

مقاله پژوهشی

بررسی مشخصه‌های خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) و ارتباط آن با الگوهای دورپیوند هواشناسی (دشت‌های سفیددشت و فرادنبه، استان چهارمحال و بختیاری)

زهرارفعی طاقانکی^۱، محمدعلی نصرصفهانی^{۲*} و رسول میرعباسی نجف‌آبادی^۳

چکیده

شناخت اثرات الگوهای دورپیوند و پیش‌بینی آنها به خصوص در دوره‌های خشکسالی، کمک بسزایی برای برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق‌تر در حوضه آبخیز خواهد داشت. هدف تحقیق حاضر بررسی ارتباط الگوهای دورپیوند بر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب‌های زیرزمینی) در دشت‌های فرادنبه و سفیددشت است. برای بررسی خشکسالی هواشناسی از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان چهارمحال و بختیاری و به منظور بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی دشت‌های فرادنبه و سفیددشت از داده‌های تراز آب ۱۹ حلقه چاه مشاهداتی استفاده شد. همچنین به منظور پایش خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و برای پایش خشکسالی هیدرولوژیکی دشت‌های سفیددشت و فرادنبه از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) استفاده شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های دورپیوند NAO و IOD دارای بالاترین همبستگی معنی‌دار را با بارش و شاخص SPI و بیشترین اثر را بر بارش و خشکسالی منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. همچنین دو شاخص IOD و ENSO همبستگی منفی و معکوس با شاخص GRI داشته‌اند. به طور کل می‌توان گفت تفاوت زمان پاسخ خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی در میزان تأثیرپذیری آن از رخداد‌های دورپیوندی نقش مستقیم دارد. به طوری که پدیده NAO که دوره تناوب کمتری نسبت به النینو و IOD دارد، بیشتر با خشکسالی هواشناسی که دارای زمان پاسخ کمتر است، ارتباط معنی‌دار دارد و خشکسالی هیدرولوژیکی که زمان پاسخ طولانی‌تری دارد بیشتر متأثر از دورپیوند النینو است که زمان تناوب بیشتری دارد. پدیده MJO که کمترین دوره تناوب را در بین پدیده‌های دورپیوند مطالعه شده دارد، هیچ ارتباط معنی‌داری بر خشکسالی‌های استان نداشته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی آب زیرزمینی، دورپیوند، شاخص آب زیرزمینی، مد دوقطبی اقیانوس هند، نوسان اطلس شمالی.

ارجاع: رفیعی‌طاقانکی ز.، نصرصفهانی م. ع. و میرعباسی نجف‌آبادی ر. ۱۴۰۳. بررسی مشخصه‌های خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) و ارتباط آن با الگوهای دورپیوند هواشناسی (دشت‌های سفیددشت و فرادنبه، استان چهارمحال و بختیاری). مجله پژوهش آب ایران، ۱۸: ۴۴-۴۹.
<https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14530.2556>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: mnasr@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

مقدمه

حدود ۹۷ درصد از آب‌های موجود در کره زمین را آب‌های شور موجود در اقیانوس‌ها تشکیل داده‌اند و تنها ۳ درصد از آب‌های موجود، شیرین هستند. از مجموع آب‌های شیرین نیز دو سوم آن به صورت یخچال‌ها و یخ‌های طبیعی در مناطق کوهستانی و قطبی قرار دارند و از یک سوم باقی مانده آن، کمتر از ۲ درصد آن به صورت آب‌های سطحی دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد و باقی مانده آن به صورت آب‌های زیرزمینی است (چیت سازان و ساعت ساز، ۲۰۰۵). یکی از چالش‌های مهم که در دهه‌های اخیر بر توسعه در سطوح ناحیه‌ای، ملی، منطقه‌ای و بین المللی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اثرگذار بوده و همچنین در مدیریت محیط زیست و جوامع انسانی موثر می‌باشد، مسئله بحران آب است. عوامل مختلف طبیعی و انسانی همچون برداشت بی‌رویه از منابع آبی، تکنولوژی و محل مصرف آب، الگوی مصرف آب، ساختار زمین‌شناسی، پدیده‌های اقلیمی، بارش‌های جوی و غیره در تشدید این بحران موثر می‌باشند (رحیمی و همکاران، ۲۰۰۹). خشکسالی یکی از پدیده‌های جوی پیچیده و یک وضعیت اقلیمی پراهمیت است. این پدیده طبیعی نتیجه کاهش مقدار بارش نسبت به مقدار نرمال یا مورد انتظار منطقه و ناشی از نوسانات آب و هوایی است (سیواکومار و همکاران، ۲۰۱۱). خشکسالی از پدیده‌های طبیعی است که در حوزه علوم هیدرولوژی و هواشناسی قرار می‌گیرد و در صورت وقوع، بسیاری از جنبه‌های زندگی انسانی، جانوری و گیاهی را متأثر می‌کند، همین مساله شناسایی زود هنگام و شناخت عوامل مؤثر بر آن را ضروری می‌نماید. شاخص‌های خشکسالی یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم‌های پایش خشکسالی هستند که در بررسی وضعیت و تصمیم‌گیری برای مدیریت خشکسالی تعیین کننده می‌باشند. این شاخص‌ها تعداد زیادی از متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی مانند رطوبت خاک، در برخی از موارد دمای هوا، بارش، سطح آب مخازن سطحی و زیرزمینی، برف پشته و حجم رواناب را استفاده می‌کنند و پس از ترکیب در قالب معادلات مربوطه، نتیجه را به صورت یک عدد بیان می‌کنند. این عدد نسبت به داده‌های خام در فرایند تصمیم‌گیری بسیار موثرتر و کاراتر خواهد بود (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۷).

بی‌هنجاری متغیرهای هواشناسی از جمله مقدار بارش با دوره تناوب طولانی مدت، متأثر از پدیده‌هایی است که در سرتاسر کره زمین با دوره‌های تناوب گوناگون رخ می‌دهند و به سیگنال‌های هواشناسی که دورپیوندها از این دسته هستند، موسوم هستند. دورپیوند به دو ناحیه در سطح کره زمین گفته می‌شود که به لحاظ اقلیمی با هم همبستگی بالایی دارند. علاوه بر این برخی رخداد‌های کم‌بسامد (با دوره تناوب طولانی مدت) در نواحی حاره‌ای نیز الگوهای جوی در عرض‌های بالاتر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که الگوهای پیوند از دور و پدیده‌های کم‌بسامد گرمسیری ارتباط معنی‌داری با وقوع خشکسالی‌ها در نقاط مختلف کره زمین دارند. در مقیاس کوچکتر موضوع تأثیر الگوهای دورپیوند بر بارش ایران مورد توجه پژوهشگران متعددی در داخل کشور بوده است. به‌عنوان نمونه، فرج زاده و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی اثرات الگوهای دورپیوند بر بارش ایران نشان دادند که افزایش نمایه‌های اقیانوس آرام باعث بهبود میانگین بارش و الگوهای اسکاندیناوی و اطلس سبب کاهش بارش در کشور شده است. طلوعی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی ارتباط بین الگوهای پیوند از دور و خشکسالی در شمال غرب ایران پرداختند، نتایج بیانگر آن بود که در مقیاس ماهانه الگوی PNA (Pacific-North American teleconnection pattern) در زمان تاخیر یک ماهه الگوی TNA (Tropical Northern Atlantic INDEX) و در زمان تاخیر دو ماهه الگوی NAO (North Atlantic Oscillation) بیش از سایر الگوها با ایستگاه‌های مورد مطالعه همبستگی دارند. از آنجا که مقدار بارش تأثیر مستقیم بر سطح آب‌های زیرزمینی دارد، طولانی شدن دوره خشکسالی در اثر الگوهای دورپیوندی می‌تواند در ادامه آب‌های زیرزمینی را نیز متأثر کند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر الگوی پیوند از دور بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت گرمسار پرداختند. نتایج نشان داد که از بین متغیرهای آب و هوایی منطقه، متغیر حداکثر دمای فیروزکوه و شاخص‌های پیوند از دور SOI (Southern NP (North EA (East Atlantic), Oscillation Index) Pacific Pattern) و WP (Western Pacific Index) بیشترین اثر را در بین ورودی‌های منتخب داشته‌اند. صیف و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی و ارزیابی تأثیر خشکسالی

