

## بررسی خشکسالی آب‌زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس

مریم احمدی آخوره<sup>۱</sup>، احمد نوحه گر<sup>۲</sup>، مهدی سلیمانی مطلق<sup>۳</sup>، مجید طایبی سمیرمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۲

### چکیده

خشکسالی آب‌زیرزمینی زمانی اتفاق می‌افتد که در آن آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع مهم تامین آب، تحت تاثیر خشکسالی طولانی مدت قرار می‌گیرند. در این نوع خشکسالی ابتدا تغذیه، سپس سطح ایستابی و نهایتاً میزان تخلیه سیستم‌های آب‌های زیرزمینی تحت تاثیر خشکسالی کاهش یابد. در این شرایط مدیریت جامع منابع آب بر اساس آگاهی از گسترش زمانی و مکانی این نوع خشکسالی امری ضروری است. در این تحقیق به منظور بررسی مکانی و زمانی دقیق خشکسالی آب‌زیرزمینی در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه، از دو شاخص منبع آب زیرزمینی GRI و سطح آب استاندارد شده SWI استفاده شد که ورودی هریک از آن‌ها به ترتیب؛ سطح و عمق آب‌زیرزمینی است. بدین منظور از داده‌های سطح آب‌زیرزمینی ۶۷ چاه پیژومتری منطقه با طول دوره‌ی آماری ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۰) استفاده شد. نقشه‌های خشکسالی نیز با استفاده از روش IDW در محیط Arc GIS تهیه شد. نتایج هر دو شاخص از نظر زمانی شروع خشکسالی آب‌زیرزمینی را از سال ۱۳۸۶ نشان دادند که با افزایش مقیاس‌های زمانی تداوم، شدت و فراوانی آن نیز افزایش یافت؛ 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. از نظر مکانی نیز شروع وقوع خشکسالی آب‌زیرزمینی از بخش‌های شمالی بوده و با گذشت زمان به بخش‌های مرکزی و جنوبی تغییر مکان داده است که هم‌زمان بر شدت آن نیز افزوده شده است. بر این اساس خشکسالی آب‌زیرزمینی در منطقه رخ داده است که در صورت ادامه این روند، منطقه با بحران جدی کاهش سطح آب زیرزمینی و عواقب ناشی از آن مواجه خواهد شد در این شرایط اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی امری ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان مرودشت خرامه، خشکسالی آب‌زیرزمینی، شاخص GRI، شاخص SWI.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری- استان فارس، مرودشت فلکه معلم خیابان اندیشه ، ۰۹۱۷۸۲۷۴۷۶۰،

Ahmadi.Maryam2000@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

<sup>۲</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، ۰۹۱۷۱۶۱۰۱۱۸

Ahmad.Nohegar@gmail.com

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، کاشان، ایران\_ لرستان، خرم‌آباد، خیابان اسد آبادی.

soleimani@grad.kashanu.ac.ir ، ۰۹۱۶۳۶۹۵۵۱۷

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، دانشجوی دکتری ژئوهیدرولوژی، دانشکده عمران و مهندسی محیط زیست، کassel، آلمان، ۴۹۵۶۱۸۰۴۳۵۲۵

Majid.Taie@uni-kassel.de

می‌باشند (Hayes et al., 2007). بیشتر شاخص‌های خشکسالی در منابع آب سطحی و رودخانه‌ها استفاده شده است و مطالعات کمی عملکرد آب زیرزمینی یا جریان پایه را با استفاده از شاخص‌های از پیش تعیین شده در مقایسه با حساسیت یا آسیب‌پذیری، در مقابل خشکسالی در حوزه‌های مختلف بررسی می‌کنند (Peters et al., 2006). همچنین شاخص‌های کمی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی تمرکز دارند (Mendicino et al., 2008). بویان در سال ۲۰۰۴ شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI)<sup>۴</sup> را بمنظور پایش نوسانات سطح آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی آب زیرزمینی توسعه داد (Bhuiyan, 2004). همچنین بویان و همکاران در سال ۲۰۰۶، بمنظور تعیین کمبود بارش و تغذیه آب زیرزمینی در منطقه آراویل هند، به ترتیب از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۵</sup> و SWI استفاده کردند، آن‌ها همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی را در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۶</sup> تهیه کردند؛ نتایج آن‌ها نشان داد خشکسالی هواشناسی در منطقه بصورت تصادفی و بی قاعده‌ای رخ داده و موقعیت تنش سفره آب زیرزمینی در طول زمان متغیر بوده است. شاخص (GRI)<sup>۷</sup> نیز در سال ۲۰۰۸ توسط مندسینو و همکاران، بمنظور پایش و پیش بینی خشکسالی در منطقه‌ی کالابریای ایتالیا ارائه شد، تجزیه و تحلیل ویژگی‌های این شاخص در مقایسه با شاخص SPI نشان داد که شاخص GRI خودهمبستگی بسیار بالایی را در طول ماه‌های تابستان دارد، همچنین این شاخص در هر منطقه‌ای توسط شرایط زمین سنگ‌شناسی آن توصیف می‌شود (Mendicino et al., 2008). محمدی و همکاران (۱۳۸۷) به تعیین خشکسالی آب زیرزمینی در دشت اراک با استفاده از شاخص SWI 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

