

ضریب همبستگی آنها نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین بین وقوع خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه تأخیر زمانی وجود دارد و میزان تأخیر زمانی بین خشکسالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی، حدود ۱ تا ۲ سال برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی اقلیمی، خشکسالی هیدرولوژی، نمایانه SPI، شاخص GRI و دشت یزد-اردکان.

بررسی تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان)

محمداکرامی^۱، حسین ملکی نژاد^۲ و محمدرضا اختصاصی^۱

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۸/۲۲

مقدمه

سفره‌های آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک حوضه مرکزی ایران محسوب می‌شوند. بدیهی است که وقوع خشکسالی‌های متوالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. شناخت و آگاهی از تأثیر زمانی بین دو پدیده خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب‌شناختی، می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب کمک زیادی بنماید. در مناطق مختلف ایران، خشکسالی‌های شدید اتفاق افتاده، به‌طوری که نمودار بارندگی ۳۲ ساله در ایران نمایان‌گر آن است که کشورمان در خلال این دوره، با شش بار خشکسالی شدید و ۱۷ بار خشکسالی خفیف و متوسط مواجه شده و پنج بار نیز تا آستانه‌ی خشکسالی پیش رفته است [۱۷]. کمبود منابع آب یک تهدید بزرگی برای اقتصاد و سطح زندگی مردم محسوب شده و افزایش تقاضا بر روی منابع آب قابل دسترس موجب تشدید رقابت بهره‌برداران بر روی منابع آبی می‌شود که این مسئله باعث گسترش خشکسالی در حد شدید و خیلی شدید می‌شود [۱۰]. خشکسالی اساساً مفهوم اقلیمی و کاهش بارش در یک بازه زمانی را دارد، ولی از آنجایی که برخی اثرات آن بر منابع آب و کشاورزی و اقتصاد بعد از رخداد اقلیمی آن آشکار می‌شود، بنابراین می‌توان آن را به چهار نوع یعنی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آب‌شناختی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی - اجتماعی دسته‌بندی کرد [۵]. نمایانه (SPI) به عنوان یکی از رایج‌ترین شاخص‌های هواشناسی در مطالعات خشکسالی و تحلیل آن در مقیاس‌های زمانی متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸]. لشنی زند [۱۰] در تحقیق خود ویژگی‌هایی مانند، سادگی محاسبات، قابل محاسبه بودن در هر مقیاس زمانی و تبعیت این شاخص از توزیع نرمال را از محاسن نمایانه SPI برشمرد. دویپکنگی و همکاران [۶] به بررسی آثار خشکسالی در سال‌های ۱۹۹۸-۹۹ ایالت ورمونت آمریکا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که SPI در مقیاس با نمایانه شدت خشکسالی پالمر (PDSI) در مقیاس یک ماهه

چکیده

آب یک منبع قابل تجدید است که همواره به عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح بوده است. با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، شرب و بهداشت، فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی وارد شده است. این مسأله در کنار وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت، چالش‌های جدی را برای کشور، به ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک پدید آورده است. دشت یزد- اردکان یکی از مهم‌ترین مراکز جمعیتی ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد و قرارگیری بزرگ‌ترین شهرهای استان یزد در پهنه این دشت، هم‌چنین جای داشتن بزرگ‌ترین ذخیره آبی استان در آبخوان‌های این دشت، بر اهمیت آن افزوده است. در این پژوهش، تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی بر منابع آب زیرزمینی بررسی و تأخیر زمانی بین وقوع این دو پدیده در این دشت تعیین گردید. به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی اقلیمی از نمایانه استاندارد بارش (SPI) و جهت بررسی خشکسالی آب‌شناختی از نمایانه منابع آب زیرزمینی (GRI) استفاده گردید. نمایانه‌های مذکور در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه محاسبه و رابطه بین آن‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که طی ۵۰ سال اخیر، وضعیت خشکسالی اقلیمی نسبت به ترسالی اقلیمی، در محدوده مورد مطالعه، حدود ۱/۳ برابر بوده است و تکرار خشکسالی اقلیمی در دهه اخیر نسبت به چهار دهه گذشته، چهار برابر شده است. نتایج بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در چهار دهه اخیر حاکی از روند نزولی آن بوده و متوسط افت سالانه سطح ایستابی، حدود ۰/۵ متر در سال است. نتایج بررسی رابطه بین شاخص SPI و GRI نشان داد با افزایش پایه زمانی،

۱- نویسنده مسئول و دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد. Ekrami64@gmail.com
۲- دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی حوزه دشت یزد- اردکان

جنوب خاوری به شمال باختری است. سطح ایستابی در پاره‌ای از نواحی جنوبی دشت بیش از ۱۰۰ متر و در نواحی شمالی به کمتر از ۱۰ متر می‌رسد. ارتفاع متوسط این حوزه ۱۵۶۵ متر از سطح دریا است و متوسط بارندگی در سطح حوزه ۱۱۸ میلیمتر و تبخیر بالقوه بین ۲۲۰۰ تا ۳۲۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد.

