

توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک

محسن محمدی*

کارشناس ارشد رشته مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

حمید رضا مرادی

استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

مهدی وفاخواه

استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

خشکسالی یک پدیده تکرار شونده است و آثار آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود. هدف اصلی این پژوهش، مشخص کردن خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی و بررسی آثار آن بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی دشت اراک است. به این منظور شاخص بارش استاندارد (SPI) و سطح آب استاندارد (SWI) به عنوان شاخص‌های منتخب جهت بررسی خشکسالی‌های دشت اراک بر اساس داده‌های یازده ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری سی و یک ساله (۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵) و چهل و چهار عدد چاه پیژومتری با طول دوره آماری بیست و سه ساله (۱۳۶۴ تا ۱۳۸۶) در مقیاس زمانی دوازده ماهه استفاده شد. در ادامه گستره ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش‌های زمین‌آمار تعیین گردید. پهنه‌بندی نقشه‌ها نشان داد که از نظر ویژگی تداوم خشکسالی در منطقه، طولانی‌ترین تداوم‌ها در خشکسالی‌های هواشناسی در نواحی شرقی و در آب‌های زیرزمینی در غرب حوزه اتفاق افتاده است. در ایجاد همبستگی بین بارش و افت سطح ایستابی، بهترین ضریب همبستگی، -0.126 است که در سطح 0.05 معنی‌دار بوده و تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی را با یک تأخیر دو ماهه نمایان می‌کند.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص سطح آب استاندارد

مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از مهمترین بلایای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی، آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیر می‌گذارد (مرادی و همکاران، ۱۳۸۶، ۲)، (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸، ۱). این طبیعت مصیبت‌بار و مخاطره‌انگیز خشکسالی است که اهمیت شناسایی آن به کمک روش‌های مختلف آماری برای آمادگی به موقع و تخفیف خسارات وارده را نشان می‌دهد (Paulo و همکاران، ۲۰۰۵، ۱)، (Dessai & Mishra، 2006، 3). اولین گام در جهت ایجاد سیستم پیش-آگاهی یا مدیریت خطر، پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌هایی همچون درصد نرمال بارندگی (PNPI)، ناهنجاری بارش (RAI)، بارش استاندارد (SPI) و نظایر آن است. که با توجه به شرایط محیط و کاربرد، شاخص مناسب انتخاب می‌شود (رجبی، ۱۳۸۴، ۸). خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی در یک مکان به خشکسالی هیدرولوژی منجر می‌شود که بر اثر استرس به منابع آبی ایجاد می‌شود (Peter و همکاران، ۲۰۰۵، ۳). برای تجزیه و تحلیل این خشکسالی و تجزیه و

Email: mmohamadi62@gmail.com

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۳۶۲۸۸۹۱

تحلیل آمار جریان رودخانه‌ها تکنیک‌های گسترده‌ای استفاده شده است. ولی اغلب رودخانه‌ها به صورت فصلی بوده و اکثر مواقع خشک می‌باشند و فعالیت‌های کشاورزی در اکثر نقاط منحصراً به منابع آب‌های زیرزمینی وابسته می‌باشند، به همین دلیل در خشکسالی هیدرولوژیک باید نوسانات سفره‌های آب زیرزمینی بررسی شود (محمدی، م.، مرادی، ح. ر.، ۱۳۸۹، ۴). با توجه به این موارد بویان در سال ۲۰۰۴ شاخص سطح آب استاندارد (SWI^۱) را جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی‌های خشکسالی هیدرولوژیک ارائه نمود (Bhuiyan و همکاران، ۲۰۰۶، ۴). پژوهش‌هایی در ارتباط با این شاخص‌ها انجام شده است، از جمله Bhuiyan و همکاران از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI^۲)، سطح آب استاندارد (SWI) و شرایط پوشش گیاهی مبتنی بر داده‌های زمینی و سنجش از دور روند خشکسالی منطقه Aravalli در هند را مورد مطالعه قرار دادند. نقشه‌های خشکسالی که با استفاده از SPI در محیط GIS به دست آمده نشان داد که خشکسالی هواشناسی به صورت تصادفی در منطقه Aravalli در برخی از فصول و سال‌ها رخ می‌دهد. نقشه‌های خشکسالی که با استفاده از SWI در محیط GIS فراهم شده نیز مشخص کرد که در منطقه Aravalli موقعیت تنش‌های سفره‌های آبی از زمانی به زمان دیگر تغییر کرده و به صورت متناوب از شرق به غرب و برعکس نوسان داشته‌اند. مرادی و همکاران مشخصات خشکسالی استان فارس در محیط GIS را با استفاده از شاخص SPI مورد بررسی قرار دادند و قابلیت شاخص SPI را در پهنه‌بندی مشخصات خشکسالی به اثبات رساندند (مرادی و همکاران، ۱۳۸۶، ۳). به همین دلایل در تحقیق حاضر شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و سطح آب استاندارد (SWI) برای مطالعه تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در سطح دشت اراک استفاده شد. همچنین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در سطح دشت اراک انجام شده است که نشان دهنده قابلیت‌های شاخص‌های SPI و SWI جهت پایش خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش، تعیین گستره تداوم خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی و مشخص کردن ارتباط بین آنها است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد پژوهش