شاخص خشکسالی استفاده شود و ارتباط آن با سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی بررسی شود، همچنین به منظور مطالعه نقش پدیده‌های دورپیوند در ایجاد خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب‌های زیرزمینی) دشت‌های سفیددشت و فرادنبه ارتباط شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی با شاخص‌های چندین الگوی دورپیوند مشهور مورد کاوش قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

خاک تشکیل‌دهنده دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری به طور غالب از واریزه‌های قدیمی و مواد آبرفتی است. اغلب این دشت‌ها به دلیل وجود خاک نسبتاً حاصل‌خیز، منابع آب سطحی فراوان و شیب کم، محل استقرار شهرها و روستاها و فعالیت‌های کشاورزی بوده‌اند. بیشتر دشت‌های استان در سمت شرق تا جنوب قرار گرفته‌اند. دشت‌های بخش شرقی بر اثر تراکم آبرفت‌ها که توسط آب‌های جاری از ارتفاعات حمل شده‌اند، تشکیل شده و پهنه‌های آبرفتی را به وجود آورده‌اند. با نگاهی به نقشه استان (شکل ۱) مشاهده می‌شود دشت‌های سفیددشت و فرادنبه بین طولهای جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه به وسعت ۵۰۵۰۶ هکتار قرار دارند (علیمحمدی، ۱۳۹۴).

همچنین استان چهارمحال و بختیاری دارای تنوع آب و هوایی است، به طوری که در قسمت‌هایی از غرب و جنوب غرب، آب و هوای گرم و نیمه مرطوب در نواحی شمالی آب و هوای سرد و مرطوب و در نیمه شرقی، اقلیم آن نیمه‌خشک است. به علت ماهیت کوهستانی مرتفع، که در مسیر بادهای مرطوب سیستم‌های مدیترانه‌ای قرار داشته و موجب صعود و تخلیه بار این سامانه‌ها می‌گردد، استان بارش نسبتاً مناسب دارد. این استان دارای نوسانات شدید دمایی است و اختلاف زیادی بین بیشینه و کمینه دما به خصوص در شرق و شمال غربی استان وجود دارد (علیمحمدی، ۱۳۹۴).

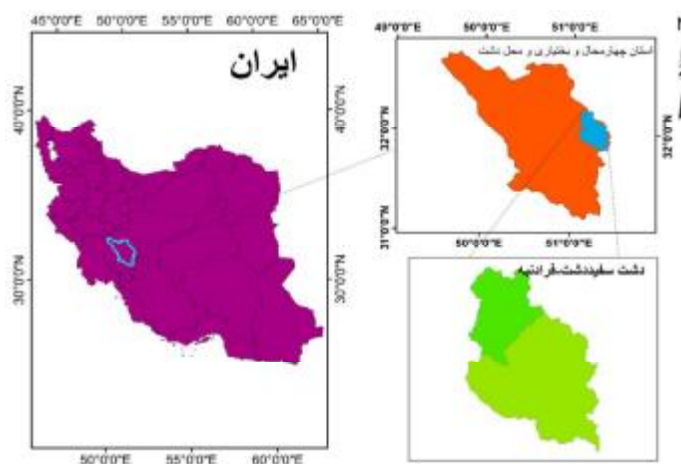
در مطالعه حاضر، داده‌های بارش کل استان در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ از اداره هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری دریافت شد (جدول ۱). لازم به ذکر است پیش از

بر افت منابع آب زیرزمینی در دشت فسا پرداختند. نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با سطح آب زیرزمینی با تاخیر ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نشان داد که شاخص خشکسالی SPI با مقیاس ۴۸ ماهه با سطح آب زیرزمینی بیشترین همبستگی (بدون تأخیر زمانی) را دارد؛ به طوری که تقریباً ۵۴ درصد از واریانس نوسانات سطح آب زیرزمینی در این دشت توسط این شاخص تبیین می‌شود. نساجیان زواره و همکاران (۱۴۰۰) آبخوان بویین استان اصفهان در حوضه آبخیز باتلاق گاوخونی را بررسی کردند. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و شاخص سطح زیرکشت (CLI) در مقیاس سالانه محاسبه شدند. نتایج نشان داد بیشترین همبستگی شاخص SPI با شاخص GRI مربوط به مقیاس‌های زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه است که تاخیر فاز زمانی ۱/۵ تا ۲ ساله بین این دو شاخص را بیان می‌کند. محمدی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی خشکسالی هواشناسی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان طی دوره زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۲ با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر ۵۷ درصد از تغییرات شاخص منبع آب زیرزمینی توسط شاخص بارش استاندارد شده قابل تبیین و توجیه است. خواستار و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از دو شاخص SPI و GRI در دشت بروجن به بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که این دشت از سال ۱۳۸۶ دچار خشکسالی شدید هیدرولوژیکی و هواشناسی شده است و طی سال‌های آینده نیز این روند خشکسالی ادامه خواهد داشت و این منطقه را با بحران کم آبی رو به رو خواهد کرد.

از آنجا که الگوهای دورپیوند در دسته پدیده‌های با مقیاس بزرگ قرار می‌گیرند، انتظار می‌رود مناطق متأثر از آنها نیز بسیار گسترده باشند. در بیشتر مطالعات انجام شده ارتباط شاخص‌های خشکسالی با این پدیده‌ها با داده‌های ایستگاهی انجام شده است که با توجه به اثر عوامل محلی بر پدیده بارش می‌تواند نتایج را با عدم قطعیت همراه سازد. در این مطالعه تلاش شده است از میانگین منطقه‌ای بارش در استان چهارمحال و بختیاری برای محاسبه

ماهانه بارش استان به جای داده‌های ایستگاهی استفاده شده است. با توجه به اینکه ایستگاه‌های موجود در منطقه از پراکنش یکسانی برخوردار نیست و هر ایستگاه سطح اثر متفاوتی دارد، لذا متوسط بارش استان به روش میانگین‌گیری وزنی (براساس مساحت و فاصله) محاسبه شد و با استفاده از آن شاخص SPI محاسبه گردید.