## مقدمه

خشکسالی آب زیرزمینی (GWD)<sup>۱</sup> 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. خشکسالی آب زیرزمینی همچنین به ترکیب خطر فیزیکی و آسیب‌پذیری انسان در ارتباط با کاهش در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی و دسترسی به دوره‌ی خشکسالی اشاره دارد (Villholth et al., 2013). واژه خشکسالی آب زیرزمینی اولین بار توسط روتولیس<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۷ ابداع شد و بعد از آن توسط کالو<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۷ به تفصیل شرح داده شد. آن‌ها پیشنهاد کردند که نیاز به یک چهارچوب مفهومی برای نگاشت جامع (انسانی و فیزیکی آسیب‌پذیری خشکسالی آب زیرزمینی و تهیه‌ی نقشه‌ی خشکسالی در اتیویبی دارند (Macdonald et al., 2009). تفسیر فیزیکی از خشکسالی آب زیرزمینی به تاثیرات خشکسالی هواشناسی بر سیستم‌های آب زیرزمینی برمی‌گردد. فقدان بارش در مرحله‌ی اول بر تغذیه، و متعاقباً بر منابع و تخلیه‌ی آب‌های زیر زمینی تاثیر می‌گذارد. بسته به اندازه و ویژگی‌های این سیستم‌ها، تاثیرات ممکن است با تاخیر زمانی معنی‌داری بعد از خشکسالی هواشناسی خود را نشان دهند (Calow et al., 1997). وقتی سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تاثیر خشکسالی قرار می‌گیرد؛ ابتدا تغذیه، سپس سطوح آب زیرزمینی و نهایتاً تخلیه‌ی آب زیرزمینی کاهش می‌یابد که این نوع خشکسالی، خشکسالی آب زیرزمینی نامیده می‌شود و در اصل در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه اتفاق می‌افتد (Peters et al., 2006). در این میان، شاخص‌های خشکسالی مقادیر عددی هستند که تصمیم‌گیری برای خشکسالی براساس آن‌ها بمراتب مفیدتر از داده‌های خام

<sup>۴</sup> - Standardized Water – Level Index

<sup>۵</sup> - Standardized Precipitation Index

<sup>۷</sup> - Groundwater Resource Index

<sup>۱</sup> - Groundwater Drought

<sup>۲</sup> - Rutulis

<sup>۳</sup> - Calow

داد با گذشت زمان بر میزان خشکسالی این دشت افزوده شده است. اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک را با استفاده از دو شاخص SPI و GRI به منظور بررسی تاثیر خشکسالی اقلیمی بر آبدهی برخی از قنوات دشت اردکان یزد شناسایی کردند، آن‌ها از آمار بارندگی و ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان‌دهنده شدت و تداوم خشکسالی، به‌ویژه هیدرولوژیک در سال‌های اخیر و وجود تاخیر زمانی متفاوتی بین خشکسالی اقلیمی و آبدهی قنات‌های دشت اردکان بود.

هدف اساسی این تحقیق، بررسی شدت، تداوم و گسترش مکانی خشکسالی آب‌زیرزمینی با استفاده از دو شاخص GRI و SWI برای تعیین مکان‌ها و زمان‌های دقیق وقوع این نوع خشکسالی به‌منظور تسهیل مدیریت منابع آب زیرزمینی به عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب در محدوده آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه است که دربرگیرنده مهم‌ترین دشت‌های استان فارس است.

### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه با مساحت ۳۹۴۱ کیلومترمربع بین عرض‌های ۵۰' ۳۲ تا ۶۸' ۳۳ شمالی و طول‌های ۳۳' ۶۳ تا ۳۲' ۷۳ شرقی در مرکز حوزه آبریز دریاچه های طشک - بختگان و مهارلو در استان فارس واقع شده است. ۲۴۵۲/۵۰ کیلومتر مربع از این محدوده را دشت و ۱۴۸۸/۵۰ کیلومتر مربع را ارتفاعات تشکیل داده است. وسعت آبخوان آبرفتی این محدوده ۲۰۳۱/۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. به‌طورکلی این منطقه از نظر آب و هوا جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. متوسط دمای منطقه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی در منطقه ۳۹۲/۷ میلی‌متر در سال می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه دو رودخانه دائمی کر و سیوند و یک رودخانه فرعی مائین در جریان می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه به‌مراه ۶۷ چاه پیژومتری

در نقاط مختلف ایجاد شده و روند مشخصی ندارد و اوج شدت آن در جنوب دشت اراک بوده است. ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک حوزه چغلوندی را با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI بررسی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد؛ در سال‌های اخیر شدت و تداوم خشکسالی‌ها افزایش یافته و تاخیر زمانی متفاوتی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد. بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص GRI توسط صیف و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد؛ مقدار این شاخص در سال‌های مورد بررسی روند کاهشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در این منطقه رخ داده است همچنین شاخص SPI با شاخص GRI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بدون تاخیر زمانی رابطه‌ی معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد دارد. طالبی و همکاران (۱۳۹۰) اثر خشکسالی بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و آبدهی قنوات در دشت بهاباد یزد را بررسی کردند، آن‌ها جهت بررسی چگونگی تاثیر خشکسالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی، از شاخص‌های اقلیمی SPI و GRI استفاده کردند، نتایج کار آنها سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ را به‌عنوان خشک‌ترین سال و سال ۱۳۷۵-۱۳۷۴ را بعنوان مرطوب‌ترین سال در دوره‌ی آماری ۲۰ ساله نشان داد و دو شاخص در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بیشترین همبستگی را داشتند. ملکی‌نژاد و پورشرعیاتی (۱۳۹۰) روند خشکسالی در دشت مروست را با استفاده از شاخص GRI بررسی نمودند؛ آن‌ها برای این منظور از داده‌های سه چاه پیژومتری با کمترین، متوسط و بیشترین افت استفاده کردند، سپس با شاخص GRI روند خشکسالی طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۶۶ را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد به طور متوسط از سال ۱۳۸۰ به بعد خشکسالی افزایش و مقادیر شاخص GRI کاهش یافته است. نجفی توربورآباد و جلیلی (۱۳۹۰) به بررسی روند خشکسالی دشت اردبیل بر اساس شاخص GRI با استفاده از GIS پرداختند، نتایج آن‌ها نشان

## شاخص سطح آب استاندارد شده SWI

این شاخص به منظور پایش نوسانات سطح آب زیرزمینی در مورد تنش سفره آب زیرزمینی در سال (۲۰۰۴) توسط بویان ارائه شد. شاخص SWI با نرمالیزه کردن سطح آب زیرزمینی فصلی و از تقسیم اختلاف بین سطح آب فصلی با میانگین فصلی طولانی مدت، به انحراف معیار بدست می‌آید، فرمول کلی شاخص SWI به صورت زیر است (Bhuiyan et al., 2004):

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \quad (1)$$

که در آن:

$W_{ij}$  سطح ایستابی فصلی چاه‌های پیژومتری،

$i$  تا  $j$  میانگین فصلی چاه‌های پیژومتری

$\sigma$ : انحراف معیار

SWI شاخصی است که به صورت غیرمستقیم کاهش آب سفره و تغذیه را اندازه می‌گیرد. این شاخص شدت خشکسالی را به پنج طبقه تقسیم می‌کند؛ که مقادیر مثبت SWI نشان‌دهنده خشکسالی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده عدم خشکسالی یا شرایط نرمال می‌باشد (جدول ۱).

