

ارزیابی اثر تغییرات زمانی دما، بارش و برداشت آب بر منابع آب زیرزمینی حوزه مهرگرد سمیرم

حمیدرضا مجیری^۱ و امیرحسین حلیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور
 ۲- دانشیار دانشگاه پیام نور (نویسنده مسوول: halabian_a@yahoo.com)
 تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۶
 صفحه: ۲۳۸ تا ۲۴۹

چکیده

منطقه مهرگرد سمیرم چند سالی است که با مشکل کمبود آب مواجه است. بروز خشک‌سالی در سال‌های اخیر کاهش منابع آب را به دنبال داشته و دلایل مختلفی از تغییر اقلیم تا افزایش مصارف برای کاهش منابع آب طرح شده است. هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرات دما و بارش و اثر احتمالی آن بر منابع آب زیرزمینی بوده است. بدین منظور آزمون من-کندال بر روی داده‌های اقلیمی ۵ ایستگاه منتخب در طول یک دوره آماری ۲۸ ساله و آمار سطح آب زیرزمینی ۳۳ حلقه چاه مشاهداتی اعمال گردید. اثر تغییرات زمانی دما و بارش بر منابع آب، با استفاده از برقراری رابطه همبستگی بین فراسنج‌های اقلیمی، شاخص خشک‌سالی SPI و آمار منابع آب مشخص گردیده است. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای متوسط ماهانه در منطقه مهرگرد روند افزایشی بیشتری به خصوص در فصل زمستان داشته که می‌تواند تغییر نوع بارش و ذوب زود هنگام برف را به دنبال داشته باشد. بارش در بیشتر ماه‌ها (به جز موارد کاهش بارش مشاهده شده در دی‌ماه و اسفندماه)، فاقد روند معنی‌دار بوده است. منابع آب زیرزمینی تقریباً در تمامی ماه‌های سال دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده‌اند. بررسی ارتباط بین فراسنج‌های بارش با منابع آب منطقه نشان داد فراسنج بارش با تاخیر ۶ ماهه بر روی منابع آب زیرزمینی تاثیر نموده است. تاثیر دوره‌های خشک و تر بر وضعیت سطح آب زیرزمینی کاملاً مشهود و با شروع دوره خشک‌سالی از سال ۱۳۸۷، سطح آب زیرزمینی دشت با افت سالانه مواجه شده و هرچند با شدت و ضعف خشک‌سالی در سال‌های بعد این سطح دارای نوسان بوده لیکن روند کلی سطح آب زیرزمینی در دشت مهرگرد، روند کاهش ارتفاع سطح آب بوده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روند، منابع آب، من-کندال، مهرگرد

مقدمه

بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. در سالیان اخیر بهره‌برداری بیش از میزان آب تجدیدپذیر و نیز کاهش میزان تغذیه این منابع، افت پیوسته سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها را به دنبال داشته است. تغییر پارامترهای اقلیمی نیز عامل فشار دیگری برای کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی بوده است. با رشد و توسعه جوامع، مصارف آب در بخش‌های مختلف نیز به تبع افزایش جمعیت فزونی یافته تا آنجا که بسیاری از مناطق جهان در عصر حاضر با مشکل کمبود آب مواجه شده‌اند. در دهه‌های اخیر منابع آب در اثر عوامل طبیعی یا انسانی دستخوش تغییراتی گردیده و این تغییرات بیشتر خود را به شکل افزایش فراوانی وقوع مقادیر حداکثر سیلاب یا خشک‌سالی نشان داده است. بنابراین می‌توان گفت که تغییرات زمانی و مکانی منابع آب تأثیرات غیر قابل انکاری بر رشد و توسعه جوامع داشته و با شناخت چگونگی این تغییرات می‌توان به مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع و مصارف آب دست یافت. اخیراً یکی از موضوعات بسیار مهم در بحث مربوط به آب و هوای مناطق مختلف، موضوع اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت ناپذیر بوده است و بسیاری از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته‌اند. یکی از مظاهر و پیامدهای این پدیده، تغییر در عناصر اقلیمی، بویژه دما و بارش مناطق مختلف است. در مقیاس کلی افزایش تدریجی دمای کره

زمین و اقیانوس‌ها در اثر افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای را مهم‌ترین عامل تغییر اقلیم می‌دانند. افزایش دمای هوا می‌تواند منجر به بروز تغییر در روند برخی از مولفه‌های چرخه هیدرولوژیکی از جمله بارش و جریان آبراه‌های در رودخانه‌ها گردد. با انجام پژوهش در حیطه شناخت روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تاثیر آن بر منابع آب می‌توان برنامه‌های بلند مدت تامین آب را دقیق‌تر و هزینه پروژه‌های مرتبط با آن را کاهش داد.

منطقه مطالعاتی مهرگرد سمیرم که در این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت همچون بیشتر مناطق کشور در سال‌های اخیر با کاهش نزولات جوی، مقادیر آبدهی رودخانه‌ها و افت سطح آب زیرزمینی دشت مواجه بوده است. در این پژوهش تغییرات زمانی فراسنج‌های دما و بارش و اثر احتمالی آن بر منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. ارتباط و اثر نوسانات اقلیمی بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، به شکل‌های مختلف توسط محققین داخلی و خارجی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. جاوری (۱۲) تغییرات زمانی دما و بارش ایران را با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی و نشان داد که این تغییرات بسیار متنوع می‌باشند. خسروی و همکاران (۱۷) سری‌های زمانی درجه حرارت فصلی ایستگاه مشهد را جهت مطالعه تغییر اقلیم استفاده نمودند. در پژوهش مذکور ابتدا مولفه‌های اولیه و ثانویه دمای مشهد استخراج گردیده و سپس روند دما با استفاده از سه مدل خطی درجه دوم و نمایی مورد مقایسه قرار