استفاده از داده‌های مذکور ابتدا داده‌ها از تاریخ میلادی به شمسی برگردانده شده و داده‌های مفقودی موجود نیز در تمامی ایستگاه‌ها مشخص و به روش رگرسیون با مناسب‌ترین ایستگاه همسایه بازسازی شدند. از آنجا که رخداد خشکسالی یک پدیده خزنده و در مقیاس منطقه‌ای رخ می‌دهد برای محاسبه شاخص خشکسالی از میانگین



شکل ۱- محدوده منطقه مورد مطالعه در ایران و استان چهارمحال و بختیاری

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارش سالانه در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ (mm)	طول کل دوره آماری موجود
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه			
۱	چهرآز	۵۰	۷۷	۳۱	۸۸	۱۹۵۰	۸۵۳	۱۳۷۹-۱۳۹۹
۲	دزک	۵۰	۹۶	۳۲	۹	۲۰۵۴	۱/۴۵۷	۱۳۹۹-۱۳۷۵
۳	دوپلان	۵۰	۶۱	۳۱	۹۲	۱۴۷۸	۸/۵۵۲	۱۳۹۹-۱۳۷۹
۴	شلمزار	۵۰	۸۲	۳۲	۴	۲۰۴۱	۹/۵۲۶	۱۳۹۹-۱۳۷۹
۵	ناغان	۵۰	۷۴	۳۱	۹۴	۲۱۰۹	۹/۵۳۵	۱۳۹۹-۱۳۷۹
۶	آورگان	۵۰	۹۵	۳۱	۹۰	۲۴۱۰	۹/۵۱۲	۱۳۹۹-۱۳۶۵
۷	فرخشهر	۵۰	۹۳	۳۲	۳۰	۲۰۷۳	۲۸۵	۱۳۹۹-۱۳۷۶
۸	بروجن	۵۱	۳۰	۳۱	۹۸	۲۲۶۰	۱/۲۵۰	۱۳۹۹-۱۳۶۷
۹	امام قیس	۵۱	۳۰	۳۱	۷۵	۲۲۸۵	۵/۶۰۸	۱۳۹۹-۱۳۷۵
۱۰	بلداجی	۵۱	۷	۳۱	۹۳	۲۲۳۱	۸/۳۹۳	۱۳۹۹-۱۳۷۸
۱۱	شهرکرد	۵۰	۸۴	۳۲	۲۹	۲۰۵۰	۷/۳۱۴	۱۳۹۹-۱۳۶۰
۱۲	بیژگرد	۵۱	۱۹	۳۱	۷۸	۲۲۲۲	۳۳۸	۱۳۹۹-۱۳۷۸
۱۳	گردبیشه (دورراهان)	۵۱	۱۹	۳۱	۶۲	۲۰۳۰	۷/۵۹۸	۱۳۹۹-۱۳۶۸

دارد. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به نوسان مدن-جولین (Madden-Julian Oscillation, MJO)، النینو-نوسان جنوبی (EL Nino-Southern Oscillation, ENSO) و دوقطبی اقیانوس هند (Indian Ocean Dipole, IOD) اشاره کرد که برای دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۱ (۱۳۹۹-۱۳۷۰) بررسی شدند. موقعیت رخداد پدیده‌های اول و سوم در نواحی گرمسیری اقیانوس هند و پدیده دوم در اقیانوس آرام است. مقادیر شاخص این پدیده‌ها در این بازه زمانی از پایگاه داده‌ای مرکز ملی پژوهش‌های جوی و مرکز ملی پیش‌بینی محیطی وابسته به سازمان پژوهش‌های اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NCEP/NCAR) برداشت شد.

مواد و روش‌ها

شاخص SPI در واقع یک شاخص خشکسالی هواشناسی است و می‌توان آن را در مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۴۸ ماهه محاسبه کرد. مقادیر آن نشان‌دهنده کمبود آب کوتاه مدت تا چند ساله است که منجر به خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی می‌شود (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۰). ابتدا شاخص SPI توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) توسعه داده شد که براساس میانگین کلی سری زمانی بارش محاسبه می‌شود. کائو و گویندراجو (۲۰۱۰) شاخص SPI اصلاح شده را معرفی کردند که بر اساس میانگین سری زمانی بارش ماهانه محاسبه می‌شود و می‌تواند تغییرات فصلی بارش را نیز لحاظ کند. با محاسبه شاخص SPI می‌توان شدت و مدت خشکسالی را در منطقه تعیین کرد؛ بدین صورت که طول مدتی که مقدار شاخص کمتر از صفر باشد را محاسبه و برابر با مدت خشکسالی قرار داد. قدر مطلق مجموع مقادیر SPI کمتر از صفر در یک دوره خشک را برابر با شدت خشکسالی در نظر می‌گیرند.

برای محاسبه شاخص SPI اصلاح‌شده، ابتدا داده‌های بارش ماهانه استخراج و بعد سری‌های زمانی X_W^{month} در مقیاس w ماهه (۱۲، ۶، ۳، ۱) برای هر ماه سال به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$X_W^{month}(g) = X_w(12(g-1) + m) = X_w(t) \quad (1)$$

در معادله بالا، t شاخص زمان و برابر با $t = 12(g-1) + m$ شاخص سال و m شاخص ماه است.

داده‌های سطح آب پیژومترها از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری از سال ۱۳۷۰-۱۳۹۸ برای منطقه مورد مطالعه دریافت شد. با توجه به داده‌های موجود دوره آماری مورد بررسی هر یک از ایستگاه‌ها مشخص گردید. چاه‌های پیژومتری با در نظر گرفتن عوامل مختلفی از قبیل نوسانات سطح ایستابی، آمار طولانی مدت و نواقص آماری کم، برای مطالعه انتخاب شدند. در مطالعه حاضر، برای ارزیابی خشکسالی آب‌های زیرزمینی متوسط سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در کل دشت تعیین و سپس برای مقادیر به دست آمده، شاخص GRI محاسبه گردید.

به طور معمول دورپیوندها، که بررسی ارتباط آنها با خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هدف اصلی این پژوهش است، دارای دو کانون ارتفاعی یا فشاری هستند که تغییرات در هر کانون همبستگی بالایی با کانون دیگر دارد. این الگوها در میانه جو به صورت ناوه-پشته، در سطح دریا به صورت کم فشار-پرفشار و در کمر بند بادهای غربی به صورت کاتاف-بندال خود را نشان می‌دهند. کانون‌ها به شکل الاکلنگی (Seesaw) به صورت مداری (غربی - شرقی) یا نصف‌النهاری (شمال و جنوب) به ترتیب مشابه دورپیوند روسیه غربی - اطلس شرقی و نوسان اطلس شمالی در ارتباط هستند. تغییر شدت این الگوها می‌تواند شکل جریان‌های جوی در پایین دست آن را متحول کرده که نتیجه آن تغییر الگوهای جوی و بی‌نظمی‌هایی در رخداد بارش می‌شود. یکی از این الگوها که در این مطالعه به آن پرداخته شده است، نوسان اطلس شمالی (North Atlantic Oscillation, NAO) است که به صورت نصف النهاری بوده و دارای دو مرکز در منطقه جنب حاره و شمال اقیانوس اطلس شمالی با دوره تناوب حدود یک ماه می‌باشد (والاس و گاتزلر، ۱۹۸۱).

علاوه بر این برخی پدیده‌های هواشناسی کم‌بسامد در نواحی گرمسیری زمین نیز وجود دارند که به دلیل آزاد کردن مقادیر بسیار زیاد انرژی در جو، بر الگوهای جوی عرض‌های میانی تأثیر می‌گذارند. جابه‌جایی این پدیده‌ها و یا تغییر شدت آنها یکی از دلایل بی‌نظمی‌های بارش در سایر نقاط کره زمین است. آثار این قبیل پدیده‌ها نیز توسط برخی پژوهشگران در قالب رخداد‌های دورپیوندی بیان شده است که البته با تعریف دقیق دورپیوند منافات

در ادامه توزیع آماری گاما به هر سری X_W^{month} به صورت زیر برازش داده شده و مقدار پارامترهای این توزیع (α و β) برای هر ماه از سال تخمین زده می‌شود. برای هر ماه سال، احتمالات تجمعی (CDF) توزیع گاما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (2)$$

که در آن $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. به دلیل اینکه مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر باشد و تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده است، باید احتمال وقوع بارش صفر در محاسبه احتمال تجمعی به صورت زیر لحاظ شود:

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot F(x) \quad (3)$$

که در آن، q احتمال وقوع بارش ماهانه صفر است. در مرحله بعد احتمال تجمعی $H(x)$ به متغیر نرمال استاندارد (Z) با واریانس ۱ و میانگین صفر تبدیل می‌گردد که برابر با شاخص SPI است.

