شکل ۲- توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI در دشت ساری- نکا

Figure 2. Spatial distribution of groundwater droughts using GRI index in Sari-Neka plain

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

بر اساس شکل ۲ طبقه خشکسالی بسیار شدید در زمان‌های (بهمن ماه ۱۳۷۴ و ۱۳۸۴، مرداد و بهمن ماه ۱۳۹۴) دیده نشده یا مقدار آن خیلی کم (مرداد ماه ۱۳۷۴ و ۱۳۸۴، مرداد و بهمن ماه ۱۳۶۴) است. خشکسالی شدید نیز در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۷۴ گستره کمی داشته در صورتیکه با گذشت زمان روند این طبقه از خشکسالی در سال ۱۳۸۴ افزایش یافته است که نشان‌دهنده روند کاهشی سطح ایستابی آب زیرزمینی تا این سال می‌باشد. روند خشکسالی در این سال به سمت بخش‌های شمالی دشت مورد مطالعه می‌باشد و بدلیل وجود دریای مازندران، خطر نفوذ آب شور دریا به سفره‌های مجاور بوجود می‌آید. در سال ۱۳۹۴ خشکسالی شدید نسبت به سال ۱۳۸۴ کمتر شده است. در سالهای ۱۳۶۴ و ۱۳۷۴ درصد مساحت طبقه خشکسالی ملایم و بدون خشکسالی بیشتر بوده که نشان‌دهنده اینست که آبخوان دشت دچار افت نبوده است. در حالیکه در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ این طبقه از خشکسالی افزایش پیدا کرده است و با گذشت زمان آبخوان دچار افت شده است. که می‌توان ناشی از برداشت بی رویه آب از منابع آب‌های زیرزمینی را عامل اصلی آن دانست. شدیدترین خشکسالی در مرداد ماه ۱۳۷۴ مربوط به چاه شرق عبور نودهک می‌باشد که بدلیل تجمع زیاد جمعیتی می‌باشد. شدیدترین خشکسالی در مرداد ماه ۱۳۸۴ مربوط به چاه حمید آباد می‌باشد. از شکل ۲ می‌توان چنین نتیجه گرفت که اکثر خشکسالی‌ها در مرداد ماه آن سال‌ها نسبت به بهمن ماه آن سال رخ داده و سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی پایین‌تر رفته که می‌تواند به دلیل برداشت از آب‌های زیرزمینی برای اراضی کشاورزی (شالیکاری) و کشت مجدد زمین کشاورزی که اخیراً در مازندران مرسوم شده و کاهش نزولات و کاهش تغذیه در مرداد ماه باشد.

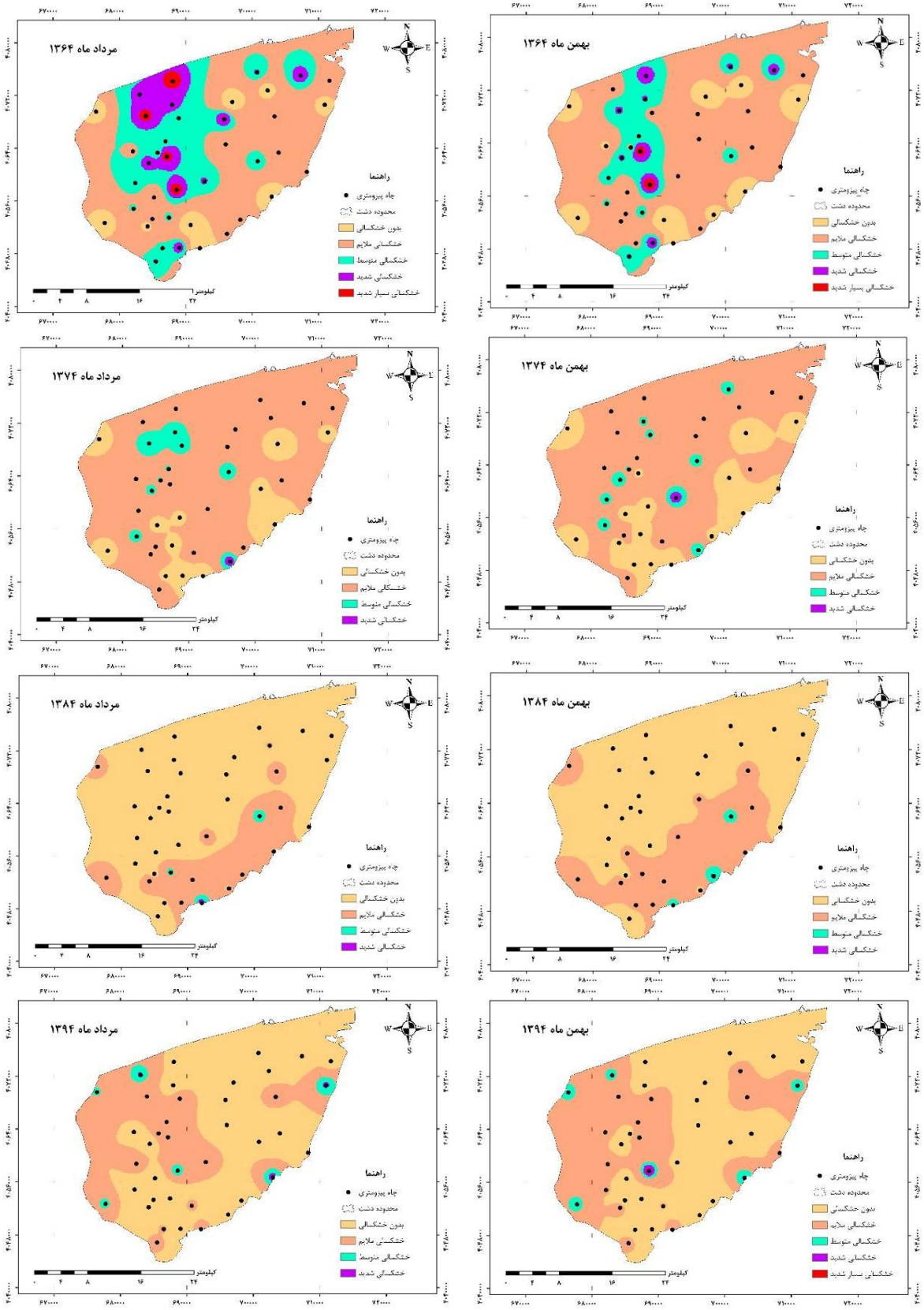
**توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی در دشت ساری – نکا با استفاده از شاخص SWI**

نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی آب زیرزمینی بر اساس شاخص SWI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ماه‌های مرداد و بهمن سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۴، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۴ با استفاده از روش IDW در نرم‌افزار ArcMap10.3 تهیه گردید (شکل ۳).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]




شکل ۳- توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SWI در دشت ساری- نکا

Figure 3. Spatial distribution of groundwater droughts using SWI index in Sari-Neka plain

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

بر اساس شاخص SWI بیشترین خشکسالی در طبقات بسیار شدید و شدید در مرداد ماه سال ۱۳۶۴ رخ داده است و سپس در بهمن ماه همان سال بوده است. مقدار خشکسالی در چاه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ بصورت پراکنده دیده می‌شود و مقدار این شاخص روند ثابتی برای چاه مشخص ندارد. در بین سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۷۴ شدت خشکسالی کمتر شده ولی سطح زیادی از دشت را در بر گرفته است که نشان‌دهنده برداشت مناسب از تمامی چاه‌های موجود بوده است. در سال ۱۳۸۴ طبقه خشکسالی ملایم که بیشترین درصد پهنه را در سال ۱۳۷۴ داشته کمتر شده و جای خود را به طبقه بدون خشکسالی داده است و نشان‌دهنده بهبود تراز سطح آب زیرزمینی شده است. در سال ۱۳۹۴ نیز دشت با افت تراز آب زیرزمینی بیشتری نسبت به سال ۱۳۸۴ مواجه بوده است. با توجه به شکل ۳ دو دوره خشکسالی را می‌توان در دوره آماری مورد نظر برای دشت ساری- نکا در نظر گرفت. دوره اول آن سال پایه آماری یعنی سال ۱۳۶۴ بوده و سال ۱۳۹۴ که سطح مربوط به طبقه مرطوب یا بدون خشکسالی نسبت به دوره قبل کمتر شده است.

