



ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر تغییرات سطح منابع آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت‌های شهرستان بندرعباس)

مریم حیدرزاده^{۱*}، امیر سالاری^۲

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

* نویسنده مسئول: M.heydarzade88@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی که بر منابع آبی تأثیر منفی داشته و محیط‌های وابسته به این منابع را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد پدیده خشکسالی است، در این میان، مطالعه آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از ارزش‌ترین منابع آبی هر کشور که متأثر از شرایط خشکسالی می‌باشد امری ضروری است. در این تحقیق به بررسی و ارزیابی تغییرات سطح منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت بندرعباس واقع در استان هرمزگان بر اساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده پرداخته شد و میزان ارتباط دوره‌های خشکسالی با این تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. میزان شاخص بارش استاندارد شده از آمار ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی سال‌های آماری ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۵ برای تغییرات سطح آب دشت‌های ایسین، شمیل-تخت، گنو، چوچ‌دهنو و سرخون در سری‌های زمانی با مقیاس ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه با استفاده از نرم‌افزارهای متلب و اکسل به دست آمد. نتایج نشان داد که تمامی منطقه با پدیده خشکسالی مواجه بوده و خشکسالی همبستگی و تأثیر زیادی روی افت سطح ایستابی دارد. میزان همبستگی افت سطح ایستابی با افزایش طول مقیاس (طول دوره)، شاخص بارش استاندارد شده افزایش یافت و در بین تمامی سری‌های زمانی، شاخص بارش استاندارد شده با مقیاس ۲۴ ماهه بیش‌ترین همبستگی را با تغییرات سطح آب منابع آب زیرزمینی نشان داد. میانگین افت سطح ایستابی در کل منطقه و طی ۱۴ سال مورد مطالعه، ۳/۳۵ متر به دست آمد. نتیجه کلی تحقیق حاضر این است که پدیده خشکسالی تأثیر بسزایی در افت سطح آب‌های زیرزمینی داشته و بررسی تأثیرات بلندمدت خشکسالی در یک منطقه می‌تواند معیار مناسب‌تری در درجه‌بندی اثر شدت خشکسالی بر تغییرات سطح سفره‌های آب زیرزمینی باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، بندرعباس، شاخص SPI، خشکسالی.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. توجه به اعمال مدیریت صحیح و کاهش پیامدهای خشکسالی، نیازمند برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات پیشگیرانه در مقابله با پدیده خشکسالی است که خود مستلزم به‌کارگیری دانش کافی در پیش‌بینی خشکسالی است (محمودی و زینی‌وند، ۱۳۹۳). پژوهش‌های انجام شده در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی، بیانگر اهمیت شناسایی

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین منابع آب در کره زمین به‌شمار می‌روند و در مناطق خشکی مانند ایران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردارند (حیدری-آقاگل و همکاران، ۱۳۹۶). وقوع خشکسالی‌های پیاپی سبب افزایش برداشت و ایجاد چالش‌های جدی در کمیت و کیفیت

تعیین پدیده خشکسالی و تعیین شدت آن، ارزیابی میزان تأثیر آن بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. نتایج‌ها نشان داد که وقوع خشکسالی‌های اقلیمی باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی می‌گردد (خسروی‌دهکردی و همکاران، ۱۳۹۸؛ زندی-فر و همکاران، ۱۳۹۸). از جمله مهمترین عوامل دیگری که در افت سطح آب‌های زیرزمینی نقش اساسی دارد می‌توان به تغییرات کاربری اراضی و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری اشاره نمود (حیدری‌زادی و همکاران، ۱۳۹۷). کلاهدوز و همکاران (۱۳۹۴) نیز با بررسی اثر خشکی زاینده‌رود بر تراز آب زیرزمینی دشت نجف‌آباد اصفهان اظهار داشتند، خشک‌شدن زاینده‌رود و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در زمان خشک‌شدن رودخانه مهم‌ترین عوامل افت سطح ایستابی دشت مورد مطالعه می‌باشند. ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز رودخانه میناب با استفاده از دو شاخص RDI و SPI در ایستگاه‌های باران‌سنجی معرف واقع در دشت‌های حوزه نیز نشان داد که افت سطح آب همه دشت‌های مورد مطالعه، متأثر از وقوع خشکسالی با ضریب تأثیر بالا است و شاخص SPI براساس فرضیه سنجه کارآمد، سازگاری بهتری با منطقه مورد مطالعه دارد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعه تأثیر خشکسالی بر کیفیت و سطح آب زیرزمینی دشت چهاردلی قروه توسط اسدزاده و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیانگر آن است که خشکسالی در بازه بلندمدت ۲۴ و ۴۸ ماهه، همبستگی معنی‌داری با افت سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی دارد. ابراهیمی‌خوسفی و زارعی (۲۰۲۰) با بررسی روابط بین خشکسالی هواشناسی و تخریب پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی در یک محیط نیمه‌خشک در استان مرکزی گزارش نمودند که حساسیت سطح کم چگالی (مراعات فقیر) به خشکسالی بیشتر از پوشش گیاهی متراکم (اراضی کشاورزی) است و بین خشکسالی و درصد مناطق متراکم پوشش گیاهی رابطه معنی‌دار منفی وجود دارد. بدلیل نقش و اهمیت آب‌های زیرزمینی و اتکای تولیدات کشاورزی و توسعه و رونق اقتصادی استان هرمزگان بر منابع آب‌های زیرزمینی و پایداری

ارتباط خشکسالی و سطح آب زیرزمینی است. جهت شناسایی وقوع خشکسالی و تعیین درجه و شدت آن از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود، یکی از این شاخص‌ها، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۱ می‌باشد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص بارش استاندارد شده را به‌منظور تعریف و پایش خشکسالی و تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی سه، شش، نه، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه توسعه دادند. تنوع کاربرد SPI این امکان را می‌دهد که تأثیر خشک‌سالی را هم در مقیاس‌های کوتاه-مدت (نظیر تأثیر خشکسالی بر رطوبت خاک) و هم در مقیاس‌های درازمدت (مانند تأثیر خشکسالی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی) پایش نمود. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین میزان خشکی و تری هر ایستگاه، یک سیستم طبقه‌بندی معین ارائه نمودند که به‌وسیله آن می‌توان، شدت‌های متفاوت خشکسالی در یک منطقه را تعیین نمود. به این ترتیب، SPI نسبت به مکان (موقعیت ایستگاه) نرمالیزه می‌شود زیرا SPI تواتر توزیع مکانی میانگین بارندگی را محاسبه می‌کند. علاوه بر این، SPI نسبت به زمان نیز نرمالیزه می‌شود، زیرا این شاخص در مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌شود. بنابراین این شاخص هم توزیع مکانی و هم توزیع زمانی خشکسالی را در تحلیل خود پوشش می‌دهد. از جمله سایر مزیت‌های SPI می‌توان به قابل استفاده بودن این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف و ارایه خطر وقوع خشکسالی و ارزیابی آن‌ها، همچنین سادگی آن نسبت به سایر شاخص‌ها و امکان مقایسه‌ی متغیر بارندگی از طریق نرمال کردن ارزش‌های بارندگی در مکان‌های مختلف و لذا کاربرد آن در نواحی مختلف با بارندگی‌های متفاوت اشاره نمود (لشنی-زند و تلوری، ۱۳۸۳). نتایج تحقیقات متعددی نیز حاکی از برتری شاخص SPI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ پاک و همکاران، ۲۰۱۴) و مرکز ملی تعدیل خشکسالی ایالات‌متحده به‌منظور پایش خشکسالی و شرایط ذخیره رطوبت خاک از شاخص بارش استاندارد شده استفاده می‌نماید (زندی‌فر و همکاران، ۱۳۹۸) به‌همین دلیل در این تحقیق از این شاخص استفاده شد. یکی از مهمترین کاربردهای بعدی

