نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هجدهم- شماره ۶۵- تابستان ۱۴۰۳

Vol. 18, No. 65, Summer 2024

تحلیل و بررسی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه ماهنشان از توابع استان زنجان

ابراهیم باقری[۱]، سینا فرد مرادی نیا[۲و۳]، رسول جانی[۳و۴] و آزاده فلسفیان[۴]

تاریخ دریافت:۲۳ /۰۲/ ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۲۶ /۱۱/ ۱۴۰۲

https://doi.org/10.22034/18.65.75

چکیده مبسوط

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی، اثرات قابل‌توجهی بر محیط زیست می‌گذارد .اگرچه وقوع آن غیرقابل اجتناب است، می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد. آب‌های زیرزمینی شیرین، به دلیل پایداری و کیفیت بالا، نقش مهمی در تامین آب شرب و توسعه اقتصادی-اجتماعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. در این مطالعه، به بررسی خشکسالی در شهرستان ماهنشان با استفاده از شاخص‌های مختلف پرداخته شده است. ۳۰سال آمار بارندگی ایستگاه ماهنشان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای بررسی خشکسالی اقلیمی از شاخصSPI، برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی از میانگین متحرک پنج و هفت ساله بارندگی سالانه و برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی از آمار چاه‌ها و شاخص GRI استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در منطقه ماهنشان رخ داده است و بین شاخص SPI و تغییرات تراز سطح آب همبستگی معنی‌داری وجود دارد. با توجه به یافته‌ها، خشکسالی یکی از چالش‌های اصلی در منطقه ماهنشان است. استفاده از شاخص‌های مختلف برای بررسی خشکسالی ضروری است و با برنامه‌ریزی مناسب می‌توان اثرات منفی آن را کاهش داد. در این مطالعه، فقط به یک منطقه خاص پرداخته شده و عوامل دیگر مؤثر بر خشکسالی و راهکارهای برای کاهش اثرات آن بررسی نشده است. هدف از این مطالعه، ارائه تصویری از وضعیت خشکسالی در منطقه ماهنشان و لزوم توجه به این پدیده در برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات آتی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد توصیفی تحلیلی انجام شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها از دو روش مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش میدانی استفاده شده است. در بخش میدانی، از روش‌های مختلفی مانند پرسشنامه، مصاحبه و مشاهده برای جمع‌آوری نظرات و دیدگاه‌های ساکنان منطقه، اطلاعات تخصصی از کارشناسان و بررسی میدانی منابع آب و سیستم‌های انتقال آب استفاده شده است. برای تکمیل اطلاعات، از سازمان‌های مرتبط مانند معاونت روستایی و اداره کل آب و فاضلاب روستایی استعلام شد. همچنین، با بازدید میدانی از منطقه، اطلاعات مربوط به منابع آب، تخصیص آب و سایر موارد مرتبط با خشکسالی جمع‌آوری و با استفاده از روش‌های علمی تجزیه و تحلیل و تفسیر شده‌اند. برای بررسی خشکسالی اقلیمی در منطقه، از شاخص SPI (Standard Precipitation Index) استفاده شد. این شاخص با استفاده از آمار بارندگی بلندمدت (۳۰ ساله) محاسبه می‌شود و می‌تواند دوره‌های ترسالی، خشکسالی و نرمال را در منطقه نشان دهد. علاوه بر شاخصSPI ، از میانگین متحرک ۵ و ۷ ساله بارندگی سالانه نیز برای تعیین دوره‌های ترسالی و خشکسالی استفاده شد .در این روش، میانگین بارندگی در یک دوره زمانی مشخص (۵ یا ۷ سال) محاسبه می‌شود و با میانگین بارندگی بلندمدت مقایسه می‌شود. برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه، از آمار چاه‌های با پراکنش مناسب و آمار بلندمدت استفاده شد .تغییرات تراز سطح آب در این چاه‌ها توسط شاخص GRI (Groundwater Recharge Index) محاسبه شد. شاخص GRI نشان‌دهنده میزان آب ورودی به سفره‌های زیرزمینی است و می‌تواند برای بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج و بحث

بررسی مقادیر SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی و همچنین میانگین متحرک ۵ و ۷ ساله بارندگی نشان‌دهنده کاهش بارندگی قابل‌توجه در منطقه ماهنشان طی ۲۰ سال گذشته است. این روند کاهشی، نگرانی‌هایی را در مورد پیامدهای منفی آن بر منابع آب، کشاورزی و سایر بخش‌های وابسته به آب در این منطقه به وجود می‌آورد.

بررسی شاخص GRI در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه نشان‌دهنده افت سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه ماهنشان است. این افت به دلیل

۱- دانشجوی دکتری،گروه مهندسی عمران، واحد تبریز ، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی عمران واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران *نویسنده مسئول fardmoradinia@iaut.ac.ir
۳- مرکز تحقیقات رباتیک و فناوری‌های نرم، واحد تبریز ، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
٤- استادیار، گروه مدیریت کشاورزی، واحد تبریز ، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

عدم تناسب بین تغذیه و برداشت از سفره آب زیرزمینی، به خصوص در سال‌های اخیر که با خشکسالی‌های پیاپی همراه بوده، تشدید شده است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، پایداری این منابع را به خطر انداخته است.

تحلیل همبستگی بین شاخص‌های SPI و GRI نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌داری بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه ماهنشان است. این همبستگی در مقیاس‌های زمانی بلندتر قوی‌تر است. یافته‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی‌های هواشناسی می‌توانند منجر به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در این منطقه شوند.

بررسی رابطه بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی با تأخیرهای زمانی یک، دو و سه ساله نشان می‌دهد که بین این دو نوع خشکسالی با تأخیر یک و دو ساله، همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این همبستگی نشان می‌دهد که خشکسالی‌های هواشناسی با تأخیر یک و دو ساله، منجر به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در منطقه ماهنشان می‌شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف متفاوت بوده است. این امر به دلیل تنوع در نوع سازند، ضریب آبگذری، شیب هیدرولیکی و میزان برداشت از سفره آب در مناطق مختلف است. در دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵)، تراز آب زیرزمینی در منطقه ماهنشان به طور متوسط سالانه ٤٥ سانتی‌متر افت داشته است. این امر نشان‌دهنده برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب زیرزمینی است. خشکسالی‌های پیاپی نیز باعث تشدید روند افت آب‌های زیرزمینی شده است. غیر از بارندگی، عوامل دیگری مانند برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی نیز بر افت آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارند. مقایسه شاخص SPI (خشکسالی اقلیمی) و GRI (منابع آب زیرزمینی) نشان می‌دهد که بین این دو شاخص در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه، رابطه معنی‌داری وجود دارد. این رابطه نشان می‌دهد که خشکسالی اقلیمی با تأخیر دو ساله، بر افت آب‌های زیرزمینی در منطقه ماهنشان تأثیر می‌گذارد. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که منطقه ماهنشان با چالش جدی کمبود آب و خشکسالی مواجه است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و خشکسالی‌های پیاپی، این چالش را تشدید کرده‌اند.