در این مطالعه برای تبدیل احتمال تجمعی توزیع گاما به متغیر نرمال استاندارد از روش آبراموویتز و استگان (۱۹۶۵) استفاده شد.

$$SPI_W^{mod} = \Phi^{-1}(u_W^{month}) = \Phi^{-1}(F_{X_W^{month}}(x_W^{month})) \quad (4)$$

شاخص GRI توسط مندیسنو و همکاران (۲۰۰۸) به عنوان یک شاخص قابل اعتماد برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی و مدل‌سازی خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مدیترانه پیشنهاد شد. این شاخص برای ارزیابی میزان ذخیره آبخوان و وضعیت مخزن سفره آب زیرزمینی به کار می‌رود. با استفاده از این شاخص می‌توان متغیر سطح ایستابی را در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبه کرد. مقدار شاخص GRI با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$GRI_{y,m} = \frac{p_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}} \quad (5)$$

که در معادله بالا، $GRI_{y,m}$ مقدار شاخص در ماه m از سال y ، $\mu_{D,m}$ میانگین داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال، $p_{y,m}$ سطح ایستابی در ماه m از سال y و $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال است. طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص GRI در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به این که پدیده‌های دورپیوند دارای دو فاز مثبت و منفی هستند، برای بررسی ارتباط شاخص‌های

خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی با این پدیده‌ها، همبستگی میان شاخص‌های SPI و GRI با شاخص‌های دورپیوندی در چند حالت انجام شده است. این حالت‌ها عبارتند از: همبستگی کل داده‌ها بدون در نظر گرفتن تأخیر زمانی و در نظر گرفتن تأخیر یک ماهه برای بارش، همبستگی در فازهای مثبت و منفی هر الگوی دورپیوندی (همبستگی تنها در فازهای مثبت یا فاز منفی هر دورپیوند محاسبه شده است)، محاسبه همبستگی در هر فصل (بر اساس تقویم شمسی) به صورت جداگانه، حذف ۵ ماه خشک سال (خرداد تا مهر)، که نتایج همه این حالت‌ها در بخش بعدی آورده شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی شرایط رطوبتی بر حسب مقادیر GRI و SPI (مکی و همکاران، ۱۹۹۳؛ مندیسنو و همکاران، ۲۰۰۸)

توصیف وضعیت	طبقات شاخص SPI و GRI
ترسالی بسیار شدید	بیشتر از ۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

نتایج و بحث

تحلیل خشکسالی

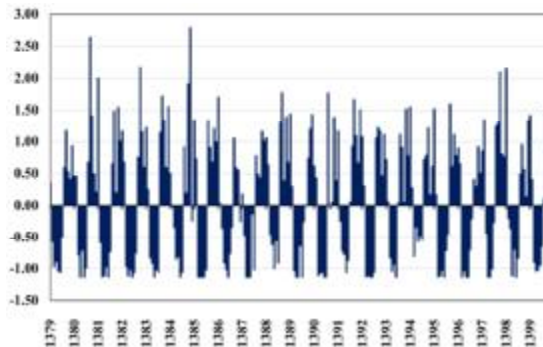
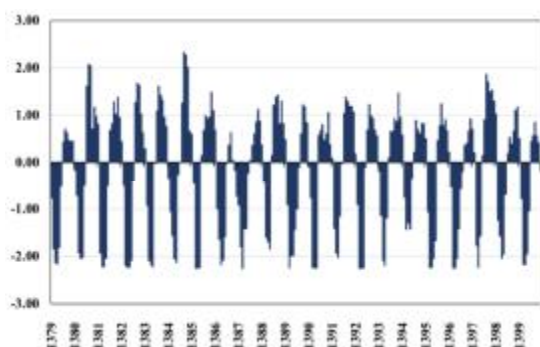
شکل ۲، وضعیت خشکسالی بارش میانگین استان چهارمحال و بختیاری که با استفاده از شاخص بارش استاندارد اصلاحی (SPI^{mod}) در بازه زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شده است، را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شکل ۲-الف نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی یک ماهه بیشترین مقدار شاخص در طول دوره مربوط به بهمن ۱۳۸۴ با مقدار $+2/79$ بوده است. بیشترین دوره ترسالی به مدت ۸ ماه طی سال‌های ۹۱-۹۲ (از مهر ۱۳۹۱ تا اردیبهشت ۱۳۹۲) رخ داده است، همچنین یک دوره ترسالی ۸ ماهه نیز در طی سال ۹۳-۹۴ (از مهر ۱۳۹۳ تا اردیبهشت ۱۳۹۴) رخ داده که شدت آنها به ترتیب معادل $7/37$ و $6/32$ می‌باشد. بیشترین خشکسالی مربوط به ماه‌هایی با بارش صفر و کمترین مقدار شاخص برابر با $-1/14$ بوده است. طولانی‌ترین و شدیدترین دوره خشکی با ۷ ماه خشکی متوالی طی سال ۸۹ (از خرداد تا آذر

تعداد ۱۳۴ ماه تر و ۱۰۶ ماه خشک بوده‌اند.

۱۳۸۹ رخ داده که شدت آن معادل ۵/۳۹ است. به طور کلی از ۲۵۲ ماهی که طی این دوره آماری ارزیابی شد،

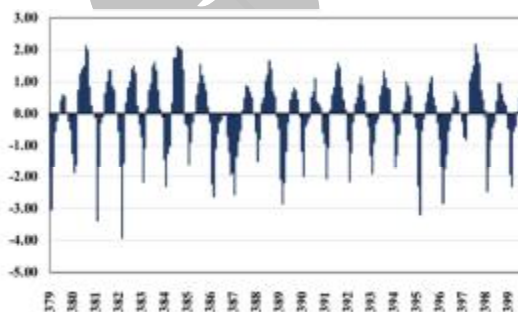
الف

ب



د

ج



شکل ۲- سری زمانی میانگین شاخص SPI یک ماهه (الف) سه ماهه (ب) شش ماهه (ج) دوازده ماهه (د) در منطقه مورد مطالعه