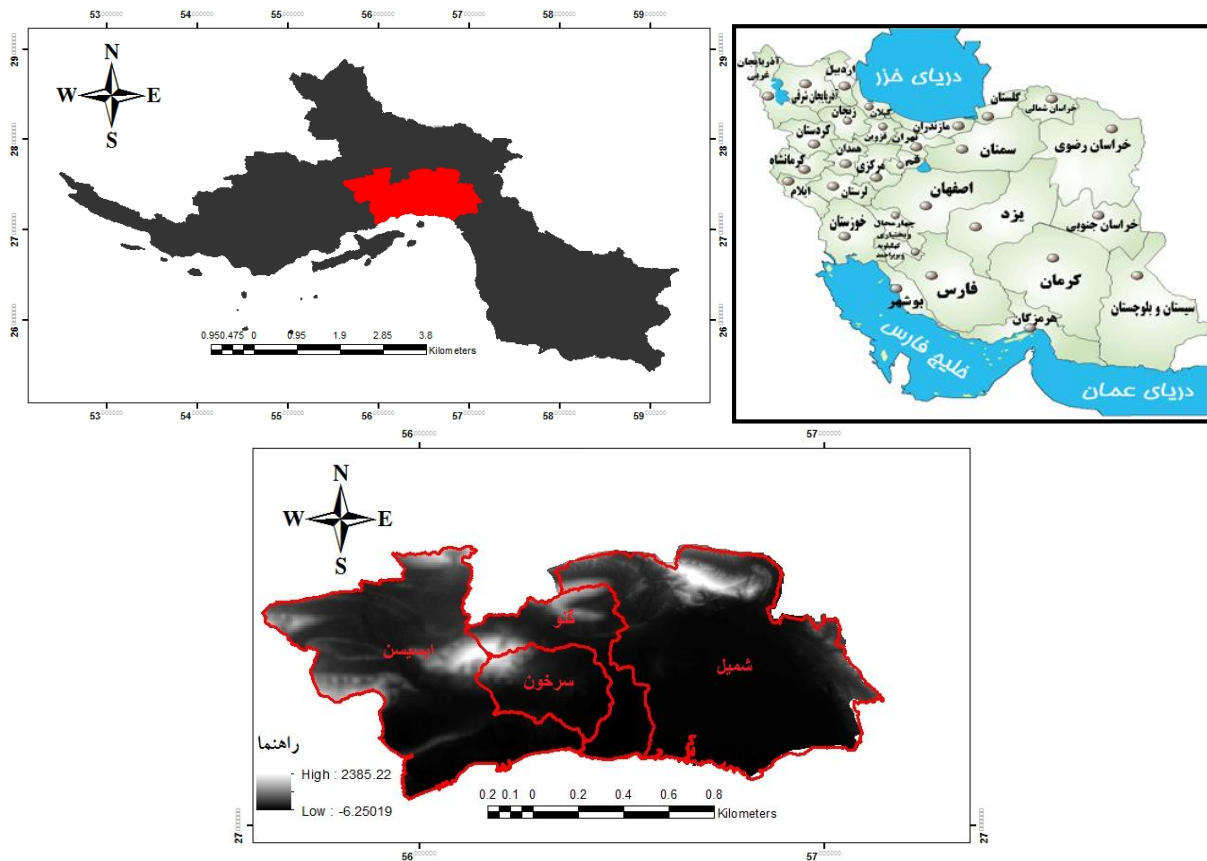
¹ - Standardized precipitation Index

هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان تأثیر خشکسالی‌های دهه اخیر بر تغییرات سطح منابع آب زیرزمینی تعدادی از دشت‌های شهرستان بندرعباس در استان هرمزگان است. در این تحقیق به منظور محاسبه میزان خشکسالی منطقه از شاخص بارش استاندارد شده استفاده شده است. برای این منظور از آمار ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شد. از دلایل انتخاب این دوره آماری می‌توان به چالش‌های موجود در دسترسی به داده‌های آماری و بازسازی آن‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک اشاره نمود، زیرا به دلیل تغییرپذیری شدید بارش در این مناطق بازسازی داده‌ها ارزش چندانی نداشته و بهتر است که از آن چشم‌پوشی شود (مسعودیان، ۱۳۷۷؛ مسعودیان و عطائی، ۱۳۸۴). منابع آب زیرزمینی دشت‌های ایسین، شمیل-تخت، گنو، چوچ‌دهنو و سرخون و نظر رفتار و سیکل سالانه تحت تأثیر رژیم بارش منطقه می‌باشند،

گسترده خشکسالی‌های اخیر در منطقه و نقش مخربی که این پدیده بر منابع آبی دارد، در این تحقیق به بررسی وجود و میزان خشکسالی‌های اخیر و تأثیرات آن بر منابع آب‌های زیرزمینی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین عرض $54^{\circ} 51' 55''$ تا $54^{\circ} 17' 57''$ شمالی و طول $36^{\circ} 04' 27''$ تا $55^{\circ} 27'$ شرقی قرار دارد و مساحت آن ۱۳۷۹ کیلومتر مربع می‌باشد. منطقه مورد مطالعه شامل دشت‌های ایسین، شمیل-تخت، گنو، چوچ‌دهنو و سرخون شهرستان بندرعباس می‌گردد. شکل ۱ الف و ب به ترتیب موقعیت دشت‌ها و نقشه زمین و محدودیت اراضی دشت‌های مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد.



(الف)

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (4)$$

که در آن n تعداد مشاهدات بارندگی و \bar{x} میانگین بارندگی جمعی برای یک ماه مشخص در طی دوره آماری می‌باشد. نتایج پارامترهای محاسبه شده، برای پیدا کردن احتمال تجمعی بارندگی در ماه و مقیاس زمانی مشخص و برای هر یک از ایستگاه‌ها استفاده شد. احتمال تجمعی، با فرض $t = \gamma/\beta$ به تابع گامای ناقص تبدیل می‌شود (رابطه ۵).

