

بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI (مطالعه مورد: آبخوان دشت مرند)

یونس نیکوخصال^۱
علی اکبر رسولی^۲
داوود مختاری^۳
خلیل ولیزاده کامران^۴

چکیده

بررسی اثرات خشک‌سالی بر منابع آب دشت‌های کشور در مدیریت بهینه منابع آب در بخش کشاورزی و منابع طبیعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. پدیده تغییر اقلیم با تغییر در میزان بارش و وقوع خشک‌سالی‌های متوالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. شناخت و آگاهی از تأثیر زمانی بین دو پدیده خشک‌سالی و خشک‌سالی آب‌شناختی، می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب کمک زیادی کند. در طول سالیان متمادی، اثر خشک‌سالی بر روی منابع آب‌های زیرزمینی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بدین منظور، در این پژوهش، با استفاده از شاخص استاندارد بارش و شاخص سطح استاندارد آب زیرزمینی تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی دشت مرند طی سال‌های آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۶-۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، داده‌های مربوط به ۸ ایستگاه هواشناسی در دشت مرند مورد مطالعه قرار گرفت و با استفاده از شاخص روند خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت نتایج نشان داد که در طول مدت مطالعه (۱۳۸۰-۱۳۹۷) سه دوره خشک‌سالی از زمستان ۱۳۸۴ تا آغاز سال ۱۳۸۸، تابستان ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۱ و زمستان ۱۳۹۵ تا تابستان ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است. مناطق درگیر خشک‌سالی شامل شرق و مرکز منطقه مورد مطالعه بوده و غرب منطقه شاهد نزولات جوی بیشتری بوده است. برای بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی از شاخص SWI استفاده شد. این شاخص نشان داد از لحاظ زمانی و مکانی، خشک‌سالی بر اساس این شاخص منطبق بر خشک‌سالی حاصل از شاخص SPI می‌باشد. نتایج این شاخص نمایانگر افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی جهت جبران نیاز آبی دشت می‌باشد. بررسی داده‌ها نشان داد که این دو شاخص با فاصله زمانی یک فصل دارای هم‌بستگی در سطح ۱ درصد می‌باشند.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی اقلیمی، آب زیرزمینی، شاخص SPI، شاخص SWI، دشت مرند

مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش بسزایی داشته باشد. عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع، خسارت جبران‌ناپذیری مانند افت شدید سطح آب زیرزمینی، پیشروی جبهه‌های آب شور و

^۱. دانشجوی دکتری، رشته اقلیم‌شناسی ماهواره ای، دانشگاه آزاد مرند

^۲. استاد گروه اقلیم، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی - دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی محیطی (نویسنده مسئول)

Email : arasuly@yahoo.com - Tel: 09141165767

^۳. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی محیطی

^۴. استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی

تداخل آب‌های شور را به دنبال خواهد داشت. به همین منظور، برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است بررسی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۳۵). بر اثر تغییرات اقلیمی ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند شاخص‌های هواشناسی از جمله بارندگی و دما حاصل می‌شود که این ناهنجاری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۸). بروز تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به همراه مدیریت نامناسب منابع آبی، موجب شده که آسیب‌پذیری جوامع از این تغییرات، افزایش یابد و بدون شک، تشدید بحران‌های آبی نیز موجب افزایش هر چه بیشتر آسیب‌پذیری خواهد گردید. با توجه به گرمایش جهانی و افزایش پدیده تبخیر، روزه‌روز نیاز به منابع آبی بیشتر می‌شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۶). محدودیت در آب قابل‌دسترس همراه با روند روزافزون افزایش جمعیت در مناطق خشک دنیا از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد. به‌طور کلی با پدیده گرمایش جهانی، چرخه هیدرولوژیکی تندتر خواهد شد و شرایط ناحیه‌ای را دگرگون خواهد کرد. تقاضای بیشتر و مصرف زیادتر آب اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب را مضاعف می‌کند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۸). همچنین وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی و به دنبال آن برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع تأمین آب، موجب افت شدید سطح ایستابی و تغییر در کیفیت آب می‌شود. توسعه کشاورزی و صنعت باعث افزایش برداشت از منابع زیرزمینی شده و برداشت بی‌رویه از مخازن آب زیرزمینی موجب شده و باعث افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. افت سطح آب زیرزمینی مشکلاتی همچون خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، تنزل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ و نشست زمین را به دنبال دارد (صمدی بروجنی و ابراهیمی، ۱۳۸۹، ۱۵۴). آب‌های زیرزمینی به‌رغم اهمیت، در مقایسه با منابع آب‌های سطحی کم‌تر در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم مورد توجه قرار گرفته‌اند (حسن‌لی، ۱۳۹۰، ۲۳۴). تهی شدن مخازن آب‌های زیرزمینی، خشک شدن قنات و چشمه‌ها و حتی چاه‌های نیمه عمیق و کاهش دبی چاه‌های عمیق، تغییر جهت جریان آب‌های زیرزمینی، شور شدن آبخوان‌ها، شور شدن خاک به‌واسطه آبیاری با آب‌های شور، بایر شدن کشتزارها، فرسایش خاک و... بیشتر دشت‌های کشور را در زمره مناطق درخطر بیشتر بیابان‌زایی قرار داده است (طاووسی، ۱۳۸۸: ۱۴). یکی از راهکارهای افزایش امنیت آب در کشور به‌جای اتکال تنها به آب‌های زیرزمینی، تنوع‌بخشی به منابع تأمین آب است (حسن‌لی و شفیعی، ۱۳۸۹، ۵۶).