روش پژوهش

جهت بررسی روند تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه و تحلیل کمی خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌شناختی، از نمایانه‌های SPI و GRI استفاده گردید تا امکان ارزیابی آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی میسر شده و نیز بتوان درباره شدت وقوع آن اظهار نظر نمود. در ادامه به اجمال روش کار توصیف می‌شود.

۱- نمایانه بارندگی استاندارد (SPI)

این نمایانه برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برازش داده می‌شود؛ به طور معمول برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد [۲۱]. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد [۷ و ۱۴]. شدت و تداوم خشکسالی‌های اقلیمی در مقیاس‌های کوتاه مدت و خشکسالی‌های آب‌شناختی در مقیاس‌های بلند مدت توسط این نمایانه برآورد می‌شود. طبقات مختلف SPI بر اساس طبقه بندی مک کی و همکاران [۱۳ و ۴] در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش، محاسبه نمایانه SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲،

شروع شرایط خشک و شدت آن را بهتر نشان می‌دهد. سرانو و مورنو [۲۰] عکس‌العمل‌های آب‌شناختی در مقیاس‌های زمانی مختلف خشکسالی اقلیمی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در دشت رودخانه آراگون بررسی کردند و نمایانه SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با تغییرات آب‌شناختی سطحی در این دشت مقایسه شد و فواید مقیاس‌های زمانی مختلف این نمایانه جهت شناسایی خشکسالی‌ها در منابع آب قابل مصرف، تحلیل شد. مندیسینو و سناتوره [۱۵] در پژوهش خود ضمن معرفی نمایانه (GRI)، این نمایانه را برای سه حوزه آبخیز با ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت، در منطقه کالابریا در ایتالیا برای یک دوره ۴۵ ساله از سال ۲۰۰۶-۱۹۵۹ محاسبه نمودند و سپس با نمایانه SPI در مقیاس ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مقایسه کردند، آن‌ها دریافتند که ویژگی‌های لیتولوژی حوزه بر سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی و به تبع آن بر روی نمایانه GRI موثر می‌باشد. آن‌ها با استفاده از روش همبستگی خودکار نشان دادند که اولاً رفتار GRI بسیار شبیه به رفتار SPI می‌باشد اما با یک تأخیر زمانی و این تأخیر را ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی حوزه تعیین می‌کند. هیسدال و تالاکسن [۹] طی مطالعاتی در مورد پیش‌بینی منطقه‌ای مشخصات خشکسالی اقلیمی و آب‌شناختی در دانمارک به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های آب‌شناختی در یک منطقه، ناهمگن‌تر و با تکرار کمتری نسبت به خشکسالی اقلیمی رخ می‌دهند. هدف اساسی این تحقیق، مطالعه و بررسی شدت، تداوم، فراوانی و روند خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌شناختی و همچنین تعیین تأخیر زمانی احتمالی بین وقوع این دو نوع خشکسالی در دشت یزد- اردکان است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- اردکان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد می‌باشد که در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار دارد که از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرانق منتهی می‌شود. این دشت شهرهای اردکان، میبد، اشکذر، مهریز و یزد را در بر می‌گیرد (شکل ۱). مساحت حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان ۱۱۷۷۵ کیلومتر مربع است که ۴۱۱۷ کیلومتر مربع آن را دشت اصلی شامل می‌شود. دشت یزد- اردکان از مهمترین زیر حوزه‌های کویر سیاه کوه می‌باشد که بزرگترین ذخیره آبی استان در آبخوان‌های این دشت قرار دارد. هر چند این حوزه به طور اصولی از جریان‌های دائمی بی‌بهره است، اما چند رشته از بزرگترین رواناب‌های دره‌ها و دامنه‌های شمالی شیرکوه از دو مسیر عمده تفت و مهریز و دشت‌های اطراف وارد این حوزه می‌گردد. جهت جریان آب در این دشت، از

1- Standardized Precipitation Index

2- Ground water Resource Index

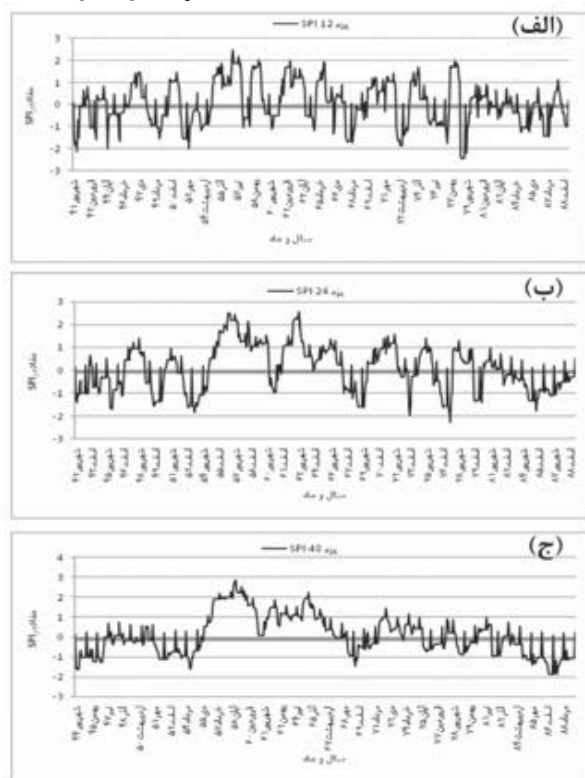
جدول ۱- طبقه‌بندی مقادیر نمایانه SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی و ترسالی
$SPI \leq 2,00$	ترسالی بسیار شدید
$2,00 > SPI \geq 1,50$	ترسالی شدید
$1,50 > SPI \geq 1,00$	ترسالی متوسط
$1,00 > SPI \geq 1,00 -$	نزدیک به نرمال
$1,00 - > SPI \geq 1,50 -$	خشکسالی متوسط
$1,50 - > SPI \geq 2,00 -$	خشکسالی شدید
$2,00 - > SPI$	خشکسالی بسیار شدید