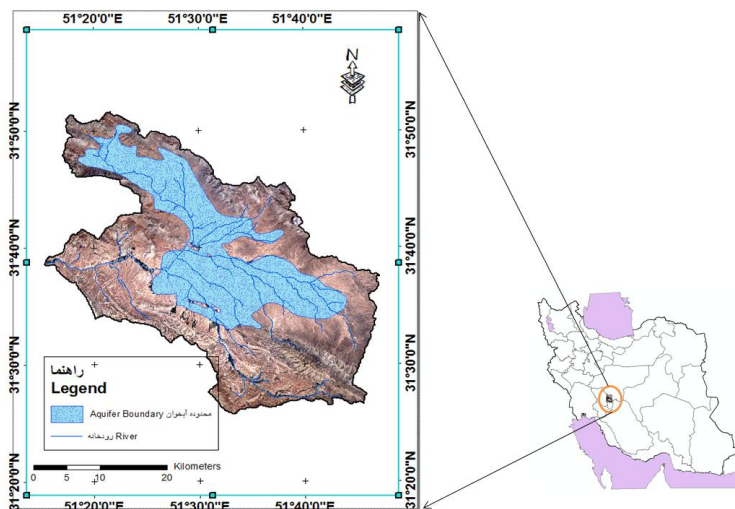
نشان دادند که بارش منطقه دارای روندی نزولی، دما دارای روندی صعودی، و دبی رودخانه طی این دوره آماری دارای روندی کاهشی است. زینالی و همکاران (۲۷) ضمن مطالعه‌ای با استفاده از آمار متوسط بارش هفت ایستگاه باران سنج و همچنین آمار چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری دشت مرند استان آذربایجان شرقی تاثیر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی بر آب‌های زیرزمینی این دشت را بررسی و نشان دادند که از سال ۱۳۸۶ خشکسالی شدید بر منطقه حاکم و به تبع آن میزان برداشت از چاه‌های کشاورزی افزایش یافته است که حاصل آن افت حدود سه متری سطح آب زیرزمینی بوده است. آروین و همکاران (۳) اثر نوسانات اقلیمی و برداشت آب بر تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت دامنه واقع در شهرستان فریدن را بررسی و نشان دادند که میزان تخلیه ۶/۵ برابر تغذیه بوده است. همبستگی بین سطح ایستابی با بارش مثبت و در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و بارش با تاخیر یک ساله بر سطح ایستابی تاثیر نموده است. روشن و حبیب‌نژاد (۲۱) تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت ساری- نکا را با استفاده از داده‌های مربوط به سطح آب ۴۰ حلقه چاه پیرومتری از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ مورد تحلیل قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مرداد ماه و بهمن‌ماه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار پهنه خشکسالی به علت برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی برای کشاورزی در بخش‌های شمالی دشت بوده است. در سایر نقاط جهان نیز جرلز و همکاران (۸) سری‌های زمانی نوسانات تراز آب‌های زیرزمینی کم‌عمق را در مناطق پست هلند مورد بررسی قرار دادند. نتیجه حاکی از آن بود که سطح تراز آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق بر اثر برداشت بیش از حد و افزایش میزان زه‌کشی آب زیرزمینی با کاهش مواجه شده است و هر چه عمق دسترسی به آب در این مناطق افزایش می‌یافت پاسخ نوسان سطح تراز آب زیرزمینی به میزان برداشت‌ها و نوسانات اقلیمی با تاخیر زمانی همراه بود. گان (۷) با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال بر روی داده‌های دما و بارش ۳۷ ایستگاه هواشناسی کانادا نشان داد که دما و بارش به ترتیب دارای روند افزایشی و کاهشی بوده اند. مایوچری و نانی (۱۸) ضمن بررسی میانگین درجه حرارت ماهانه و سالانه در ۲۷ ایستگاه هواشناسی کشور ایتالیا نشان دادند که روند افزایشی در دمای سالانه و فصلی در این دوره وجود داشته است. استافورد و همکاران (۲۵) نیز در یک پژوهش با استفاده از آمار ۵۰ ساله ۲۵ ایستگاه هواشناسی در ایالت آلاسکا، روند خطی فراسنج‌های دما و بارش را بررسی نمودند و نشان دادند که میانگین دما در مقیاس سالانه و فصلی افزایش یافته است. المدایج و الروایح (۱) با بررسی اطلاعات مربوط به ۶ حلقه چاه مشاهده‌ای در مناطق مسکونی کویت نوسانات سطح آب زیرزمینی را با میانگین درجه حرارت ماهانه و بارش ارتباط دادند. مندسینو و سانتور (۱۹) شاخص منابع آب زیرزمینی را برای مناطق کالابریا در دوره ۴۵ ساله بکار بردند و ضمن مقایسه با شاخص SPI نتیجه گرفتند که همبستگی بین این دو شاخص در مقیاس زمانی طولانی‌تر مناسب‌تر بوده است. خان و همکاران (۱۶)

گرفته است. تبری و همکاران (۲۶) روند خشکسالی هیدرولوژیکی را در ۱۴ ایستگاه هیدرومتری در منطقه شمال غرب ایران بررسی و نشان دادند که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها خشکسالی شدید حاکم بوده است. گلیان و همکاران (۹) روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی ایران را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که مناطق شمال غرب و مرکز ایران روند صعودی خشکسالی را تجربه کرده‌اند. کاظم‌زاده و ملکیان (۱۴) روند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی را در منطقه شمال غرب ایران بررسی و نشان دادند منطقه مورد مطالعه بیشتر از خشکسالی هیدرولوژیک رنج برده است. حسین‌مراد و شمسی‌پور (۱۱) تاثیر خشکسالی‌های اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت همدان را بررسی و نتیجه گرفتند که بین کاهش بارش و افت سطح ایستابی همبستگی معنی‌داری وجود ندارد و خشکسالی به صورت غیر مستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش برداشت از طریق چاه‌های عمیق جهت مصارف کشاورزی، افزایش دما و تخیر و تعرق و تغییر نوع بارش بر منابع آب‌های زیرزمینی موثر می‌باشد. عزیز (۴) با استفاده از داده‌های بارش و تراز آب زیرزمینی دشت قزوین، ارتباط خشکسالی و تغییرات سطح آب زیرزمینی را بررسی و نشان داد که تعداد ناهنجاری‌های منفی بارش طی دوره مورد بررسی بیش از تعداد ناهنجاری‌های مثبت بوده و تاثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های منفی آب‌های زیرزمینی بسیار چشم‌گیر است. سلطانی (۲۴) اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در دشت باغملک را بررسی و نشان داد بیشترین افت سطح آب زیرزمینی بدلیل تراکم چاه‌های کشاورزی در بخش شرقی دشت رخ داده است. کرمی و بیاتی خطیبی (۱۳) تاثیر وقوع خشکسالی در افت آب زیرزمینی دشت سراب را بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان افت مابین ۰/۲۴ تا ۵/۹۴ متر بوده و روند کاهشی معنی‌داری در سطح آب زیرزمینی مشاهده شده است. شکبیا و همکاران (۲۳) شاخص SPI را در شرق استان کرمانشاه مورد استفاده قرار دادند و نشان دادند که این شاخص برای بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی مناسب بوده و تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی با خشکسالی مواجه بوده‌اند. برای یافتن اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر روی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور از داده‌های بارندگی استفاده و مشخص شد که شیب سطح آب زیرزمینی دشت در این دوره دارای روند مثبت است و بارش‌ها با یک تاخیر ده ماهه بیشترین تاثیر را روی سطح آب زیرزمینی دشت خواهند داشت نادریان‌فر و همکاران (۲۰). دانشور و وثوقی و همکاران (۶) ضمن مطالعه‌ای تاثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر در دشت اردبیل را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌ها روند منفی بود. بررسی شیب خط روند نشان داد که بطور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی در سال افت دارد. انصاری و همکاران (۲) روند تغییرات دما، بارش و دبی را در حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان برای یک دوره ۲۰ ساله بررسی و