منطقه را نشان می‌دهد. جهت انجام این تحقیق از داده‌های سطح آب زیرزمینی ۶۷ چاه پیژومتری با طول دوره‌ی آماری یازده ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۰) استفاده شده است. این داده‌ها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان فارس تهیه شده است. در این تحقیق به منظور تشخیص و پایش خشکسالی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه از شاخص‌های منبع آب زیرزمینی (GRI) و سطح آب استاندارد شده (SWI) استفاده شده است. مقادیر هر کدام از شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای کل منطقه و در مقیاس زمانی سالانه برای هر کدام از چاه‌ها به صورت جداگانه محاسبه شده است. همچنین پهنه‌بندی خشکسالی آب زیرزمینی به منظور تعیین دقیق مناطق خطر از نظر خشکسالی آب زیرزمینی و مدیریت بهتر منابع آب در این منطقه در محیط نرم‌افزار Arc Gis با استفاده از روش زمین آماری فاصله وزنی معکوس (IDW)<sup>۱</sup> انجام شده است.



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش چاه‌های پیژومتری منطقه

<sup>1</sup> - Inverse Distance Weighting

جدول (۱): طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SWI و GRI

طبقات خشکسالی	مقادیر SWI (Bhuiyan et al., 2004)	مقادیر GRI (Mendicino et al., 2008)
بدون خشکسالی	$< 0$	$> 0$
خشکسالی ملایم	$0$ تا $0/99$	$0$ تا $0/99$
خشکسالی متوسط	$1/49$ تا $1$	$-1$ تا $-1/49$
خشکسالی شدید	$1/99$ تا $1/5$	$-1/5$ تا $-1/99$
خشکسالی بسیار شدید	$\geq 2$	$\leq -2$

## شاخص منبع آب زیرزمینی GRI

شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مهندسینو و همکاران به عنوان شاخصی قابل اعتماد برای مدل‌سازی، پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای منطقه مدیترانه پیشنهاد شد. در این شاخص وضعیت مختلف سنگ‌شناسی زمین تاثیر مهمی بر واکنش آب‌های 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. مهمترین قابلیت این شاخص همبستگی بالای آن با متوسط رواناب در برخی از رودخانه‌های حوزه در پیش‌بینی خشکسالی‌های فصل تابستان می‌باشد. جهت محاسبه این شاخص از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود (Mendicino et al., 2008):

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (2)$$

که در آن:

$GRI_{y,m}$ : ارزش شاخص 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  
 طبقات مختلف خشکسالی در شاخص GRI همانند شاخص SWI می‌باشند با این تفاوت که مقادیر آن‌ها عکس یکدیگرند (جدول ۱).

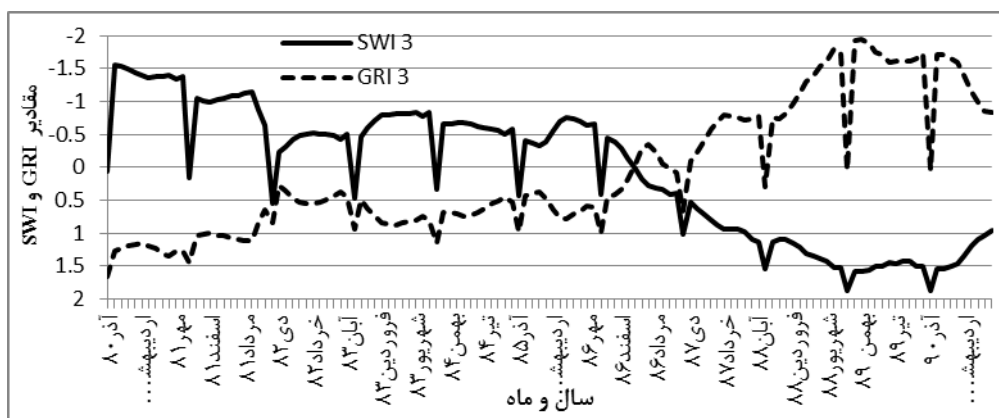
## نتایج و بحث

## وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه

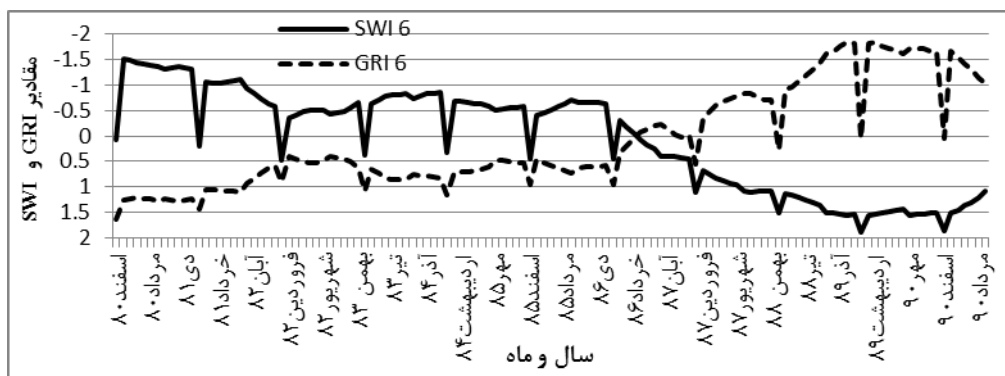
نتایج محاسبات و بررسی وضعیت خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از دو شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس اشکال ارائه شده در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شاخص GRI شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی را در بهمن ماه ۱۳۸۹ با مقدار  $-1/94$  و شاخص SWI در آذر ماه ۱۳۸۹ با مقدار  $1/87$  نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۶ ماهه شاخص GRI در دی ماه ۱۳۸۹ با مقدار  $-1/84$  شاخص SWI در اسفند ماه ۱۳۸۹ با مقدار  $1/89$  را نشان می‌دهد. همین وضعیت در مقیاس زمانی ۹ ماهه، شاخص GRI در مهرماه ۱۳۹۰ با مقدار