شکل ۲- روند خطی تغییرات بارش در ایستگاه اشکذر

می‌کند [۳]، لذا محاسبه نمایانه SPI یک ماهه در محدوده مورد مطالعه



شکل ۳- نمایانه SPI در مقیاس‌های ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه

امکان پذیر نبود. نتایج وضعیت خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک یزد به‌عنوان نمونه در شکل (۳) در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه (الف)، ۲۴ ماهه (ب) و ۴۸ ماهه (ج) آمده است.

بررسی نمایانه خشکسالی اقلیمی SPI نشان داد که با افزایش مقیاس‌های زمانی، دوره‌های خشکی با تکرار کمتر و تداوم بیشتر نمایان می‌شود، که تا حدودی از شدت آنها کاسته شده و البته دوره‌های ترسالی نیز دارای وضعیت مشابهی است. این نتایج با مطالعات انصاری و همکاران [۱] در دشت نیشابور مطابقت دارد. نتایج حاصل از نمایانه خشکسالی اقلیمی (SPI) در مقیاس سالانه،

۴۸، ۲۴ ماهه و سالانه از طریق نرم‌افزار (DIP) انجام شده است.

۲- نمایانه منابع آب زیرزمینی (GRI)

نمایانه منابع آب زیرزمینی GRI در سال ۲۰۰۸ در کالابریا ایتالیا ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت. این نمایانه می‌تواند جهت ارزیابی وضعیت مخزن سفره آب زیرزمینی و همچنین ارزیابی واقعی از میزان ذخیره آبخوان به کار رود. می‌توان گفت GRI نمایانه‌ای است که با استفاده از عامل سطح ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه قابل محاسبه بوده و از نتایج آن می‌توان جهت پیش‌بینی اهداف و تصمیم‌گیری‌های مدیریت آبخوان استفاده کرد. در محاسبه این شاخص از آمار بلند مدت سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی در نقاط مختلف سفره استفاده می‌شود [۱۵].

نمایانه GRI از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

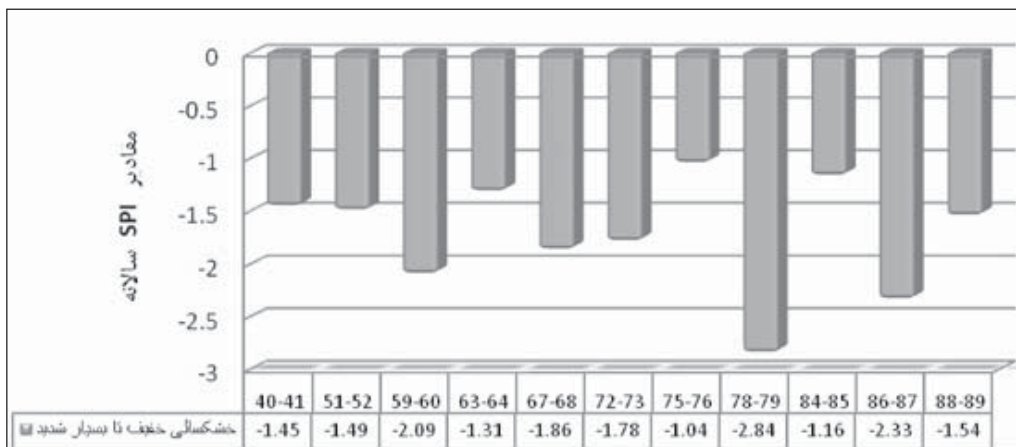
$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \quad (1)$$

که در این رابطه، $GRI_{y,m}$: رقوم نمایانه در ماه m از سال y و $D_{y,m}$: رقوم سطح ایستابی در ماه m از سال y می‌باشد. $\mu_{D,m}$ و $\delta_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال است. طبقه بندی نمایانه GRI نیز مانند نمایانه SPI می‌باشد که در جدول (۱) ارایه شده است.