مواد و روش‌ها محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی مهرگرد در استان اصفهان و در شهرستان سمیرم واقع شده است. مساحت منطقه ۱۲۷۵/۵۹ کیلومتر مربع می‌باشد. ۶۵۳/۷۵ کیلومتر مربع از این مساحت را دشت و ۶۲۱/۸۴ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد و به لحاظ جغرافیایی بین طول‌های ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع است (شکل ۱). مهم‌ترین رودخانه جاری در این منطقه رودخانه سولگان (آب ونک) نام دارد. این رودخانه دارای دو سرشاخه به نام‌های رودخانه قره‌آقاج و رودخانه گرم‌آب می‌باشد. روند تخلیه منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی مهرگرد سمیرم به شدت متاثر از میزان بارش است. در عین حال هیدروگراف واحد آبخوان تحت تاثیر عوامل انسانی و طبیعی بطور کلی از سیر نزولی برخوردار است. در جهت توسعه منطقه خصوصا در بخش کشاورزی و بطور عمده باغداری در سالیان اخیر سد مخزنی قره‌آقاج با حجم نرمال ۲۱ میلیون مترمکعب بر روی رودخانه قره‌آقاج در این منطقه طراحی و احداث شده است. همچنین مطالعات سد گردنه خاکی نیز بعنوان سد ذخیره‌ای برای تامین آب بر روی رودخانه هرمز آباد تکمیل شده است. (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان)

وضعیت خشکسالی در حوضه ماری دارلین استرالیا را بررسی و نشان دادند در موارد بسیاری ارتباطی قوی بین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن الگوی خشکسالی‌های اصلی استرالیا را تعیین کرد. روند منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های کم عمق دلتای گنگ در مطالعه‌ای توسط شمس‌الضحی و همکاران (۲۲) بررسی و مشخص گردید که بارش‌های فصلی و برداشت‌های انسانی از منابع آب زیرزمینی مهمترین عوامل موثر بر سطح تراز آب زیرزمینی هستند. روش من-کندال توسط ژانگ و همکاران (۲۸) برای شناسایی الگوی مکانی و زمانی تغییرات سطح آب در ناحیه دلتای رودخانه پرل چین استفاده شد. نتایج نشان داد که بخش‌های فوقانی دلتا شاهد روند کاهشی و در بخش‌های میانی و تحتانی روند سطح آب افزایشی بوده است. آنها همچنین گزارش دادند که تغییرات شدید در سطح آب زیرزمینی بیشتر به فعالیت‌های استخراج شن و ماسه در این منطقه مرتبط بوده است. چاودهوری و همکاران (۵) روند بلند مدت سطح آب زیرزمینی در تگزاس را بررسی و نشان دادند که روند کاهش سطح آب زیرزمینی در سراسر تگزاس مشاهده شده و علت عمده آن کشت آبی و برداشت از منابع آب زیرزمینی بوده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی روند فراسنج‌های اقلیمی و تاثیر تغییرات دما و بارش بر منابع آب زیر زمینی دشت مهرگرد سمیرم بوده است.

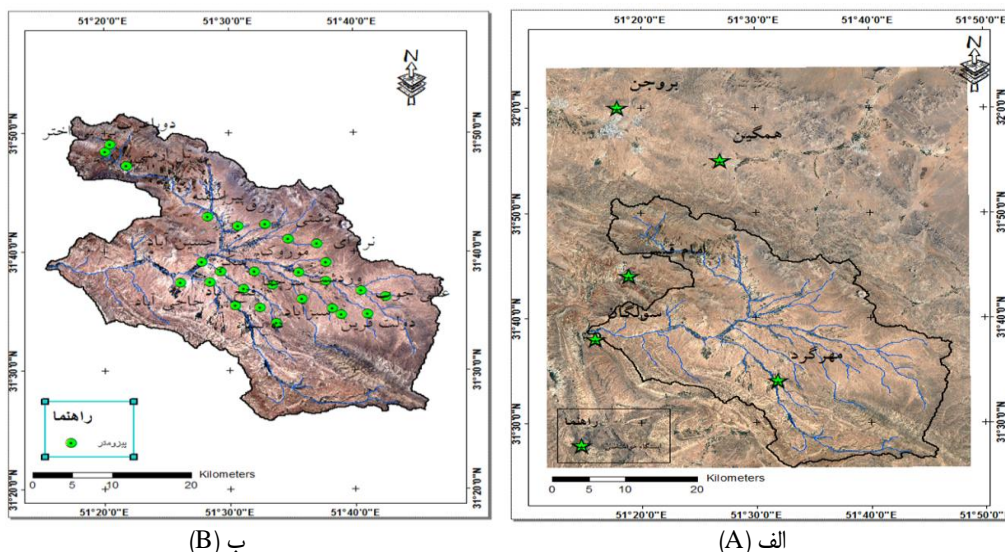


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی مهرگرد سمیرم
Figure 1. Geographic location of study area of Mehrgerd Semirum

دشت مهرگرد از آمار اندازه‌گیری سطح آب در ۳۳ حلقه چاه مشاهده‌ای منطقه در طول ۱۰ سال دوره آماری موجود آنها (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) استفاده شده است. شکل شماره ۲ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و چاه‌های مشاهداتی مورد استفاده را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

روش تحقیق

این پژوهش با استفاده از داده‌های اقلیمی بارش و دما در طول دوره آماری ۲۸ ساله ۱۳۶۸-۱۳۶۷ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۴ مربوط به ۵ ایستگاه بروجن (همدید، همگین و امام قیس (اقلیم سنجی) و مهرگرد و سولگان (تبخیر سنجی) انجام شده است. ایستگاه مهرگرد داخل محدوده مطالعاتی واقع شده است. همچنین برای بررسی وضعیت سفره آب زیرزمینی



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (الف) و چاه‌های مشاهداتی مورد استفاده (ب)
Figure 2. A: Location of meteorological station & B: Pizometric well