تأثیر خشکسالی هواشناسی در سیستم آب‌های زیرزمینی، به‌طور کلی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه (ون لانن و همکاران، ۲۰۰۰، ۵۳؛ بوئی یان ۲ و همکاران، ۲۰۰۶، ۳۰۰) اتفاق می‌افتد. از آنجایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی عمدتاً با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی نهایتاً بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت (بیگی، ۲۰۱۰: ۷). 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 (ویل هاوس ۴ و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۳).

تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلندمدت اقلیمی مانند بارش، دما و تبخیر تأثیر می‌گذارد، اما تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (شکبیا ۵؛ ۲۰۱۰: ۱۰۵)؛ بنابراین بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نه‌تنها به پیش‌بینی قابل‌اطمینان از تغییرات متغیرهای اساسی اقلیمی نیاز دارد، بلکه به تخمین دقیق تغذیه آب زیرزمینی نیز نیازمند است.

¹ VanLanen et al

² Bhuiyan

³ Beigi

⁴ Villholth

⁵ shakiba



مطالعات زیادی در مورد تغییر اقلیم و افت سطح آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

صراف و همکاران ۱۳۹۴، با پایش و پیش‌بینی‌های ترسالی و خشکسالی تبریز بیان کردند که روند بارش رو به کاهش است و از طرفی در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی ترسالی و خشکسالی‌ها رو به افزایش نهاده و از وضعیت نرمال فاصله گرفته‌اند. کماسی و همکاران ۱۳۹۵، به شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی پرداخته و نشان دادند که تأثیر عوامل انسانی بر عامل تغییر اقلیم در کاهش تراز آب زیرزمینی در دشت سیلاخور مقدم است. زینالی و همکاران ۱۳۹۶ در تحقیق خود نشان دادند که خشکسالی و کاهش بارندگی باعث افزایش برداشت از سطح آبخوان دشت مرند شده و این روند شاخص‌های کیفی آب رو تحت تأثیر قرار داده و باعث قرار گرفتن کیفیت آب در کلاس خیلی شور برای مصارف کشاورزی شده است. یوسفی و همکاران ۱۳۹۷، تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در جنوب استان فارس را مطالعه کردند. آن‌ها در این تحقیق تغییرات سطح ایستابی دشت را با استفاده از داده‌های ۱۷ حلقه چاه پیژومتری در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ انجام دادند. نتایج نشان دادند که سطح ایستابی آب زیرزمینی در طول دوره به‌طور متوسط ۱۰/۲ متر افت داشته است. نتایج مطالعه (رودل و لی، ۲۰۱۴) در بررسی شاخص خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آمریکا نشان دادند که شاخص خشکسالی SPI با تأخیر ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای بیشترین همبستگی با شاخص SWI بود. شرستا و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهش خود تأثیرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب زیرزمینی در دلتای مکونگ ویتنام را بررسی کردند و دریافتند که تا پایان قرن ۲۱ میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و در نتیجه سطح آب زیرزمینی منطقه روند کاهشی خواهد بود.

ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر یکی از کشورهای کم آب جهان محسوب می‌شود (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد منابع آب و برداشت بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد. ایران رتبه سوم برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی را دارد و به‌طور متوسط سالانه ۵ میلیارد مترمکعب آب بیش از ظرفیت لایه‌های آبدار زمین از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود (محمدمدی قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۹۰، ۹۵). در این میان دشت مرند هدف مطالعه حاضر می‌باشد. دشت مرند از نظر بارش‌های جوی فقیر بوده و در بیشترین حالت بارندگی ۴۵۰ میلی‌متر در سال و در کمترین حالت ۱۵۰ میلی‌متر در سال است که در نواحی جلگه‌ای و کوهستانی متغیر می‌باشد. در تحقیق حاضر سعی شده با استفاده از تحلیل‌های زمین‌آمار، تأثیر ریزش‌های جوی از جمله میزان بارندگی بر میزان سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت مرند بررسی گردد.