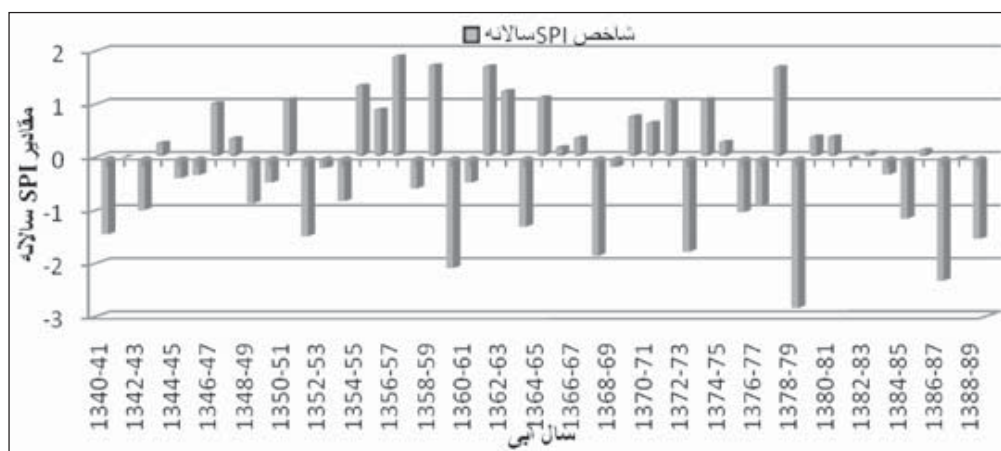
نتایج و بحث

با توجه به نقش اساسی بارندگی سالانه، در وقوع ترسالی و خشکسالی‌های اقلیمی، روند تغییرات بارش در دوره آماری بلند مدت، مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی موجود در دشت یزد- اردکان مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی نتایج نشان‌دهنده روند خطی نزولی بارندگی در بازه زمانی بلند مدت (بیشتر از ۳۰ سال) می‌باشد، لذا شیب خط روند برای اکثر مناطق مورد مطالعه منفی می‌باشد که نتایج آن به‌عنوان نمونه در شکل (۲) آمده است.

به منظور بررسی خشکسالی اقلیمی شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه و سالانه برای تمامی ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه (۲۷ ایستگاه) محاسبه شد. از آنجایی که وجود داده‌های صفر محاسبه نمایانه SPI را با مشکل مواجه



شکل ۴- توزیع فراوانی سال‌های با خشکسالی خفیف تا بسیار شدید در ایستگاه سینوپتیک یزد (۱۳۴۰-۸۹)

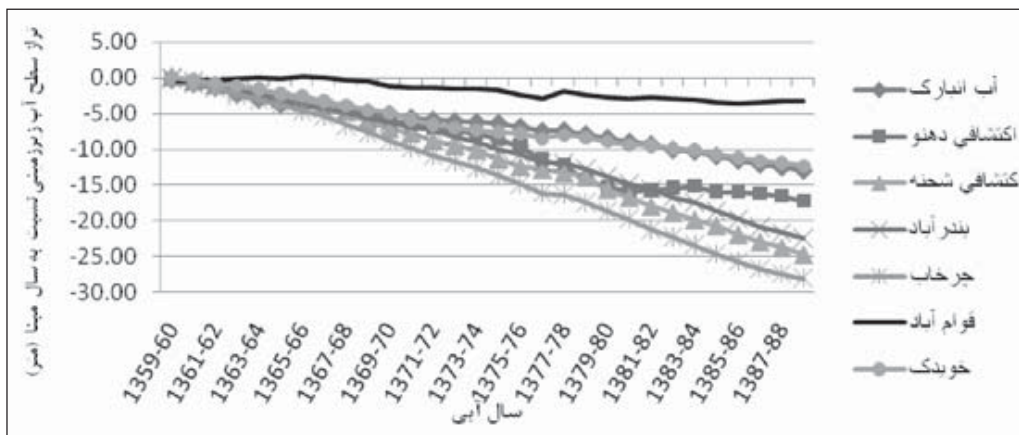


شکل ۵- نمایانه SPI سالانه ایستگاه سینوپتیک یزد در بازه زمانی ۴۹ ساله (۱۳۴۰-۸۹)

وضعیت خشکسالی اقلیمی بر ترسالی در این منطقه حاکم بوده است. مقایسه وضعیت خشکسالی در دوره آماری مشترک بین ایستگاه‌های دیگر در محدوده مطالعه نیز نتایج مشابهی را نشان داد. هم‌چنین نتایج حاصل از بررسی وقوع خشکسالی‌های خفیف تا بسیار شدید در بازه زمانی ۸۹-۱۳۴۰ مربوط به ایستگاه سینوپتیک یزد، نشان‌دهنده افزایش تکرار خشکسالی اقلیمی از سال (۸۹-۱۳۶۰) می‌باشد که این افزایش در دهه‌ی (۹۰-۱۳۸۰) به بیشترین مقدار رسیده است (شکل ۵)، نتایج حاصل در این زمینه با مطالعات لوعلیزاده و همکاران [۱۱] در شهر اهواز، هم‌چنین فرج‌الهی وهاتفی [۸] در منطقه سرخه مطابقت دارد. نتایج بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (سطح ایستابی) در بازه زمانی ۸۹-۱۳۵۹ نشان داد که سطح آب در طول ۳۱ سال اخیر در تمامی پیزومترها افت داشته است. علت اصلی آن را می‌توان، تداوم وقوع خشکسالی‌ها و بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی دانست. که این نتایج همسو با مطالعات ملکی نژاد و قادری [۱۲] در آبخوان دشت سبزواری می‌باشد (شکل ۶).