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

Table 1. Specifications of meteorological stations

رتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سازمان تحت پوشش	نوع ایستگاه	نام ایستگاه	ردیف
۲۱۹۷	۳۳-۰۰	۵۱-۱۸	هواشناسی	همدید	بروجن	۱
۲۳۰۰	۳۱-۴۴	۵۱-۱۹	هواشناسی	اقلیم سنجی	امام قیس	۲
۲۲۲۰	۳۱-۵۵	۵۱-۲۷	هواشناسی	اقلیم سنجی	همگین	۳
۲۱۸۰	۳۱-۳۸	۵۱-۱۶	وزارت نیرو	تبخیر سنجی	سولگان	۴
۲۳۵۰	۳۱-۳۴	۵۱-۳۲	وزارت نیرو	تبخیر سنجی	مهرگرد	۵

که n تعداد مشاهدات سری، و X_k و X_j به ترتیب داده‌های زام و k ام سری می‌باشند. واریانس S نیز از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{for } n > 1$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{for } n < 10$$

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) می‌باشد. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط (۳) استخراج می‌شود:

$$z = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \quad \text{for } S > 0$$

$$z = 0 \quad \text{for } S = 0$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \quad \text{for } S < 0$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط $|Z| < Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد. α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود

انجام این پژوهش با استفاده از منطق استدلالی صورت گرفته است. روش انجام کار به این صورت بوده که با استفاده از روش‌های آماری تعیین روند و تکنیک‌های همبستگی و رگرسیون، اثر نوسانات فراسنج‌های اقلیمی بر سطح آب زیرزمینی آبخوان مهرگرد بررسی شده است. برای این کار ابتدا کنترل کیفی داده‌ها با استفاده از نمودارهای میانگین ماهانه داده‌ها و همچنین نمودار باکس پلات انجام و موارد مشکوک حذف یا اصلاح گردید. همگنی داده‌ها نیز با استفاده از آزمون ران تست بررسی شد. در ادامه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال وضعیت روند سری‌های زمانی فراسنج‌های اقلیمی و داده‌های سطح آب زیرزمینی بررسی شده است. این روش ابتدا توسط Mann ارائه و سپس توسط Kendall بسط و توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است. در این روش ابتدا پارامتر S و تابع علامت sgn مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$sgn(x_j - x_k) = +1 \quad \text{for } (x_j - x_k) > 0$$

$$sgn(x_j - x_k) = 0 \quad \text{for } (x_j - x_k) = 0$$

$$sgn(x_j - x_k) = -1 \quad \text{for } (x_j - x_k) < 0$$

نتایج و بحث

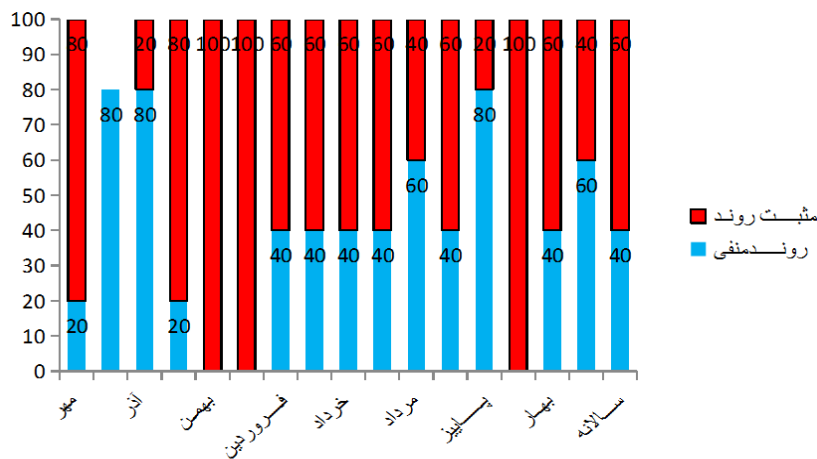
نتایج حاصل از بکارگیری روش آمبرژه در تعیین اقلیم منطقه مهرگرد حاکی از برقراری اقلیم نیمه خشک سرد در این منطقه است. لذا فرآیند برنامه‌ریزی در برداشت آب باید با ملاحظه و دقت بیشتری صورت پذیرد تا برداشت از سطح آبخوان بوسیله تغذیه آبخوان جبران شود. روند فراسنج‌های مختلف دما (حداکثر، حداقل و میانگین) برای مقیاس‌های مختلف زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه‌های منتخب منطقه بررسی گردید. شکل‌های ۳ و ۴ نتایج آزمون من-کندال را برای میانگین دما نشان می‌دهد. در نگاه کلی سهم روند افزایش متوسط دمای ماهانه در منطقه مطالعاتی بیشتر بوده است. این روند افزایش دما به خصوص در فصل زمستان و ماه‌های بهمن و اسفند به صورت معنی‌دار مشاهده شده است. بنابراین افزایش دما در فصول زمستان و بهار می‌تواند ذوب زود هنگام برف و تغییر رژیم رودخانه‌ها را به دنبال داشته باشد. همچنین نتایج آزمون تعیین روند بارش (شکل ۵) نشان داد که مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌ها در بیشتر ماه‌ها فاقد روند معنی‌داری بوده است. تنها در بعضی موارد دی‌ماه و اسفندماه از روند کاهشی برخوردار بوده‌اند. در نتیجه در ماه‌های سرد زمستان کاهش بارندگی خود را بصورت کاهش بارش برف نشان می‌دهد. که در اثر افزایش دما در فصول زمستان و بهار، برف موجود در اولین فرصت ذوب و از دسترس خارج می‌شود.

و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (۱۴).

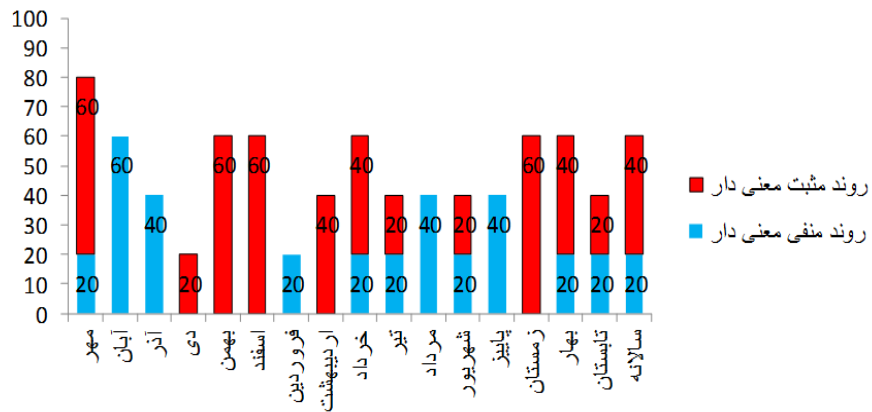
برای بررسی اثرات متفاوت کمبود بارش بر روی منابع آب زیرزمینی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شده است. این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی و همکاران در دانشگاه ایالتی کلرادو آمریکا ارائه گردیده است. شاخص SPI نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و هر مقیاس دارد، برای مقیاس‌های متفاوت قابل محاسبه بوده و می‌تواند هشدار اولیه برای پیش خشک‌سالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. این شاخص با استفاده از رابطه ۴ قابل محاسبه می‌باشد (۷):