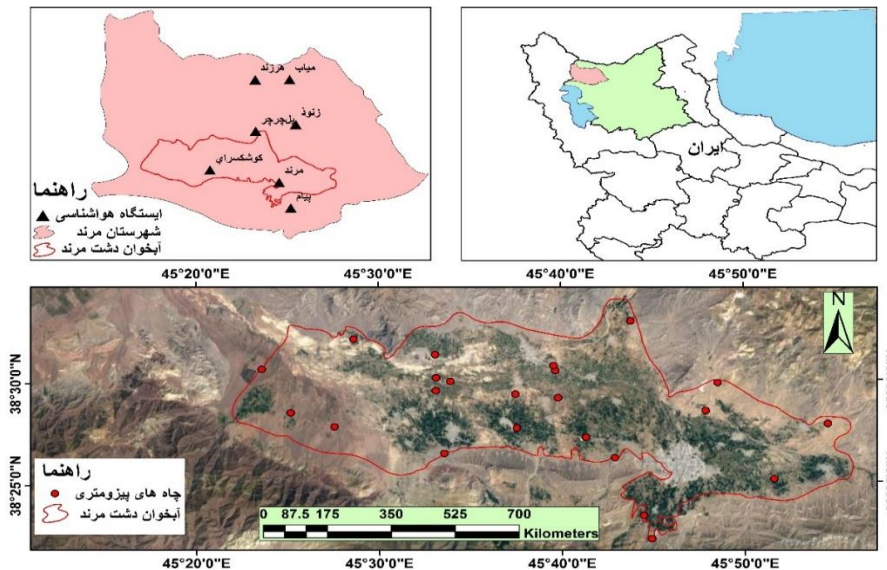
منطقه مطالعه

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 است. این دشت بین ارتفاعات محصور بوده و دارای شیب ملایمی در حدود ۲-۵ درصد از دامنه شمالی و جنوبی و شرق به‌طرف مرکز دشت و درنهایت قسمت غربی می‌باشد (شکل ۱). اقلیم حاکم بر منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن از نوع نیمه‌خشک و سرد زمستانی می‌باشد. این منطقه از نظر وسعت سومین دشت استان محسوب می‌شود و آب موردنیاز اراضی کشاورزی و بخش قابل‌توجهی از آب شرب شهر مرند و روستاهای اطراف را تأمین می‌کند. در بین شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی، بعد از سراب (۱۲/۲ درصد)، مرند با ۱۱/۸ درصد دارای بیشترین اراضی آبی می‌باشد. آب‌وهوای منطقه از نوع خشک و سرد بوده و بیشتر تحت تأثیر هوای مدیترانه‌ای قرار دارد. میانگین دمای متوسط سالانه منطقه در مرداد ماه (گرم‌ترین ماه سال) ۲۴/۶ و در دی ماه (سردترین ماه سال) ۲/۲- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. رطوبت نسبی منطقه حداکثر ۷۹ درصد و حداقل مقدار آن ۲۶ درصد می‌باشد (اداره هواشناسی مرند). با استفاده از داده‌های

¹ Rodell and Li

باران‌سنجی در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه بیشترین بارش ماهانه در اردیبهشت ماه و کمترین آن در شهریور ماه است. میانگین بارش سالانه در طول یک دوره ۲۶ ساله برای یکی از ایستگاه‌های مرند (ایستگاه چرچر) حداکثر ۴۵۰ و حداقل ۱۵۰ میلی‌متر و میانگین بارش سالانه ۲۷۵/۳ میلی‌متر است.

منطقه مورد مطالعه به همراه پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی، همچنین ۲۳ چاه پیژومتری در شکل (۱) قابل مشاهده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش

داده‌های مورد نیاز تحقیق

جهت مطالعه روند تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرند، از داده‌های سطح ایستابی ۲۳ چاه پیژومتری در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۶ استفاده شد. آمار و اطلاعات مورد استفاده برای محاسبه بارندگی متوسط ماهانه و سالانه نیز از داده‌های ۸ ایستگاه هواشناسی (پل چرچر، پیام، زونوز، کشکسرای، مرند، میاب یکانات و هرزندات) طی دوره آماری ۱۶ سال (۱۳۸۰-۱۳۹۶) مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری در سال‌های مختلف تأسیس شده‌اند، بنابراین آمار ثبت شده در آن‌ها از نظر طول دوره آماری یکنواخت نیستند؛ بنابراین دوره آماری مشترک به منظور تجزیه و تحلیل سری داده‌ها (۱۳۸۰- تا ۱۳۹۶) انتخاب گردید.

روش تحقیق

جهت بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری و روش رگرسیون خطی استفاده گردید و در نهایت جهت دستیابی به نتایج آماری قابل اعتماد، داده‌ها از نظر صحت و همگنی با استفاده از آزمون توالی بررسی و کنترل شدند. برای محاسبه بارندگی متوسط دشت نیز از روش میان‌یابی IDW که یکی از مرسوم‌ترین روش‌های درون‌یابی نقاط پراکنده در مکان می‌باشد استفاده شد (نادریان فر و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۶). در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول بر اساس فاصله‌ی بین نقاط معلوم و نقطه مجهول محاسبه می‌شود. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند، به‌طوری‌که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه‌ی مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به طول یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند.

شاخص SPI

شاخص SPI به‌عنوان یکی از رایج‌ترین شاخص‌های خشکسالی در مطالعات خشکسالی و تحلیل آن در مقیاس‌های زمانی متفاوت

مورد استفاده قرار می‌گیرد (هیس‌دال و همکاران، ۲۰۰۳). مهم‌ترین مزیت شاخص SPI قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف است که باعث می‌شود این شاخص بتواند اثرات دوره‌های کوتاه‌مدت ذخایر آب (از جمله رطوبت خاک که در تولیدات کشاورزی نقش مهمی دارد) و اثرات دوره‌های طولانی‌مدت منابع آب (از جمله ذخایر آب زیرزمینی، سطح آب مخازن و جریان رودخانه‌ای) را پیش‌نماید. کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت، سبب ایجاد نوسان در رطوبت خاک و دوره‌های طولانی‌تر باعث تغییرات در منابع آب زیرزمینی و سطح آب مخازن می‌شود (وو و هایئس، ۲۰۰۱؛ میشرای و سینگ، ۲۰۱۰؛ مک کی و همکاران، ۱۹۹۳) مشخصات مربوط به این شاخص در جدول (۱) ارائه شده است.

$$SPI = \frac{\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق، X_{ij} بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی i ، با Z تعداد مشاهده، X_{im} میانگین درازمدت بارندگی و σ انحراف معیار است.