کلید واژه‌ها: ***آب‌های زیرزمینی، استان زنجان، SPI، GRI، خشکسالی هیدرولوژیکی***

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از بلایای طبیعی دسته‌بندی می‌شود که تأثیرات عمده‌ای بر بخش‌های یک بوم سازگان می‌گذارد. گرچه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با اقداماتی اثرات منفی آن را کاهش داد. آب‌های زیرزمینی شیرین با تخصیص ۳۰ درصد از حجم کل آب شیرین دنیا، به دلیل ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی پایین و سطح اطمینان بالاتر، بزرگترین و پایدارترین منبع تأمین آب شرب ۵۰ درصد از جمعیت جهان و بیش از ۸۰ درصد از ساکنین نواحی خشک و نیمه‌خشک است و نقش قابل‌توجهی در توسعه اقتصادی- اجتماعی و بهداشت عمومی دارد [۱]. دخالت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی، تغییر نظام بارش و رخداد خشکسالی‌های ممتد و متوالی اهمیت پایش این منبع حیاتی را مضاعف کرده است. به همین دلیل، پدیده خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است [۱۱]. این فرایند به ترتیب در چهار مرحله هواشناسی، آب شناسی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی رخ می‌دهد که هر مرحله با یک تأخیر زمانی پیامد مرحله بعد است. سه مرحله اول ماهیتی فیزیکی داشته و مرحله چهارم در اثر فزونی تقاضای آب در برابر عرضه آن حادث می‌شود. از آنجایی که وضعیت کمی بارش در مرحله اول و پاسخ منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در مرحله دوم مطرح می‌شود، مدل‌سازی و برنامه‌ریزی منابع آب به شدت به تعیین تأخیر زمانی مذکور وابسته است [۲]. مدیریت منابع آب شامل راهبردهایی در مراحل سه‌گانه تامین و استحصال، انتقال و مصرف آب در سطح مزرعه به منظور استفاده بهینه از منابع آب، بهبود وضعیت منابع آب از تخصیص منابع آب به مصارف با ارزش‌تر اقتصادی، بهبود و اعتلای رفتار مصرف‌کنندگان از نظر تلفات و آلوده کردن آب، اشاعه و ترویج روش‌های کاهش تلفات خشکسالی در فعالیت‌های کشاورزی و بهبود وضعیت بهره‌وری از منابع آب، ظرفیت‌ها و امکانات موجود است. اهداف مدیریت منابع آب در چهار هدف کلی افزایش بهره‌وری آب، حفاظت و پایداری منابع آب، اصلاح ساختار اقتصاد آب و گسترش آگاهی عمومی و توسعه فن‌آوری و تحقیقات برشمرده شده است [۱۷]. خشکسالی هیدرولوژیکی با کمبود جریان در جنبه‌های مختلفی از جمله جریان سطحی رودخانه‌ها، سطح مخازن و افت سطح ایستایی در سفره‌های آب زیرزمینی بروز می‌کند. به‌دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر سیکل هیدرولوژیکی، شناخت و تفسیر این نوع خشکسالی نیازمند داده‌های مختلف با طول دوره آماری بلندمدت و دخالت متغیرهای متنوعی است. شهرستان ماهنشان یکی از هفت شهرستان استان زنجان است که روستاهای ماهنشان از توابع استان زنجان در سال‌های اخیر با افت چشم‌گیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده‌اند. با توجه به ضریب دومارتون این منطقه که برابر ۱۰/٤٤ است. منطقه ماهنشان در محدوده اقلیمی» نیمه خشک» قرار می‌گیرد. در این میان، اقلیم هر منطقه در نوع و شیوه زندگی و سکونت روستاها، تأثیر فراوانی دارد. همچنین نتایج هواشناسی و هیدرولوژیکی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که وقتی خشکسالی اقلیمی (هواشناسی) رخ می‌دهد اثر آن بر افت سفره آب زیرزمینی قابل توجه است. به طور کلی، هدف از این تحقیق، در ابتدا تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با

استفاده از شاخص‌های SPI[1] و GRI[2] و در آخر، با بررسی ارتباط بین این شاخص‌ها فاصله زمانی و یا تأخیری بین زمان وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی تعیین شده است. اطلاع از این فاصله زمانی به مدیران و برنامه‌ریزان برای مقابله با اثرات منفی ناشی از وقوع خشکسالی هواشناسی کمک خواهد کرد و از اثرات احتمالی ناشی از خشکسالی هیدرولوژیکی در آینده جلوگیری می‌کند. همچنین نتایج پژوهش حاضر به تبیین استراتژی‌های لازم در قالب مدیریت ریسک خشکسالی در سامانه‌های منابع آب کمک خواهد کرد. مندیسیتو و سناتور [۱۲] در پژوهشی، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) را برای مناطق کالابریا با اقلیم مدیترانه‌ای برای دوره ٤٥ ساله به‌کار بردند و با SPI منطقه مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی GRI و SPI در مقیاس زمانی بالاتر مناسب‌تر است و ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضه بر GRI مؤثر بوده است و باعث تأخیر GRI نسبت به SPI می‌شود. ضمن آنکه GRI نسبت به SPI در پیش‌بینی وضعیت منابع آب زیرزمینی عملکرد بهتری دارد. اکرامی و همکاران [٦] تأثیر خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی را بر روی منابع آب زیرزمینی در محدوده دشت یزد اردکان در دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای تحلیل خشکسالی‌ها از دو شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده کردند. نتایج بررسی رابطه بین دو شاخص فوق نشان داد، با افزایش پایه زمانی ضریب همبستگی بین این دو شاخص نیز افزایش می‌یابد. از طرفی، تأخیر زمانی بین دو خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی را یک تا دو سال برآورد کردند. نتایج بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سطح سفره در طول دوره آماری نیم متر در سال گزارش شده است. آقابیگی [۳] به مطالعه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان گیلان با استفاده از SPI و SDI پرداخت. نتایج این پژوهش، نشان داد که رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در بازه زمانی ۱۲ ماهه بیشینه است و مقدار این همبستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است.

سلیمانی و حقی‌زاده [۱۷] از شاخص بارش استاندارد شده SPI و SDI برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر کاهش آبدهی دریاچه کیو خرم آباد استفاده کردند. در این پژوهش، ارتباط بین دو شاخص را بر اساس داده‌های بارندگی و دبی جریان تعیین کردند. نتایج حاصل نشان داد، رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است و در بازه زمانی شش ماهه بیشینه مقدار را دارا بوده است. همچنین، خشکسالی سبب کاهش آب دریاچه شده که این تأثیر در همان ماه و یا با یک ماه تأخیر بر آبدهی دریاچه تأثیر گذار بوده است. پاتاک و همکاران [۱۵] دو شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SDI و GRI را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ارزیابی خشکسالی در حوضه رودخانه کریشنا[3] در یک دوره آماری ۳٦ ساله (۱۹۷۲–۲۰۰۷) مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان داد، همبستگی خوبی بین دو شاخص در مقایسه نه ماهه وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی به ۱۲ ماهه این ارتباط بیشتر می‌شود. لیلاروبان و همکاران [۱۰] نیز بررسی رابطه شاخص‌های خشکسالی و تراز آب‌های زیرزمینی را انجام دادند. نتایج نشان داد SPI-24 در خلال خشکسالی با تراز آب زیرزمینی رابطه خوبی دارد. برای ۱۷ چاه از ۳۲ حلقه چاه، SPI-24 بهترین همبستگی را نشان داد و برای ۱۲ حلقه از ۳۲ حلقه، SPI-24 ضریب همبستگی 0.6- و یا قوی‌تری داشت و برای چاه‌های دیگر، همبستگی منطقی خوبی وجود داشت. همچنین مرتضایی و همکاران [١٤] به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی استان کردستان با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) و شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) پرداختند و طبق نتایج آن‌ها شاخص GRI طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۳–۱۳٦۳) در مقایسه با شاخص SDI در مقیاس زمانی و دوره آماری یکسان از مقادیر بالاتر بیشینه شدت خشکسالی و بیشینه تداوم خشکسالی برخوردار است. زندی‌فر و همکاران [۲۰] به بررسی تأثیر خشکسالی‌ها بر روند تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی GRIو SDI در یک دوره آماری ده ساله (1385-1395) پرداختند. عباس‌نیا و همکاران [٤] به تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و GRIدر ارزیابی خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت مهران استان ایلام پرداختند. و با استفاده از شاخص SPI نشان دادند که طی دوره‌ای آمار مدنظر ٤ دوره خشکسالی شدید اتفاق می‌افتد که شدیدترین آن سال آبی ۹۱–۹۰ بوده که مقدار شاخص SPI آن ۱/۷۳– بوده است. همچنین با استفاده از شاخص GRI نشان دادند که یک دوره خشک‌سالی ۱۱ ساله آب‌های زیرزمینی اتفاق افتاده یعنی از سال آبی ۸۷–۸۸ شروع شده و تا سال آبی ۹۸–۹۷ ادامه داشته است که شدیدترین آن سال ۹۱–۹۰ با مقدار شاخص ۱/۱۱– است.