بر اساس نتایج شاخص GRI بیشترین تکرار شدت خشکسالی را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۴ و در شهریور ماه داشته و شاخص SWI بیشترین تکرار شدت خشکسالی را به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۰ و در شهریور و اردیبهشت ماه داشته است. بزرگی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های GRI بر فصل تابستان و با استفاده از شاخص SWI بر فصول تابستان و بهار منطبق شده است. که علت بزرگی خشکسالی آب زیرزمینی در فصل تابستان و بهار را می‌توان به دلیل کاهش بارش‌های زمستانه و بهره‌برداری آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی در فصول بهار و تابستان دانست. مهم‌ترین عوامل در بروز خشکسالی آب زیرزمینی شامل بهره‌برداری غیر اصولی و مدیریت نشده از منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف و به‌خصوص در بخش کشاورزی می‌باشد. با توجه به گسترش چاه‌های غیر مجاز و پمپاژ آب برای مصارف کشاورزی این دشت تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است.شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) به عنوان معرف وضعیت سطح آب زیرزمینی منطقه بیشترین خشکسالی‌ها را در ماه‌های مرداد هر سال نشان داده است. بر اساس این شاخص از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴ سطح آب زیرزمینی در حال افت می‌باشد که در مرداد ۱۳۸۴ بیشترین مقدار را در گستره‌ی وسیعی از دشت نشان می‌دهد. در دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ خشکسالی بسیار شدید و شدید کاهش پیدا می‌کند و نشان‌دهنده بهبود سطح آب زیرزمینی می‌باشد. شاخص سطح آب استاندارد (SWI) کاهش آب سفره و تغذیه را بصورت غیرمستقیم اندازه می‌گیرد و جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این شاخص میتوان دوره آماری ۳۱ ساله را به دو دوره خشکسالی ۱۰ سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۷۴ که پهنه زیادی از دشت دچار خشکسالی و کاهش افت سطح آب زیرزمینی شده است که مرداد سال ۱۳۶۴ بیشترین شدت را داشته است. دوره دوم از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴ است که با بهبود وضعیت سطح سفره آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه همراه بوده است. پهنه‌بندی خشکسالی بر اساس هر دو شاخص GRI و SWI نشان دهنده شروع خشکسالی از مناطق شمالی دشت بوده که در مجاور دریای مازندران قرار داشته و خطر نفوذ آب شور دریا را تقویت می‌کند. که این عمل در شاخص GRI در مرداد ماه ۱۳۸۴ و در شاخص SWI در مرداد ۱۳۶۴ رخ داده است. با مدیریت مناسب و بهره‌برداری صحیح و برنامه‌ریزی شده میتوان از وقوع این پدیده در سال‌ها و دوره‌های بعد جلوگیری کرد. نفوذ آب شور دریا به آبخوان ساحلی و دشت ساری- نکا موجب تنزیل و تخریب کیفیت آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه و اثرات زیست محیطی دیگری خواهد شد.

## منابع


1. Adhikary, S., K. Das, S.K. Saha and T. Chaki. 2013. Groundwater Drought Assessment for Barind Irrigation Project in Northwestern Bangladesh. 20th International Congress on Modeling and Simulation. Adelaide, Australia, 1–6 December. www.mssanz.org.au/modsim.
2. Ahmadi Akhoorme, M., A. Nohegar, M. Soleimani Motlagh and M. Taie Semiromi. 2015. Groundwater Drought Investigating using SWI and GRI Indices (Case Study: Marvdasht Kharameh Aquifer). Journal of Irrigation and Water, 6(22): 105-118 (In Persian).
3. Alizadeh, A. 2015. Principles of Applied Hydrology. 40th Reprint, 7th Edition, Astan Quds Razavi Publication, 941 pp (In Persian).
4. Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India, In: Proceedings of the XXth ISPRS Conference, Int. Soc, Photogram, Remote Sens. Istanbul, 1-6.
5. Bhuiyan, C., R.P. Singh and F.N. Kogan. 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 Geoinformation, 8: 289-302.
6. Bordi, I. and A. Sutera. 2004. Drought variability andits climatic implications. Global and PlanetaryChange, 40(1, 2): 115-127.
7. Chamanpira, Gh. Gh. Zehtabian, H. Ahmadi, and A. Malekian. 2014. 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).
8. Choi, M., J.M. Jacobs, M.C. Anderson, D.D. and Bosch. 2013. Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. Journal of Hydrology, 476: 265-273.
9. Dracup, J.A., K.S. Lee and E.G. Paulson. 1980. on the definition of drought. Water Resources Research, 16(2): 297-302.
10. Ezzine, H., A. Bouziane and D. Quasar. 2014. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indexes in morocco using open short time series data. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26: 36-48.
11. Han, J.Ch., Y. Huang, Zh. Li, Ch. Zhao, G. Cheng and P. Huang. 2016. Groundwater level prediction using a