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (4)$$

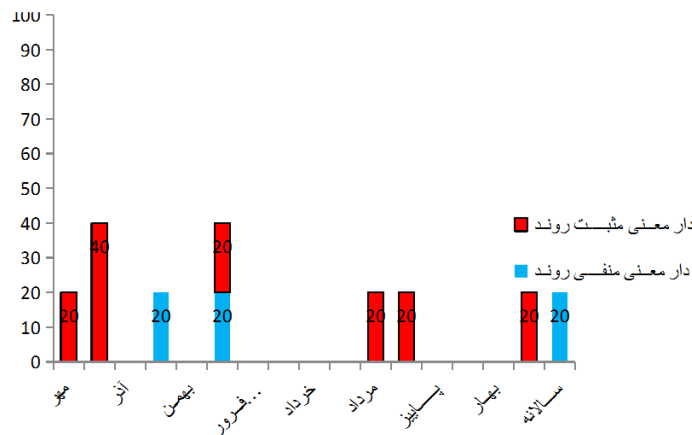
که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. معمولاً شاخص SPI برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۸ ماهه تهیه می‌گردد. مقیاس‌های زمانی متفاوت شاخص SPI نیاز به تفاسیر متفاوتی دارند. معمولاً SPI با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه الگوی بارندگی‌های بلند مدت را منعکس کرده و معمولاً با دبی رودخانه‌ها، سطح مخازن و حتی سطح آب زیرزمینی رابطه دارد.



شکل ۳- درصد فراوانی روند دمای میانگین در منطقه مهرگرد
Figure 3. Frequency percentage of Average temperature trend in Mehrgerd region



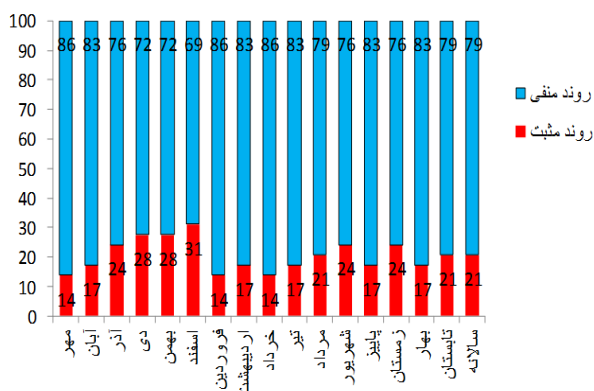
شکل ۴- درصد فراوانی روند معنی دار دمای میانگین منطقه مهرگرد
Figure 4. Frequency percentage of significant trend of average temperature in Mehrgerd region



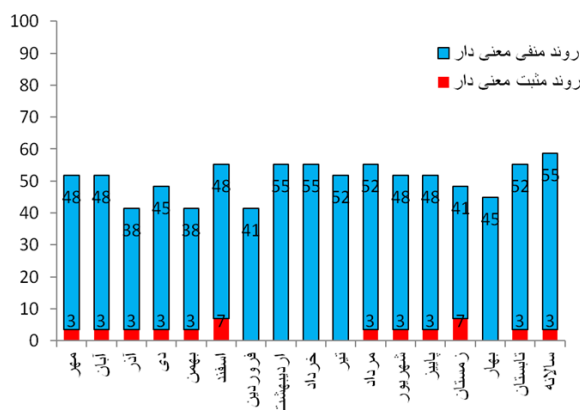
شکل ۵- درصد فراوانی روند بارندگی در منطقه مهرگرد
Figure 5. Frequency percentage of rain trend in Mehrgerd region

معنی دار کاهش سطح آب زیرزمینی بوده‌اند. در ماه‌های فروردین تا تیرماه که مصادف با برداشت آب از چاه‌های کشاورزی می‌باشد روند کاهش سطح آب زیرزمینی به‌طور کامل مشاهده شده است. حاصل این روند کاهش منابع آب زیرزمینی در دشت مهرگرد سمیرم در طول دوره آماری مورد مطالعه افت ۵/۴ متری سطح سفره آب زیرزمینی دشت در طول دوره با متوسط افت ۰/۵۴ متر در سال بوده که در شکل ۸ با عنوان هیدروگراف واحد سطح آب زیرزمینی دشت مهرگرد در طول دوره آماری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ نشان داده شده است. در مناطق جنوب شرق، شمال و شمال شرق دشت مهرگرد که تراکم چاه‌های کشاورزی در آن بیشتر بوده است روند منفی شدیدتری نسبت به مناطق مرکزی و جنوبی مشاهده شده است. به غیر از نتیجه تحقیق نادریانفر و همکاران (۲۰) که حاکی از روند مثبت سطح آب زیرزمینی در طول دوره مورد بررسی در دشت نیشابور بوده است نتایج سایر پژوهش‌ها همانند نتیجه این تحقیق بیانگر روند کاهش سطح آب زیرزمینی در مناطق تحت مطالعه می‌باشد.

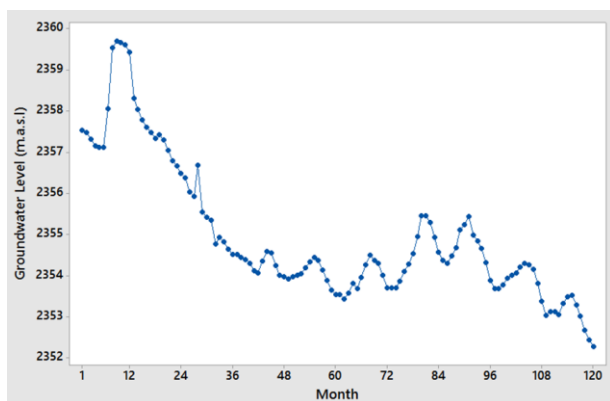
در مقیاس سالانه در ۲۰ درصد موارد روند کاهش بارش مشاهده شده است. روند افزایش دمای مشاهده شده در این تحقیق با نتایج بررسی‌های خسروی و همکاران (۱۷)، مایوجری ونانی (۱۸)، استافورد و همکاران (۲۵) و انصاری و همکاران (۲) مطابقت داشته است. برخلاف نتایج پژوهش‌های گان (۷) و انصاری و همکاران (۲) که بارش را دارای روند کاهشی نشان داده بودند این تحقیق کاهش بارش معنی دار را بیشتر برای فصل زمستان نشان داده است که با نتایج بررسی‌های حسین‌مراد و شمسی‌پور (۱۱) و شمس‌الضحی و همکاران (۲۲) در یافتن روند کاهش بارش فصلی در مناطق مورد مطالعه توسط ایشان هماهنگ بوده است. بررسی روند منابع آب زیرزمینی در منطقه مهرگرد با استفاده از آمار ماهانه سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه صورت گرفته است. شکل‌های ۶ و ۷ نتایج آزمون من-کنندال را بر روی سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای منطقه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که سهم روند کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی بسیار بیشتر بوده است. از لحاظ مشاهده روند معنی دار نیز تمام ماه‌های سال دارای روند