دشت اراک (حوزه آبخیز میقان) که پلایای میقان در مرکز آن قرار گرفته است، وسعتی بالغ بر ۵۴۸۳ کیلومتر مربع دارد و در غرب زون ایران مرکزی، در قسمت‌های مرکز و جنوب‌غربی استان مرکزی در طول جغرافیایی ۲۰°۴۹ تا ۱۸°۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳°۴۹ تا ۳۴°۴۴ شمالی واقع شده است (سیادت‌ی و انصاری، ۱۳۷۹، ۲).

داده‌های مورد استفاده

اولین گام در این پژوهش دسترسی به آمار و اطلاعات هواشناسی، آب‌های زیرزمینی و از جمله داده‌های بارندگی و سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری بود که این آمار بر اساس ایستگاه‌ها و مدارک دولتی که تا سال ۱۳۸۶ وجود داشت جمع‌آوری گردید. در این پژوهش از بارش‌های ماهانه ایستگاه‌های استان مرکزی و همچنین داده‌های ماهانه سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری برای بررسی خشکسالی‌ها استفاده شد. ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری در این پژوهش استفاده شدند، که دارای آمار طولانی مدت بوده تا شرایط مربوط به کفایت داده‌ها را تأمین کنند، نواقص آماری در آن‌ها کم باشد و پراکنش مناسبی در منطقه داشته باشند. با توجه به موارد بالا، پس از انتخاب ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری مناسب، دوره آماری ۳۱ ساله از سال آبی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵ برای داده‌های بارندگی و دوره آماری ۲۳ ساله از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۶ برای داده‌های سطح ایستابی انتخاب شدند. در دوره انتخابی آمار ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری دارای بیشترین تعداد

^۱ - Standardized Water-Level Index

^۲- Standardized Precipitation Index

بوده و به زمان حال نزدیکتر است. مشخصات هریک از ایستگاه‌های انتخابی در منطقه بر حسب مختصات جغرافیایی لامبرت در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده برای بررسی خشکسالی هواشناسی در دشت اراک

شماره	ایستگاه	عرض جغرافیایی (لامبرت)	طول جغرافیایی (لامبرت)	ارتفاع (متر)
۱	اراک	۳۸۶۲۱۲	۳۷۷۲۰۸۲	۱۷۰۸
۲	ساروق	۳۶۱۴۴۱	۳۸۰۸۹۲۵	۱۸۰۰
۳	آشتیان	۴۰۷۸۵۰	۳۸۲۱۳۵۸	۲۰۸۰
۴	داودآباد	۳۹۴۲۵۱	۳۷۹۵۹۰۱	۱۶۶۰
۵	خنداب ۱	۳۳۲۷۵۱	۳۸۰۷۴۵۱	۱۶۵۰
۶	خنداب ۲	۳۳۳۶۵۸	۳۸۰۸۳۰۰	۱۷۳۹
۷	قدمگاه	۳۵۸۶۹۷	۳۷۶۰۳۰۵	۱۸۰۰
۸	گوار	۳۷۷۶۷۳	۳۷۵۹۵۰۵	۱۹۷۰
۹	بندعباسی	۴۳۷۵۹۹	۳۸۶۳۳۹	۱۰۸۰
۱۰	عمارت	۳۶۸۶۰۷	۳۷۴۱۱۵۰	۲۱۰۰
۱۱	رازین	۴۰۹۶۷۰	۳۸۷۶۳۸۵	۱۳۹۰