جهت بررسی دقیق‌تر نحوه تأثیرگذاری خشکسالی اقلیمی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان، مقایسه‌ای بین نمایانه خشکسالی اقلیمی SPI و شاخص منابع آب زیر زمینی GRI در

مربوط به ۲۷ ایستگاه موجود در دشت یزد-اردکان، در دوره مشترک آماری (۸۹-۱۳۵۹) حاکی از آن است که در ۳۰ سال اخیر شدیدترین رخداد خشکسالی مربوط به سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ می‌باشد، این نتایج با مطالعات معلمی و همکاران [۱۶] در ایستگاه‌های منتخب اقلیم روستایی ایران و توران مطابقت می‌کند. از سوی دیگر بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی‌های شدید ۳۰ ساله اخیر در نیمه دوم دوره آماری (۸۹-۱۳۷۵) رخ داده است و به عبارت دیگر فراوانی رخداد خشکسالی‌های شدید در ۱۵ سال منتهی به سال ۱۳۸۹ رشد فزاینده‌ای یافته است. که این نتایج همسو با مطالعات صمدی بروجنی و ابراهیمی [۱۹] در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد (شکل ۴). از نظر سابقه تاریخی وقوع خشکسالی در محدوده مورد مطالعه، نتایج حاصل از بررسی نمایانه خشکسالی اقلیمی SPI بر طولانی‌ترین داده‌های موجود در منطقه یعنی ایستگاه سینوپتیک یزد، در دوره ۴۹ ساله آماری (۸۹-۱۳۴۰) نشان داد که در مجموع ۱۱ سال شرایط خشکسالی خفیف تا بسیار شدید وجود داشته است و از این میزان شش سال خشکسالی شدید و بسیار شدید بوده است که چهار مورد از این شش مورد، در ۱۵ سال اخیر رخ داده است. مقایسه قدر مطلق مقادیر نمایانه SPI در خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها نشان می‌دهد که در طی ۵۰ سال اخیر



شکل ۶- تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در برخی نقاط دشت یزد- اردکان، نسبت به سال مبنا (۶۰-۱۳۵۹)

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین نمایانه‌های SPI و GRI در بازه زمانی (۱۳۵۳-۱۳۸۹)

(۱۳۵۳-۱۳۸۹)	SPI ۳	SPI ۶	SPI ۱۲	SPI ۲۴	SPI ۴۸
پیزومتر آب انبارک	$r=0.163$	$r=0.238$	$r=0.312$	$r=0.445$	$r=0.568$
p-value	.0007	$5.47E-07$	$3.21E-11$	$2.07E-22$	$2.76E-38$
پیزومتر اکتشافی دهنو	$r=0.155$	$r=0.226$	$r=0.306$	$r=0.439$	$r=0.569$
p-value	.0012	$1.96E-06$	$7.53E-11$	$8.04E-22$	$1.41E-38$
پیزومتر اکتشافی شحنه	$r=0.156$	$r=0.225$	$r=0.307$	$r=0.457$	$r=0.604$
p-value	.0011	$2.28E-06$	$6.05E-11$	$9.30E-24$	$2.50E-44$
پیزومتر بندرآباد	$r=0.159$	$r=0.234$	$r=0.310$	$r=0.458$	$r=0.597$
p-value	.0009	$8.71E-07$	$4.06E-11$	$7.67E-24$	$4.50E-43$
پیزومتر چرخاب	$r=0.160$	$r=0.233$	$r=0.312$	$r=0.459$	$r=0.596$
p-value	.0008	$9.46E-07$	$3.30E-11$	$6.22E-24$	$5.46E-43$

خشکسالی اقلیمی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و بالاتر، ترسالی‌ها و خشکسالی آب شناختی را آشکار می‌کند [۲]. نتایج هم‌چنین نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، در سال‌های اخیر، خشکسالی آب شناختی با شدت و تداوم بیشتری مواجه بوده است.

بررسی نتایج در بازه زمانی ۸۹-۱۳۷۹ (پس از افتتاح خط انتقال آب اصفهان به یزد) نشان می‌داد که مقدار این دو نمایانه بدون در نظر گرفتن تأخیر زمانی رابطه معناداری از خود نشان نمی‌دهند، یعنی خشکسالی آب شناختی با خشکسالی اقلیمی هم‌زمان نبوده است (جدول ۳)، این بدان معناست که انتقال آب در این دوره، تأثیر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را کاهش داده و رژیم هیدروژئولوژیکی آبخوان بیشتر متأثر از رژیم بارندگی در حوضه است. هم‌چنین علاوه بر مسأله فوق، با توجه به اینکه در دهه اخیر خشکسالی‌های شدیدتر و باتداوم بیشتری رخ داده است (جدول ۴)، اختلاف بین دو رخداد خشکسالی‌های اقلیمی و آب شناختی بهتر نمایان شده است. بطوری‌که با لحاظ نمودن دو سال تأخیر بین مقادیر این دو نمایانه رابطه معنی‌دار قویتری بین شدت خشکسالی‌های آب

مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه در طول دوره آماری مشترک صورت گرفت، نتایج نشان می‌دهد که هرچند، رابطه معنا داری در سطح یک درصد (۰/۰۱) بین نمایانه SPI و GRI ماهانه، طی بازه‌ی زمانی (۸۹-۱۳۵۳) در محدوده مورد مطالعه وجود دارد ولی همبستگی بین این دو نمایانه در بازه‌های زمانی کوتاه مدت ضعیف است که نشان دهنده وقوع تأخیر بین خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب شناختی است. برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی باعث شده که افت سطح آب در آبخوان تنها تابعی از میزان کاهش ریزش‌های جوی و در نتیجه تغذیه آبخوان نباشد. همان‌گونه در شکل ۶ نیز مشاهده می‌شود، وضعیت کلی تراز سطح آب نزولی است و نوسانات تراز سطح آب مانند نوسانات بارش‌های سالانه، به طور کامل آشکار نیست. اما بررسی ضرایب همبستگی در مقیاس‌های زمانی مختلف بین دو نمایانه SPI و GRI می‌تواند نشان‌دهنده ارتباط بین دو نوع خشکسالی باشد. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به SPI، ۴۸ ماهه و مقدار آن به‌طور متوسط ۰/۶ و در سطح ۰/۰۱ معنادار می‌باشد (جدول ۲). بنابراین نمایانه

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین نمایانه SPI و GRI سالانه با تأخیرهای متفاوت در بازه زمانی (۱۳۷۹-۸۹)

معناداری رابطه بین نمایانه SPI ایستگاه یزد و GRI ایستگاه یزد و پیزومتر چرخاب	معناداری رابطه بین نمایانه SPI ایستگاه یزد و GRI پیزومتر دهنو	معناداری رابطه بین نمایانه SPI ایستگاه یزد و GRI پیزومتر شحنة	معناداری رابطه بین نمایانه SPI ایستگاه یزد و GRI پیزومتر بندرآباد	معناداری رابطه بین نمایانه SPI ایستگاه یزد و GRI پیزومتر چرخاب
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
p-value=.۰۳	p-value=.۰۶	p-value=.۰۲	p-value=.۰۳	p-value=.۰۳
-	-	-	-	-

- خطوط تیره در جدول ۳ نشانه عدم معناداری است.

جدول ۴- مقادیر نمایانه SPI سالانه ایستگاه سینوپتیک یزد در بازه زمانی (۱۳۷۹-۸۹)

سال آبی	۷۸-۷۹	۷۹-۸۰	۸۰-۸۱	۸۱-۸۲	۸۲-۸۳	۸۳-۸۴	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹
مقادیر شاخص SPI سالانه	-۲/۸۴	۰/۳۸	۰/۳۸	-۰/۰۵	۰/۰۸	-۰/۳۳	-۱/۱۶	۰/۱۳	-۲/۳۳	۰/۶۷	-۱/۵۴

- خطوط تیره در جدول ۳ نشانه عدم معناداری است.

قنات (SDI^۱ یا نمایانه Z) برای برخی از قنات دشتی و کوهپایه‌ای موجود در دشت یزد-اردکان انجام گرفت (شکل‌های ۷ تا ۹).

محاسبه نمایانه دبی استاندارد شده قنات به صورت زیر می‌باشد:

$$SDI = ((Q_i - \bar{Q})) / S_d \quad (2)$$

در این رابطه، Q_i : متوسط آبدهی قنات در هر سال، \bar{Q} : میانگین آبدهی بلند مدت قنات و S_d : انحراف معیار آبدهی قنات است. لازم به ذکر است که اطلاعات و آمار مربوط به دبی قنات از شرکت آب منطقه‌ای استان یزد تهیه شده است.

در ادامه به نتایج برخی از این قنات به عنوان نمونه اشاره شده است: شکل (۷) در بازه زمانی ۸۱-۸۲ تا ۸۸-۸۹ نشان‌دهنده افزایش بارش می‌باشد در حالی که آبدهی قنات تقی آباد اردکان در این بازه روند نزولی و کاهشی داشته است، ولی در سال بعد عدم کاهش دبی مشاهده می‌شود.

هم‌چنین وجود تأخیر زمانی بین تغییرات بارش و آبدهی در قنات یخدان میبد و سرچشمه زارچ که جزء قنات دشتی محدوده مورد مطالعه به شمار می‌روند نیز مشهود می‌باشد. به طوری که در شکل (۸)، بارش در بازه زمانی ۸۶-۸۷ و ۸۸-۸۹ روند افزایشی و صعودی دارد، ولی تغییرات آبدهی در سال ۸۸ به بعد قابل مشاهده می‌باشد به گونه‌ای که، روند کاهشی آبدهی قنات یخدان میبد نسبت به سال‌های پیشین کاهش شیب داشته است.

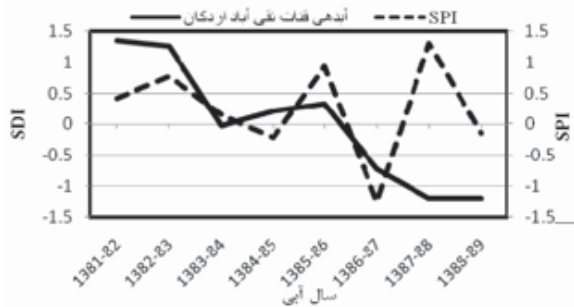
همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، برداشت بی‌رویه به عنوان یک عامل موثر دیگر، باعث شده این تغییرات با وضوح کامل نمایان نشود. شکل (۹) نیز تقریباً چنین وضعیتی را نشان می‌دهد. به عنوان

شناختی و اقلیمی حاصل شد. هرچند که افت سطح آب زیرزمینی هم ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب و هم خشکسالی می‌باشد، ولی با توجه به نظارت بیشتر سازمان‌های مربوطه در سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه کنترل و اراضی کشاورزی نیز توسعه پیدا نکرده است. لذا با فرض ثابت میزان برداشت، تغییرات و نوسانات سطح آب زیرزمینی بیشتر متأثر از میزان بارندگی و در نتیجه مقدار تغذیه آبخوان است. بنابراین در محدوده مورد مطالعه، وقتی خشکسالی اقلیمی (هواشناسی) رخ می‌دهد اثر آن برافت سفره آب زیرزمینی، به طور متوسط با یک تأخیر زمانی دو ساله قابل مشاهده می‌باشد.