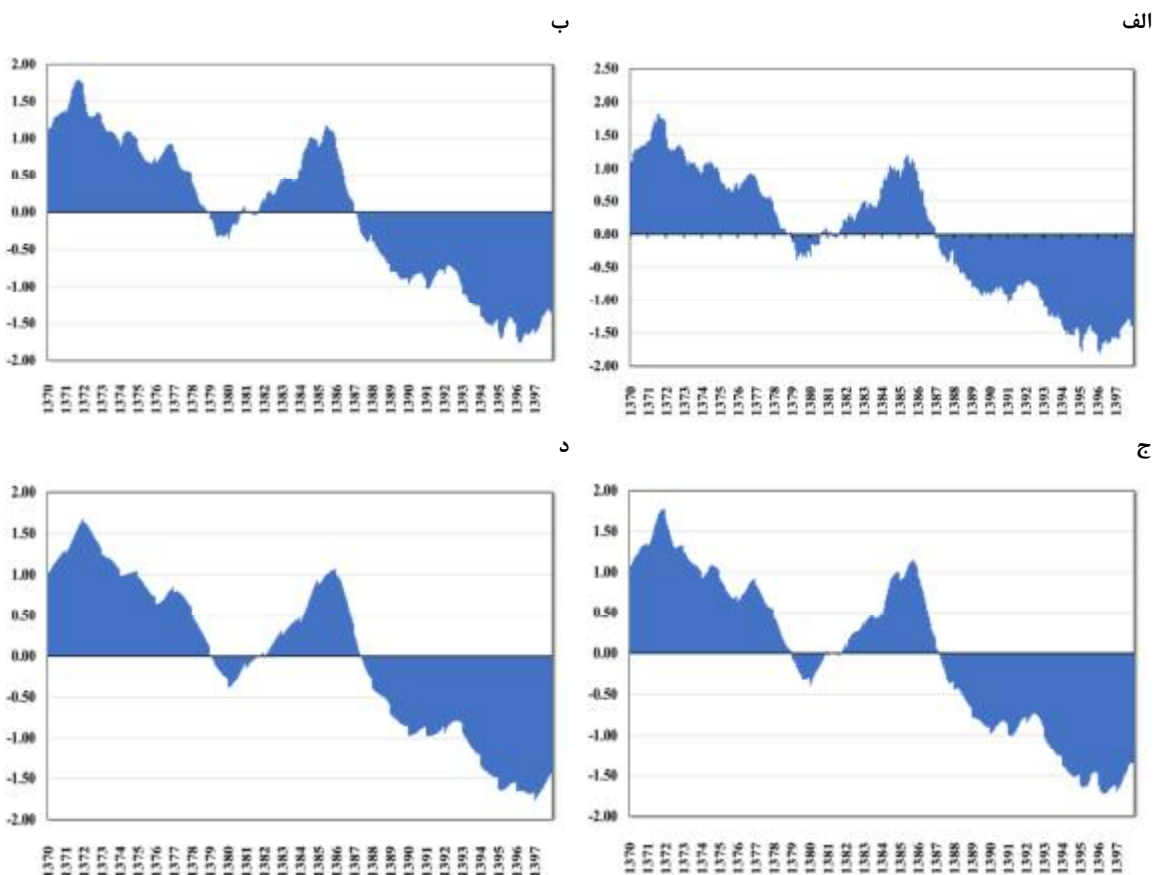
بیشترین مقدار شاخص GRI در طول دوره مورد مطالعه، مربوط به آبان ۱۳۷۱ با مقدار $+1/83$ است. طولانی‌ترین دوره ترسالی از ابتدای دوره مورد مطالعه تا سال ۱۳۸۷ به مدت ۱۰۶ ماه رخ داده است. طولانی‌ترین دوره خشکی نیز از سال ۱۳۸۷ آغاز و تا انتهای دوره (۱۳۹۹) ادامه داشته است و کمترین مقدار شاخص در مقیاس یک ماهه مربوط به اردیبهشت ۱۳۹۶ با مقدار $-1/81$ می‌باشد. شکل ۳-ب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های آب زیرزمینی را در مقیاس سه ماهه نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، طولانی‌ترین دوره ترسالی از ابتدای دوره (۱۳۷۰) تا اسفند ۱۳۷۸ به مدت ۱۰۸ ماه رخ داده و بیشترین مقدار شاخص مربوط به آذر ۱۳۷۱ با مقدار $+1/80$ است. طولانی‌ترین دوره خشکی نیز از سال ۱۳۸۷ آغاز و تا انتهای دوره (۱۳۹۹) ادامه داشته است و کمترین مقدار شاخص نیز مربوط به خرداد ۱۳۹۶ با مقدار $-1/78$ می‌باشد. به طور کلی باتوجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که طولانی‌ترین دوره ترسالی در دشت‌های سفیددشت و

شکل ۲-ب خشکسالی و ترسالی استان را در مقیاس سه ماهه نمایش می‌دهد که بیانگر وجود ترسالی و خشکسالی‌های مختلف است. شدیدترین خشکسالی با مقدار شاخص $-2/26$ مربوط به تیر ۱۳۹۲ می‌باشد. شدیدترین و طولانی‌ترین دوره خشکی به مدت ۷ ماه طی سال ۱۳۸۹ (از اردیبهشت تا آبان سال ۱۳۸۹) رخ داده و شدت آن معادل $9/77$ است. بیشترین دوره ترسالی در دوره مورد مطالعه به مدت ۸ ماه طی سال ۹۷-۹۸ (از شهریور ۱۳۹۷ تا فروردین ۱۳۹۸) برآورد شده است که بیشترین مقدار شاخص در این دوره مربوط به آبان ۱۳۹۷ با مقدار $+1/87$ و شدتی معادل $10/05$ است. همچنین بیشترین مقدار شاخص در دوره مورد مطالعه برابر با $+2/33$ و مربوط به آذر ۱۳۸۴ است.

خشکسالی متوسط نوسانات سطح ایستابی با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در بازه زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه و نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۳-الف نشان می‌دهد در مقیاس زمانی یک ماهه

داشته است.

فردانبه مربوط به ابتدای دوره تا سال ۱۳۷۸ بوده و دوره خشکی از سال ۱۳۸۷ آغاز و تا انتهای دوره آماری ادامه



شکل ۳- سری زمانی میانگین شاخص GRI یک ماهه (الف) سه ماهه (ب) شش ماهه (ج) دوازده ماهه (د) در منطقه مورد مطالعه

بررسی همبستگی‌ها

جدول ۳ نتایج ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی‌داری آن میان شاخص SPI یک ماهه با شاخص‌های ENSO و IOD NAO, در این جدول مقادیر معنی‌دار ضریب همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد به صورت تیره نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است شاخص یک ماهه SPI با شاخص NAO در حالت‌های ارتباط همزمان داده‌ها، فصل بهار، فصل تابستان و حذف ۵ ماه خشک سال همبستگی معنی‌دار دارد و بیشترین همبستگی به ترتیب در فصل بهار، ارتباط همزمان داده‌ها، فصل تابستان و حذف ۵ ماه خشک سال رخ داده است. شاخص SPI یک ماهه در سایر شاخص‌ها تنها با فاز مثبت شاخص IOD در فصل تابستان همبستگی معنی‌دار معکوس دارد و نشان می‌دهد با

افزایش یکی، دیگری کاهش می‌یابد که با مطالعات رزمجو و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. مقدار تأثیر پذیری شاخص SPI از رخداد IOD نسبت به نوسان اطلس شمالی کمتر است. جدول ۴ نتایج ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی‌داری آن میان شاخص SPI با شاخص MJO در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بین وقوع خشکسالی در استان و نوسان مادن-جولین همبستگی قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود حتی با توجه به سطح معنی‌داری ضرایب، همبستگی ضعیف معنی‌داری نیز میان این دو شاخص وجود ندارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که وقوع خشکسالی در استان متأثر از وضعیت‌های مختلف رخداد MJO بر روی اقیانوس هند نمی‌باشد.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی داری شاخص SPI یک ماهه با شاخص پدیده‌های ENSO, IOD, NAO

ENSO		IOD		NAO		وضعیت
ضریب همبستگی	سطح معنی داری	ضریب همبستگی	سطح معنی داری	ضریب همبستگی	سطح معنی داری	
0/68	0/026	0/64	-0/029	0	0/32	ارتباط همزمان داده‌ها
0/07	0/167	0/009	-0/2	0/06	0/17	فاز مثبت
0/48	0/061	0/14	0/16	0/42	0/072	فاز منفی
0/12	0/199	0/9	-0/017	0/001	0/4	فصل بهار
0/3	-0/132	0/66	0/056	0/032	-0/27	فصل تابستان
0/48	-0/09	0/9	-0/016	0/19	0/17	فصل پاییز
0/53	-0/08	0/9	0/01	0/61	-0/067	فصل زمستان
0/09	-0/138	0/27	0/091	0/029	0/23	حذف 5 ماه خشک سال
0/48	0/045	0/37	0/056	0	0/25	تاخیر یک ماهه

جدول 4- ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی داری شاخص MJO با SPI یک ماهه

MJO	ضریب همبستگی	سطح معنی داری ضریب
ارتباط همزمان داده‌ها	۰/۰۹۶	۰/۳۵
فاز مثبت	۰/۰۹۳	۰/۵۲
فاز منفی	۰/۱۷	۰/۲۳

آن تأیید نشده است. این نتیجه باتوجه به دوره تناوب MJO که حدود ۴۵ روز است چندان غیره منتظره نیست، زیرا در این بازه زمانی کم انتظار تأثیر پذیری آب‌های زیرزمینی از بارش نمی‌رود.