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

زمانی که تابع گاما برای $x=0$ تعریف نشده باشد و توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد، در این حالت احتمال تجمعی به صورت رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (6)$$

پس از ارائه طبقه‌بندی شاخص شدت خشکسالی SPI توسط مک‌کی و دوسکن (۱۹۹۳)، اگنیو (۲۰۰۰) بر اساس تجربیات به‌دست آمده از بررسی خشکسالی منطقه ساحلی در آفریقا به تعدیل و اصلاح این شاخص پرداخته و بر این اساس طبقه‌بندی جدیدی را ارائه نمود که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس نظریات مک‌کی (۱۹۹۳) و اگنیو (۲۰۰۰).

| شدت خشکسالی | طبقه‌بندی اگنیو (۲۰۰۰) برای شاخص SPI | طبقه‌بندی مک‌کی و دوسکن (۱۹۹۳) برای شاخص SPI |
|--------------|---|---|
| بسیار شدید | < -۱/۶۵ | < -۲ |
| شدید | < -۱/۳۸ | < ۱/۵ |
| متوسط | < -۰/۸۴ | -۰/۱ |
| ملايم | < ۰ | < ۰ |
| بدون خشکسالی | > -۰/۸۴ | > ۰ |

که در تمامی دشت‌ها طی سال‌های مورد مطالعه، شاخص SPI در حال منفی شدن است به عبارتی، خشکسالی در حال گسترش و تشدید شدن است. متقارب با این وضعیت، سطح سفره‌های آب زیرزمینی نیز در حال افت می‌باشد. علی‌رغم این روند یکسان،

برای انجام محاسبات روش SPI از نرم‌افزارهای متلب و اکسل استفاده شد. رابطه ۱ نشان دهنده شاخص SPI است.

$$SPI = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \quad (1)$$

که در آن x بارش ماهانه، \bar{X} میانگین بارش دوره مورد مطالعه و δ انحراف معیار داده‌های بارش است. پس از اطمینان از همگن بودن داده‌های ماهانه، سری‌های زمانی با مقیاس ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه تشکیل شد. هر یک از سری‌های زمانی با توزیع‌های مختلف برازش داده شد و در نهایت توزیع‌های گاما و پیروسون تیپ سه به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد. توزیع آماری گاما برازش خوبی با سری زمانی بارندگی داشته و تابع این توزیع به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت رابطه ۲ تعریف شده است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳).

$$\frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \text{ for } x > 0 \quad (2)$$

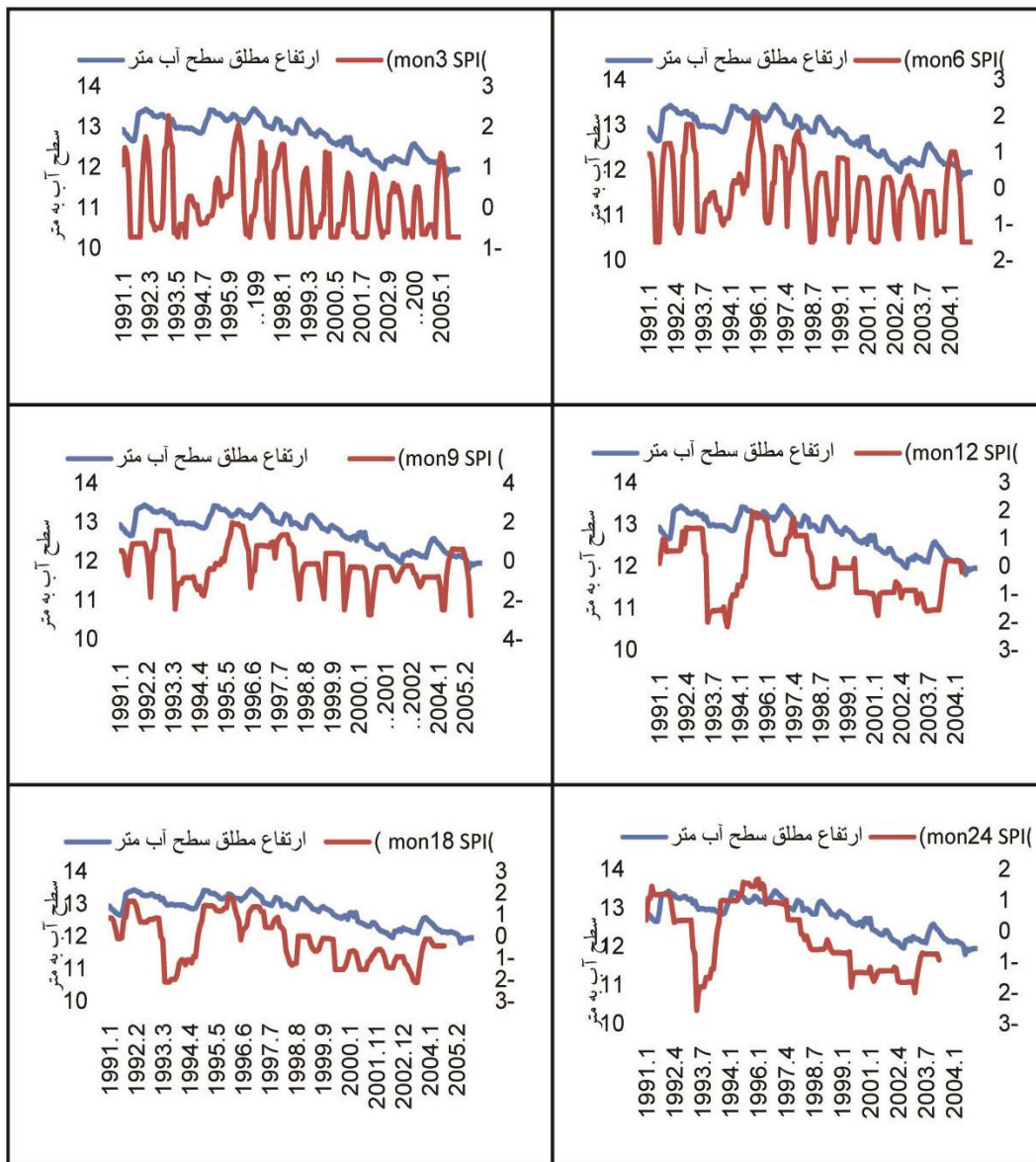
که در آن $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار بارندگی و $f(x)$ تابع گاما است. محاسبه شاخص بارش استاندارد شده در رابطه با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می‌باشد. پارامترهای α و β از تابع چگالی گاما برای هر ایستگاه و برای هر یک از سری‌های زمانی برآورد شدند. با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی می‌توان مقادیر بهینه α و β را بر اساس روابط ۳ و ۴ برآورد کرد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ نتل و یوگان‌تیان، ۲۰۰۳).