از طرفی، زندی‌فر و همکاران [۲۰] با بررسی تأثیر خشکسالی‌ها بر یکدیگر روند تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی در حوضه آبریز کارون بزرگ با استفاده از شاخص‌های خشکسالی GRI و SDI در یک دوره آماری ده ساله (۱۳۸۵–۱۳۹۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد در بیشتر محدوده‌های مطالعاتی همبستگی بین شاخص‌های GRI وSDI وجود دارد. البته در برخی موارد تأثیر خشکسالی هیدرولوژی بر آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی ٦ ماه تا یک ساله صورت می‌گیرد. نتایج همبستگی پایین دو شاخص خشکسالی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همبستگی بالا بین شاخص GRI و میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی نشان داد که عامل افت سطح آب در آبخوان‌ها را نمی‌توان تنها خشکسالی بیان کرد بلکه در برخی موارد برداشت‌های بی‌رویه تأثیر بیش‌تری دارد.

1. Standardized Precipitation Index
2. Groundwater Resource Index
3. Kerishna

جان بزرگی و همکاران [۸] به بررسی روند خشکسالی در استان گیلان در مقیاس ماهانه و بررسی وسعت احتمالی افزایش خشکسالی نسبت به دوره آماری گذشته تا به حال و پیدا کردن مکان‌های مستعد خشکسالی پرداختند. مقیمی [۱۳] توانایی مدل‌های مختلف سری زمانی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی فصلی بر اساس شاخص خشکسالی شناسایی (RDI) در جنوب ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور، از داده‌های اقلیمی ۱۶ ایستگاه سینوپتیک از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. زارعی [۲۱] رابطه بین درصد افت عملکرد سالانه گندم زمستانه وسه شاخص SPEI، RDIو SPI و دقت آن‌ها را درمقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، نه و۱۲ ماهه ارزیابی نمودند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد شاخص خشکسالی GRI در طول دوره آماری ده ساله حوضه آبریز کارون بزرگ، در جنوب شرق و حوالی غرب حوضه آبریز مذکور نمایان‌تر بوده و در سال‌های پایانی این دوره محدوده‌های سمت شمالی حوضه نیز درگیر خشکسالی‌های شدیدتری شده‌اند، که با مقادیر شاخص SDI نیز انطباق دارد. استان زنجان در سال‌های اخیر با افت چشم‌گیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. در این پژوهش برای نخستین‌بار، فاصله زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی، در جهت تمهیدات لازم برای مقابله با خشکسالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی پیش‌بینی و تعیین شد که با اطلاع از آن مدیران اجرایی می‌توانند از ایجاد بحران‌های ناشی از اثرات خشکسالی هیدرولوژیکی جلوگیری کنند.

مواد و روش‌ها

نوع این تحقیق کاربردی و روش تحقیق توصیفی تحلیلی است. به منظور جمع آوری داده‌ها و اطلاعات از مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش میدانی در محدوده مورد نظر استفاده شده است. همچنین برای جمع آوری داده‌ها از سایت معاونت روستایی و مناطق محروم ریاست جمهوری، اداره کل آب و فاضلاب روستائی و... استعلام شده است. از طرفی، برداشت میدانی منابع موجود، سیستم‌های انتقال آب و میزان تخصیص، بررسی و تجزیه و تحلیل آن، تطبیق مشخصات فنی اقدام شده است. در این تحقیق به منظور بررسی خشکسالی اقلیمی (هواشناسی)، مشخص کردن دوره‌های ترسالی و خشکسالی و برآورد تکرار خشکسالی در دوره بلند مدت آماری (آمار بارندگی ۳۰ سال و بیش از آن ایستگاه ماهنشان) در شهرستان مورد مطالعه از شاخص بارش استاندارد SPI استفاده شده است. به منظور بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی در محدوده مورد مطالعه، علاوه بر شاخص SPI از میانگین متحرک پنج و هفت ساله بارندگی سالانه استفاده شده است. روش میانگین متحرک با بکارگیری متوسط داده‌ها در یک دوره معین و تشکیل سری زمانی جدید، این نوسانات را کاهش و یا به عبارتی دیگر این نوسانات را هموار می‌کند. در این روش سال‌هایی که مقدار میانگین متحرک در اطراف بارندگی متوسط قرار دارد دوره متوسط، سال‌هایی که این مقدار بیشتر از متوسط است ترسالی و سال‌هایی که مقدار میانگین متحرک کم‌تر از بارندگی متوسط باشد خشکسالی محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر به منظور بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی از آمار چاه‌هایی که علاوه بر پراکنش مناسب در محدوده مورد مطالعه، دارای آمار بلندمدت‌تری نیز هستند استفاده شده است. لازم به ذکر است که تغییرات تراز سطح آب توسط شاخص GRI برای چاه‌های پیزومتری با آمار کوتاه مدت‌تر(۱۳۹۵-۱۳۹۰) نیز محاسبه شد. قابل ذکر است که معادله رگرسیونی، ضریب همبستگی (r و r^2) و سطح معناداری (P - Value) بین این دو پارامتر، توسط نرم‌افزار SPSS و با استفاده از Excel محاسبه شده است. سطح معناداری و ضرایب همبستگی محاسبه شده در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین بارندگی سالانه منطقه ماهنشان و تراز آب زیرزمینی در پیزومترهای مختلف

Table 1. Correlation coefficients between the annual rainfall of the Mahneshan area and the groundwater level in piezometers

r^2=0.131
r= 0.362
p-value= 0.03

نتایج و بحث

شاخص SPI شاخص بارش استاندارد است که جهت کمی کردن بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف جهت پایش خشکسالی هواشناسی استفاده می‌شود. به منظور پایش خشک‌سالی هیدرولوژیکی از شاخص استفاده شده است. بدین منظور بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی بررسی شد.

جهت محاسبه شاخص SPI از فرمول (۱) استفاده شده است.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \qquad (۱)$$

Pi: مقدار بارندگی دوره، $\bar{P}$ و SD به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی دوره آماری مورد نظر هستند [۷]. شاخص GRI در سال ۲۰۰۸ توسط مندسینو و همکاران به عنوان شاخصی قابل اعتما برای مدل‌سازی پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی پیشنهاد شد (فریبا و مظفری زاده، ۲۰۱۷).

$$GRI = \frac{D_y - \mu_D}{\delta_D} \qquad (۲)$$

که در آن D_y: ارزش سطح ایستایی در سال y، و μ_D : میانگین داده‌های سطح ایستایی برای D سال و δ_D: انحراف معیار داده‌های سطح ایستایی برای D سال هستند.