به‌دلیل اینکه ارتباط عوامل دورپیوندی با آب‌های زیرزمینی در لحظه وقوع مشخص نمی‌شود، برای بررسی بیشتر ارتباط میان آنها در تاخیرهای زمانی ۱ تا ۲۴ ماهه نیز ضریب همبستگی و سطح معنی داری آن میان شاخص GRI و عوامل دورپیوندی بررسی و نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است. در جدول ۷ همبستگی میان شاخص GRI با شاخص‌های ENSO، IOD، NAO و ENSO با تاخیرهای زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به این جدول مشخص می‌شود که میان شاخص GRI و NAO همبستگی وجود ندارد و ضرایب به‌دست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد قبول نمی‌باشند که نشان می‌دهد این دو شاخص رابطه خطی با یکدیگر ندارند. همچنین میان شاخص GRI و IOD همبستگی ضعیفی وجود دارد و ضرایب به‌دست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد در تمام تاخیرهای زمانی مورد قبول هستند میان شاخص ENSO و GRI همبستگی معنی‌دار معکوس

جدول ۵ نتایج ضریب همبستگی شاخص GRI و سطح معنی داری آن را با شاخص‌های ENSO، IOD و NAO در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. مقادیر معنی‌دار شاخص با رنگ تیره نشان داده شده است. باتوجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که شاخص GRI در هیچ حالتی با نوسان اطلس شمالی همبستگی معنی‌دار ندارد. اما در حالت ارتباط همزمان داده‌ها، فاز منفی، فصل بهار و حذف ۵ ماه خشک سال، میان دو شاخص IOD و GRI همبستگی معنی‌دار و معکوس دیده می‌شود اگرچه همبستگی قوی میان دو شاخص وجود ندارد. بیشترین ارتباط به‌ترتیب در فصل بهار، فاز منفی، حذف ۵ ماه خشک سال و ارتباط همزمان داده‌ها وجود دارد. بین شاخص GRI و شاخص پدیده ENSO در تمام حالت‌ها همبستگی معنی‌دار معکوس وجود دارد. بیشترین مقدار آن در فصل بهار و کمترین آن در فصل زمستان دیده می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد نقش النینو در زمستان در ایجاد افت و خیزهای کم‌بسامد بارشی همزمان با فعالیت بیشتر سایر پدیده‌های دورپیوندی مؤثر کاهش می‌یابد. در جدول ۶ نتایج همبستگی بین شاخص MJO با شاخص GRI آورده شده است که در هیچ مورد معنی داری

بالایی وجود دارد و بیشترین مقدار همبستگی در تاخیر ده ماهه رخ داده است. ضرایب به‌دست آمده در سطح اطمینان ۹۵ درصد در تمامی تاخیرهای زمانی مورد قبول هستند. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که هرچه دوره تناوب پدیده دورپیوندی بیشتر باشد ارتباط آن با سطح

آب‌های زیرزمینی دشت‌های سفیددشت و فرادنبه بیشتر و معنی‌دار بوده است. بدین ترتیب می‌توان گفت آبخوان‌های این دشت‌ها بیشترین تأثیر را از النینو و پس از آن از نوسان دوقطبی اقیانوس هند پذیرفته‌اند.

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی‌داری میان شاخص ENSO, IOD, NAO و GRI

مقیاس زمانی	NAO		IOD		ENSO	
	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
ارتباط همزمان داده‌ها	۰/۰۱	۰/۸۶	-۰/۱۷	۰/۰۰۱	-۰/۲۵	۰
فاز مثبت	-۰/۰۳۵	۰/۶۴	۰/۰۲۹	۰/۷۲	-۰/۱۲۵	۰
فاز منفی	۰/۱۳	۰/۰۹	-۰/۲۳	۰/۰۰۲	-۰/۱۷	۰
فصل بهار	-۰/۰۰۴	۰/۹۷	-۰/۲۶	۰/۰۱۹	-۰/۳	۰
فصل تابستان	۰/۱۷	۰/۱۲	-۰/۱۸	۰/۱۱	-۰/۲۶	۰
فصل پاییز	-۰/۰۹۳	۰/۴	-۰/۱۶	۰/۱۵	-۰/۳	۰
فصل زمستان	-۰/۰۲۲	۰/۸۴	-۰/۱۵	۰/۱۶	-۰/۱۵	۰
حذف ۵ ماه خشک سال	-۰/۰۱۴	۰/۸۵	-۰/۱۸	۰/۰۱	-۰/۲۵	۰

جدول ۶- ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی‌داری میان شاخص MJO و GRI

ارتباط همزمان داده‌ها	MJO		ضریب همبستگی		سطح معنی‌داری ضریب	
	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
ارتباط همزمان داده‌ها	-۰/۰۱	۰/۹	-۰/۰۱	۰/۹	-۰/۰۱	۰/۹
فاز مثبت	۰/۰۱۲	۰/۹۲	۰/۰۱۲	۰/۹۲	۰/۰۱۲	۰/۹۲
فاز منفی	-۰/۰۲۳	۰/۸۵	-۰/۰۲۳	۰/۸۵	-۰/۰۲۳	۰/۸۵

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب‌های زیرزمینی) دشت‌های سفیددشت و فرادنبه در استان چهارمحال و بختیاری با پدیده‌های دورپیوند بررسی شده است. برای شناسایی خشکسالی هواشناسی از شاخص SPI و برای خشکسالی آب‌های زیرزمینی از شاخص GRI استفاده شده است. براساس شاخص SPI در دشت‌های سفیددشت و فرادنبه در دوره آماری مدنظر در سه دوره، شامل سال‌های ۸۹، ۸۶-۸۵ و ۹۶-۹۳ خشکسالی اتفاق افتاده است. همچنین سال‌های ۸۳-۸۱، ۹۲-۹۱ و ۹۸-۹۷ مرطوب‌ترین سال‌ها بوده‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود که هرچه به انتهای دوره آماری نزدیک‌تر می‌شویم با کاهش مقدار بارش‌ها، خشکسالی‌های هواشناسی افزایش یافته است که تأثیرات نامطلوبی بر منطقه و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی داشته است.