نتایج

نتایج به‌دست آمده از شاخص SPI و تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ در شکل‌های ۳ تا ۷ ترسیم شده است. نتایج کلی نشان می‌دهد

(سال ۱۹۹۱) تا سال ۱۹۹۶، پس از افت تقریباً مداوم و هر سه ساله سطح آب زیرزمینی، در سال بعد تغذیه‌ای نسبتاً مناسبی اتفاق افتاده و سطح آب به سطح اولیه خود برگشته است اما پس از این تاریخ، تغذیه‌های پیش‌آمده نتوانسته جوابگوی تخلیه و افت سالانه سطح آب زیرزمینی باشد و لذا سطح آب زیرزمینی مرتباً با کاهش و افت مواجه بوده است (شکل ۳).

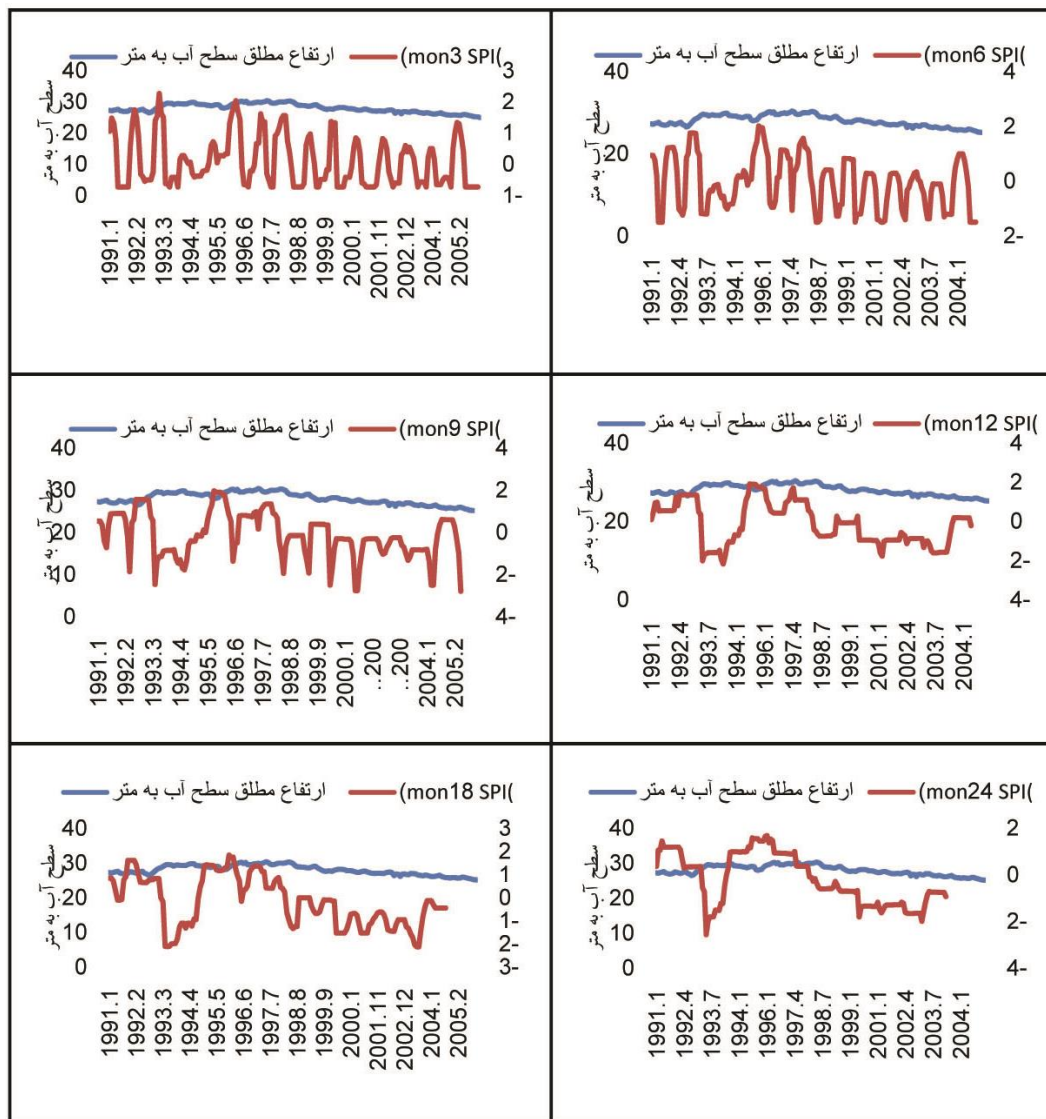
میزان تغییرات آنها تفاوت‌هایی با یکدیگر دارد. نتایج همچنین نشان داد که تغییرات سطح سفره‌های آب زیرزمینی با یک تأخیر زمانی از شاخص SPI تبعیت می‌نماید. نکته جالب توجه تغییرات کم و ثبات سطح سفره آب زیرزمینی در دشت چوچ‌دهنو علی‌رغم تغییرات قابل توجه شاخص SPI می‌باشد که ارتفاع سفره آن بین ۱۲ تا ۱۳ متر است. جدا از افت کلی سطح آب زیرزمینی دشت چوچ‌دهنو، روند کاهش بصورتی است که از ابتدای بررسی‌ها



شکل ۳- تغییرات مطلق سطح آب چاه‌های دشت چوچ‌دهنو و شاخص SPI.

SPI تأثیر چندانی بر افت سطح سفره آب زیرزمینی نداشته است. یکی از دلایل این پدیده، ارتفاع و عمق بیشتر سطح آب زیرزمینی در دشت ایسین و تأثیر پذیری کمتر آن نسبت به دشت چوچ‌دهنو که آب زیرزمینی کم عمق تر و سطحی تری دارد می‌باشد (شکل ۴).