بررسی شاخص SPI

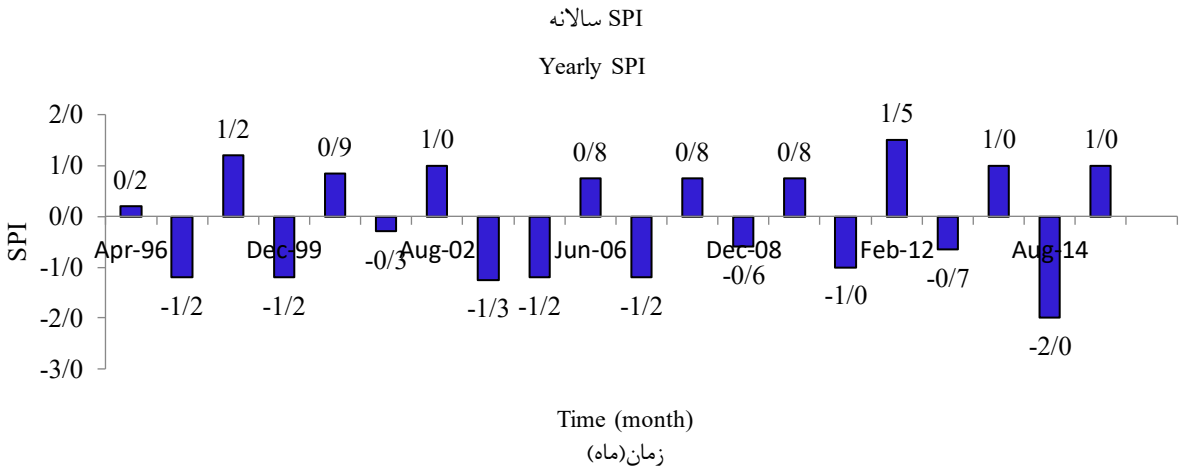
شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ٦، ۱۲، ۲٤، ٤٨ ماهه و سالانه، برای تمامی ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه

محاسبه شده است. قابل ذکر است که هرچه سری زمانی (داده‌های مربوط به بارش در ایستگاه‌های مختلف طی سال‌های متعدد) افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آن‌ها کم‌تر می‌شود یائو [۱۹] به‌همین دلیل سری‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه تعداد دوره‌های خشکی را کم‌تر و دارای تداوم بیش‌تری نمایش می‌دهند (شکل ۱).

مقایسه قدر مطلق مقادیر شاخص SPI در خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها نشان می‌دهد که در طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۵)، خشکسالی‌های این شاخص دو واحد بیشتر از ترسالی‌ها است. این بررسی نشان می‌دهد که در طی ۲۰ سال اخیر فرایند خشکسالی اقلیمی بر ترسالی اقلیمی، در منطقه مورد مطالعه حاکم بوده است. به‌منظور بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی در محدوده مورد مطالعه، علاوه بر شاخص SPI از میانگین متحرک پنج و هفت ساله بارندگی سالانه استفاده شده است. روش میانگین متحرک با بکارگیری متوسط داده‌ها در یک دوره معین و تشکیل سری زمانی جدید، این نوسانات را کاهش و یا به عبارتی دیگر این نوسانات را هموار می‌کند. در این روش سال‌هایی که مقدار میانگین متحرک در اطراف بارندگی متوسط قرار دارد دوره متوسط، سال‌هایی که این مقدار بیشتر از متوسط هستند ترسالی و سال‌هایی که مقدار میانگین متحرک کم‌تر از بارندگی متوسط باشد خشکسالی محسوب می‌شود.

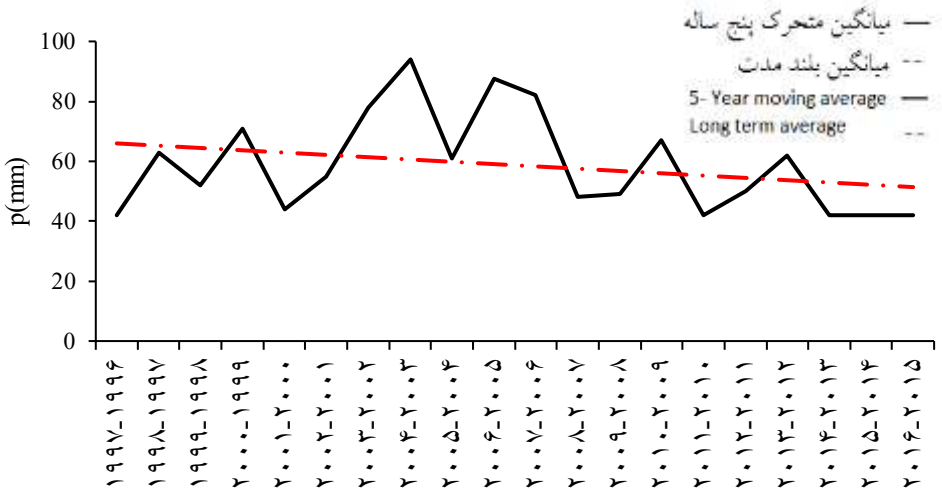
نمودارهای مربوط به میانگین متحرک پنج و هفت ساله بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

به منظور بررسی وضعیت شاخص بارش استاندارد (SPI)، جدول جمع‌بندی وقوع هریک از طبقات قابل تشخیص توسط این شاخص در منطقه ماهنشان مورد استفاده و دوره آماری ۲۰ ساله بدست آمد. نتایج به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است. براساس این جدول، فراوانی طبقات مختلف خشکسالی در دوره آماری (۱۳۹۵-



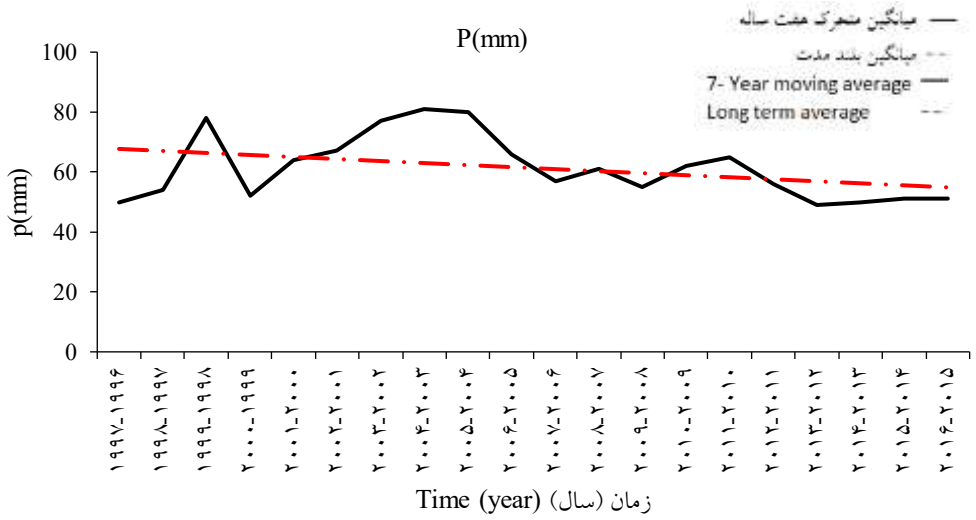
شکل ۱- تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی سالانه در منطقه ماهنشان

Fig 1. SPI index changes in Mahneshan at the annual scale



شکل ۲- میانگین متحرک پنج ساله بارش در منطقه ماهنشان

Fig 2. 5-year moving average of rainfall in Mahneshan



شکل ۳- میانگین متحرک هفت ساله بارش در منطقه ماهنشان

Fig 3. 7-year moving average of rainfall in Mahneshan

جدول ۲- **درصد فراوانی طبقات مختلف خشکسالی در دوره آماری ۱۳۷۵-۱۳۹۵ بر مبنای شاخص SPI**

Table 2. Percentage frequency of different classes of drought in the statistical period of 1996-2016 based on the SPI index.

ترسالی بسیار شدید Very heavy rain	ترسالی شدید heavy rain	ترسالی خفیف light rain	نزدیک به نرمال close to normal	خشکسالی خفیف Mild drought	خشکسالی شدید Severe drought	خشکسالی بسیار شدید Very severe drought	(1395-1375)
2.6	8.1	15.3	66.3	4	2.2	1.2	SPI_3
1.5	4.6	11.2	69.5	7.1	3.2	2.4	SPI_6
1.3	4.4	11.8	67.5	8.2	3.6	2.9	SPI_12
2	4.6	11.8	66.8	8.7	4.2	1.6	SPI_24
2.4	3.5	9.4	69.4	9.3	3.5	2.1	SPI_48

۱۳۷۵) در محدوده مورد مطالعه محاسبه شده است. در مجموع نتایج نشان داد که شرایط نزدیک به نرمال این شاخص از فراوانی بیش‌تری نسبت به سایر طبقات برخوردار است (جدول ۲). خشکسالی‌های خیلی شدید و شدید دارای درصد فراوانی حدود هفت درصد و خشکسالی خفیف دارای درصد فراوانی حدود ۱۰ درصد است. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی سهم قابل‌توجهی در طی دوره ۲۰ ساله دارا بوده و این امر باعث شده که منطقه ماهنشان به عنوان منطقه‌ای آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی تلقی شود.