بر اساس شاخص GRI طولانی‌ترین دوره ترسالی و نرمال از ابتدای دوره آماری تا سال ۱۳۸۷ رخ داده است. از سال ۸۷ تا پایان دوره آماری باتوجه به کاهش بارش و تأثیر منفی آن بر منابع آبی خشکی طولانی مدت رخ داده که این خشکی در حد متوسط تا شدید بوده است. عدم انطباق شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که علت خشکسالی آب‌های زیرزمینی تنها به علت کمبود بارش نمی‌باشد و عوامل دیگری همچون برداشت بی‌رویه از چاه‌ها، حفر چاه‌های غیرمجاز، افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش فعالیت‌های کشاورزی و تقاضا منجر به افزایش شدت خشکسالی‌های آب زیرزمینی در منطقه شده است.

در ادامه ارتباط شاخص‌های دورپیوند ENSO، IOD، MJO و ENSO با خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، تحلیل و بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص خشکسالی در منطقه با

خشکسالی در فصل بهار در منطقه مورد مطالعه داشته است. به طور خلاصه می‌توان گفت تفاوت زمان پاسخ خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی در میزان تأثیرپذیری آن از رخداد‌های دورپیوندی نقش مستقیم دارد. به طوری که پدیده NAO که دوره تناوب کمتری نسبت به النینو و IOD دارد، بیشتر با خشکسالی هواشناسی که دارای زمان پاسخ کمتر است، ارتباط معنی‌دار دارد و در مقابل، خشکسالی هیدرولوژیکی که زمان پاسخ طولانی‌تری دارد، بیشتر متأثر از دورپیوند النینو است که زمان تناوب بیشتری دارد. پدیده MJO که کمترین دوره تناوب را در بین پدیده‌های دورپیوند مطالعه شده دارد، هیچ ارتباط معنی‌داری با خشکسالی‌های استان نداشته است.

پدیده‌های دورپیوندی همبستگی متوسط تا ضعیفی دارد. در بین پدیده‌های دورپیوندی مطالعه شده، خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری بیشتر متأثر از نوسان اطلس شمالی (NAO) است که بیشترین تأثیر آن در فصل بهار مشاهده می‌شود. مد دوقطبی اقیانوس هند (IOD) تنها در فاز مثبت خود به‌طور معکوس با خشکسالی استان ارتباط دارد که نشان می‌دهد تقویت این نوسان در فاز مثبت به افزایش شدت خشکسالی و کاهش شدت ترسالی منجر می‌شود. پدیده‌های انسو و مد دوقطبی اقیانوس هند بیش از سایر پدیده‌های مطالعه شده بر ترسالی و خشکسالی آب زیرزمینی موثر بوده‌اند. در تاخیر ده ماهه، پدیده انسو بیشترین تأثیر را بر خشکسالی آب‌های زیرزمینی داشته است. همچنین IOD بیشترین ارتباط را با شاخص

جدول ۷- ضریب همبستگی و سطح معنی‌داری میان شاخص‌های NAO، IOD و ENSO با GRI در تاخیرهای زمانی مختلف

شاخص	NAO		IOD		ENSO	
	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
تاخیر ۱ ماهه	۰/۰۰۳	۰/۹۵	-۰/۱۷۶	۰/۰۰۱	-۰/۲۵۷	.
تاخیر ۲ ماهه	۰/۰۰۳	۰/۹۵۷	-۰/۱۸	۰/۰۰۱	-۰/۲۶۸	.
تاخیر ۳ ماهه	.	۰/۹۹۷	-۰/۱۸	۰/۰۰۱	-۰/۲۷۴	.
تاخیر ۴ ماهه	-۰/۰۰۴	۰/۹۴۸	-۰/۱۷۴	۰/۰۰۱	-۰/۲۷۸	.
تاخیر ۵ ماهه	-۰/۰۰۵	۰/۹۲۳	-۰/۱۷	۰/۰۰۲	-۰/۲۸۴	.
تاخیر ۶ ماهه	۰/۰۰۶	۰/۹۱	-۰/۱۷	۰/۰۰۳	-۰/۲۸۶	.
تاخیر ۷ ماهه	۰/۰۱۵	۰/۷۸	-۰/۱۶	۰/۰۰۴	-۰/۲۹۷	.
تاخیر ۸ ماهه	۰/۰۲۹	۰/۶	-۰/۱۵۵	۰/۰۰۵	-۰/۲۹۸	.
تاخیر ۹ ماهه	۰/۰۴	۰/۴۶	-۰/۱۵۶	۰/۰۰۵	-۰/۳۰۴	.
تاخیر ۱۰ ماهه	۰/۰۵	۰/۴	-۰/۱۶	۰/۰۰۵	-۰/۳۰۵	.
تاخیر ۱۱ ماهه	۰/۰۶	۰/۳	-۰/۱۶	۰/۰۰۴	-۰/۳۰۱	.
تاخیر ۱۲ ماهه	۰/۰۶	۰/۳	-۰/۱۶	۰/۰۰۵	-۰/۲۹۵	.
تاخیر ۱۳ ماهه	۰/۰۵	۰/۴	-۰/۱۵	۰/۰۰۷	-۰/۲۸۸	.
تاخیر ۱۴ ماهه	۰/۰۵	۰/۳۶	-۰/۱۶	۰/۰۰۵	-۰/۲۹	.
تاخیر ۱۵ ماهه	۰/۰۵۵	۰/۳۳	-۰/۱۶	۰/۰۰۴	-۰/۲۸۲	.
تاخیر ۱۶ ماهه	۰/۰۵۴	۰/۳۴	-۰/۱۶	۰/۰۰۴	-۰/۲۸۱	.
تاخیر ۱۷ ماهه	۰/۰۶۱	۰/۲۷	-۰/۱۶۵	۰/۰۰۳	-۰/۲۸۲	.
تاخیر ۱۸ ماهه	۰/۰۷۳	۰/۱۹۴	-۰/۱۶۹	۰/۰۰۲	-۰/۲۷۴	.
تاخیر ۱۹ ماهه	۰/۰۷۶	۰/۱۸	-۰/۱۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۲۷۱	.
تاخیر ۲۰ ماهه	۰/۰۷۶	۰/۱۸	-۰/۱۶۲	۰/۰۰۴	-۰/۲۶۶	.
تاخیر ۲۱ ماهه	۰/۰۸۸	۰/۱۲	-۰/۱۶۲	۰/۰۰۴	-۰/۲۶۲	.
تاخیر ۲۲ ماهه	۰/۰۸۷	۰/۱۲	-۰/۱۶	۰/۰۰۴	-۰/۲۶۶	.
تاخیر ۲۳ ماهه	۰/۰۸۴	۰/۱۴	-۰/۱۶	۰/۰۰۵	-۰/۲۶۲	.
تاخیر ۲۴ ماهه	۰/۰۸۷	۰/۱۳	-۰/۱۵۸	۰/۰۰۵	-۰/۲۶	.