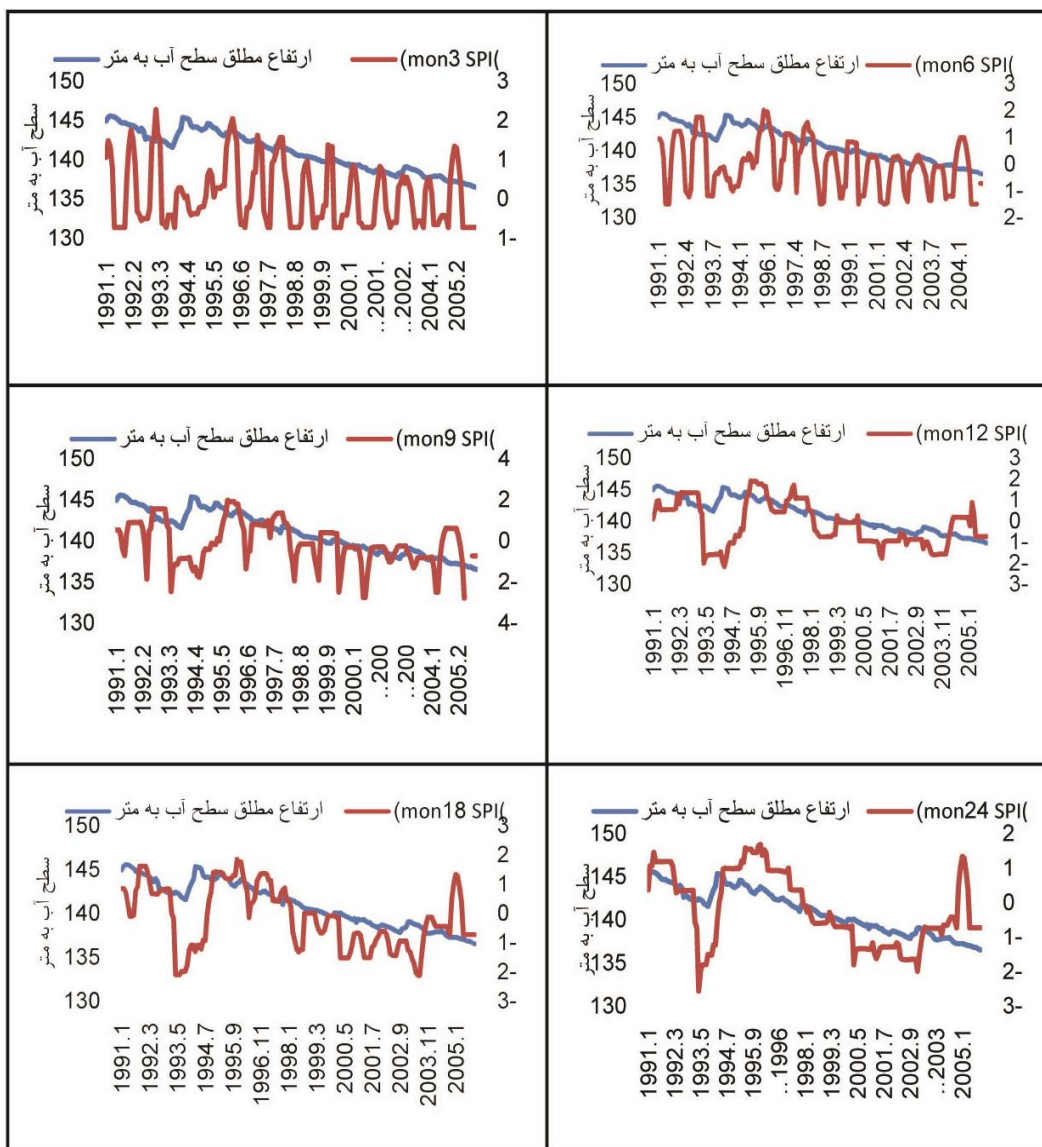
روند کلی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت ایسین نیز، کاهش است با این تفاوت نسبت به دشت چوچ‌دهنو که تغییرات دشت ایسین به نسبت کمتر و بسیار تدریجی تر است. این در حالی است که تغییرات SPI همچنان قوی و شدید است و به سمت منفی تر شدن تمایل دارد، به عبارتی، در دشت ایسین، تغییرات



شکل ۴- تغییرات مطلق سطح آب چاه‌های دشت ایسین و شاخص SPI.

ایستایی این دشت به مراتب بیشتر از سایر دشت‌های چوچ‌دهنو و ایسین است اما، تراکم بالای تعداد چاه‌های حفر شده در این منطقه، افت شدیدتری را باعث شده است. تأثیرپذیری زیاد این دشت از خشکسالی‌ها، از ویژگی‌های مهم آن است (شکل ۵).

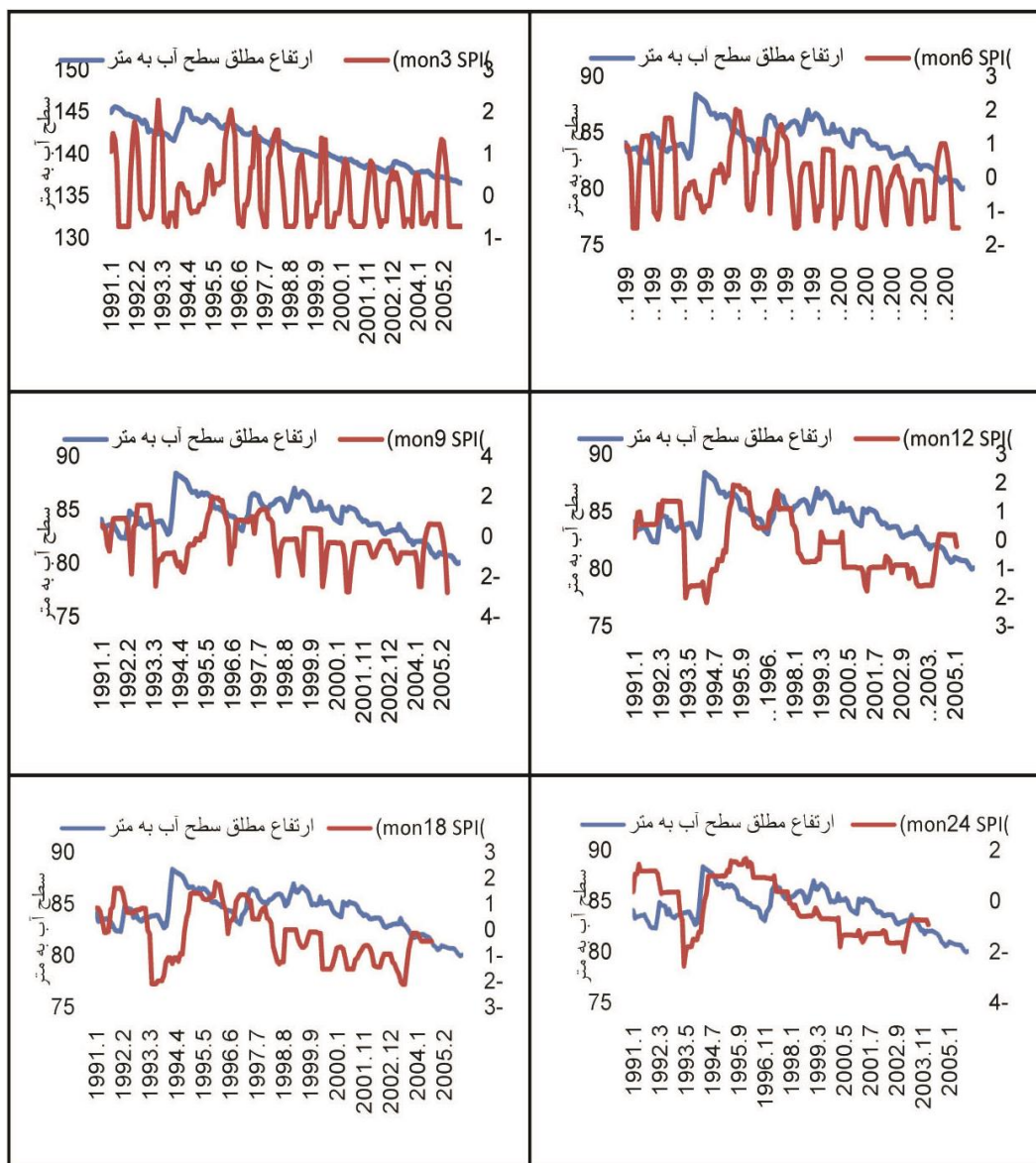
دشت گنو نسبت به دشت‌های چوچ‌دهنو و ایسین دارای افت تقریباً مداوم‌تر با شیب تندتری بوده است. این دشت به استثنای سال ۱۹۹۴ در بقیه سال‌ها، همواره با افت سطح و کاهش ارتفاع سفره آب زیرزمینی مواجه بوده است. هر چند عمق سطح