شاخص سطح آب استاندارد (SWI)

شاخص سطح آب استاندارد در سال ۲۰۰۴ به‌وسیله بوئی یان و همکاران (۲۰۰۶) جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده که با استفاده از روش زیر قابل محاسبه است.

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، W_{ij} متوسط فصلی سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی i تا Z ، W_{im} عبارت است از میانگین درازمدت فصلی و σ انحراف معیار می‌باشد. مقادیر مختلف SWI جهت تعیین شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در جدول (۱) ارائه شده است (Bhuiyan و همکاران، ۲۰۰۶ به نقل از پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده‌ی خشکسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم خشکسالی و شرایط نرمال می‌باشد.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های SPI و SWI

مقادیر SWI (بوئی یان، ۲۰۰۶)	مقادیر SPI (مک کی، ۱۹۹۳)	طبقه خشکسالی
< ۰	> ۰	بدون خشکسالی
۰ تا ۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹ -	خشکسالی ملایم
۱ تا ۱/۴۹	۱ - تا ۱/۴۹ -	خشکسالی متوسط
۱/۵ تا ۱/۹۹	۱/۵ - تا ۱/۹۹ -	خشکسالی شدید
۲ و بیشتر	۲ - و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

درون‌یابی

¹ Hisdal

² Hayes and Wu

³ Singh and Mishra

⁴ McKee

روش‌های درون‌یابی از هر نوع که باشند، می‌توانند به صورت معادله خطی یا غیرخطی بیان شوند (شمسی‌نیا و پیرمرادی، ۱۳۸۷). معادله کلی درون‌یابی به صورت معادله (۳) می‌باشد (سالاری و همکاران، ۱۳۸۸):

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

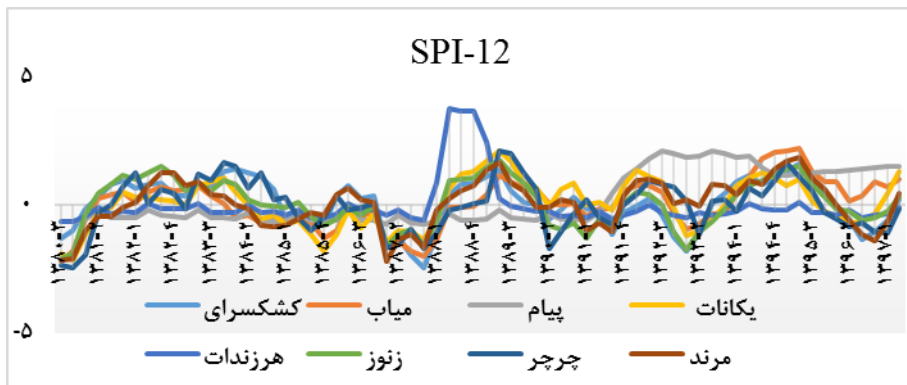
که در آن، $Z(S_o)$ مقدار برآورد شده در موقعیت S_o ، $Z(S_i)$ مقدار برآورد شده در موقعیت S_i ، λ_i فاکتور وزنی ایستگاه در موقعیت S_i معرف نقاط اندازه‌گیری شده و N تعداد کل ایستگاه‌ها است. در این تحقیق از روش درون‌یابی IDW استفاده شد. در IDW، فاصله مقدار یک کمیت در نقطه‌هایی معلوم، با استفاده از مقدار این کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم به دست می‌آید. این روش با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$Z(n) = \frac{1}{N} [\sum Z(x_i)] \quad \text{رابطه (۴)}$$

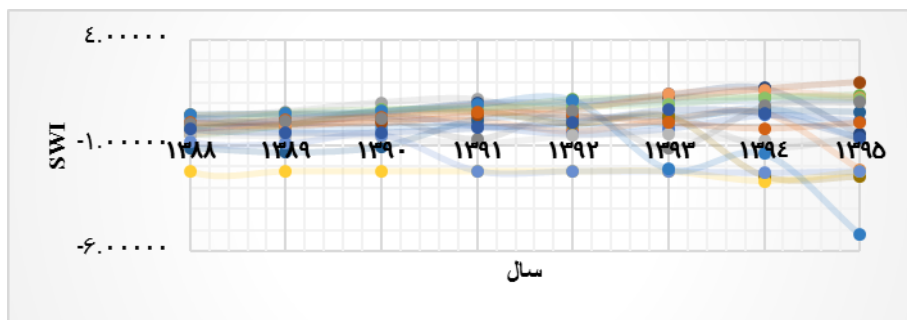
که در آن، $Z(n)$ مقدار برآورد شده در موقعیت n ، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت x_i و N تعداد کل ایستگاه‌ها می‌باشد.