شکل ۶- درصد فراوانی روند سطح آب زیرزمینی در منطقه مهرگرد
Figure 6. Frequency percentage of groundwater level trend in Mehrgerd region



شکل ۷- درصد فراوانی روند معنی دار سطح آب زیرزمینی در منطقه مهرگرد
Figure 7. Frequency percentage of significant trend of groundwater level in Mehrgerd region



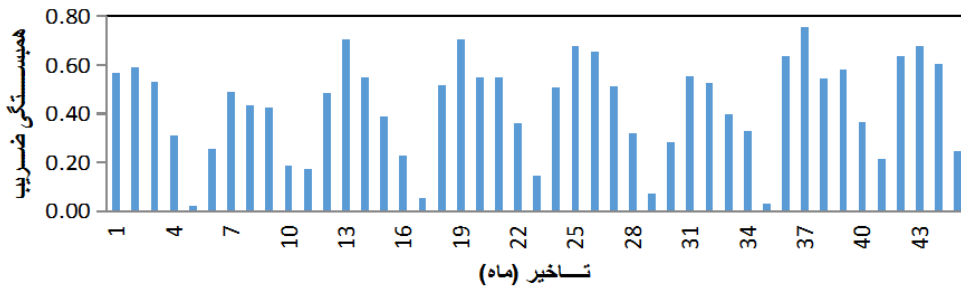
شکل ۸- هیدروگراف واحد سطح آب زیرزمینی دشت مهرگرد در طول دوره آماری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵
Figure 8. Unit Hydrograph of groundwater of Mehrgerd plain during 2006-2016

ملاحظه می‌گردد که بیشترین همبستگی‌ها با فاصله ۶ ماهه از یکدیگر به وقوع پیوسته‌اند یعنی بارش در منطقه مهرگرد با تاخیر حدود ۶ ماهه بر روی سفره‌های آب زیرزمینی تاثیر نموده است. در تحلیلی جامع‌تر برای بررسی شرایط دوره‌های خشک و بررسی روند تغییرات طولانی مدت و تاثیر آن روی سطح آب زیرزمینی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شده است. در این پژوهش مقادیر SPI برای سری‌های زمانی بارش در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۸ ماهه تهیه شد. انتخاب این

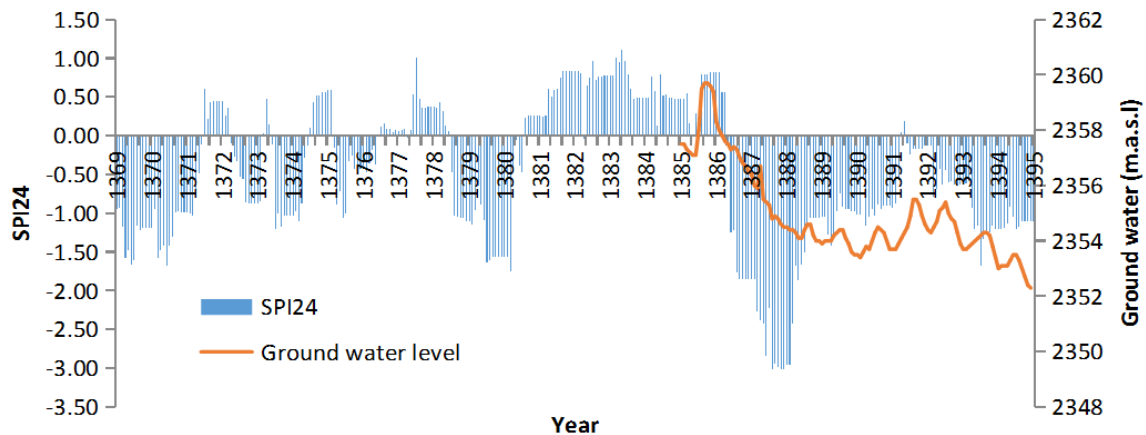
برای بررسی تاثیر فراسنج‌های اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی منطقه از آمار هواشناسی ایستگاه مهرگرد سمیرم به همراه آمار هیدروگراف واحد دشت مهرگرد به‌عنوان معرف وضعیت سفره آب زیرزمینی استفاده شده است. ابتدا روند موجود در داده‌های آب زیرزمینی به روش تفاضل‌گیری حذف گردید و سپس رابطه همبستگی بین متوسط بارش ماهانه ایستگاه مهرگرد با متوسط ارتفاع سطح آب سفره زیرزمینی برقرار گردید. شکل ۹ ضرایب همبستگی بین بارش ماهانه و سطح آب زیرزمینی در تاخیرهای مختلف را نشان می‌دهد.

دشت با افت سالانه مواجه شده و هرچند با شدت و ضعف خشک‌سالی در سال‌های بعد این سطح دارای نوسان بوده لیکن روند کلی سطح آب زیرزمینی در دشت مهرگرد، روند کاهش ارتفاع سطح آب بوده است. وجود رابطه همبستگی بین میزان بارش و سطح آب زیرزمینی در این تحقیق با نتایج تحقیقات آروین و همکاران (۳)، المدایج و الروایح (۱) و نیز ارتباط SPI با شاخص منابع زیرزمینی اثبات شده در تحقیقات شکیبا و همکاران (۲۳)، مندسیو و سناتور (۱۹) و خان و همکاران (۱۶) هماهنگ بوده است.