شکل ۵- تغییرات مطلق سطح آب چاه های دشت گنو و شاخص SPI.

و مداوم نبوده و افت مداوم و شدیدی در سطح آب زیرزمینی منطقه باعث شده است (شکل ۶).

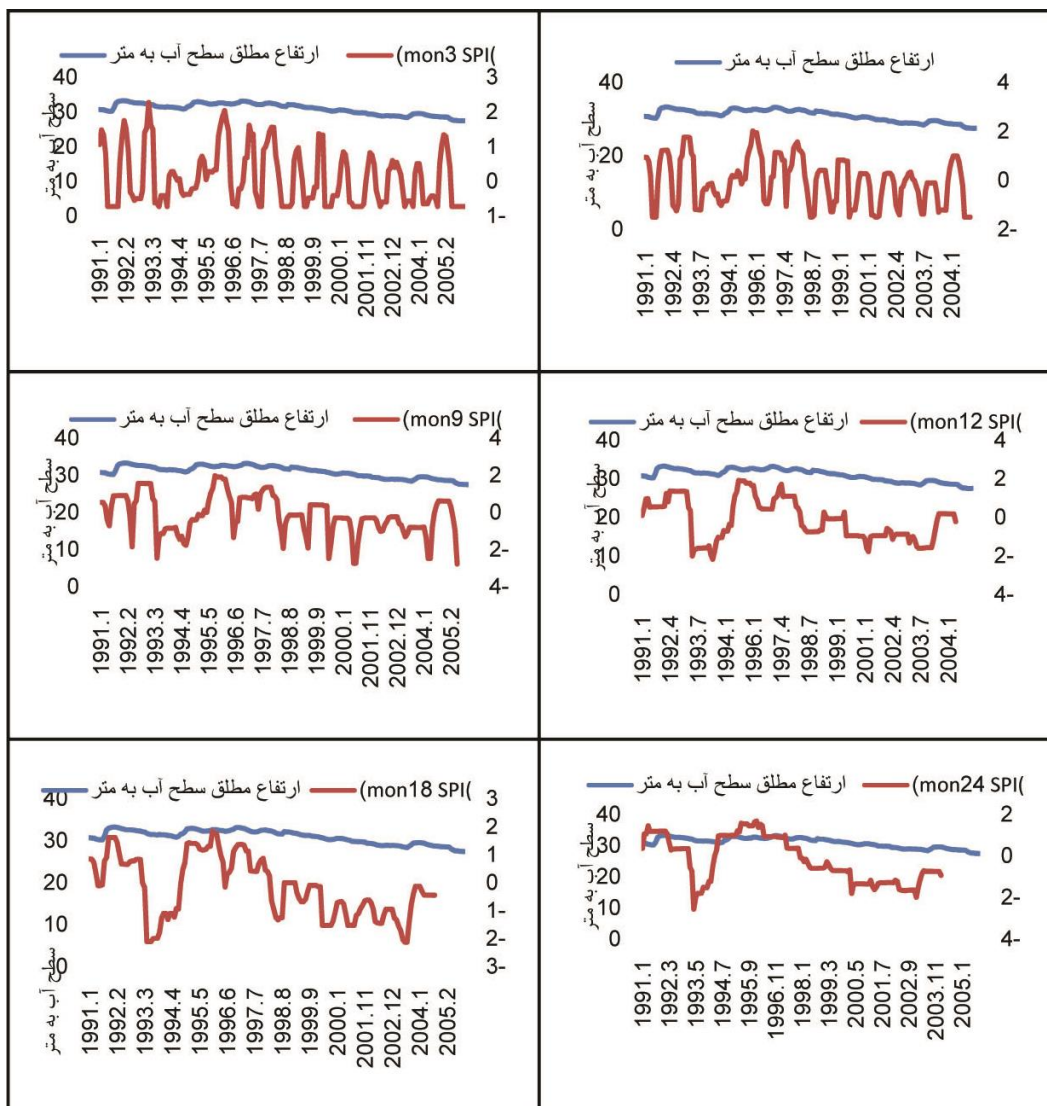
دشت سرخون نیز همانند دشت های چوچ دهنو و گنو تحت تأثیر زیاد شدت خشکسالی های بوقوع پیوسته بوده و نوسانات تغذیه ای و تخلیه ای زیادی در این دشت مشاهده گردید، این نوسانات دارای میانگین مشخصی تا سال ۱۹۹۹ بوده اما پس از این تاریخ، با تشدید شدت خشکسالی ها، میزان تغذیه جوابگوی تخلیه زیاد



شکل ۶- تغییرات مطلق سطح آب چاه های دشت سرخون و شاخص SPI.

است. با افزایش دوره SPI، ارتباط بین این روش و افت سطح ایستابی، بهتر مشاهده می‌گردد به عبارتی افت سطح ایستابی با تأخیر زمانی همراه بوده است.