خشکسالی می‌باشد که از سال ۱۳۸۶ این روند حالت تشدید می‌گردد و تا پایان دوره آماری استمرار داشته است تا جاییکه شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی بر اساس نتایج هر دو شاخص به ترتیب شدت؛ ابتدا در سال ۱۳۹۰ و سپس در سال ۱۳۸۹ با وقوع پیوسته است که بیانگر کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه می‌باشد. همچنین بر اساس اشکال ارائه شده، در هر دو شاخص با افزایش مقیاس‌های زمانی تداوم و شدت و تکرار خشکسالی نیز افزایش می‌یابد، همچنین شاخص GRI خشکسالی آب زیرزمینی را ۱۲ ماه زودتر از شاخص SWI نشان می‌دهد که این را می‌توان به تاثیر شرایط سنگ‌شناسی حوزه بر نتایج شاخص GRI نسبت داد.

۱/۸۷- و شاخص SWI در خرداد ۱۳۸۹ با مقدار ۱/۸۷ را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، شاخص GRI در مهر ماه ۱۳۹۰ با مقدار ۲- و SWI در شهریور ۱۳۸۹ با مقدار ۱/۸۵ را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۱۸ ماهه، شاخص GRI در مهرماه ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۱- و شاخص SWI در اسفند ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۱- نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، شاخص GRI در مهرماه ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۴- و شاخص SWI در شهریور ۱۳۹۰ با مقدار ۱/۸۸- نشان می‌دهد و نهایتاً در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، شاخص GRI در مهر ماه ۱۳۹۰ با مقادیر ۱/۹۴- و شاخص SWI در شهریور ۱۳۹۰ با مقدار ۲/۰۸- نشان می‌دهد. بنابراین به طور کلی می‌توان گفت که در هر دو شاخص با افزایش دوره‌ی زمانی روند شاخص‌ها به سمت

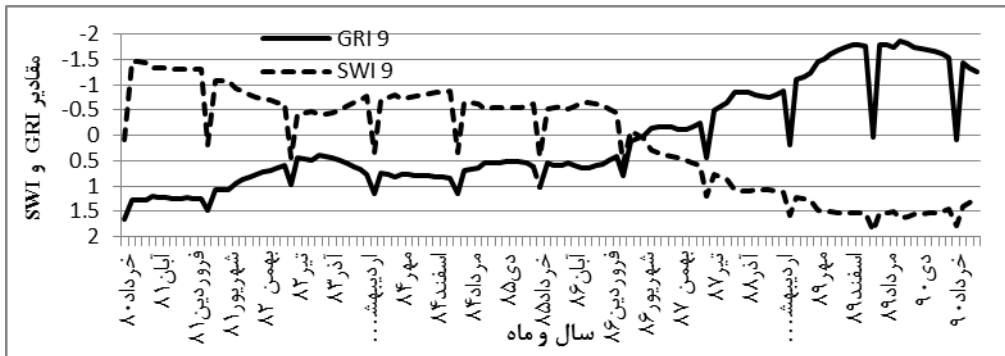


(الف)

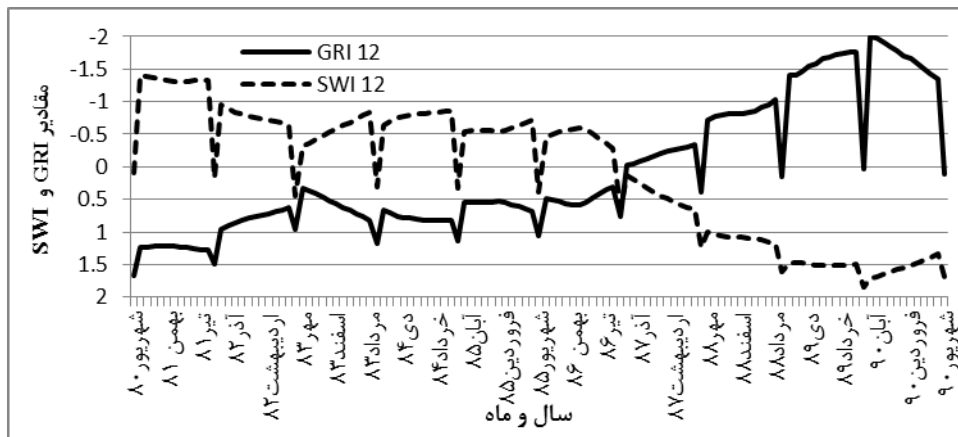


(ب)

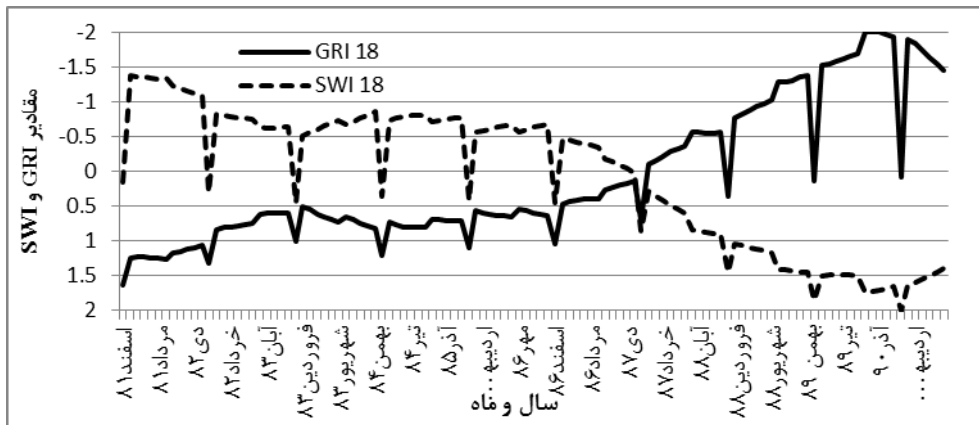
شکل (۲): تغییرات شاخص‌های SWI و GRI در پایه زمانی ۱۱ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۰) در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه (الف)، ۶ ماهه (ب)، ۹ ماهه (پ)، ۱۲ ماهه (ت)، ۱۸ ماهه (ث)، ۲۴ ماهه (ج)، ۴۸ ماهه (چ).