منابع

۱. افیونی م. و عرفان منش م. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا. نشر ارکان اصفهان. ۳۳۰ ص.
۲. خواستار بروجنی م.، ناصری م. ع. و قاسمی م. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت بروجن. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه شهرکرد- انجمن هیدرولوژی ایران. ۲۰ تا ۲۱ تیرماه. شهرکرد.
۳. رزمجو س.، محمودی پ. و جهانشاهی م. ۱۳۹۹. بررسی ارتباط بین شاخص نوسان اطللس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی. ۴۲: ۱۶۹-۱۸۶.
۴. سهرابی ر. ا.، سهرابی ح. و عرب د. ر. ۱۳۸۷. بررسی شاخص‌های پایش خشکسالی از مناظر تحول، ماهیت و عملکرد و پیشنهاد فرایند انتخاب شاخص متناسب با شرایط مناطق. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ۲۳ تا ۲۵ مهر ماه. تبریز.
۵. صیف م.، محمدزاده ح.، مساعدی ا. و صیاد ح. ۱۳۹۱. ارزیابی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده. نشریه مهندسی منابع آب ایران. ۱۳: ۵۵-۷۲.
۶. طلوعی ی.، گندمکار ا. و باقری بداغ آبادی م. ۱۴۰۰. بررسی رابطه بین الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی با خشکسالی‌های شمال غرب ایران. فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۵۱: ۵۵-۷۴.
۷. عزیزی ز.، یزدانی م. و کیانیان م. ۱۳۹۹. تاثیر الگوهای پیوند از دور بر پیش‌بینی نوسانات تراز آب زیرزمینی در دشت گرمسار. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲: ۱۷۸-۱۹۱.
۸. علیمحمدی ر. ۱۳۹۴. احیای قسمتی از دشت‌های فرادنبه و سفیددشت با اجرای پروژه تغذیه مصنوعی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۳۱: ۳۱-۴۰.
۹. فرج‌زاده اصل م.، احمدی م.، علیجانی ب. و قویدل‌رحیمی ی. مفیدی ع. و بابائیان ا. ۱۳۹۲. بررسی وردایی الگوهای پیوند از دور و اثر آن‌ها بر
- بارش ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۱۵: ۳۵-۴۱.
۱۰. محمدی ص.، ناصری ف. و نظری پور ح. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI). مجله اکوهیدرولوژی. ۱: ۱۱-۲۲.
۱۱. نساچیان زواره م. ج.، ملکی‌نژاد ح.، اختصاصی م. و زارع‌ارنای م. ۱۴۰۰. تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و گشتاورهای خطی در حوضه بویین اصفهان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳: ۶۲۵-۶۳۷.
12. Abramowitz M. and Stegun I. A. 1965. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables (Dover Books on Mathematical). Inc Press. 1046 p.
13. Chitsazan M. and Saatsaz M. 2005. Application of MOFLOW model in water resources management in Ramhormoz plain. Shahid Chamran University Journal of Science. 14(1): 1-16.
14. Gupta V. and Jain M.K. 2020. Impact of ENSO, Global Warming, and Land Surface Elevation on Extreme Precipitation in India. Journal of Hydrologic Engineering. 25: 05019032.
15. McKee T. B. Doeskin N. J. and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January. Anaheim. California.
16. 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: 282-302.
17. Kao S.C. and Govindaraju R.S. 2010. A copula-based joint deficit index for droughts. Journal of Hydrology. 380: 121-134.
18. Rahimi D. Movahedi S. Barghi H. 2009. Study of drought intensity using SPI Sistan and Baluchestan Province. Geography and Environmental Planning,. 36(3): 43-56.
19. Sivakumar M. V. K. Motha R. P. Wilhite D. A. and Wood D. A. 2011. Agricultural Drought Indices Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices. 2-4 June. Murcia, Spain: Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. 197 p.
20. Wallace J. M. and Gutzler D. S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Monthly Weather Review. 109: 784-812.

Research paper

Investigating the characteristics of meteorological drought and groundwater drought and its relationship with meteorological teleconnection patterns (Sefiddasht and Faradonbeh plains, Chaharmahal and Bakhtiari province)**Z. Rafiei Taghanaki¹, M.A. Nasr-Esfahani^{2*} and R. Mirabbasi Najafabadi³****Extended Abstract**

Drought is a natural phenomenon that occurs as a result of a decrease in the amount of precipitation in a period of time, compared to the normal or expected amount in the same period of time. Irregularity of meteorological variables, including the precipitation with a long periodicity, is affected by the phenomena occurs globally with varying periodicity, known as meteorological signals. Teleconnections are a category of meteorological signals. Teleconnection refers to two regions on the surface of the earth that have a high correlation with each other in terms of climate. In addition, some low-frequency events (with long periodicity) in tropical regions also affect atmospheric patterns in higher latitudes. Since the amount of precipitation has a direct effect on recharging the aquifers, the prolongation of the drought period due to teleconnection patterns can also affect the groundwater level. Investigating the effects of the teleconnection patterns and predicting them, especially during drought periods, will greatly assist in more accurate planning and management of the watershed. As teleconnection patterns are in the category of large-scale phenomena, it is expected that the affected areas will be very vast. In most of the previous studies, the relationship between drought indices and these phenomena has been obtained at station points. Considering the effect of local factors on the phenomenon of precipitation, point analysis can increase the uncertainty in the results. In this study, the regional average of precipitation in Chaharmahal and Bakhtiari provinces was used to calculate the drought index and to investigate its relationship with the groundwater level. Also, in order to study the role of teleconnection phenomena in creating meteorological and hydrological (groundwater) droughts in Faradonbeh and Sefiddasht plains, the relationship between the indicators of several well-known teleconnection patterns and meteorological and hydrological (groundwater) droughts was investigated. In order to study the meteorological drought, the monthly precipitation data were used from the synoptic stations of Chaharmahal and Bakhtiari province, during 2000 to 2020. Also, the water level, measured at 19 observation wells, were used to investigate the groundwater drought of the Faradonbeh and Sefiddasht plains. The Standardized Precipitation Index (SPI), and the Groundwater Resource Index (GRI) were applied to monitor the meteorological and groundwater droughts of the Faradonbeh and Sefiddasht plains, respectively. Since the stations in the study area have varied distribution and each station has a different effect area, the average precipitation of the Chaharmahal and Bakhtiari province was calculated by weighted average method (based on area and distance). Regional monthly precipitation time series was used to calculate the SPI index. Also, the

1- Masters Student in Water Engineering, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

* Corresponding author : mnasr@sku.ac.ir

Received: 2023/09/11

Accepted: 2023/11/16

<https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14530.2556>

values of teleconnection indicators including Madden-Julian Oscillation (MJO), El Nino-Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD) for the period of 1991-2021 were downloaded from the website of The National Center for Atmospheric Research and the National Center for Environmental Prediction (NCEP/NCAR). Since teleconnection phenomena have two positive and negative phases, to investigate the relationship between meteorological and groundwater drought indices, the correlation between SPI and GRI with teleconnection indicators was done. Several cases were considered in this regard: Simultaneous correlation of data (correlation between all data), correlation in positive and negative phases of each teleconnection pattern (only positive phases or negative phase of teleconnection indicators were considered), calculation of correlation in each season (based on the solar calendar) separately, remove of five dry months of the year (June to October) and calculate the correlation with a delay of one month.

The results showed that the NAO and IOD indices had the highest correlation with precipitation and SPI index, and had the greatest impact on precipitation and drought in the study area. Also, the IOD and ENSO indices had a negative and inverse correlation with the GRI index. It can be concluded that the difference in the response time of meteorological and groundwater droughts had a direct role in the extent of its influence from teleconnection events. So that the NAO phenomenon, which had a shorter periodicity than El Nino and IOD, was more significantly related to meteorological drought, which had a shorter response time. The hydrological drought, which has a longer response time, was more affected by El Nino teleconnection, which had a longer periodicity. The MJO phenomenon, which had the shortest periodicity among the studied teleconnection phenomena, had no significant relationship with the droughts of these plains.

Keywords: Groundwater drought, Groundwater Resource Index, Indian Ocean Dipole, North Atlantic Oscillation, Teleconnection phenomena.

Citation: Rafie Taghanaki Z. Nasr Esfahani M. A. and Mirabbasi Najafabadi R. 2023. Investigating the characteristics of meteorological drought and groundwater drought and its relationship with meteorological teleconnection patterns (Sefiddasht and Faradonbeh plains, Chaharmahal and Bakhtiari province). Iranian Water Research Journal. 52: ??-??. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14530.2556>