بررسی شاخص GRI

در ادامه نتایج حاصل از بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه ماهنشان توسط شاخص GRI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در شکل ٤ و ٥ آمده است.

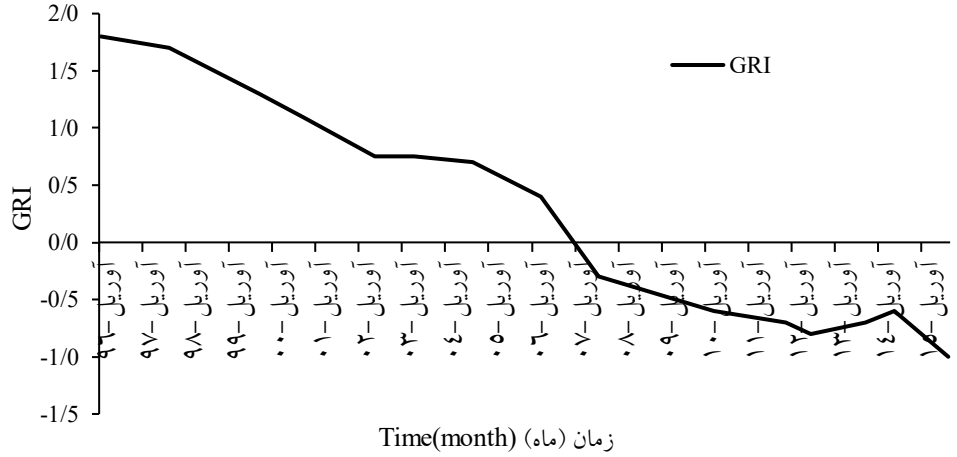
شکل ٤ و ٥ نشان‌دهنده نتایج بررسی تغییرات سطح ایستایی در چاه پیزومتری محدوده مورد مطالعه هستند که روند سیر نزولی نمودارهای مربوطه نسبت به زمان، مبین بیشتر شدن عمق سطح آب نسبت به سطح زمین است. دلیل این امر را می‌توان، افت سطح آب به علت عدم‌تناسب در تغذیه و برداشت از سفره آب زیرزمینی دانست.

به‌منظور ارزیابی بهتر روند تغییرات سطح ایستایی آبخوان‌های منطقه ماهنشان، آمار و اطلاعات پیزومتریک بلند مدت (۱۳۹۵-۱۳۷۵) در یک دوره ۲۰ ساله تهیه شد، بر این اساس در طول ۲۰ سال اخیر تمامی پیزومترهای اشاره شده دارای بیلان منفی بوده که می‌توان علت اصلی آن را، تداوم وقوع خشکسالی‌ها و بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی دانست (جدول ۳).

جدول ۳- **متوسط تغییرات سالانه افت سطح آب زیرزمینی (متر) در بازه‌های زمانی مختلف**

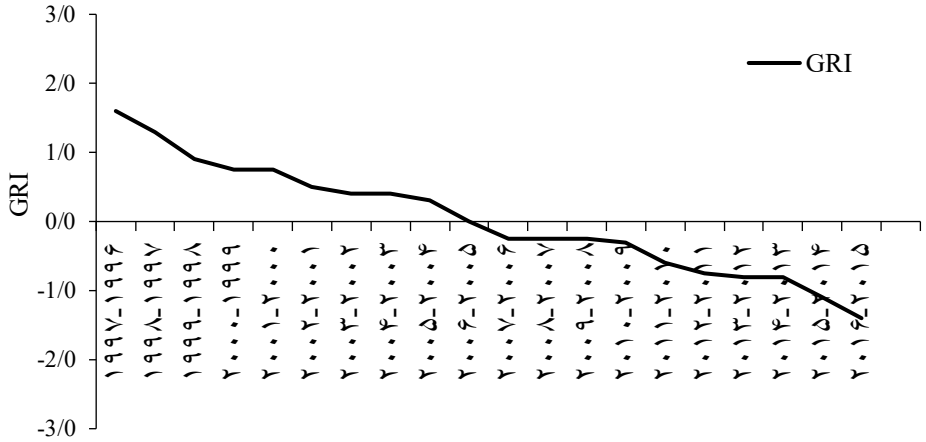
Table 3. Average annual changes of the groundwater level (m) in different time periods

چاه پیزومتری Piezometric well	منطقه ماهشنان Mahenshan Region
$\Delta h(1375-1379)$	0.85
$\Delta h(1379-1395)$	0.97



شکل٤- شاخص GRI ماهانه مربوط به تغییرات سطح آب در چاه پیزومتری منطقه

Fig 4. Monthly GRI index related to water level changes in piezometric wells in the region



شکل٥- شاخص GRI سالانه مربوط به تغییرات سطح آب در چاه پیزومتری منطقه

Fig 5. Annually GRI index related to water level changes in piezometric wells in the region

جدول ٤- **ضرایب همبستگی بین شاخص‌های SPI و GRI در مقیاس زمانی ماهانه (١٣٧٥-١٣٩٥)**

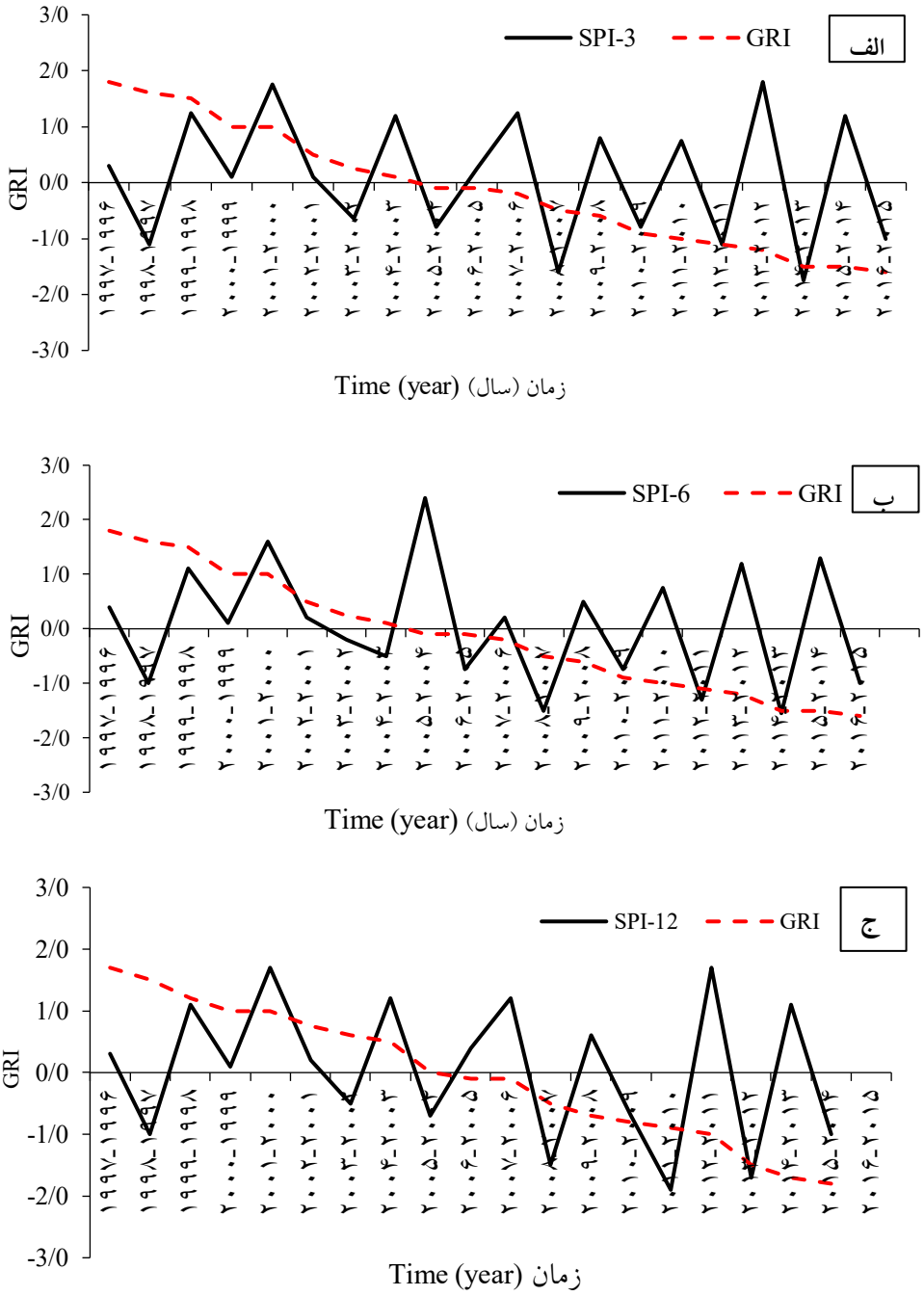
Table 4. Correlation coefficients between SPI and GRI indices on a monthly time scale (1996-2016)