(ج)

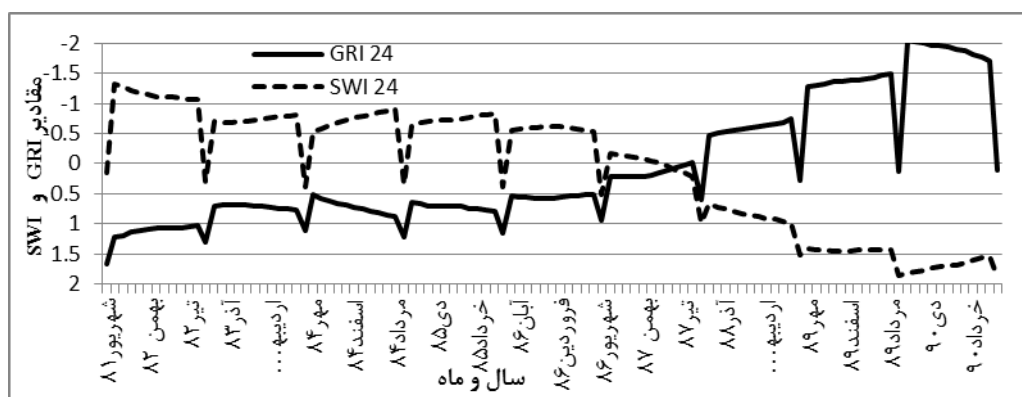


(ب)

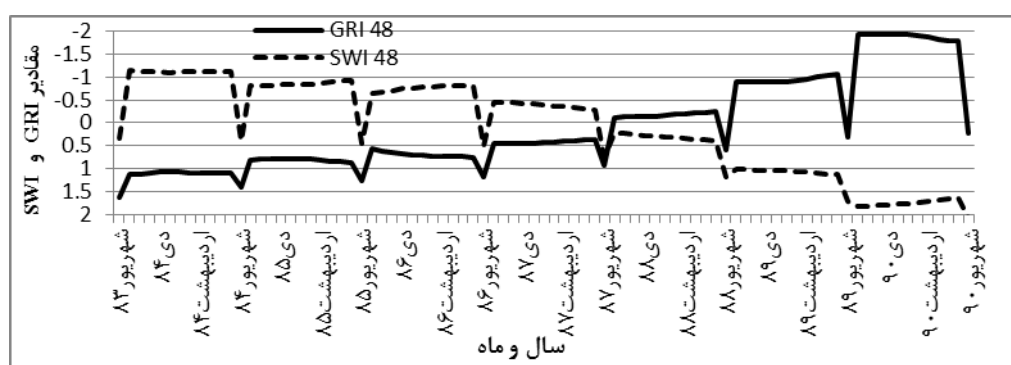


(ث)

ادامه شکل (۲): تغییرات شاخص‌های GRI و SWI در پایه زمانی ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۰) در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه (الف)، ۶ ماهه (ب)، ۹ ماهه (پ)، ۱۲ ماهه (ت)، ۱۸ ماهه (ث)، ۲۴ ماهه (ج)، ۴۸ ماهه (چ).



(ب)



(ج)

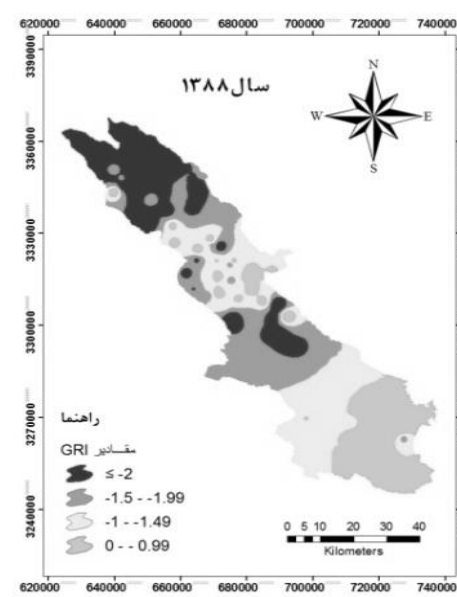
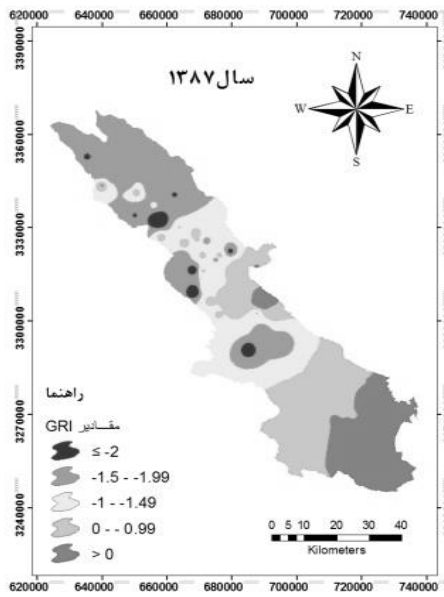
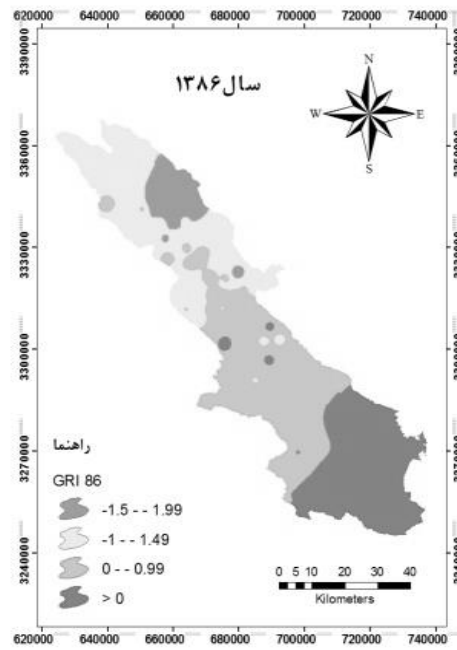
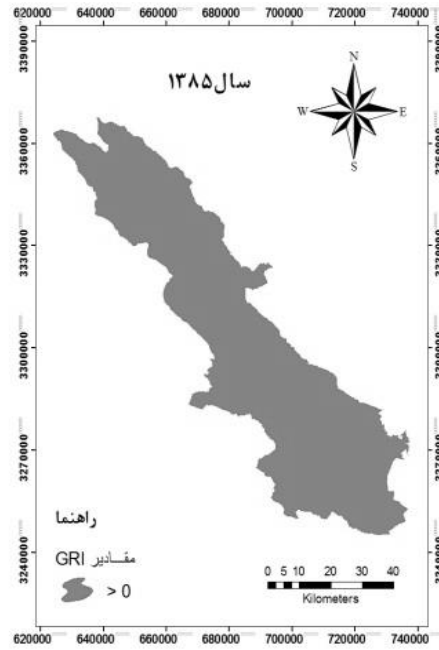
ادامه شکل (۲): تغییرات شاخص‌های GRI و SWI در پایه زمانی ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۰) در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه (الف)، ۶ ماهه (ب)، ۹ ماهه (پ)، ۱۲ ماهه (ت)، ۱۸ ماهه (ث)، ۲۴ ماهه (ج)، ۴۸ ماهه (چ).

