نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٦
صفحات٧٨- ٦١

پایش و تحلیل تطبیقی نقش خشکسالی هواشناسی بر تغییرات سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری دشت مرند

برومند صلاحی[1]، دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
مجید رضایی بنفشه درق، استاد اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
عبدالرضا واعظی، استادیار زمین شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
مجتبی فریدپور، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۹/۲۳

چکیده

در این پژوهش، دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و SWI در ۶ بازه زمانی (۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه) در دشت مرند واقع در استان آذربایجان شرقی، بررسی شد. برای این منظور، از داده‌های هواشناسی (متوسط بارش ماهانه) ۷ ایستگاه باران سنجی در دوره آماری (۹۱-۱۳۵۹) و داده‌های ماهانه سطح آب ۲۳ چاه پیزومتری در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) استفاده شد. نقشه‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis و با روش کریجینگ تهیه و ترسیم شدند که پهنه‌های درگیر خشکسالی در منطقه را نمایان ساخت. همچنین شدیدترین خشکسالی و فراوانی نسبی خشکسالی‌های هواشناسی و آب زیرزمینی در طول دوره آماری به دست آمد. نتایج بررسی مقادیر SPI نشان داد که خشکسالی هواشناسی از نظر مکانی دارای روند مشخصی نمی‌باشد در حالی که خشکسالی آب‌های زیرزمینی به طور تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن در غرب آبخوان بیش از شرق آن بوده است. جهت بررسی اثرات خشکسالی بر افت سطح ایستابی، بهترین همبستگی بین آن‌ها، ۰/۷۲۰- با تأخیر زمانی ۵ ماهه به دست آمد که در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی را با یک تأخیر ۵ ماهه نمایان می‌سازد. همچنین نتایج بررسی داده‌های ماهانه سطح آب دشت مرند در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) نشان داد که تراز آب زیرزمینی دشت دارای روند منفی بوده که با افت حدود ۲ متر مواجه بوده است.

واژگان کلیدی: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص SPI، شاخص SWI، دشت مرند.

۱ - نویسنده مسئول Email: bromand٤١٦@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که در ارتباط با فقدان منابع آب در دسترس در یک منطقه جغرافیایی بزرگ می‌باشد ممکن است در طول یک دوره زمانی طولانی رخ دهد(Roosi, ۲۰۰۰). خشکسالی نسبت به دیگر مخاطرات طبیعی مانند سیکلون‌ها و سیلاب‌ها به عنوان یک پدیده خاموش شناخته می‌شود (WMO, ۲۰۰۶). از جمله حوادث طبیعی که از نظر فراوانی و تعداد، بیش از سایر حوادث بر جمعیت‌های انسانی تأثیر داشته است، پدیده خشکسالی می‌باشد (Kogan, ۲۰۰۰ ؛ محمد نیا قرایی و همکاران، ۱۳۷۹). از طرفی خسارات ناشی از پدیده خشکسالی به‌صورت خزنده بوده و کمتر به خسارات ساختاری منجر می‌شود، به همین دلیل امدادرسانی در هنگام وقوع این پدیده بسیار پیچیده‌تر از سایر حوادث طبیعی می‌باشد(Peters, ۲۰۰۳). بویان و همکاران (Bhuiyan, et.al.,۲۰۰۶) (به نقل از محمدی و همکاران، ۱۳۹۱) با بهره‌گیری از شاخص‌های بارش استاندارد، سطح آب استاندارد و شرایط پوشش گیاهی بر مبنای بر داده‌های زمینی و سنجش از دور، به بررسی وضعیت خشکسالی منطقه آراوالی[۱] هند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سطح آب زیرزمین در دشت آراوالی از زمانی به زمان دیگر تغییر کرده و با جهت غربی و شرقی حوضه ارتباط دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). اکرامی و همکاران (Ekrami,et.al.,۲۰۱۳) با مطالعه اثر خشکسالی اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که با افزایش پایهٔ زمانی SPI همبستگی آن با GRI افزایش می‌یابد و تأخیر زمانی بین خشکسالی اقلیمی با آب‌شناختی در دشت یزد- اردکان یک تا دو سال است. ازینه و همکاران (Ezzine,et.al.,۲۰۱۴) با به‌کارگیری شاخص بارش استاندارد، شاخص سطح آب استاندارد و شاخص استاندارد پوشش گیاهی[۲] به بررسی خشکسالی در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه پرداختند. نتایج همبستگی خوبی بین SPI و SWI نشان داد. ساهو و همکاران (Sahoo, et.al., ۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی خشکسالی در دو ناحیه محروم موات[۳] و دهار[۴] در هندوستان پرداختند. نتایج این تحقیق دو دوره خشکسالی شدید در مناطق مذکور را در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. بوگدان و کاتارزینا (Bogdan and Katarzyna, ۲۰۱۷) در تحقیقی بر روی رودخانه ویستولا[۵] (مرکز لهستان) اثبات نمودند که خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI بر خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SWI تأثیر دارد.