مجموعه‌ها با توجه به تاثیر کمبودهای بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی مشخص شده است. شکل ۱۰ تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مهرگرد و SPI در مقیاس ۲۴ ماهه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در منطقه مطالعاتی دو دوره خشک و تر شاخص رخ داده است. در فاصله سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ ترسالی و در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ خشک‌سالی حاکم بوده است. خشک‌سالی در سال ۱۳۸۷ از شدت بیشتری برخوردار بوده است. تاثیر این دوره های خشک و تر بر وضعیت سطح آب زیرزمینی کاملاً مشهود است. با شروع دوره خشک‌سال، از سال ۱۳۸۷، سطح آب زیرزمینی،



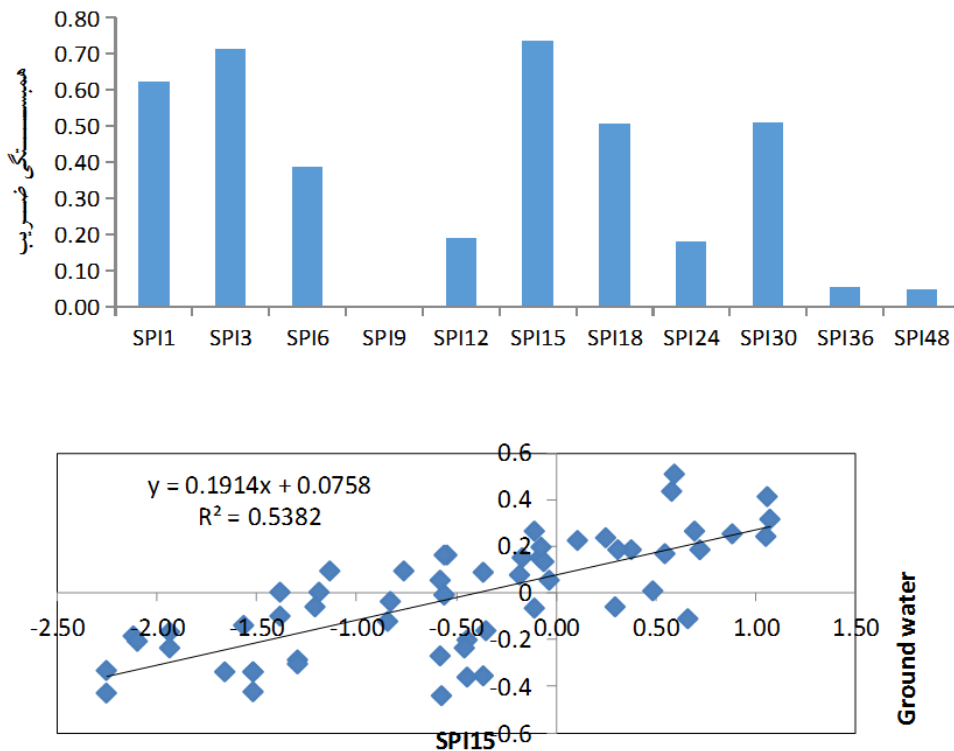
شکل ۹- ضریب همبستگی بین بارش ماهانه و سطح آب زیرزمینی در تاخیرهای مختلف.
Figure 9. Correlation coefficient between monthly precipitation and groundwater level in different delays



شکل ۱۰- تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مهرگرد و SPI در مقیاس ۲۴ ماهه
Figure 8. Groundwater level and SPI₂₄ changes in Mehrgerd plain

حاصل شده است. نتایج تاخیرهای مختلف سطح آب زیرزمینی و SPI₁₅ همچنین نشان داد که بیشترین همبستگی بین این شاخص و سطح آب زیرزمینی به صورت همزمان رخ داده و با تاخیر دادن ماه مربوط به سطح آب زیرزمینی این همبستگی کاهش خواهد یافت. ضریب همبستگی برابر ۰/۷۴ و در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

برای بررسی رابطه بین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی دشت مهرگرد، رابطه همبستگی بین این شاخص در مقیاس‌های مختلف زمانی و سطح آب زیرزمینی برقرار گردید. شکل ۱۱ همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بالاترین ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده ۱۵ ماهه با سطح آب زیرزمینی



شکل ۱۱- همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی مختلف.
Figure 11. Correlation between groundwater level and SPI in different temporal scales

نیز اجرای الگوی کشت بهینه و استفاده از روش‌های نوین آبیاری برای پیشگیری از وقوع بحران کمبود آب در منطقه را یاد آور می‌گردد. همچنین افزایش معنی‌دار دما در فصل زمستان می‌تواند تاثیر به‌سزایی در ذوب زود هنگام برف در ارتفاعات و نیز تغییر نوع بارش منطقه داشته باشد. متناسب با گرمایش زمستانی مدیریت عرضه و تقاضای آب نیز باید با تغییر اساسی و همراه با رویکرد صرفه‌جویی بیشتر باشد. یافته‌های این پژوهش نشان از نقش قابل توجه برداشت از منابع آب خصوصا منابع آب زیرزمینی در کاهش میزان آب تجدیدپذیر در منطقه مهرگرد سمیرم را دارد. لذا اعمال محدودیت در برداشت از این منابع در سال‌های خشک امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. از جمله طرح‌های مناسب در این زمینه اجرای پروژه‌های طرح تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی وزارت نیرو نظیر پروژه‌های نصب کنتورهای اندازه‌گیری هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی و پر و مسلوب المنفعه نمودن چاه‌های غیر مجاز می‌باشد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روند کلی کاهش منابع آب در منطقه همراه با افزایش مصارف آب وجود دارد و چنانچه قدم‌های اساسی برای الگوی بهینه مصرف در بخش‌های مختلف برداشته نشود تامین نیاز آبی منطقه در سال‌های آتی به راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود.

منطقه مهرگرد سمیرم چند سالی است که با مشکل کمبود آب مواجه است. بروز خشک‌سالی در سال‌های اخیر کاهش منابع آب را به دنبال داشته و دلایل مختلفی از تغییر اقلیم تا افزایش مصارف برای کاهش منابع آب طرح شده‌است. به منظور بررسی این موضوع در این تحقیق روند دمای منطقه بررسی گردید و مشخص شد که در نگاه کلی متوسط دمای ماهانه روندی افزایشی خصوصا در ماه‌های فصل زمستان داشته که می‌تواند ذوب زود هنگام برف و تغییر رژیم رودخانه‌ها را به دنبال داشته باشد. بارش ماهانه در بیشتر ماه‌ها فاقد روند معنی‌داری بوده‌است در صورتی‌که سطح آب زیرزمینی در منطقه دارای روند کاهش ارتفاع سطح آب خصوصا در ماه‌های فروردین تا تیرماه که مصادف با برداشت آب از چاه‌های کشاورزی می‌باشد بوده است. حاصل این روند کاهش منابع آب زیرزمینی در دشت مهرگرد سمیرم در طول دوره آماری مورد مطالعه افت ۵/۴ متری سطح سفره آب زیرزمینی دشت در طول دوره با متوسط افت ۰/۵۴ متر در سال بوده است. تغییر در فراسنج بارش پس از تاخیری شش ماهه بر روی سطح آب زیرزمینی تاثیر گذاشته است. افزایش دما در منطقه نیازهای آبی در بخش‌های مختلف مصرف به خصوص نیاز بخش کشاورزی را افزایش خواهد داد و لزوم برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از آب از طریق صرفه‌جویی و