طبقه بسیار شدید جایگزین شده است و همین طور این پهنه با افزایش تدریجی شدت، در اثر گذشت زمان به سمت بخش‌های جنوبی سوق پیدا کرده است؛ به‌طوریکه شدت خشکسالی در یک بخش نسبت به سال قبل افزایشی بوده است، بنابراین می‌توان گفت روند کاهش سطح سفره آب زیرزمینی از بخش‌های شمالی شروع و با افزایش دوره‌ی زمانی به سمت بخش‌های جنوبی ادامه داشته است که علت آن را می‌توان به احتمال وقوع خشکسالی هواشناسی در منطقه و در نتیجه بهره‌برداری بیشتر از منابع آب زیرزمینی در اثر وقوع آن را نسبت داد (شکل ۳).

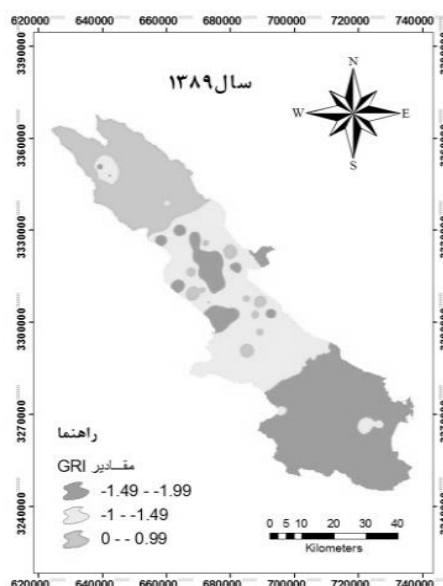
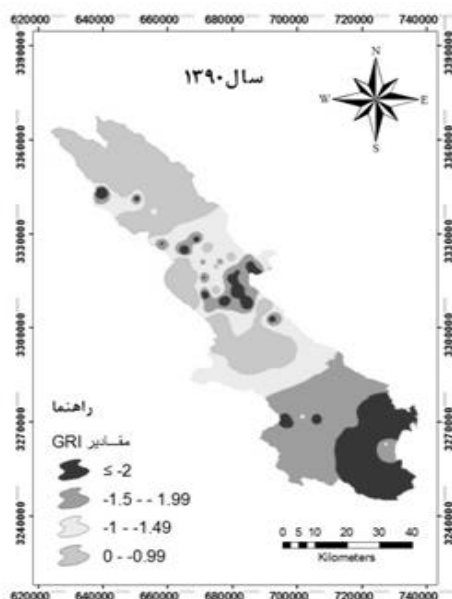
### توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه با استفاده از شاخص GRI

همان‌گونه که در نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص GRI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ مشاهده می‌شود؛ روند خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه افزایشی است؛ به‌طوریکه در سال‌های اولیه‌ی دوره‌ی آماری پهنه با طبقه بدون خشکسالی و ملایم بر کل منطقه حاکم بوده است و شروع خشکسالی آب زیرزمینی با طبقه شدید (۱/۵- تا -۱/۹۹-) از سال ۱۳۸۶ به بعد از بخش‌های شمالی منطقه می‌باشد که با گذشت زمان این پهنه به سمت بخش‌های مرکزی با افزایش تدریجی شدت، تغییر مکان داده است و در بخش‌های شمالی، پهنه‌ی خشکسالی با