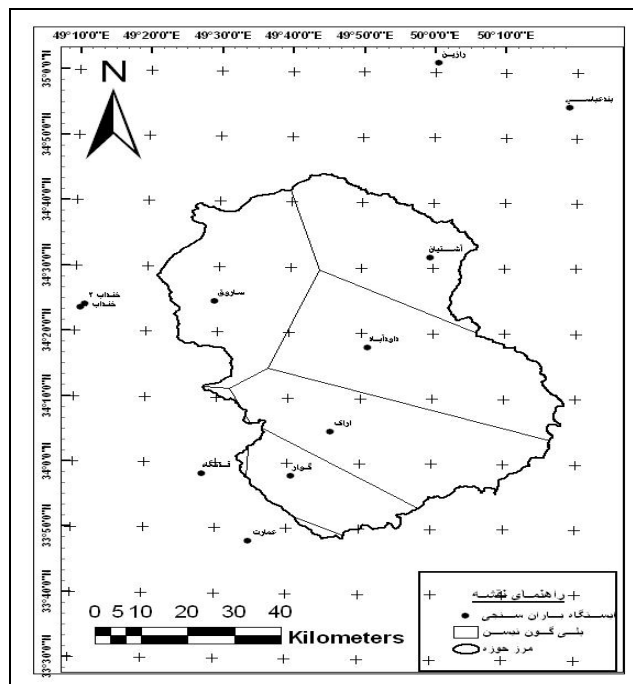
روش انجام پژوهش

برای تعیین رژیم بارشی منطقه، از روش تیسن استفاده گردید. به این ترتیب که با استفاده از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود پلی‌گون‌های تیسن ترسیم (شکل ۱) و با استفاده از رابطه ۱ بارش متوسط ماهانه منطقه تعیین شد.

رابطه ۱

$$P = \frac{\sum A_i * P_i}{\sum A_i}$$

که در آن P متوسط بارش منطقه‌ای حوزه، A_i سطح اثر تحت تأثیر ایستگاه و P_i بارش متوسط ماهانه ایستگاه i می‌باشد.



شکل ۱: نقشه منطقه تحت تأثیر هر ایستگاه به روش پلی‌گون تیسن

شاخص بارش استاندارد (SPI)

اساس شاخص بارش استاندارد (SPI) بر احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. SPI صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند. داده‌های تاریخی بارندگی یک ایستگاه با توزیع گاما برازش داده می‌شود. توزیع گاما $g(x)$ به وسیله تابع چگالی احتمال تعریف می‌شود. سپس احتمال توزیع تجمعی به توزیع نرمال استاندارد برای محاسبه SPI تغییر شکل داده می‌شود (۱۳). شدت خشکسالی‌ها می‌تواند توسط مقدار SPI تخمین زده شود. طبقات SPI در جدول ۲ نشان داده شده است (Mckee و همکاران، ۱۹۹۵، ۲).

جدول ۲: طبقه بندی شدت خشکسالی SPI

مقادیر SPI	طبقات خشکسالی	درصد در هر طبقه
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم	۲۴٪
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط	۹/۲٪
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید	۴/۴٪
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	۳/۲٪

شاخص سطح آب استاندارد (SWI)

شاخص SWI نیز که به عنوان مقیاسی جهت تعیین میزان کاهش تغذیه در آب‌های زیرزمینی هم می‌تواند باشد، با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$SWI = (W_{ij} - W_{im}) / \sigma$$

رابطه ۲

که در رابطه فوق: W_{ij} : سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری i تا j ، W_{im} : میانگین ماهانه آنها و σ : انحراف معیار می‌باشد. مقادیر محاسبه شده SWI طبقه بندی شده و جهت مشخص کردن شدت خشکسالی هیدرولوژیکی به کار می‌روند (جدول ۳). از آنجائیکه سطح آب‌های زیرزمینی از سطح زمین به پائین اندازه‌گیری می‌شوند، مقادیر مثبت SWI