یافته‌های تحقیق

این تحقیق با هدف بررسی اثرات خشکسالی اقلیمی بر میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت مرند با استفاده از شاخص‌های SPI و SWI صورت گرفت. وضعیت خشکسالی هواشناسی در دشت مرند با استفاده از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه محاسبه شد. نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه باران‌سنجی موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ و ۳ آورده شد.



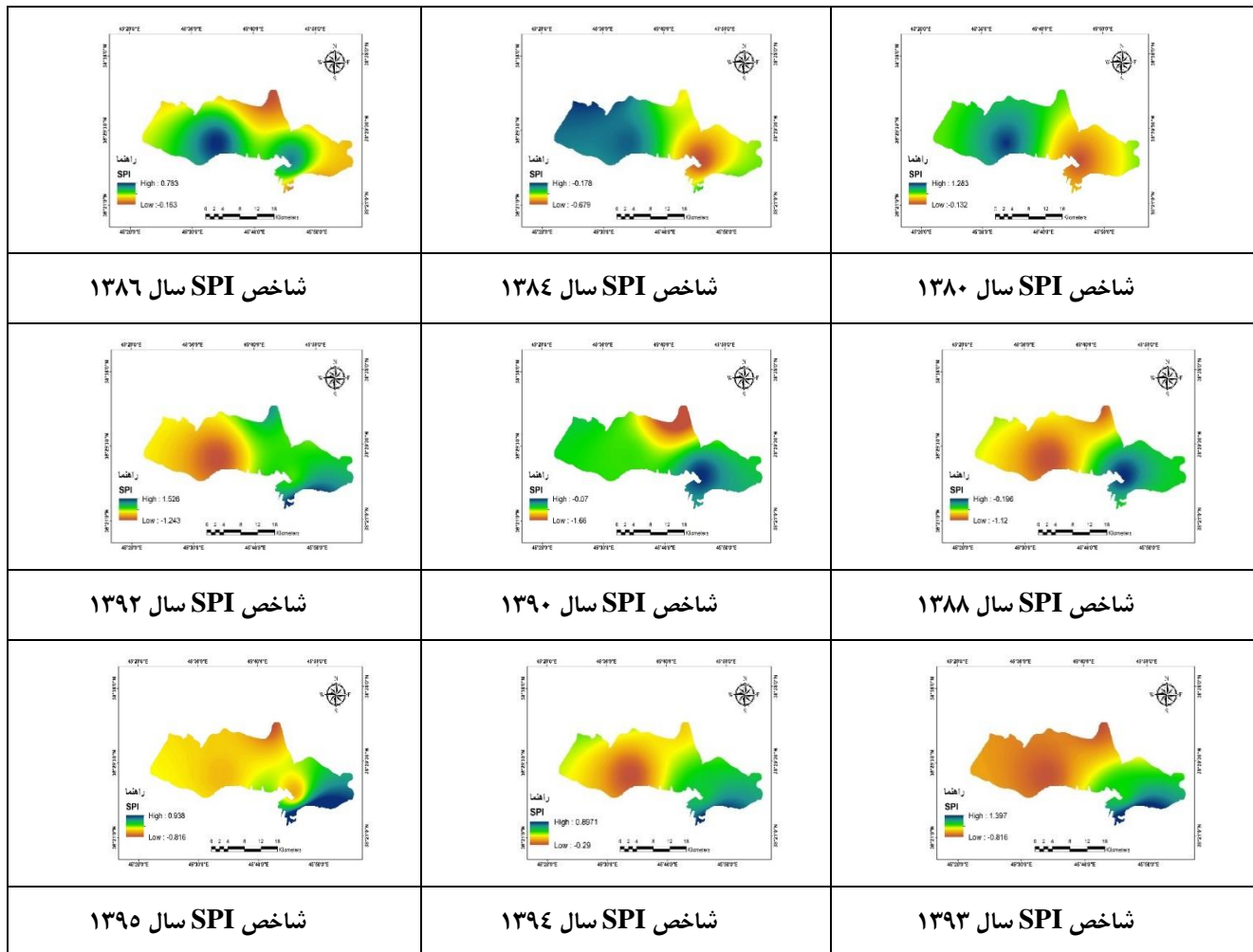
شکل ۲- وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های موجود در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه



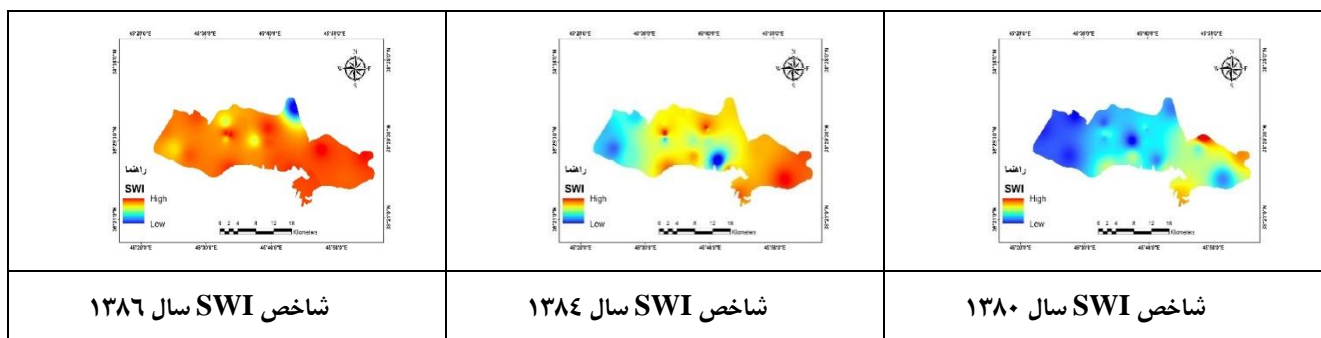
شکل ۳- وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های چاه‌های موجود