شکل (۳): نقشه گستره شدت خشکسالی با استفاده از شاخص GRI

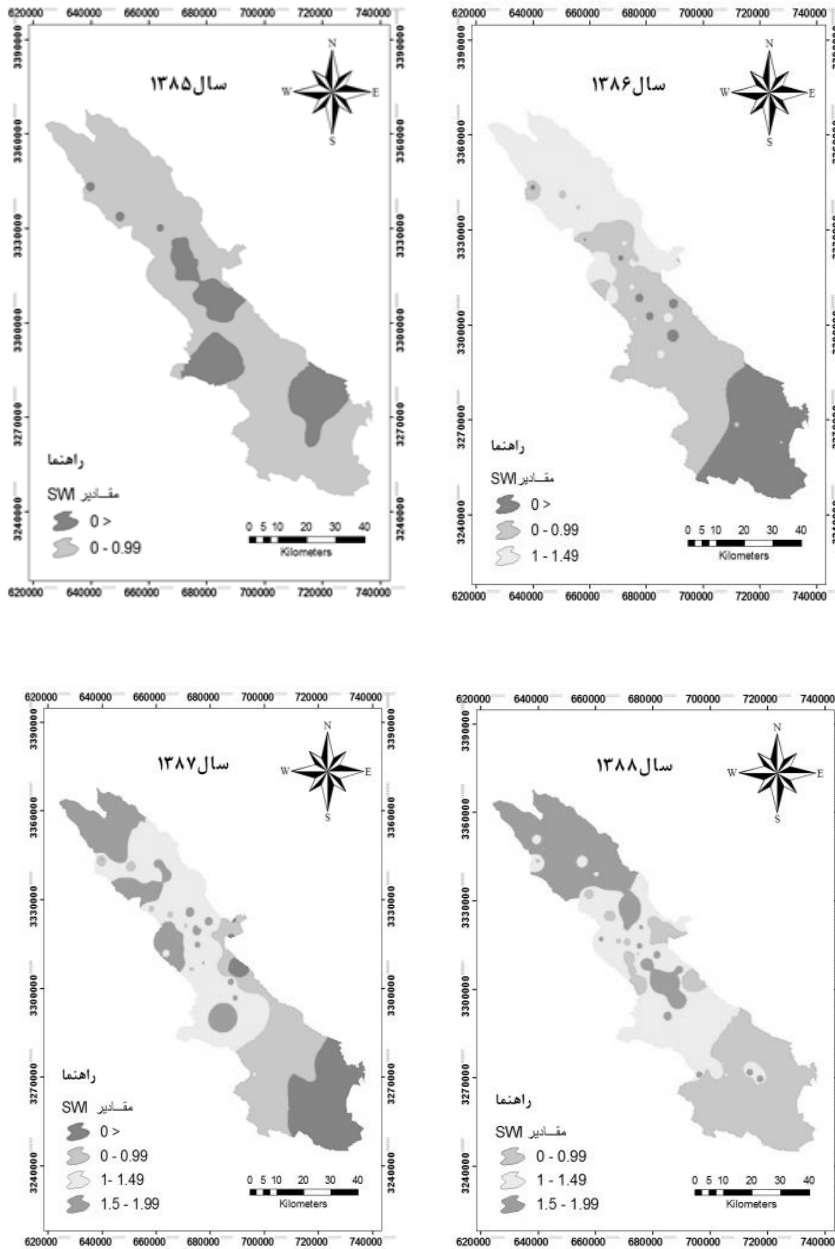


ادامه شکل (۳): نقشه گستره شدت خشکسالی با استفاده از شاخص GRI

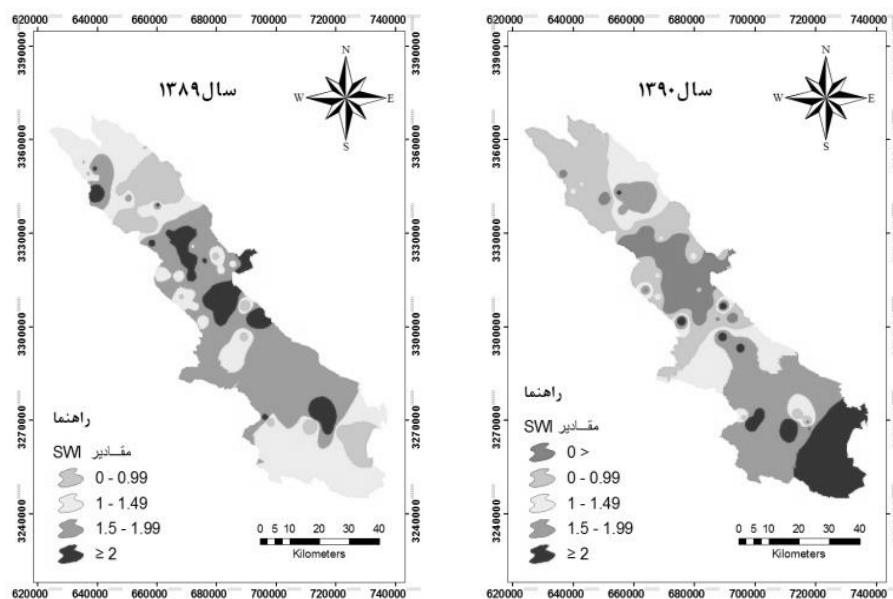
شروع شده است و این پهنه، با گذشت زمان علاوه بر افزایش شدت خشکسالی، به سمت بخش‌های مرکزی و سپس جنوبی تغییر مکان داده است و در بخش‌های شمالی پهنه با شدت خشکسالی ملایم و بدون خشکسالی جایگزین آن شده است که نشان دهنده ی کاهش سطح ایستابی و افزایش عمق آب زیرزمینی در منطقه بدلیل استفاده از این منابع جهت تامین آب برای بخش‌های مختلف می‌باشد (شکل ۴).

### توزیع مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص SWI

نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SWI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نیز نتایج حاصل از شاخص GRI مبنی بر شروع وقوع خشکسالی آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۶ را تایید می‌کند و طبق طبقه‌بندی این شاخص، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ کل منطقه را پهنه با طبقات بدون خشکسالی و ملایم فراگرفته است و از سال ۱۳۸۶ گسترش پهنه خشکسالی با طبقه متوسط از بخش‌های شمالی



شکل (۴): نقشه گستره شدت خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SWI



ادامه شکل (۴): نقشه گستره شدت خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SWI

دوره آماری بخش‌های شمالی را فراگرفته سپس با گذشت زمان به سمت بخش‌های مرکزی انتقال مکان داده و نهایتاً در اواخر دوره آماری به سمت بخش‌های جنوبی سوق پیدا کرده است و همچنان با انتقال پهنه به سمت بخش‌های جنوبی بر شدت آن نیز افزوده شده است. این نتایج بیانگر افت سطح آب‌زیرزمینی در منطقه، مخصوصاً در بخش‌های جنوبی منطقه است که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر اقلیم بر سطح آب‌زیرزمینی و متعاقباً برداشت بیش از حد از منابع آب‌زیرزمینی در منطقه باشد که با ادامه این روند، آبخوان منطقه با بحران جدی کاهش سطح آب زیرزمینی و عواقب ناشی از آن مانند فرونشست، هجوم آب شور و تنزل و تخریب کیفیت آب شیرین مواجه خواهد شد. بنابراین لزوم برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی با تغییر الگوی کشت و عدم کشت محصولات غیر راهبردی، آموزش کشاورزان و اصلاح سیستم‌های آبیاری به منظور تعدیل برداشت از سفره در چنین شرایط بحرانی در این منطقه ضروری است.