در سطح کشور با توجه به رخداد خشکسالی، به‌عنوان ویژگی جدایی‌ناپذیر آب و هوای ایران، تأثیر این پدیده در آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ها و دشت‌های مختلف بررسی‌شده است. محمدی و شمسی‌پور (۱۳۸۲) تأثیر خشکسالی‌ها را بر آب‌های زیرزمینی دشت‌های شمال همدان بررسی کرده‌اند. این تحقیق هم نشان می‌دهد که خشکسالی با تأخیر ۹ ماهه بر روی آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارد. احمدی آخورمه و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی خشکسالی آب زیرزمینی در مرودشت استان فارس پرداختند. در این تحقیق از دو شاخص GRI و SWI استفاده شده است. نتایج به اثبات خشکسالی آب زیرزمینی در شمال و مرکز منطقه انجامیده است. بختیاری عنایت و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی به بررسی تأخیر زمانی آثار خشکسالی اقلیمی (SPI) بر خشکسالی آب‌شناختی (GRI) دشت هشتگرد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که از نظر خشکسالی آب‌شناختی، پیزومترهای دشت هشتگرد در سه گروه متفاوت گروه‌بندی می‌شوند. کریمی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز قره‌سو پرداختند. در این

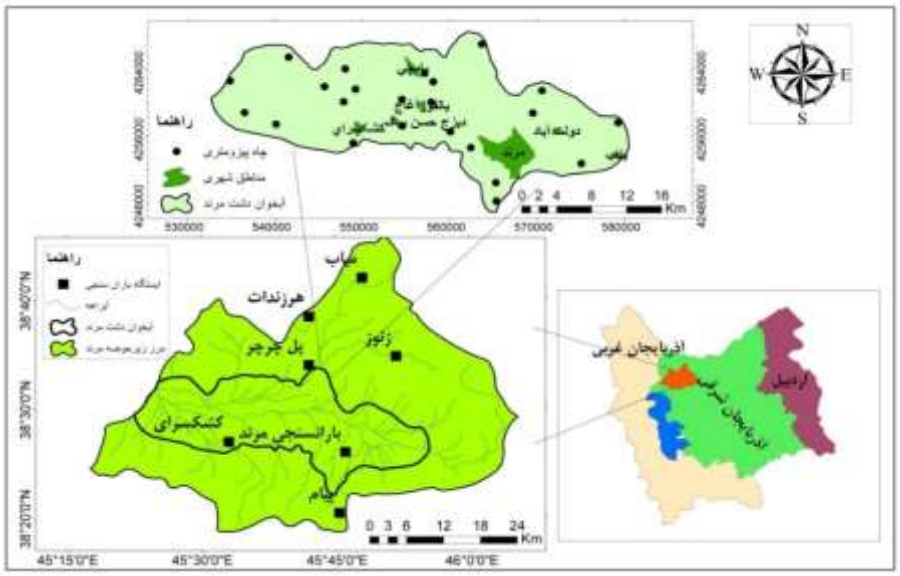
۱-Aravalli
۲- Index Vegetation Standard
۳- Mewat
٤- Dhar
٥- Vistula

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

تحقیق از شاخص‌های RAI، SIAP، SDI و SWI استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تأخیر یک تا دوساله در خشکسالی هیدرولوژیکی منطقه دارد. زینالی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند در آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که خشکسالی و کاهش بارندگی باعث افزایش برداشت از سطح آبخوان دشت مرند شده است. این روند بر میزان شاخص‌های کیفی آب مانند EC,SAR,CL تأثیر منفی گذاشته که باعث قرار گرفتن کیفیت آب دشت مرند در کلاس خیلی شور برای مصارف کشاورزی شده است. در تحقیق حاضر سعی شده است دوره‌های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی را در بازه‌های زمانی ماهانه و سالانه و همچنین پهنه‌های درگیر خشکسالی در دشت مرند را شناسایی کرده و تأخیر زمانی بین دو شاخص خشکسالی موردنظر محاسبه گردد. لذا می‌طلبد در این زمینه تحقیقات گسترده‌تری صورت گرفته تا زوایای تازه‌ای از پایش خشکسالی و اثرات آن بر کمیت منابع آب‌های زیرزمینی آشکار گردد.

داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دشت مرند با مختصات ۴۵ درجه و ۱۵ تا ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی، به همراه ۷ ایستگاه باران‌سنجی در زیر حوضه آبریزی به همین نام در شمال غرب ایران و در ۶۰ کیلومتری شمال تبریز می‌باشد. وسعت کل زیرحوضه مرند ۱۹۴۱/۵۴ کیلومترمربع می‌باشد که حدوداً ۵۱۷/۴۲ کیلومترمربع آن را دشت (پهنه آبرفتی) مرند تشکیل می‌دهد. دو رودخانه اصلی این زیرحوضه؛ زیلبرچای و زنوزچای می‌باشند که پس از اتصال به رودخانه قطور چای و سپس ارس، به حوضه آبریز دریای خزر می‌ریزند.



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه، محدوده حوضه و موقعیت ایستگاه‌ها و چاه‌های پیزومتری

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی (متوسط بارش ماهانه) ۷ ایستگاه باران‌سنجی از سازمان هواشناسی آذربایجان شرقی در دوره آماری (۹۱-۱۳۵۹)، داده‌های ماهانه سطح آب ۲۳ چاه پیزومتری از شرکت آب منطقه‌ای در دوره آماری (۹۰-۱۳۸۰) تهیه و پس از مرتب کردن داده‌ها در محیط Excel، نواقص آماری را با استفاده از رگرسیون خطی در محیط نرم‌افزار Minitab را برطرف و آماده تحلیل گردید (مشخصات ایستگاه‌ها و همچنین شدیدترین خشکسالی‌ها در جداول ۲ و ۳).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

شاخص بارندگی استانداردشده (SPI) توسط مک کی و همکاران (Mckee,et.al.,۱۹۹۳, ۱۹۹۵) ارائه شد. این شاخص برای بازه‌های زمانی مختلف قابل‌محاسبه است و جهت ارائه هشدار و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی و جریان آب‌های سطحی در ایجاد نابهنجاری‌های درازمدت در بارش مؤثر می‌باشد، لذا شاخص SPI اساساً برای بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌شود. نمایه SPI به‌عنوان مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و همچنین ترسالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۵). مقادیر مثبت بیانگر بارش بیشتر از مقدار متوسط و مقادیر منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط بارش می‌باشد و چون شاخص SPI نرمال است اقالیم خشک و مرطوب را می‌توان با یک روش نشان داد (ساری،۱۳۹۰: ۷۶). این مقیاس‌های زمانی متفاوت، اثرات ویژه‌ی خشکسالی را بر روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف بیان می‌کند و دقت محاسبات را بالا می‌برد. شاخص SPI در مطالعه تأثیرات کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه‌ها، کارایی مناسبی دارد (قلی زاده، ۱۳۸۳: ۸۲). به‌صورت خلاصه معادله محاسباتی این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

$$SPI = \frac{X_{ij} \quad X_{im}}{\wp} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا σ انحراف معیار بوده و Xij بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی i، با j تعداد مشاهده، X_{im} میانگین درازمدت بارندگی است. در ادامه پنج طبقه از جدول شاخص SPI اشاره شده است (جدول ۱). جهت ارزیابی دوره‌های خشکسالی در دشت مرند از شاخص سطح آب استانداردشده (SWI[۱]) استفاده شد. شاخص سطح آب استانداردشده توسط بویان و همکاران (Bhuiyan,et.al.,۲۰۰۶) ارائه شده و هدف از آن بررسی نوسانات و آنومالی‌های سطح آب زیرزمینی بوده است. معادله محاسباتی این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

$$SWI = \frac{W_{ij} \quad W_{im}}{\wp} \qquad (۲)$$

در این رابطه همانند رابطه بارش استاندارد شده σ انحراف معیار جامعه آماری مورد تحلیل می‌باشد و Wij عبارت است از متوسط فصلی سطح آب در چاه مورد مطالعه i، با j تعداد مشاهده، W_{im} عبارت از میانگین درازمدت است. جدول ۱ شاخص‌های SPI و SWI را در پنج طبقه نشان می‌دهد.

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SPI و SWI

طبقه خشکسالی	مقدار عددی SPI	مقدار عددی SWI
خشکسالی بسیار شدید	<=-۲	>=۲
خشکسالی شدید	-۱/۵تا -۱/۹۹	۱/۵ تا ۱/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱تا -۱/۴۹	۱ تا ۱/۴۹
خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹
بدون خشکسالی	<۰/۰	<۰/۰

۱ - Standardize Water Level Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

یکی از موارد قابل‌بررسی در شاخص‌های SPI و SWI، محاسبه تداوم و فراوانی مطلق خشکسالی‌ها می‌باشد. منظور از مدت یا تداوم خشکسالی، ماه‌های متوالی با مقادیر منفی SPI و مثبت SWI می‌باشد. در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تداوم‌های شدید چه ازنظر طول و چه ازنظر بزرگی آن، تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی یا مقادیر منفی SPI و مثبت SWI محاسبه و بزرگی آن تعیین گردید. فراوانی مطلق خشکسالی یکی دیگر از ویژگی‌های موردبررسی در این‌گونه مطالعات می‌باشد. این ویژگی عبارت از تعداد ماه‌های مواجه با خشکسالی در طول مدت آماری مورد تحقیق می‌باشد. همچنین از تقسیم ماه‌های دچار خشکسالی بر کل ماه‌های مورد مطالعه فراوانی نسبی خشکسالی در هر ایستگاه به دست می‌آید.