(1996-2016)	SPI_3	SPI_6	SPI_12	SPI_24	SPI_48
ضریب همبستگی The correlation coefficient	r^2=0.023 r=0.159	r^2=0.036 r=0.221	r^2=0.036 r=0.205	r^2=0.15 r=0.225	r^2=0.19 r=0.314
GRI سطح ایستایی GRI static level ماهنشان Mahneshan	P-value= 0.002	P-value= 0.001	P-value= 0.000	P-value= 0.000	P-value= 0.000

بررسی رابطه بین شاخص‌های SPI و GRI

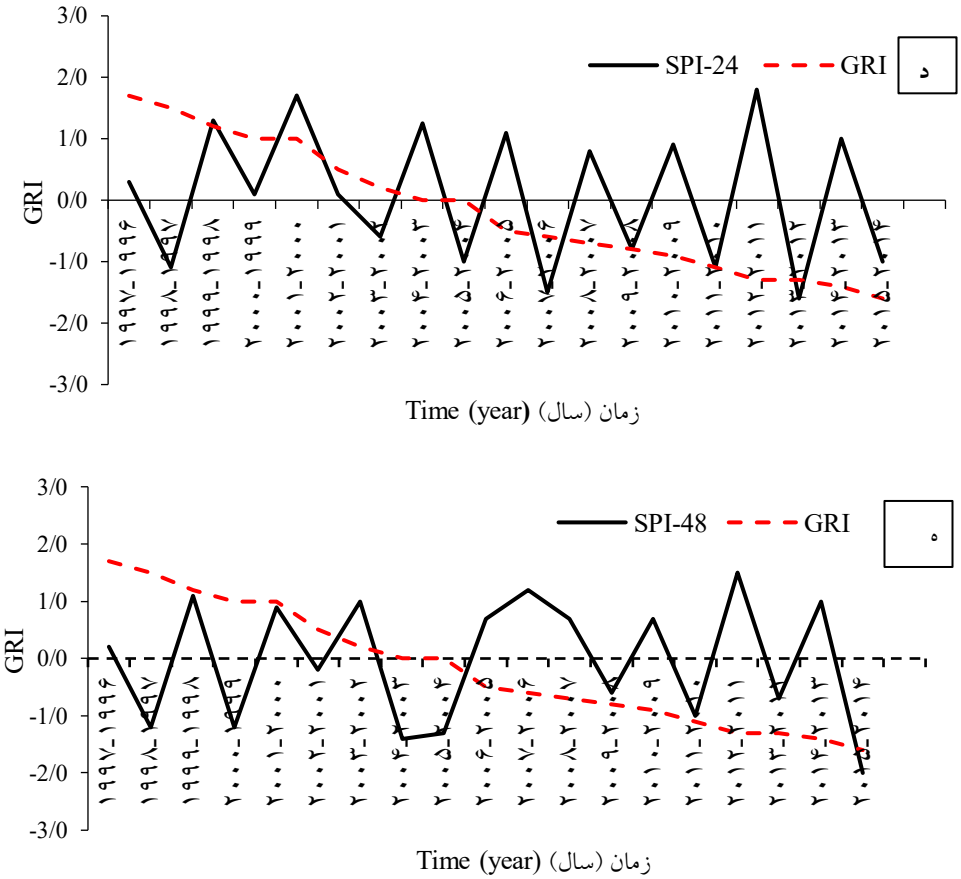
چنانکه در جدول ٤ مشاهده می‌شود بین شاخص بارش استاندارد SPI در مقیاس‌های زمانی ٣، ٦، ١٢، ٢٤ و ٤٨ ماهه‌ی ایستگاه هواشناسی منطقه ماهنشان و شاخص منابع آب زیر زمینی GRI در مقیاس زمانی ماهانه مربوط به چاه‌های پیزومتری مختلف رابطه معنی‌داری وجود دارد، واین رابطه به گونه‌ای است، که با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI، مقادیر مربوط به ضریب همبستگی و سطح معنی‌داری افزایش یافته و بیش‌ترین ضریب مربوط به SPI ٤٨ ماهه بوده است. همچنین نمودارهای مربوط به رابطه شاخص SPI و GRI ماهانه مربوط به پیزومتر آب منطقه در ادامه آورده شده است (شکل ٦).

همان‌گونه که در شکل ٦ نشان داده شده است به طور کلی با توجه به تغییرات سطح آب در دوره آماری (١٣٩٥ -١٣٧٥) و اینکه این تغییرات هیچگاه مثبت نبوده است می‌توان نتیجه گرفت که با



شکل٦- الف)رابطه بین SPI-3 و GRI، ب)رابطه بین SPI-6 و GRI، ج) رابطه بین SPI-12 و GRI، د) رابطه بین SPI-24 و GRI، ه) رابطه بین SPI_48 و GRI پیزومتر آب انبار منطقه

Fig 6. a) The relationship between SPI-3 and the GRI, b) The relationship between SPI-6 and GRI, c) Relationship between SPI-12 GRI, d) Relationship between SPI-24 and GRI, e) The relationship between the SPI_48 and GRI piezometer of the reservoir of the region



ادامه شکل٦- الف)رابطه بین SPI-3 و GRI، ب)رابطه بین SPI-6 و GRI، ج) رابطه بین SPI-12 و GRI، د) رابطه بین SPI-24 و GRI، ه) رابطه بین SPI_48 و GRI پیزومتر آب انبار منطقه

Fig. 6 Countinued a) The relationship between SPI-3 and the GRI, b) The relationship between SPI-6 and GRI, c) Relationship between SPI-12 GRI, d) Relationship between SPI-24 and GRI, e) The relationship between the SPI_48 and GRI piezometer of the reservoir of the region

وجود روند نزولی سطح سفره آب زیرزمینی، میزان نزولات جوی در طی این ۲۰ سال نیز نتوانسته این کسری شدید را جبران کند، مضاف بر این که برداشت‌های بی‌رویه از سطح سفره (به منظور شرب، بهداشت، آبیاری فضای سبز، کشاورزی و صنعت) به‌خصوص در سال‌های اخیر (که منطقه مورد مطالعه با خشکسالی‌های پی در پی با وسعت و شدت زیادی مواجه بوده است) و هم میزان برداشت‌های غیر مجاز از سطح سفره افزایش یافته است و متأسفانه وضعیت سفره را در حالت بحرانی قرار داده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی رابطه بین شاخص‌های SPI و GRI در مقیاس زمانی سالانه حاکی از آن است که، رابطه معنی‌داری در سطح پنج درصد (۰/۰۵) بین شاخص SPI و GRI سالانه، طی بازه‌ی زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۵) در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. همچنین علت عدم هم‌خوانی و عدم تطابق بین نمودارهای SPI و GRI در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه، اختلاف بین بارش و برداشت می‌باشد. شکل ٦ نمودار مربوط به رابطه شاخص SPI و GRI سالانه‌ی پیزومتر آب انبار منطقه را به‌عنوان نمونه نشان می‌دهد. در ادامه ضرایب همبستگی و سطوح معناداری محاسبه شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های SPI و GRI سالانه (۱۳۹۵-۱۳۷۵)