نشان دهنده خشکسالی و مقادیر منفی آن نشان دهنده عدم خشکسالی یا شرایط نرمال می‌باشد (Bhuiyan و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳: طبقه‌بندی شاخص سطح آب استاندارد (SWI) (Bhuiyan و همکاران، ۲۰۰۶)

مقادیر SWI	طبقات خشکسالی
> 2	خشکسالی بسیار شدید
$> 1/5$	خشکسالی شدید
> 1	خشکسالی متوسط
> 0	خشکسالی ملایم
< 0	ترسالی

درون‌یابی

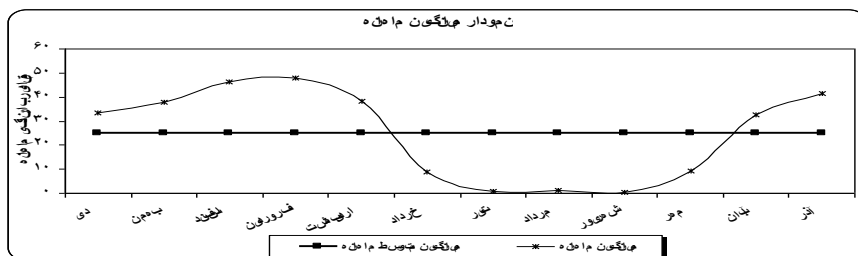
درون‌یابی^۱، برآورد ارزش نقاط در مناطق نمونه‌برداری شده در داخل ناحیه پوشیده از مشاهدات نقطه‌ای می‌باشد. در هر عملیات درون‌یابی، تصمیم اساسی این است که یک مدل آماری برای ایجاد ارتباط بین داده‌های نقطه‌ای انتخاب گردد (محمدی، ۱۳۸۵، ۵۵). دقت زیاد روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های آمار کلاسیک باعث شد که برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی‌های دشت اراک از روش‌های زمین‌آمار استفاده شود. در این تحقیق با توجه به این که داده‌های مربوط به ویژگی‌های خشکسالی در دشت اراک در هریک از ایستگاه‌ها به صورت مکانی بود، از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی و تحلیل فضایی ویژگی‌های خشکسالی‌های دشت اراک (طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی) استفاده شد (شکل‌های ۳ و ۴).

ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی روی تراز آب‌های زیرزمینی

به منظور ارزیابی اثرات خشکسالی روی منابع آب‌های زیرزمینی ابتدا با استفاده از مقادیر سالانه شاخص‌های بارش استاندارد و سطح آب استاندارد پهنه‌بندی خشکسالی‌های سالانه هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در سطح منطقه انجام شده و خشک‌ترین سال‌ها و به عبارتی آغاز خشکسالی‌ها از لحاظ دو ویژگی شدت و تداوم خشکسالی هواشناسی در طول دوره آماری مشخص گردید. نتایج حاصل به صورت نقشه‌هایی ارائه شده است. همین‌طور برای بررسی ارتباط خشکسالی‌ها با نوسان سطح آب زیرزمینی و انجام محاسبات و تحلیل‌های لازم از روش‌های همبستگی و رگرسیون خطی و توان گرافیکی و محاسباتی نرم افزارهای آماری^۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به روش کار، نتایج مربوط به رژیم بارندگی دشت اراک در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به شکل، بیشترین بارندگی‌های استان مرکزی (دشت اراک) در طول فصل پاییز، زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. مقدار بارندگی در تابستان به شدت کم می‌شود که این ویژگی نشان دهنده رژیم بارشی منطقه از نوع مدیترانه‌ای می‌باشد.



شکل ۲: میانگین ماهانه رژیم بارش منطقه‌ای دشت اراک

¹ - Interpolation

² - Excel- SPSS

نقشه تداوم خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در شکل ۳ ارائه شده است. در این مقیاس زمانی طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی در شرق حوزه به ویژه اطراف شهر آشتیان مشاهده می‌شود و به سمت جنوب و غرب حوزه از طول مدت تداوم‌ها کاسته شده است.