منابع

1. Almedeij, J. and F. Al-Ruwaih. 2006. Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas. *Journal of hydrology*, 328(3): 677-684
2. Ansari, M., G. Noori and S. Fotohi. 2016. Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, 14: 152-158 (In Persian).
3. Arvin, A., A. Halabiyani and M. Baharloo. 2017. The effects of climatic oscillation and water consumption on groundwater level variations in Damene plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7: 47-67 (In Persian).
4. Azizi, Q. 2003. The relationship between recent droughts and groundwater resources in Qazvin plain. *Geographic Research*, 46: 131-143 (In Persian).
5. Chaudhuri, S. and S. Ale. 2014. Long-term (1930-2010) trends in groundwater levels in Texas: influences of soils, land cover and water use. *Science of the Total Environment*, 490: 379-390.
6. Daneshvar vosoghi, F., Y. Dinpajouh and MT. Alami. 2011. Effect of drought on groundwater level in the past two decades (Case study: Ardebil Plain). *Journal of Water and Soil Science*, 4: 165-179 (In Persian).
7. Gan, T.Y. 1998. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies. *Water Resources Research*, 34(11): 3009-3015.
8. Gehrels, J., F. Van Geer and J. De Vries. 1994. Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones. *Journal of Hydrology*, 157(1-4): 105-138.
9. Golian, S., O. Mazdiyasi and A. Aghakouchak. 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3): 679-688 (In Persian).
10. Hejazizadeh, Z. and S. Jvzadeh. 2009. Introduction to drought and its indices First Edition. Samt, Tehran, Iran, 378 pp.
11. Hosseinmorad, M. and A. Shamsipour. 2003. The effect of recent droughts on the decline of groundwater level in the northern plains of Hamedan. *Geographic Researches*, 45: 115-130 (In Persian).
12. Javari, M. 2003. Changes in temperature and precipitation in Iran. PhD thesis of geography, University of Tehran, Tehran, Iran (In Persian).
13. Karami, F. and M. Bayati Khatibi. 2009. Effect of drought on water resources dropping in Sarab plain. Final report of the research project, University of Tabriz, Iran, (In Persian).
14. Kazemzadeh, M. and A. Malekian. 2015. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*, 80(1): 191-210 (In Persian).
15. Khalili, A. and J. Bazrafshan. 2003. A terend analysis of annual, seasonal and monthly precipitation over iran during the last 116 Years. *Journal of Biaban*, 1: 25-34 (In Persian).
16. Khan S., H.F. Gabriel and T. Rana. 2008. Standard Precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables on irrigation areas. *Irrigation Drainage System*, 22: 159-177.
17. Khosravi, M., Kh. Javdani and S. Mohammadnia Qaraee. 2003. Evaluating the conformity of Mashhad temperature time series with changes and fluctuations in the temperature of the planet. Third Regional Conference and First Climate Change Conference: 452-464, Isfahan University, Isfahan, Iran (In Persian).
18. Maugeri, M. and T. Nanni. 1998. Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1993. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(3): 191-196.
19. Mendicino, G. and A. Senatore. 2008. A Ground water resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of hydrology*, 357: 282-302.
20. Naderiyani, M., H. Ansari, A.N. Ziyaie and K. Davari. 2011. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. *Quarterly Journal of Irrigation and water Engineering*, 3: 22-33 (In Persian).
21. Roshun, S.H. and M. Habibnejad Roshan. 2018. Monitoring of Temporal and Spatial Variation of Groundwater Drought using GRI and SWI Indices (Case Study: Sari-Neka Plain). *Journal of Watershed Management Research*, 17: 269-279 (In Persian).
22. Shamsudduha, M., R. Chandler, R. Taylor and K. Ahmed. 2009. Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: the Ganges-Brahmaputra-Meghna Delta. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12): 2373-2385.
23. Shakiba, A., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the east of Kermanshah province. *Journal of Geography (Geographic Society's Journal)*, 25: 105-124 (In Persian).
24. Soltani, F. 2009. Quantitative and qualitative changes of Baghmalek plain groundwater due to drought and evaluate the rate of change in watery volume". 2th National Conference on drought and its management solutions. Iran, (In Persian).
25. Stafford, J., G. Wendler and J. Curtis. 2000. Temperature and precipitation of Alaska: 50 year trend analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 67(1): 33-44.

26. Tabari H., J. Nikbakht and P. Hosseinzadeh Talae. 2012. Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resources Management*, 27(1): 137-151 (In Persian).
27. Zeinali, B., M. Faridpour and S. Asghari. 2016. Investigate the Effect Meteorological and Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain). *Journal of Watershed Management Research*. 14: 177-187 (In Persian).
28. Zhang, W., Y. Yan, J. Zheng, L. Li, X. Dong and H. Cai. 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69(1): 35-47.

Evaluation of the Effects of Temporal Variations of Temperature, Precipitation and Water Harvesting on Groundwater Resources in Mehrgerd basin of Semirrom

Hamidreza Mojir¹ and Amirhossein Halabian²

1- Student of Climatology, Payame Noor University

2- Associate Professor Payame Noor University (Corresponding author: halabian_a@yahoo.com)

Received: June 3, 2018 Accepted: March 17, 2019

Abstract

Mehrgerd region of Semirrom county has faced the water shortage for several years. The emergence of drought has led to a decline in water resources in recent years; and there are various reasons for climate change and increased consumption in order to reduce water resources. The present study aimed to investigate the process of temperature and precipitation variations and its possible effects on groundwater resources. Therefore, the Mann–Kendall test was applied to the climatic data of five selected stations during a 28-year statistical period as well as the groundwater level statistics of 33 observation wells. Effects of temporal temperature and precipitation variations on water resources were assessed using the correlation between climatic parameters, SPI drought index and water resources statistics. Results indicated that the average monthly temperature had an ascending trend in Mehrgerd region especially in winter and it could lead to changes in types of precipitation and early snow melting. The precipitation had no significant trend in most months (except for the observed precipitation reduction in January and March). Groundwater resources had a significant descending trend in almost all months of year. The study on relationships of precipitation parameter and water resources of region indicated that the precipitation parameter affected groundwater resources with a delay of 6 months. The effects of wet and dry periods on the status of groundwater level are quite obvious; and the groundwater level of plain has had an annual decline since the onset of a drought period in 2008. Despite the fact that this level has fluctuated with the severity and weakness of drought in subsequent years, but the reduction of water level has been the overall trend of groundwater level in Mehrgerd plain.

Keywords: Climate Change, Trend, Water Resources, Mann–Kendall, Mehrgerd