Table 5. Correlation coefficients between annual SPI and GRI indices (1996-2016)

r^2= 0.111
r= 0.333
P-value= 0.04

با توجه به اینکه خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی به وقوع می‌پیوندد (خدارحم بزی و هدایتی، ۲۰۱۰)، پس از بررسی رابطه بین شاخص SPI و GRI در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه، رابطه بین خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی با تأخیرهای زمانی یک ساله، دو ساله و سه ساله در بازه زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۵) مورد بررسی قرار گرفت که با نتایج صمدی بروجنی و همکاران [١٦] نیز مطابقت دارد. نتایج مربوط به همبستگی و معناداری آن در جدول ٦ آمده است. به عبارت دیگر منظور از بدون تأخیر، با یک سال تأخیر و دو سال تأخیر، همان اختلاف بین وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی نسبت

به خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی است. نتایج بررسی همبستگی هر دو شاخص GRI و SPI در ایستگاه هواشناسی ماهنشان در جدول ٦ ارائه شده است. رابطه معنی‌داری، تأئیدی بر همبستگی دو شاخص مذکور است که در جدول ٦ ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج بدست آمده متوسط تغییرات سالانه افت سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مختلف متفاوت است که این امر به دلیل اختلاف در نوع سازند، ضریب آبگذری، شیب هیدرولیکی و میزان برداشت متفاوت از سفره آب زیرزمینی در مناطق مختلف می‌باشد. همچنین نتایج بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۵) نیز نشانگر روند افت منفی پیوسته تراز آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری مختلف و آبخوان منطقه ماهنشان بوده است. به‌طوری که تراز آب زیرزمینی منطقه به‌طور متوسط در هر سال حدود ٤٥ سانتی‌متر افت داشت. این امر حاکی از برداشت بی‌رویه و غیراصولی از سفره آب زیرزمینی است که خشکسالی‌های شدید و پی در پی نیز باعث تشدید روند افت در منطقه شده است. همچنین نتایج حاصل از بررسی رابطه بین بارندگی ایستگاه هواشناسی و تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری نشان می‌دهد که، بین تراز سطح آب (سطح ایستایی) سالانه سفره آب زیرزمینی و میزان بارش سالانه در بازه زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۵) رابطه معنی‌داری وجود دارد، لذا تغییرات بارندگی سالانه در اثر خشکسالی و ترسالی، می‌تواند بر عمق سطح ایستایی تأثیر گذارد. ولی علت پائین بودن ضریب همبستگی بین این دو مؤلفه، می‌تواند غلبه عوامل دیگر، از جمله برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باشد. جهت بررسی دقیق‌تر نحوه تأثیرگذاری خشکسالی اقلیمی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی منطقه ماهنشان، مقایسه‌ای بین شاخص خشکسالی اقلیمی SPI و شاخص منابع آب زیر زمینی GRI در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه در طول دوره آماری مشترک صورت گرفت، نتایج نشان می‌دهد که، رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد (۰/۰۱) بین شاخص SPI و GRI ماهانه، طی بازه زمانی (۱۳۹۵-۱۳۷۵) در محدوده مورد مطالعه وجود دارد و با توجه به اینکه شاخص خشکسالی اقلیمی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر، ترسالی‌ها و خشکسالی هیدرولوژیک را به نمایش می‌گذارد، لذا می‌توان گفت که در محدوده مورد مطالعه، در سال‌های اخیر با خشکسالی هیدرولوژیک و با تداوم بیش‌تری مواجه بوده است.

نتایج هواشناسی و هیدرولوژیکی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که وقتی خشکسالی اقلیمی (هواشناسی) رخ می‌دهد اثر آن بر افت سفره آب زیرزمینی به طور متوسط در دو سال آینده قابل مشاهده خواهد بود. قابل ذکر است که این مدت زمان تأخیر می‌تواند در نقاط مختلف حوضه به علت تفاوت در نوع سازند و ویژگی‌های زمین‌شناسی و برداشت‌های متفاوت از سفره آب زیرزمینی، متغیر باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم میدانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از حمایت مسئولان دانشگاه آزاد اسلامی تبریز به عمل آورند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج ا ین پژوهش ندارند .

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

ابراهیم باقری: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله

سینا فردمرادی‌نیا: راهنمایی و مفهوم سازی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

رسول جانی: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری

آزاده فلسفیان: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های SPI و GRI با دو سال تأخیر و بدون تأخیر

Table 6. Correlation coefficients between SPI and GRI indices with 2 years delays and without delay

ضریب همبستگی شاخص SPI ایستگاه و GRI پیزومتر آب منطقه Correlation coefficient of station SPI index and GRI water piezometer of the area	(۱۳۹۵-۱۳۷۵) (1996-2016)
r^2=0.111 r=0.333 P-value= 0.04	بدون تأخیر without delay
r^2=0.107 r=0.308 P-value= 0.05	با ۲ سال تأخیر Two years late

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., Azarakhshi, M., Chapi, K., and Bashiri, M. 2016. Spatial and Temporal variations of groundwater level in Qorveh-Dehgolan plain and its relationship with drought. Water and Soil Science, 26(3-2), 143-155

2. Azizian, M. S., Salem, M. D., and Ebrahimi, S. A. 2012. Entrepreneurship is a solution for the development of rural employment in the country. (In Persian)

3. Aghabeygi, M. (2015). Study of meteorological hydrological drought in Gilan Province using different indices (Doctoral dissertation, MSc dissertation. Hormozgan University. (In Persian)).

4. AbbasNia, A., Morshedi, J., Zohorian, M., and Ghorbanian, J. (2021). Comparison of SPI and GRI indicators in meteorological and groundwater drought assessment: Case study Mehran Plain, Ilam Province. Natural Geography Quarterly, 51, 95-114. (In Persian)

5. Azizian, M., Salem, M. D., and Ebrahimi, S. A. (2012). Entrepreneurship is a solution for the development of rural employment in the country. *National Rural Development Conference*. (In Persian)

6. Ekrami, M., H. Malekinejadand and M.R. Ekhtesasi. 2014. Investigation of the effect of meteorological and hydrological drought in ground water resources. Journal of Iran Watershed Management Science and Engineering, 20: 47-54 (in Persian)

7. Faryabi M, Mozaffarizade J (2017) Hydrogeological drought management index (HDMI) as a tool for groundwater resource management under drought conditions, Case study: Dayyer-Abdan district, Boushehr province. Iranian Journal of Ecohydrology 4(3):737-747 (In Persian)

8. Jonbozorgi, M., Hanifeh Pour, M., Khosravi, H. (2021). Temporal changes in meteorological-hydrological drought (Case study: Guilan Province). Water and Soil Management and Modeling, 1(2),1-13. .(in Persian)

9. Khodarahm, B., and Hedayati, S. (2010). The development process of village management in Iran with emphasis on the performance of Islamic councils: A case study of Sistan region. *Village and Development Quarterly*, *3*, 105-126. (In Persian)

10. Leelaruban, N., Padmanabhan, G., and Oduor, P. (2017). Examining the relationship between drought indices and groundwater levels. Water, 9(2), 82.

11.Mahmoudi P, Tavousi T, Shahozaei AR (2015) Drought and its effects on groundwater resources quality in Sistan and Baluchestan Province. Journal of Water Research in Agriculture 29(1):21-35

12. Mendicino, G., Senatore, A., and Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357(3-4), 282-302.

13. Moghimi, M. M., Zarei, A. R., and Mahmoudi, M. R. (2020). Seasonal drought forecasting in arid regions, using different time series models and RDI. *Journal of Water and Climate Change, 11*(3), 633-654.