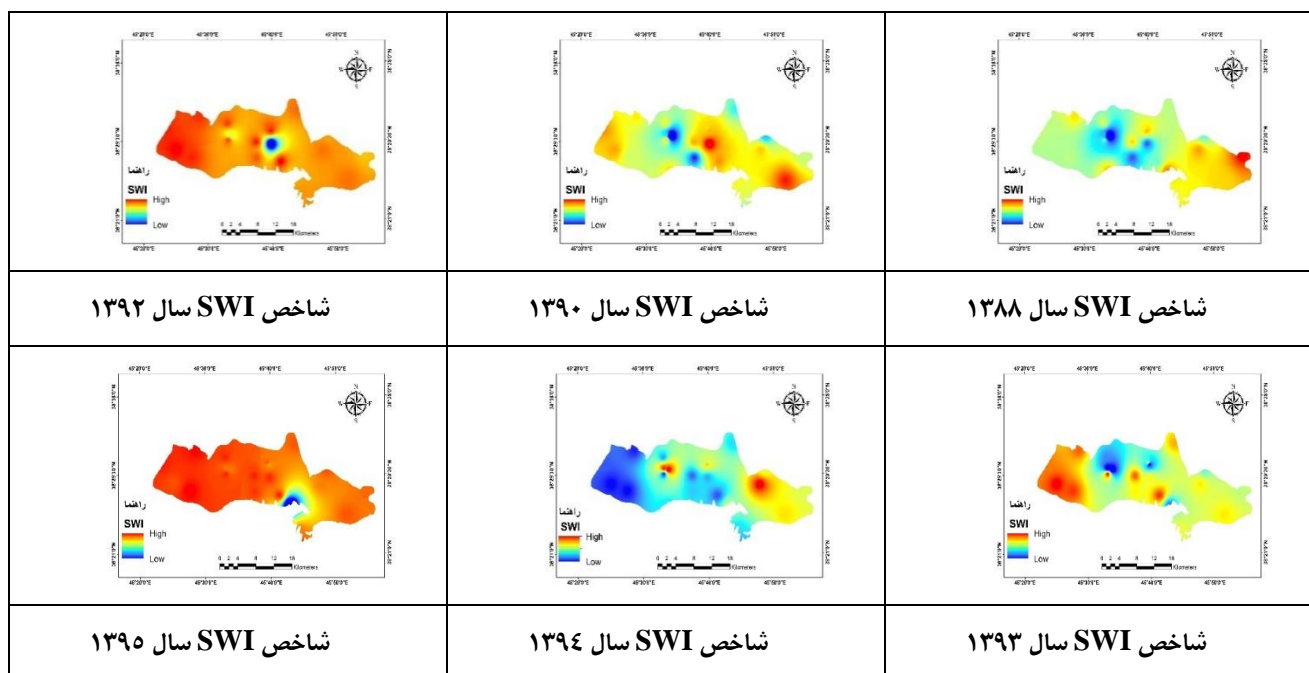
نتایج و صحت خشکسالی در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه مورد مطالعه نشان داد که در طول بازه مورد مطالعه، اولین دوره خشکسالی از سال ۱۳۸۴ به تدریج با کاهش نزولات جوی شروع شده و تا سال ۱۳۸۶ ادامه داشته است و پس از یک دوره ترسالی کوتاه‌مدت، دوباره یک دوره خشکسالی کوتاه‌مدت از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸ بر منطقه حاکم بوده است. با توجه به نمودار شکل ۲، مشاهده

می‌شود که از سال ۱۳۸۰ به بعد که داده‌های سطح آب زیرزمینی موجود بوده تا سال ۱۳۹۷، دوره‌های خشکسالی و ترسالی به‌تفاوت رخ داده است. طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ همچنین ۱۳۸۸ تا ۹۰ و ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ بارندگی بالاتر از حد نرمال بوده و ترسالی اتفاق افتاده است. خشکسالی‌های اخیر بخصوص خشکسالی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ به‌صورت محسوس بر میزان سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منطقه تأثیر داشته است. در شکل‌ها (۴ و ۵) نتایج حاصل از شاخص‌های SPI و SWI مربوط به دوره‌های خشکسالی ارائه شده است.