در افت سطح ایستابی دشت شمیل، نوسانات زیاد و چشمگیری مشاهده نشده و تداوم تدریجی افت سطح ایستابی این دشت، از مشخصات بارز آن است. تشدید شدت خشکسالی‌ها و تداوم آن و تأثیر بر افت سطح ایستابی در این دشت در شکل ۷ نمایان



شکل ۷- تغییرات مطلق سطح آب چاه های دشت شمیل و شاخص SPI

پی بردن به میزان ارتباط بین ارتفاع مطلق سطح آب چاه ها و شاخص SPI به بررسی ضریب همبستگی بین دو پارامتر مورد نظر پرداخته شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. همان گونه که از جدول ۳ مشخص است تفاوت بین ضریب همبستگی ۳ ماهه و ۲۴ ماهه شاخص SPI با ارتفاع مطلق سطح آب چاه ها بیانگر آن است که تغییرات سطح آب چاه ها با اثرات بلندمدت خشکسالی همخوانی بیشتری داشته به طوری که بیشترین همبستگی با تغییرات سطح آب زیرزمینی در سری های ۲۴ ماهه اتفاق افتاده است. این امر لزوم بررسی بلندمدت پدیده خشکسالی و اثرات آن در یک منطقه را متذکر می شود چرا که

میانگین افت سطح سفره آب زیرزمینی طی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ در دشت های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می دهد میانگین افت سطح آب برای کل منطقه طی سال های مورد مطالعه به طور متوسط ۳/۳۵ متر می باشد. بهزادی کریمی و امیدوار (۱۳۹۶) نیز طی تحقیقی در دشت سروستان فارس افت به مراتب بیشتری (۱۰/۹ متر به ازای یک دوره ۲۰ ساله) را برای سفره آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به دست آوردند. حیدری زادی و همکاران (۱۳۹۷) نیز افت ۱۶/۹ متری تراز آب زیرزمینی در طول ۲۰ سال را به دست آوردند (افت سالانه ۸۴ سانتی متری). لازم به ذکر است در این مطالعه برای

مشخص می‌شود هر چه طول مدت مطالعه بیشتر باشد نتایج به‌دست آمده، واقعیت پدیده را به خوبی نشان می‌دهد. در مجموع با افزایش مقیاس از ۳ ماه به ۲۴ ماه، ضریب همبستگی آهنگ افزایشی دارد. بیشترین ضریب همبستگی در مورد دشت شمیل و در مقیاس ۱۸ ماهه به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تحقیق زندگی فر و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان داد که خشکسالی‌های هیدرولوژی با تأخیری ۶ ماهه تا یک‌ساله بر افت سطح آب‌های زیرزمینی موثر است.

جدول ۲- میانگین افت سطح آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه.

| نام دشت | میانگین افت سطح آب چاه‌ها (متر) |
|------------|---------------------------------|
| ایسین | ۱/۶۳۴ |
| گنو | ۸/۱۷۲ |
| چوچ و دهنو | ۰/۹۲۷ |
| سرخون | ۲/۶۸۴ |
| شمیل | ۳/۳۳۱ |

جدول ۳- ضریب همبستگی بین ارتفاع مطلق سطح آب (متر) و شاخص SPI در سری‌های زمانی مختلف.

| نام دشت | ضریب همبستگی | | | | | |
|------------|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | ۳ ماهه | ۶ ماهه | ۹ ماهه | ۱۲ ماهه | ۱۸ ماهه | ۲۴ ماهه |
| ایسین | ۰/۱۹ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۳۱ |
| گنو | ۰/۲۴ | ۰/۲۴ | ۰/۳۲ | ۰/۴۳ | ۰/۴۷ | ۰/۶۴ |
| چوچ و دهنو | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵۸ | ۰/۷ | ۰/۶۳ |
| سرخون | ۰/۰۵۷ | -۰/۰۳۶ | -۰/۰۲۰ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۹۰ | ۰/۲۴ |
| شمیل | ۰/۳۱ | ۰/۴۱ | ۰/۴۶ | ۰/۵۷ | ۰/۷۱ | ۰/۶۷ |

بحث

مذکور عملکرد مناسبی در نشان دادن خشکسالی دارد، حیدری-زادی و همکاران (۱۳۹۷)، بذرافشان (۱۳۸۱)، صفدری (۱۳۸۲) و شایق و سلطانی (۱۳۹۰) نیز به نتایج مشابهی در این مورد رسیدند. در این تحقیق، همبستگی مناسب و قابل‌قبولی بین شاخص SPI و منابع آب زیرزمینی به‌دست آمد. نتایج خان و همکاران (۲۰۰۸)، نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۵)، ابراهیمی-خوسفی و زارعی (۲۰۲۰) و ویسنه‌سرانو و لوپز مورنو (۲۰۰۵) نیز با این یافته همخوانی دارد.

طبق نمودار سه‌ماهه دشت‌ها (شاخص SPI سه‌ماهه در شکل‌های ۳ تا ۷)، میزان تغییرات سه‌ماهه این شاخص با تغییرات مطلق سطح آب نوسانات زیادی داشته که این نوسانات در دوره‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه به مقدار قابل ملاحظه‌ای تعدیل گردید. افزایش و کاهش میزان شاخص SPI با تأخیر زمانی، در نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت‌ها اثرگذار است، به‌طوری که نمودار ۲۴ ماهه SPI به‌دلیل تأثیرپذیری کمتر از تغییرات زودگذر اقلیمی به‌خوبی بیانگر این مطلب است که با افزایش میزان شدت

نتایج نشان داد مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت دارای نوسانات زیادتری نسبت به مقیاس‌های بلندمدت می‌باشد، بنابراین به کوچکترین تغییر در بارندگی ماهانه سریعاً عکس‌العمل نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ تا ۷)، اگر نوسانات مثبت باشد شاخص SPI به بالای صفر و چنانچه منفی باشد میزان این شاخص به زیر صفر خواهد رسید (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۱). در سال‌های اخیر استان هرمزگان از جمله دشت‌های مذکور شاهد خشکسالی‌های پی‌درپی بوده است. با توجه به نمودار چندماهه دشت‌های مورد مطالعه، شاخص خشکسالی طی سال‌های اخیر، روندی نزولی و منفی را نشان می‌دهد. از طرفی آثار و نتایج این خشکسالی به صورت کاهش ارتفاع سطح منابع آب زیرزمینی طی سال‌های اخیر نمایان شده است. مطابق با نتایج به‌دست آمده شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در طول دوره آماری، وقوع خشکسالی را در دشت‌های منتخب نشان می‌دهد که شاخص

کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۱۳۸ ص.

بدایع جمالی، ج.، جوانمرد، س.، شیرمحمدی، ر.، ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷، ۴-۲۱.

بهزادی کریمی، ح.، امیدوار، ک.، ۱۳۹۶. ارزیابی تاثیر خشکسالی-های اخیر بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت سروستان استان فارس. مجله ترویج و توسعه آبخیزداری، جلد ۵، شماره ۱۹، ۴۵-۵۷.

حیدری‌زادی، ز.، محمدی، ع.، یعقوبی، ث.، ۱۳۹۷. ارزیابی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت مهران و عوامل تأثیرگذار بر کمیت این منابع. مجله هیدروژئولوژی، جلد ۳، شماره ۲، ۵۹-۶۸.

حیدری‌آقاگل، م.، غلامی، الف.، رستمی بارانی، ح.، م.، ۱۳۹۶. پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). تحقیقات منابع ایران. سال ۱۲، شماره ۱، ۲۱۱-۲۱۵.

جهانشاهی، ا.، مقدم‌نیا، ع.، ر.، نهتانی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت شهر بابک استان کرمان). مهندسی اکوسیستم بیابان، سال ۵، شماره ۱۰، ۸۵-۹۸.