[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

SOM-aided stepwise cluster inference model. Journal of Environmental Management, 182: 308-321.
12. Hua, Sh., J. Liang, G. Zeng, M. Xu, Ch. Zhang, Y. Yuan, X. Li, P. Li, J. Liu and L. Huang. 2015. How to manage future groundwater resource of China under climate change and urbanization: An optimal stage investment design from modern portfolio theory. Water Research, 85: 31-37.
13. Jha, M.K., A. Chowdhury, V.M. Chowdary and S. Peiffer. 2006. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. Water Resource Management, 21(2): 427-467.
14. Karimi, M., K. Shahedi, Kh. Khosravi and T. Edrisi. 2016. Evalution of interpolation methods to zoning drought in the plains Sari-Neka. Journal of Natural Environmental Hazards, 5(7): 11-25 (In Persian).
15. Karimirad, I., K. Ebrahimi and Sh. Araghinejad. 2015. Investigation of climate variability impacts on multilayer aquifers (Case study: Gorgan plain). Journal of Water and Irrigation Management, 5(2): 261-275 (In Persian).
16. Khosravi, H., E. Hydari, Gh. Zehtabian and J. Bazrafshan. 2016. Analysis of spatial and temporal trends of groundwater index (GRI) (Case study: Yazd-Ardakan plain). Iranian Journal of Range and Desert Research, 22(4): 711-720 (In Persian).
17. Lijzen, J.P., P. Otte and M. Van Dreumel. 2014. Towards sustainable management of groundwater: policy developments in The Netherlands. Sci. Total Environ, 485-486, 804-809.
18. Malekinejad, H. and M. Soleimani Motlagh. 2012. Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi basin. Iranian Water Research Journal, 5(9): 61-72 (In Persian).
19. Mendicino, G., A. Senatore and P. Versace. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for Drought Monitoring and Forecasting in a Mediterranean Climate. Hydrology Journal, 357: 282-302.
20. Mohammadi, M., H. Moradi and M. Vafakhah. 2008. Determination of Groundwater Drought in Arak Plain using SWI Index and GIS Approach.Third International Conference on Water Resources Management, Tabriz, Iranian Water Resources Association. Tabriz University.
21. Nico, W., A.J. Van Lanen and A.F. Loon. 2010. Indicators for drought characterization on a globalscale, Wageningen, Netherlands. Water and Global Change, 24: 80-93.
22. Nourani, V. and Sh. Mousavi. 2016. Spatiotemporal groundwater level modeling using hybridartificial intelligence-meshless method. Journal of Hydrology, 536: 10-25.
23. Peters, E., G. Bier, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs. 2006. Drought Propagation and Spatial Distribution of Drought in a Groundwater Catchment. Hydrology Journal, 321(1-4): 257-275.
24. Recep, Ç. 2015. Temporal Changes in the Groundwater Level in the Upper Tigris Basin, Turkey, Determined by a GIS Technique. Journal of African Earth Sciences, 107: 134-143.
25. Samadi, R., J. Behmanesh and H. Rezaei. 2015. Investigation of groundwater level changes trend (Case study: Urmia plain). J. of Water and Soil Conservation, 22(4): 67-84 (In Persian).
26. Shafiei, M., M. Raeini-Sarjaz, R. Fazoula. 2014. Drought Monitoring of Arjan-Parishan Plain (Study Area of Parishan Lake of Fars Province). Journal of Watershed Management Research, 5(9): 46-63 (In Persian).
27. Sun, R., M. Jin, M. Giordano and K.G. Villholth. 2009. Urban and rural groundwater use in Zhengzhou, China: challenges in joint management. Hydrogeol. J. 17(6): 1495-1506.
28. Villholth, K.G., C. Tottrup, M. Stendel and A. Maherry. 2013. Integrated mapping ofgroundwater drought risk in the Southern African Development Community (SADC) region, Hydrogeology Journal, 21(4): 863-885.
29. Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, Water International, 10(3): 111-120.
30. Willeke, G., J. Hosking and N. Guttman. 1994. The National Drought Atlas, Institutefor Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers, 587 pp.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]

# Monitoring of Temporal and Spatial Variation of Groundwater Drought using GRI and SWI Indices (Case Study: Sari-Neka Plain)

**Sayed Hussein Roshun[1] and Mahmoud Habibnejad Roshan[2]**

1- Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
(Corresponding Author: h.roshun@stu.sanru.ac.ir)
2- Professor, Range and Watershed Group, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: November 25, 2016 Accepted: November 29, 2017

## Abstract

Decrease of aquifer recharge, Increased pumping through deep wells for agricultural purposes, increases in temperature and evapotranspiration, climate change and change the type of precipitation induced reduce of water level and water table which is called Groundwater Drought. Identifying, monitoring and characterization of drought is very important for water resources planning. The object of this study is investigating temporal and spatial variations of groundwater drought using Groundwater Resource Index (GRI) and Standardized Water Level Index (SWI) in the plain area of Sari-Neka. For this purpose, groundwater data of 40 piezometric well from 1364 to 1394 were analyzed. Thus, GRI and SWI indices for time scales of 3, 6, 9, 12, 18, 24 and 48 months in Minitab and M.S Excel was calculated. Spatial extent of groundwater drought in the plain using IDW in ArcMap 10.3 was obtained. The results show that the severest drought in 3-month time scale using GRI index in Shahrivar 1394 in the amount of -93.3 and SWI index in Mehr 1394, with value of 86.4 occurred. Drought spatial changes in northern parts of the plain are related to Mordad 1384. Zoning maps indicated that Mordad highest amount of drought and Bahman has lowest value; the most important for this is pumping water from groundwater aquifers for agriculture.

**Keywords:** Sari-Neka Plain, Groundwater Drought, IDW Method, GRI Index, SWI Index

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.18.0 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.9.17.269 ]