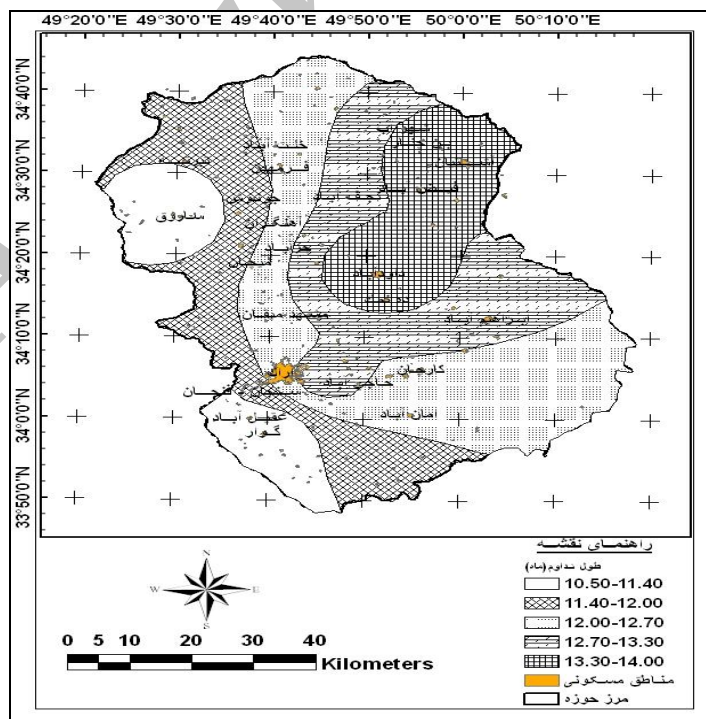
نقشه طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی آب‌های زیرزمینی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نیز در شکل ۴ ارائه شده است. طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی آب‌های زیرزمینی در این مقیاس زمانی در غرب حوزه مشاهده می‌شود و سایر مناطق دارای تداوم متوسطی می‌باشند.

به منظور تعیین کمی ارتباط بین بارش‌های ماهانه و نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت اراک، ضرایب همبستگی بین بارش ماهانه و نوسان ماهانه سطح آب به دست آمد (جدول ۵). این نتایج ضمن آن‌که ارتباط مستقیم بارش و سطح آب زیرزمینی را نمایان می‌کند، در مورد ارتباط همزمان بارش و سطح آب زیرزمینی از سطح اطمینان پایینی برخوردار است. ضعف ضریب همبستگی همزمان بین بارش و سطح آب عمدتاً به دو دلیل است. اول این‌که نفوذ آب ناشی از بارش و ذوب برف‌ها به عمق زمین و رسیدن به سطح آب زیرزمینی با تاخیر زمانی همراه است. دوم این‌که هم مقدار بارش ماهانه و هم مقدار برداشت از آب زیرزمینی آهنگ منظمی ندارد. ضرایب همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و بارش‌های یک تا سه ماه قبل نیز به ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است. این ضرایب نشان می‌دهد که بارش دو ماه قبل بالاترین ضریب همبستگی را با سطح آب زیرزمینی دارا می‌باشد. این ضریب همبستگی در سطح اطمینان ۵ درصد معنادار است. رابطه ۳ ارتباط خطی بین بارش دو ماه قبل و سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