شکل ۴- شاخص SPI مربوط به دوره‌های خشکسالی در منطقه مطالعه





شکل ۵- شاخص SWI متناظر با دوره‌های مختلف در منطقه مطالعه

در پژوهش حاضر جهت مشخص نمودن همبستگی بین بارش‌های جوی و سطوح آب زیرزمینی، ابتدا زمان‌های متناظر با همدیگر بررسی و میزان همبستگی داده‌های بارش و سطوح آب زیرزمینی محاسبه گردید. به همین منظور ابتدا از روی شاخص SWI خشکسالی مربوطه را انتخاب و از روی شاخص SPI، داده‌های بارش و سطح آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی‌های انجام شده مقدار پایین همبستگی در داده‌های متناظر از لحاظ زمانی را نشان داد. این همبستگی پایین به علت وقفه زمانی بین نفوذ بارش‌های جوی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و همچنین برداشت از آب‌های زیرزمینی اتفاق می‌افتد. با بازه زمانی مشخص بارش‌های جوی بر روی سطوح آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. جهت بررسی این موضوع و مشخص نمودن زمان تأثیر و میزان همبستگی ابتدا از روی SWI شدت‌های افت یا افزایش سطوح آب در چاه‌ها مشخص و میزان بارش‌ها با فاصله یک تا ۵ ماهه استخراج شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تابع همبستگی پیرسون میزان همبستگی و سطوح معناداری برای هر یک از فواصل زمانی محاسبه گردید. با توجه به ایجاد لایه‌های درون‌یابی شده میزان همبستگی بین لایه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت و برای مشخص نمودن سطوح معنی‌داری تعداد ۱۰۰ نمونه از منطقه مورد مطالعه انتخاب و با روش ذکرشده سطوح معنی‌داری مشخص گردید (جدول ۲).

جدول ۲- جدول همبستگی و معناداری بین داده‌ها بارش و سطوح آب‌های زیرزمینی

بارندگی ماهانه	بارندگی هم‌زمان	بارندگی ۱ ماه قبل	بارندگی ۲ ماه قبل	بارندگی ۳ ماه قبل	بارندگی ۴ ماه قبل	بارندگی ۵ ماه قبل
ضریب همبستگی	۰٫۲۱*	۰٫۳۲*	۰٫۴۵*	۰٫۶۳**	۰٫۷۹**	۰٫۶۹**

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل داده‌های هواشناسی مانند داده‌های بارش، با استفاده از شاخص‌هایی مانند SPI می‌تواند در مطالعات مربوط به خشکسالی بسیار کارآمد باشد مطالعه این شاخص می‌تواند وضعیت خشکسالی را در منطقه مورد مطالعه آشکار سازد و میزان و طول مدت خشکسالی را اندازه‌گیری نماید. امروزه با توجه به کاهش بارش و رخ داد خشکسالی در کشور و اهمیت مدیریت آب‌های زیرزمینی مطالعه این دو عامل و آگاهی از تأثیر خشکسالی بسیار حیاتی است. در این پژوهش داده‌های مربوط به ۸ ایستگاه هواشناسی در دشت مرند مورد مطالعه قرار گرفت و با استفاده از شاخص SPI روند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت نتایج نشان داد که در طول مدت مطالعه

(۱۳۸۰-۱۳۹۷) سه دوره خشکسالی از زمستان ۱۳۸۴ تا آغاز سال ۱۳۸۸، تابستان ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۱ و زمستان ۱۳۹۵ تا تابستان ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است. مناطق درگیر خشکسالی شامل شرق و مرکز منطقه مورد مطالعه بوده و غرب منطقه شاهد نزولات جوی بیشتری بوده است. برای بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی از شاخص SWI استفاده شد. این شاخص نشان داد از لحاظ زمانی و مکانی، خشکسالی بر اساس این شاخص منطبق بر خشکسالی حاصل از شاخص SPI بود. بررسی داده‌ها نشان داد که این دو شاخص با فاصله زمانی یک فصل دارای هم‌بستگی در سطح ۱ درصد بوده است. این به این معنی است که خشکسالی هیدرولوژیکی بعد از یک فصل تأثیر مستقیمی بر روی سطح آب زیرزمینی دارد. به‌طور کلی با بررسی نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که روند تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی با تغییرات خشکسالی و ترسالی هواشناسی منطقه هم‌خوانی داشته است بنابراین افت سطح ایستابی دشت مرند می‌تواند تا حدود زیادی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی باشد و با توجه به این نتیجه افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی در طی دوره آماری مورد مطالعه، جهت جبران نیاز آبی رخ داده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت اراک و قلعه نی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت ساوه نیز به نتایج تقریباً مشابهی دست یافتند.

با توجه به نتایج این پژوهش رابطه و میزان تأثیر خشکسالی اقلیمی بر سطح آب‌های زیرزمینی مشخص شد بنابراین می‌توان با استفاده از داده‌های بارش، وضعیت سطوح آب زیرزمینی را در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی نمود و در مدیریت منابع آب و امور کشاورزی به کار بست. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان با استفاده از داده‌های بارش به همراه داده‌های ماهواره‌ای وضعیت سطوح آب‌های زیرزمینی را تشخیص داد و جهت مدیریت بهینه مصرف و اعلام هشدارهای لازم اقدام نمود. با توجه به یافته‌های تحقیق و شاخص‌های مورد ارزیابی مشخص شد که سطوح آب‌های زیرزمینی در طول مدت مورد مطالعه روند کاهشی داشته و با توجه به نیاز این منابع برای کشاورزی در منطقه بایستی کشاورزی منطقه به سمت کشاورزی پایدار هدایت شود.