خسروی‌دهکردی، ا.، میرعباسی‌نجف‌آبادی، ر.، صمدی‌بروجنی، ح.، قاسمی‌دستگردی، ا.ر.، ۱۳۹۸. پایش و پیش‌بینی خشکسالی‌های آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص GRI و مدل زنجیره مارکف. مجله هیدروژئولوژی، سال ۴، شماره ۱، ۱۱۱-۱۲۵.

زندفر، س.، فیجانی، ا.، نعیمی، م.، خسروشاهی، م.، ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی شاخص خشکسالی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز زهره-جراحی. مجله هیدروژئولوژی، سال ۴، شماره ۲، ۱۰۸-۱۳۰.

شایق، ا.، سلطانی، س.، ۱۳۹۰. مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در استان یزد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۵، شماره ۵۷، ۲۳۱-۲۴۹.

شکیبا، ع.، میرباقری، ب.، خیری، ا.، ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده

خشکسالی در شرایط اقلیمی منطقه، شاخص SPI منفی‌تری گردیده و این افزایش خشکسالی، افت محسوسی در سطح منابع آب زیرزمینی منطقه به همراه داشته است. در این مورد نتایج مشابهی توسط شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) گزارش گردیده است. جهانشاهی و همکاران (۱۳۹۵) طی تحقیقی با عنوان ارزیابی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI نتیجه گرفتند همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای اقلیمی تبخیر و دما با تغییرات سطح آب زیرزمینی وجود نداشته در صورتی‌که، همبستگی معنی‌داری بین تغییرات سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI در مقیاس ۴۸ ماهه وجود دارد.

در بین دشت‌های مورد مطالعه، شدیدترین افت سطح آب مربوط به دشت گنو بود. از آنجایی‌که این دشت دارای کاربری کشاورزی با وابستگی زیاد به منابع آب زیرزمینی است لذا این افت کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. با بروز خشکسالی و عدم تغذیه آب زیرزمینی توسط بارش‌های منطقه و از طرفی کاهش رطوبت در مناطقی که در آن کشاورزی انجام شده، افزایش استفاده از آب زیرزمینی اتفاق افتاده و طبیعتاً سطح سفره بیش از پیش کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با توجه به نقش زمین‌شناسی و توپوگرافی دشت‌های مورد مطالعه، دشت گنو از شیب بیش‌تری نسبت به دشت‌های دیگر برخوردار بوده که نشان‌دهنده شیب آب‌های زیرزمینی است. بنابراین هرچه شیب دشت بیش‌تر باشد به تله افتادن آب‌های زیرزمینی کم‌تر اتفاق می‌افتد. قرار گرفتن اراضی منطقه بر روی توده‌های ماری، که به شدت روی کیفیت آب و در نتیجه تولید محصولات کشاورزی موثر است، با تشدید تأثیرات خشکسالی و عدم در نظر گرفتن پتانسیل منطقه، شرایط را پیچیده‌تر و وخیم‌تر و موضوع عدم تناسب کاربری اراضی را پررنگ‌تر نموده و اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت همه‌جانبه در راستای توسعه پایدار را برای مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان استانی و کشوری می‌طلبد.

منابع

بذرافشان، ج.، ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه

- groundwater level in Qorveh-Chardoli Plain. *IranWater Resources Research*, 12(3): 153-165.
- Ebrahimi Khusfi, Z., Zarei, M., 2020. Relationships between Meteorological Drought and Vegetation Degradation Using Satellite and Climatic Data in a Semi-Arid Environment in Markazi Province, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 10(2): 204- 216.
- Guttmon, N.B., 1988. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal American water resource*, 34(1): 113-121.
- Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas, *Irrig Drainage Syst*, 22, 159-177.
- Karimirad, I., Ebrahimi, K., Araghinejad, Sh., 2015. Investigation of climate variability impacts on multilayer aquifers (Case study: Gorgan plain). *Water and Irrigation Management*, 5(2): 261-275.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth conference on applied climatology, 17-22 Jan, California.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-188 pp.
- Ntale, H.K., Yew Gan Thian, M., 2003. Drought index and Their Application to East Africa. *Int. J. Climatol*, 23, 1335-1357.
- Pak, Z., Movahed, A., Akbari, M., 2014. The effect of climatic drought on the decline in groundwater levels using standardized precipitation index (Case study: Arak plain). 5th National Conference on Water Resources Management. 18 and 19 February, Tehran, Iran.
- Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J., 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9:523-533.
- Zhang, L., Jiaoa, W., Zhang, H., Huanga, C., Tonga, Q., 2017. Studying drought phenomena in the continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote sensing of environment*, 190: 96-106.
- از شاخص SPI. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، سال ۸، شماره ۲۵، ۱۰۵-۱۲۴.
- صفدری، ع.ا.، ۱۳۸۲. آنالیزهای منطقه‌ای و شدت مدت فراوانی خشکسالی با استفاده از بارش در حوزه کارون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۵۶ ص.
- کریمی، و.، کامکارحقیقی، ع.ا.، سپاسخواه، ع.ر.، خلیلی، د.، ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۵، شماره ۴-۱۱.
- کلاهدوز، ا.، دین‌پژوه، ی.، میرعباسی‌نجف‌آبادی، ر.، اسدی، ا.، دربندی، ص.، ۱۳۹۴. تأثیر خشک شدن زاینده‌رود بر تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت نجف‌آباد در دو دهه اخیر. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۶، شماره ۱، ۸۱-۹۳.
- لشنی‌زند، م.، تلوری، ع.، ۱۳۸۳. بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش‌بینی آن در شش حوضه واقع در غرب و شمال-غرب ایران)، تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۹، شماره ۱. ۷۳-۸۶.
- محمودی، ز.، زینی‌وند، ح.، ۱۳۹۳. بررسی ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کشکان، استان لرستان. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه. سال ۲، شماره ۳، ۱۵۰-۱۶۱.
- مسعودیان، ا.، ۱۳۷۷. بررسی نظام تغییرات زمانی-مکانی بارش در ایران زمین. رساله دکترای اقلیم‌شناسی. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تهران.
- مسعودیان، ا.، عطایی، ه.، ۱۳۸۴. شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. مجله پژوهشی علوم انسانی (ویژه‌نامه جغرافیا)، جلد ۱۸، شماره ۱، ۱-۱۲.
- نوحه‌گر، الف.، قشقایی‌زاده، ن.، حیدرزاده، م.، ایدون، م.ح.، پناهی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه میناب). پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۷، ۲۸-۴۳.
- Agnew, C.T., 2000. Using the SPI to identify drought. *Drought network news*, 12(1): 1994-2001.
- Asadzadeh, F., Kaki, M., Shakiba, S., Raei, B., 2016. Impact of drought on groundwater quality and