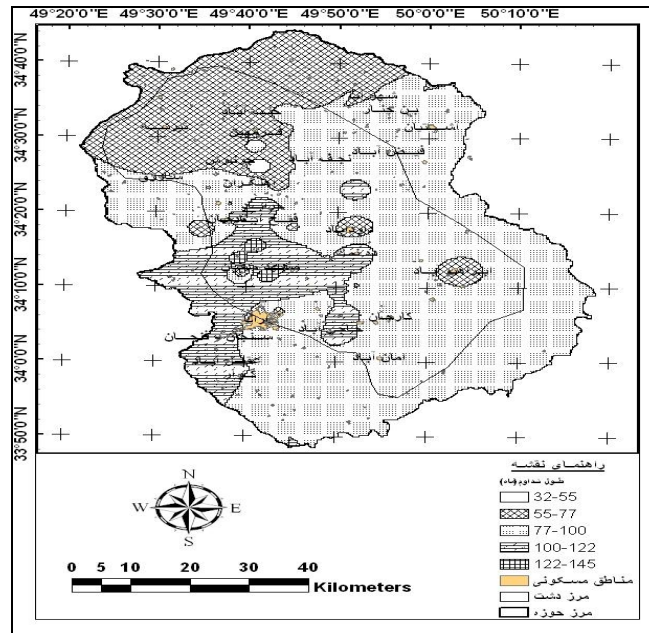
$$\text{PIZO} = -0.15 \text{P2L} + 23/15 \quad (\text{Radj} = 0.12) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن PIZO سطح آب زیرزمینی و P2L: بارش دو ماه قبل می‌باشند.

شکل ۵ ارتباط گرافیکی بارش ماهانه دو ماه قبل با سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. جهت ساده شدن مقایسه، مجموع بارش‌های ماهانه بر دو تقسیم و رقوم ارتفاع سطح آب زیرزمینی ابتدا در ۴ ضرب و سپس منهای ۵۰ شده است (عزیزی، ۱۳۸۲، ۵).



شکل ۳: گستره طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی هواشناسی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

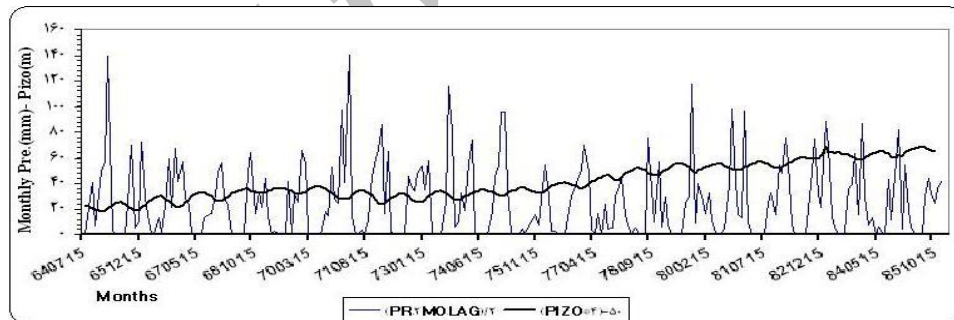


شکل ۴: گستره طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی آب‌های زیرزمینی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

جدول ۴: ضرایب همبستگی بین بارش‌های ماهانه و سطح آب زیرزمینی

بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه
چهار ماه قبل	سه ماه قبل	ماه قبل	یک ماه قبل	همزمان	بارندگی ماهانه
-۰/۰۸۳	-۰/۱۲۱	*-۰/۱۲۶	-۰/۱۰۵	-۰/۰۶۲	ضریب همبستگی
۰/۱۸۷	-۰/۰۵۴	۰/۰۴۶	۰/۰۹۶	۰/۳۲۷	سطح اطمینان
۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴	تعداد مشاهدات

***، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد



شکل ۵: ارتباط بارش دو ماه قبل و هیدروگراف ماهانه دشت اراک طی سال‌های ۶۴-۸۵ (برای سهولت مقایسه ارتفاع سطح آب زیرزمینی به صورت $Pizo \times 4 - 50$) و ارتفاع بارش به صورت $(Pre. 2Mo.Lag) / 2$ (اصلاح شده است).

نتیجه‌گیری

از نقطه نظر طولانی‌ترین تداوم‌های خشکسالی هواشناسی در منطقه، بخش‌های شمال شرقی و شرق حوزه از پتانسیل حساسیت بیشتری نسبت به سایر نواحی برخوردار می‌باشند. با توجه به این‌که وضعیت پراکنش بارش در منطقه ناهمگن می‌باشد، نواحی شرقی حوزه دارای نوسانات بارشی بیشتر بوده و کاهش نسبی بارندگی نواحی شرقی باعث طولانی‌تر شدن خشکسالی‌های هواشناسی شده است. طولانی‌ترین تداوم‌ها در خشکسالی آب‌های زیرزمینی در غرب حوزه اتفاق افتاده است. وجود تراکم جمعیتی و اراضی کشاورزی در کنار احداث کارخانجات صنعتی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی به ویژه به دلیل خشکسالی‌های هواشناسی در این نواحی باعث بروز چنین وضعیتی شده است. Panda و