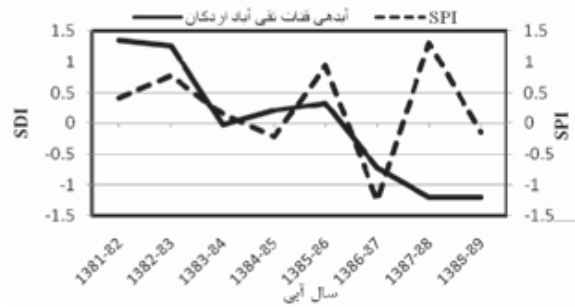
قابل ذکر است که این مدت زمان تأخیر می‌تواند در نقاط مختلف حوزه به علت تفاوت در نوع سازند و ویژگی‌های زمین شناسی و برداشت‌های متفاوت از سفره آب زیرزمینی، متغیر باشد. لذا نمایانه منابع آب زیرزمینی (GRI)، را می‌توان به عنوان نمایانه‌ای قابل قبول برای نشان دادن نمایانه خشکسالی آب شناختی معرفی کرد.

در این پژوهش علاوه بر بررسی رابطه بین بارش و تراز سطح آب زیرزمینی، رابطه بارش و تغییرات آبدهی قنات منطقه نیز مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات بارندگی سالانه بر میزان آبدهی قنات نیز تأثیر مستقیم می‌گذارد. شدت و تأخیر زمانی بین کاهش بارش‌ها و کاهش آبدهی در قنات دشتی، کوهپایه‌ای و کوهستانی متفاوت است. معمولاً در قنات کوهستانی تغییر بارندگی و دبی قنات هم‌زمان است. ولی این تأثیر در قنات کوهپایه‌ای با یک تأخیر زمانی کوتاه و در دشت‌ها طولانی‌تر است. در این تحقیق هم‌چنین به منظور بررسی تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب شناختی، مقایسه‌ای بین شاخص خشکسالی بارش استاندارد SPI و نمایانه دبی استاندارد شده

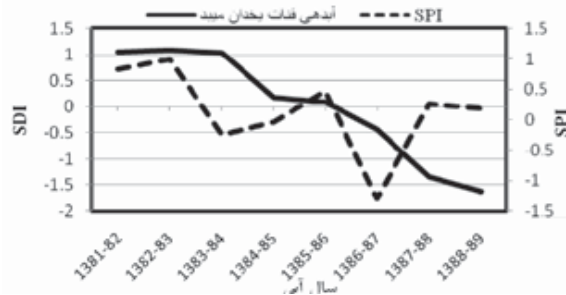
1- Standardized Discharge Index



شکل ۸- رابطه بین خشکسالی اقلیمی و آبدهی قنات یخدان میبد



شکل ۷- رابطه بین خشکسالی اقلیمی و آبدهی قنات تقی آباد اردکان



شکل ۹- رابطه بین خشکسالی اقلیمی و آبدهی قنات سرچشمه زارچ

از این مسأله می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان جهت مدیریت بهینه منابع آب کمک زیادی نماید. در سال‌های اخیر، که هم منطقه مورد مطالعه با خشکسالی‌های پی‌درپی با وسعت و شدت زیادی مواجه بوده است، با تاسف وضعیت سفره را در حالت بحرانی قرار داده است. کاهش آسیب‌پذیری یا بعبارتی دیگر، کاهش ریسک بلابای طبیعی، اصل اساسی در رویارویی با این پدیده‌ها می‌باشد. از آنجایی که مبه طور معمول اقدامات مدیریتی در برابر پدیده خشکسالی و مدیریت بحران فقط در قالب طرح‌های موقت و آن هم پس از وقوع خشکسالی می‌باشد، لذا آگاهی از اثرات خشکسالی در سال‌های بعد بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک کشور مانند حوضه کم آب دشت یزد-اردکان می‌تواند به مدیران و کارشناسان منطقه کمک کند تا با برنامه‌ریزی درازمدت از خسارات پدیده خشکسالی بکاهد.