منابع

- ایزدی، عزیزالله، داوری، کامران، علیزاده، امین و بیژن، قهرمان، (۱۳۸۷)، کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ج ۲، ش ۲، صص ۱۴۴-۱۳۳.
- پورمحمدی، سمانه. دستورانی، محمدتقی. جعفری، هادی. مساح بوانی، علیرضا. گودرزی، مسعود، باقری، فاطمه و محمد حسن، رحیمیان، (۱۳۹۶)، بررسی اثرات خشکسالی و هیدرولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت توپسرکان. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، جلد ۹، شماره ۱، صص ۴۶-۵۷.
- حسن لی، علی مراد و شفیعی، مجید، (۱۳۸۹)، راهبردهای سازگاری با خشکسالی. *گزارش راهبردی مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت*.
- حسن لی، علی مراد، (۱۳۹۰)، *تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر منابع آب و محیط زیست*، راهبردهای سازگاری و کاهش اثر. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۹۸ صص ۵۳-۶۴.
- زینالی، بتول، فریدپور، مجتبی و صیاد، اصغری سراسکانرود، (۱۳۹۵). بررسی تأثیر هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مرنند). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، سال هفتم، شماره ۱۴، ۱۷۷-۱۸۷.
- سالاری جزی، م، زارعی، حسین، تقیان، م، (۱۳۸۸)، کاربرد و ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در دشت میان آب. *دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن*، اردیبهشت، دانشگاه اصفهان، اصفهان، صص ۶۴-۵۴.
- شکیبا، علیرضا، میرباقری، بابک و خیری، افسانه، (۱۳۸۹)، خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، *فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران*، سال هشتم، ش ۲۵، صص ۱۲۴-۱۰۵.
- شمس نیا، احمد، پیرمردیان، ناصر (۱۳۸۷)، ارزیابی شبیه‌های درون‌یابی محیط GIS در پهنه‌بندی بارندگی استان فارس. *مهندس آب*، سال اول، صص ۴۵-۳۵.
- صمدی بروجنی، حسین و ابراهیمی، عطالله، (۱۳۸۹)، پیامدهای خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در استان چهارمحال و بختیاری. انتشارات سروش، *مرکز تحقیقات منابع آب (دانشگاه شهرکرد)*، چاپ اول، ۵۱۲.
- طاووسی، تقی، (۱۳۸۸)، فرآیندها و پیامدهای بیابان‌زایی. *فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی*. سال چهارم. شماره یک.
- کشاورز، مرضیه، کرمی، عزت اله و زمانی، غلامحسین، (۱۳۸۹)، *آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز از خشکسالی*. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ج ۶، ش ۲، صص ۳۲-۱۵.
- کماسی، مهدی، شرقی، سروش، وحید، نورانی، (۱۳۹۵)، شناسایی عوامل موثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از معیار موجک آنتروپی (آبخوان دشت سیلاخور). *نشریه هیدروژئومورفولوژی*، دوره ۳، شماره ۹، صفحه ۸۶-۶۳.
- محمدی قلعه نی، مهدی، ابراهیمی، کیومرث و عراقی نژاد، شهاب (۱۳۹۰)، ارزیابی کمی و کیفی منابع زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های ساوه و اراک). *مجله دانش آب‌و خاک*، ج ۲۱، ش ۲، صص ۱۰۸-۹۳.
- محمدی، حسین، (۱۳۹۰)، *آب و هواشناسی مناطق خشک*. چاپ اول، دانشگاه تهران.
- محمدی، محسن، حمیدرضا مرادی و مهدی وفاخواه، (۱۳۹۱)، توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک، *فصلنامه جغرافیایی طبیعی*، ۲(۲۱)، صص ۱۰۸-۹۳.
- نادریان فر، محمد. انصاری، حسین. ضیائی، علی‌نقی؛ و داوری، کامران، (۱۳۸۹)، بررسی تغییرات نواسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف. *فصلنامه مهندسی آبیاری و آب*، سال اول، شماره ۳، صص ۲۱-۳۷.
- یوسفی، عبدالحسین، نصیری، بهروز، کرم پور، مصطفی و آرش، ملکیان، (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر اقلیم بر تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی مناطق خشک (دشت صحرای باغ). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال یازدهم، شماره ۴۲، صص ۹۷-۱۱۲.

- 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.
- Hisdal, H and Tallaksen, L.M. 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. *Journal of hydrology* 281: 230-247.
- Li B, & Rodell M (2014) Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous US. *Hydrology* 526:78-88
- McKee, T. B. N. Doesken, J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Eight Conf. On Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 179–184.
- Mishra AK, Singh VP (2010) A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391: 202–216.
- Shrestha, S. Bach, T. V. & Pandey, V. P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental science & policy*, 61, 1-13.
- Van Lanen, H. A. J. & Peters, E. (2000). Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 49-61). Springer, Dordrecht.
- Wu H, Hayes MJ (2001) An evaluation of the standardized precipitation index, the China index and statistical Z- Score. *International Journal of Climatology* 21: 741-758.
- 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.