همکاران (۲۰۰۷، ۵) و عزیز (۱۳۸۲، ۴) نیز در پژوهش‌های خود این مطلب را بیان کردند. نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی که با استفاده از SPI و SWI در محیط GIS بدست آمده نشان داد که خشکسالی هواشناسی با توجه به مشخصات خشکسالی‌ها، از نظر مکانی دارای روند مشخصی نمی‌باشند، در حالی که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به صورت تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آنها در نقاط مشخصی از حوزه که دارای تنش‌های بارشی و انسانی (از نظر تراکم جمعیت) می‌باشند، ایجاد شده است، که این مطلب در پژوهش‌های Panda و همکاران (۲۰۰۷، ۵) در منطقه Orissa در هند نیز حاصل شده است ولی Bhuiyan و همکاران (۲۰۰۶، ۴) از نظر تمرکز محل وقوع خشکسالی‌ها در منطقه Aravalli هند به نتایج مشخصی دست نیافتند.

منابع

- ۱- رجبی، منصور؛ (۱۳۸۴): بررسی مشخصات خشکسالی استان فارس در محیط GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۰.
- ۲- سیادت س. ب، انصاری ژ، (۱۳۷۹): تاثیر پدیده خشکسالی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی دشت اراک- استان مرکزی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، کرمان، ۹-۱۰ اسفند (۱۳۷۹): صص ۷۳۶-۷۴۱.
- ۳- عزیز ق، (۱۳۸۲): ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶: صص ۱۳۱-۱۴۳.
- ۴- محمدی ج، (۱۳۸۵): پدومتری (آمار مکانی)، انتشارات پلک، جلد دوم، تهران: ۴۵۳.
- ۵- محمدی، م، مرادی، ح. ر، وفاخواه، م، (۱۳۸۹): مشخصات خشکسالی و تأثیر آن روی نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی دشت اراک با رویکرد GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- محمدی، م، مرادی، ح. ر، (۱۳۸۹): پهنه بندی خشکسالی آب‌های زیرزمینی حوزه کویر میقان در محیط GIS جهت مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران (با تأکید بر تالاب کویری میقان اراک)، اراک، ۲۷-۲۸ خرداد ۱۳۸۹: صص ۶۴.
- ۷- مرادی ح. ر، رجبی م، فرج زاده م، (۱۳۸۶): تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۴ شماره ۱: صص ۱۰۹-۹۷.
- 8- Bhuiyan C., Singh R.P., Kogan F.N., 2006: Monitoring Drought Dynamics in The Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remot Sensing Data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 8, 2006, PP. 289-302.
- 9- Mckee B. T., Nolan J., Doesken N. J., Kleist J., 1995: Drought Monitoring With Multiple Timescales. 9th. Conference on Applied Climatology. 15-20, January. Boston, Massachusetts. PP: 233-236.
- 10- Mishra A.K., Dessai V.R., 2006: Drought Forecasting Using Feed-Forward Recursive Neural Network, Journal of Hydrology, Vol.198, Pp 127-138.
- 11 - Panda D.K, Mishra A., Jena S. K., James B.K., Kumar A., 2007: The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, India, Journal of Hydrology, Vol. 343, PP 140-153.
- 12- Paulo, A. A., Ferreira, E., Coelho, C. and Pereira, L.S. 2005. Drought class transition Analysis Through Markov and Log Linear Models, an Approach to Early Warning. Agriculture Water Management. 77. PP 59-81.
- 13- Peter E., Bier G., Lanen H. A. J., Torfs P., 2005: Propagation and Spatial Distribution of Drought in a Groundwater Catchment, Journal of Hydrology, Vol. 321, PP 257-275.
- 14- Sonmez, F.K., Komuscu, A. U., Erkan, A. and Turgu, E., 2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using The Standardized Precipitation Index. Natural Hazards, 35, PP. 243-264.