منابع

- 1- Ansari H, Naderianfar M, Moradi H. 2011. Monitoring and analysis of the spatial changes of droughts impact on groundwater variations using GIS, a case study Neishabur Plain. 7th National Conference on Watershed Management Science and Engineering. Isfahan University of Technology, Iran.
- 2- Barooti H, Fazlioula R, Emamgholizadeh S, 2009. Analysis and monitoring of drought indicators using SPI index in Qazvin province. International Conference on Water Resources, Shahrud

نمونه در سال آبی ۸۷-۸۶ قنات سرچشمه زارچ خشک شده است ولی با وجود افزایش بارش در سال آبی ۸۸-۸۷ خشکیدگی این قنات حتی تا یک سال پس از آن نیز تداوم یافته است. به طور کلی نتایج، حاکی از آن است که بین وقوع خشکسالی اقلیمی و آب شناختی، همیشه یک تأخیر فاز زمانی وجود دارد و در صورتی که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعه مهار شود، این تأخیر در قنات دشتی، بسته به شدت خشکسالی و نوع قنات حدود ۱ تا ۲ سال می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد، در بازه زمانی مورد مطالعه هر دو پدیده خشکسالی هواشناسی و آب شناختی در حوزه دشت یزد-اردکان حاکم بوده و روند افزایشی شدت و تداوم خشکسالی‌ها کاملاً مشهود است. اغلب بین خشکسالی اقلیمی و آب شناختی تأخیر زمانی وجود دارد. تأخیر زمانی خشکسالی آب شناختی آبخوان‌ها و دشت‌های وسیع نسبت به خشکسالی اقلیمی آشکارتر و محسوس‌تر است. هر چند که برداشت‌های بی‌رویه از سفره (به منظور شرب، بهداشت، آبیاری فضای سبز، کشاورزی و صنعت) از عوامل مهم در کاهش ذخیره آبی آبخوان‌ها می‌باشد، اما نوسانات شدت کاهش سطح آب و مقایسه با تغییرات بارش سالانه در حوضه مؤید وقوع خشکسالی‌های آب شناختی است. نتایج این پژوهش نشان داد که یک تأخیر یک تا دو ساله بین دو پدیده در دشت مذکور قابل تشخیص است. وقوع یک سال بسیار کم باران حتی با نرمال بودن بارش در سال بعد از آن، می‌تواند تأثیرات منفی درازمدتی بر منابع آب زیرزمینی بگذارد. آگاهی

- 12- Mckee, T. B., Doseken. N. G. and J. leist, 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scale". In pros, 8th conf, on Applid climatology, American Meteorogical Society, Massa chusetts. 179-184.
- 13- Mckee, T. B., Doseken. N. j. and Kleist, J.1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th conference, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
- 14- Mendicino, G. and Senatore, A. 2008. "A Ground water resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate". J. of hydrology, 357, 282-302.
- 15- Moallemi M, Khodagholi M, Soboh R, Yaghmaei L. 2011. Evaluation of standardized precipitation index for estimating and comparing droughts at the selected stations in some vegetative climates of Iran and Turan.
- 16- Naeimi M, Ehghaghi A. 2002. drought evaluation and management in Iran. Iran Scientific Information and Documentation Centre. Number of publication, 48424.
- 17- Salajegheh A, Fath Abadi A, Najafi Haji Ver M. 2008. Comparison of neural network and time series forecasting drought, case study Khorasan Razavi Provinces .J. of Iran-Watershed Management Science and Engineering. Vol. 2, No. 4: 74-77.
- 18- Samadi boroujeni H, Ebrahimi A .2010. Drought Impacts and its mitigation approaches (in Ch&B Province). Water Resources Research Center (University of Shahrekord. Number of publication 89-102.
- 19- Serrano, S. M., and Moreno J.I., 2005. "Hydrological response to different time scales of the standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin"Hydrology and Earth System Sciences Disessions,No 2, pp.1221-1246.
- 20- Sonmez, F.K. Komuscu, A.U. Erkan, A. and Turgu, E. 2005. An Analysis of Spatial and 18-Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardize Precipitation Index .Natural Hazards 35:243-264.
- University.
- 3- Bazrafshan J. 2002. Comparative study of some Indices of meteorological drought in several climatic zones in Iran. [Msc thesis] Agricultural meteorology. Faculty of Agriculture. Tehran University.
- 4- Cancelliere, A. Di Mauro, G. Bonaccorso, B. Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. J. of Water Resour Manage . 21:801-819.
- 5- Dracup J.A. Lee K.S. and Paulson E.G. 1980. On the definition of droughts. Water Resources Research 16(2): 297-302..
- 6- Dupigny-Giroux, LA. 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont-PartI: A climatological perspective, J. of the Am.Water Res. Assoc., 37,505-525.
- 7- Edwards, D.C.; and McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 8- Farajollahi A, Hatefi A. 2011. Analysis of hydrological drought in Sorkheh Area .7th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering. Isfahan University of technology, Iran.
- Hisdal H. and Tallaksen L. M. 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. Journal of Hydrology 281: 230-247.
- 9- Lashanizand M. 2004. Investigating the meteorological droughts of Iran [Ph.D thesis] Natural Geography. Isfahan University.
- 10- Loalizadeh M, SHafi N & Najafi M. 2010. Anaysing Drought Intensity-Duration and Frequency using SPI in Ahvaz City. 2nd Conference on Watershed problems in Karun and Zayandehrod Watersheds. Agriculture and Natural Resource Research Center of Sharekord.
- 11- Malekinezhad H, Ghaderi M. 2011. Surveying the hydrological droughts in the Sabzevar plain aquifer. 7th National Conference on Watershed Management, Science and Engineering. Isfahan University of Technology, Iran.