## نتیجه‌گیری

با انطباق نتایج حاصل از محاسبات هر دو شاخص با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه رخ داده است و هر دو شاخص شروع دقیق آن را از سال ۱۳۸۶ به بعد از بخش‌های شمالی به سمت بخش‌های جنوبی منطقه تشخیص داده‌اند همچنین بر اساس نتایج هر دو شاخص با افزایش دوره‌ی زمانی بر شدت و فراوانی این روند افزوده شده است طوری که در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه هر دو شاخص دارای بیشترین شدت خشکسالی هستند؛ شاخص GRI در مهر ماه ۱۳۹۰ خشکسالی را با مقادیر  $-1/94$  و شاخص SWI در شهریور ۱۳۹۰ خشکسالی را با مقدار  $2/08$  نشان می‌دهد بنابراین شدیدترین خشکسالی در پایان دوره‌ی آماری (۱۳۹۰) رخ داده است. همچنین با مقایسه نمودارهای ارائه شده از نتایج محاسبات، شاخص GRI نسبت به شاخص SWI خشکسالی آب زیرزمینی را ۱۲ ماه زودتر نشان می‌دهد که این را می‌توان به تأثیر شرایط سنگ‌شناسی حوزه بر نتایج شاخص GRI نسبت داد. بر اساس نقشه‌ها نیز پهنه خشکسالی در ابتدای

## منابع

- اکرامی، م.، ح. ملکی نژاد و م. اختصاصی. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر خشکسالی اقلیمی بر آبدهی برخی از قنوات دشت یزد- اردکان. همایش بین المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین المللی قنات و سازه های تاریخی آبی.
- صیف، م.، ا. مساعدی و ح. محمدزاده. ۱۳۹۰. بررسی خشکسالی هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI). پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.
- طالبی، ع.، م. ایمانی و م. دستورانی. ۱۳۹۰. بررسی اثر خشکسالی بر کاهش سطح آب های زیرزمینی و آبدهی قنوات در دشت بهاباد یزد. همایش بین المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین المللی قنات و سازه های تاریخی آبی.
- محمدی، م.، ح. مرادی و م. وفاخواه. ۱۳۸۷. تعیین خشکسالی آب های زیرزمینی در دشت اراک با استفاده از شاخص SWI و رویکرد GIS. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تبریز، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- ملکی نژاد، ح و م. سلیمانی مطلق. ۱۳۹۰. بررسی شدت خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوزه چغلوندی. مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ص ۷۲-۶۱.
- ملکی نژاد، ح و ر. پورشرعیاتی. ۱۳۹۰. بررسی روند خشکسالی در دشت مروست با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- نجفی توپورآباد، س و ل. جلیلی. ۱۳۹۰. بررسی روند خشکسالی دشت اردبیل براساس شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) با استفاده از GIS. اولین کنگره ملی علوم و فناوریهای نوین کشاورزی، زنجان، دانشگاه زنجان.
- Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: Proceedings of the 2th ISPRS Conference. Int. Soc. Photogramm. Remote Sensing., Istanbul.
- 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.
- Calow, R. C., N. S. Robins, A. M. MacDonald, D. M. J. MacDonald, B. R. Gibbs, W. R. G, Orpen, P. Mtembezeka, A.J. Andrews and S.O. Appiah. 1997. Groundwater management in drought-prone areas of Africa. Water Resour Dev, 13(2): 241-261.
- Hayes, M. J. 2007. Drought Indices. Intermountain West Climate Summary. Western Water Assessment. National Drought Mitigation Center (NDMC). <http://drought.unl.edu/index.htm>.
- MacDonald, A. M., R. C. Calow, D. M. J. MacDonald, W. G. Darling and Ó Dochartaigh. 2009. What impact will climate change have on rural water supplies in Africa? Hydrological Sciences Journal, 54(4): 691-703.
- 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.
- 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: 257-275.
- Villholth, K. G., C. Tottrup, M. Stendel and A. Maherry. 2013. Integrated mapping of groundwater drought risk in the Southern African Development Community (SADC) region, Hydrogeology Journal, 21(4): 863-885. doi: 10.1007/s10040-013-0968-1.

## Groundwater Drought Investigating using SWI and GRI Indices (Case Study: Marvdasht Kharameh Aquifer)

Maryam Ahmadi Akhooorme<sup>1\*</sup>, Ahmad Nohegar<sup>2</sup> Mahdi Soleimani Motlagh<sup>3</sup>, Majid Taie Semiromi<sup>4</sup>

### Abstract

Groundwater drought occurs when groundwater as a source of water supply, are affected by prolonged Meteorological drought. In groundwater drought process, at first groundwater recharge, later groundwater levels and finally groundwater discharge are decreased by other Droughts effects. In this Condition, An integrated water resource management based on awareness of spatial and temporal distribution of this type of drought will be essential. in this research, standardized water level index (SWI) and Groundwater Resource Index (GRI) have been used to assess detail of spatial and temporal of groundwater drought occurrence in Marvdasht Kharameh study areas aquifer. Thus, Groundwater level data of 67 Piezometric wells has been used for 2001 to 2011. Drought Index maps generated in Geographic Information Systems (GIS) environment with Inverse Distance Weight (IDW) method. Analysis and interpretation maps and result of calculations of two indexes reveal that the Groundwater Drought began from 2007. And three characteristics of drought include: Duration, Severity and Frerrequency are increasing with increasing time scales. The spatial coverage of this type of drought gradually shifts from northern of case study to middle and finally shifts to southern part during the time study.

**Key words:** GRI Index, Groundwater Drought, Marvdasht Kharameh Aquifer, SWI Index.

---

<sup>1</sup> - M.Sc. in Watershed Management Engineerin-, Andishe St, Moallem Square, Marvdasht City, Fars Province, 09178274760 \* Corresponding author: Ahmadi.maryam2000@yahoo.com

<sup>2</sup> - Ph.D in Geomorphology, Professor in Management, Planning and Education University of Tehran, Tehran, Iran. 09171610128 , Ahmad.Nohegar@gmail.com

<sup>3</sup> - M.Sc. in Watershed Management Engineering, Ph.D Student in watershed Management Science and Engineering in Kashan University, Asadabadi St, Khorramabad City, Lorestan Province, Iran. 09163695517 . soleimani@grad.kashanu.ac.ir.

<sup>4</sup> - M.Sc. in Watershed Management Engineering, Ph.D Student in Geohydrology in Kassel University - Wolters St. 3, 34109 Kassel, Hessen, German . +49- 5618043525, Majid.Taie@uni-kassel.de.