14. Mortezaeiarizhendi, Q., Lotfi Moganjoghi, J., Khalighi Sigaroudi, J., Mohseni Saravi, Sh., Nazari Samani, M. A. (2020). Analysis and evaluation of hydrological drought indicators in Kurdistan Management and Engineering Watershed. *Journal*, *12*, 441-453. (in Persian)

15. Pathak, A. A., and Dodamani, B. M. (2016). Comparison of two hydrological drought indices. Perspectives in science, 8, 626-628.

16. Samadi brojeni, H., Ebrahimi, A (2010).

Soroush Publications, Water Resources Research Center (Shahrkord University۱, ۵۱۲

16. Soleymani, L., and Haghiizadeh, A. (2016). Evaluation of the effect recent droughts on lake discharge reduction, case study: Lake Keeyow, Khorramabad. International Bulltein of Water Resources and Development, 3, 99-108

18.Taj,Shohreh.Esmkhani,H.(2018). The role of water resources management in the economic stability of the villages of Miane city (case study: Sefidkhani village, Tarun, Turnab, Fundhglo, Avin.. Islamic Azad University Tehran Branch. (in Persian)

19.Yao, C. (2019). An investigation of adult learners' viewpoints to a blended learning environment in promoting sustainable development in China. Journal of cleaner production, 220, 134-143.

20. Zandifar, S., Fijani, E., Naeimi, M., and Ebrahikhusfi, Z. (2021). Analysis of spatiotemporal variations of groundwater drought: Case study Karun Watershed. *Water and Soil Science Journal*, *3*, 101-118. (In Persian)

21. Zarei, A. R., Shabani, A., and Moghimi, M. M. (2021). Accuracy assessment of the SPEI, RDI, and SPI drought indices in regions of Iran with different climate conditions. *Pure and Applied Geophysics, 178*, 1387–1400.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 18, No. 65, Summer 2024
سال هجدهم- شماره ۶۵- تابستان ۱۴۰۳

Analysis and Investigation of Hydrological Drought Indicators in Mahenshan of Zanjan Province

Ebrahim Bagheri[1], Sina Fard Moradinia[* 1,2], Rasool Jani[1,2] and Azadeh Falsafian[3]

Received: 13-05-2023 Accepted: 15-02-2024

Extended Abstract

Introduction

Drought, as one of the natural disasters, has significant impacts on the environment. Although its occurrence is inevitable, its negative effects can be mitigated by taking measures. Freshwater groundwater, due to its sustainability and high quality, plays an important role in providing drinking water and socio-economic development, especially in dry and semi-arid regions. In this study, drought in Mahneshan County was investigated using various indices. 30 years of rainfall data from Mahneshan station were analyzed. To investigate climatic drought, the SPI index was used, to determine wet and dry periods, the 5 and 7 year moving averages of annual rainfall were used, and to investigate hydrological drought, well data and the GRI index were used. The findings show that climatic and hydrological droughts have occurred in the Mahneshan region and that there is a significant correlation between the SPI index and groundwater level changes. According to the findings, drought is one of the main challenges in the Mahneshan region. The use of various indices to investigate drought is necessary and its negative effects can be mitigated with proper planning. This study only focuses on a specific region and other factors affecting drought and ways to reduce its effects are not investigated. The aim of this study is to provide an overview of the drought situation in the Mahneshan region and the need to pay attention to this phenomenon in future planning and actions.

Materials and Methods

This study is of an applied nature with a descriptive-analytical approach. To collect data, two methods were used: library studies and field surveys. In the field section, various methods were used, such as questionnaires, interviews, and observations, to collect the opinions and views of the local residents, expert information from specialists, and field surveys of water resources and water transmission systems. To complete the information, inquiries were made from relevant organizations such as the Rural Affairs Deputy and the Rural Water and Sewerage Administration. Also, by visiting the region in the field, information

1. Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran * Corresponding Author, E-Mail: Fardmoradinia@iaut.ac.ir
2.Robotics & Soft Technologies Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3. Agricultural Management Department, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

related to water resources, water allocation, and other drought-related matters were collected and analyzed and interpreted using scientific methods. To investigate climatic drought in the region, the Standard Precipitation Index (SPI) was used. This index is calculated using long-term rainfall data (30 years) and can show wet, dry, and normal periods in the region. In addition to the SPI index, the 5 and 7 year moving averages of annual rainfall were also used to determine wet and dry periods. In this method, the average rainfall in a specific period of time (5 or 7 years) is calculated and compared with the long-term average rainfall. To investigate hydrological drought in the region, data from wells with appropriate distribution and long-term data were used. Changes in groundwater level in these wells were calculated by the Groundwater Recharge Index (GRI). The GRI indicates the amount of water entering the groundwater and can be used to assess the status of groundwater resources in the region.

Results and Discussion

Analysis of SPI values at different time scales and 5 and 7 year moving averages of rainfall indicates a significant decrease in rainfall in the Mahneshan region over the past 20 years. This downward trend raises concerns about its negative consequences for water resources, agriculture and other water-dependent sectors in the region.

Analysis of the GRI index on monthly and annual time scales indicates a decline in groundwater levels in the Mahneshan region. This decline has been exacerbated due to the imbalance between recharge and withdrawal from the groundwater table, especially in recent years with consecutive droughts.Overexploitation of groundwater resources has threatened the sustainability of these resources.

Correlation analysis between the SPI and GRI indices indicates a significant correlation between meteorological and hydrological droughts in the Mahneshan region. This correlation is stronger at longer time scales. The findings show that meteorological droughts can lead to hydrological droughts in the region.

Analysis of the relationship between meteorological and hydrological droughts with time lags of one, two and three years shows that there is a significant correlation between these two types of droughts with lags of one and two years. This correlation shows that meteorological droughts with lags of one and two years lead to hydrological droughts in the Mahneshan region.

Conclusion

The Mahneshan region has faced a decline in groundwater levels and frequent and severe droughts over the past two decades. Studies show that:

The average annual decline in groundwater level has varied over the years. This is due to the diversity in formation type, permeability, hydraulic gradient, and the amount of groundwater withdrawal in different regions. In the 20-year period (1375 to 1395), the groundwater level in the Mahneshan region has dropped by an average of 45 cm annually. This indicates the excessive and unsustainable withdrawal of groundwater resources. Repeated droughts have also exacerbated the trend of groundwater decline. In addition to

rainfall, other factors such as overexploitation of groundwater resources also affect groundwater decline. A comparison of the SPI (climatic drought) and GRI (groundwater resources) indices shows that there is a significant relationship between these two indices on monthly and annual time scales. This relationship shows that climatic drought, with a 2-year lag, affects groundwater decline in the Mahneshan region. The lag time between climatic drought and groundwater decline can vary in different parts of the basin, depending on the diversity of formation type and geological characteristics and different groundwater withdrawals.

Overall, the results of this study show that the Mahneshan region faces a serious challenge of water scarcity and drought. Overexploitation of groundwater resources and repeated droughts have exacerbated this challenge.

Key words: *GRI, Groundwater, Hydrological drought, SPI, Zanjan province*

Acknowledgments

The authors consider it necessary to express their sincere thanks for the support of the authorities of Islamic Azad University of Tabriz.

Conflict of Interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest in writing and publishing the content and results of this research.

Data Availability

The data and results used in this study are available from the corresponding author upon request.

Authors' Contributions

Ebrahim Bagheri: Conceptualization, Performed software/statistical analyses, Wrote the initial draft of the manuscript

Sina Fard Moradinia: Guidance and conceptualization, Editing and revising the manuscript, Controlled the results

Rasool Jani: Conceptualization, Consulting, Reviewing the text of the article, Statistical analyses

Azadeh Falsafian: Conceptualization, Consulting, Reviewing the text of the article, Statistical analyse