به منظور بررسی وابستگی سطح آب زیرزمینی در دشت مرند و شاخص خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS ٢٢ استفاده گردید. به همین منظور مقادیر SPI ۶ تا ۴۸ ماهه با مقادیر SWI در همین بازه زمانی به‌طور هم‌زمان و در تأخیرهای ۱ تا ۱۲ ماهه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون که مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیار آن‌ها تنظیم‌شده است، در سطوح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد با استفاده از رابطه زیر مورد بررسی قرار گرفت (Khan et all, ٢٠٠٨) (رابطه ۳):

$$p_{xy} = \frac{\mathrm{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \qquad (۳)$$

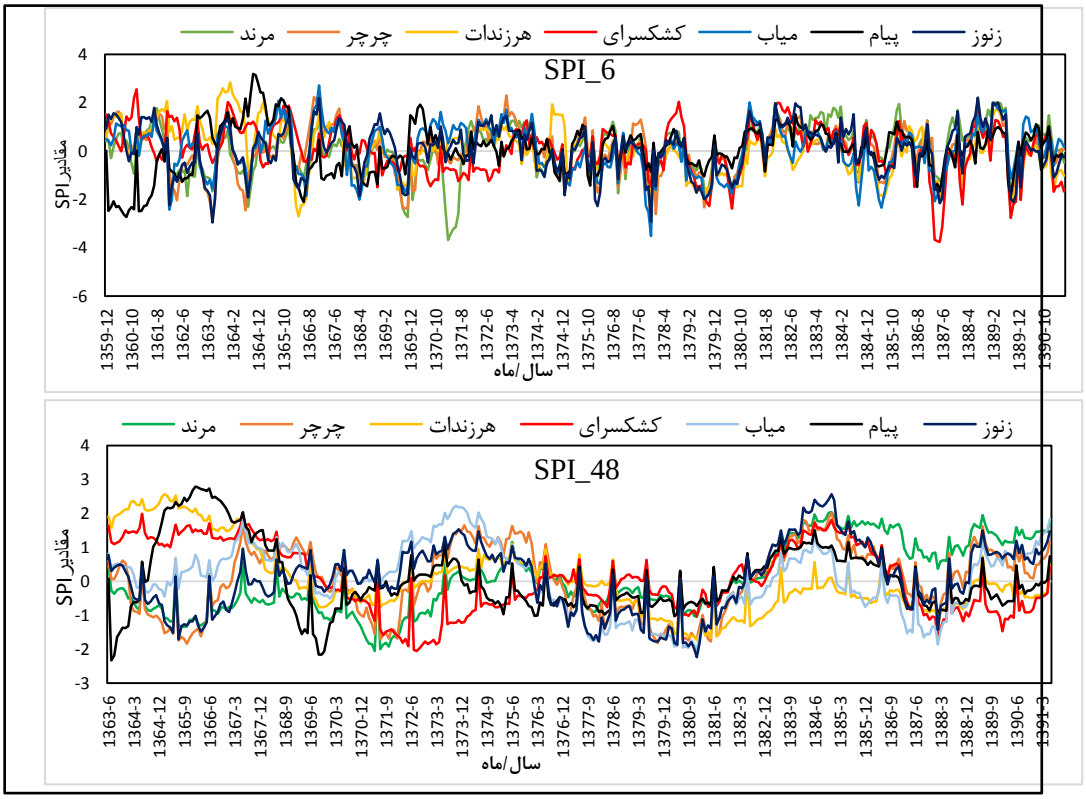
در این رابطه p_{xy}: ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و سطح آب استاندارد شده؛ X: مقدار بارش استاندارد در یک ماه خاص و Y: سطح ایستابی در همان ماه است. برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی از نرم‌افزار DIP[1] استفاده شد. جهت بررسی سری زمانی شاخص‌ها و همچنین انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای Minitab و Excel و همچنین افزونه XLStat استفاده شد. ادامه پس از مشخص کردن دوره‌های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به‌منظور فرایند درون‌یابی در نرم‌افزار Arc Gis، از عملگر Geostatistical Analyst استفاده شد.

شرح و تفسیر نتایج

به‌منظور تشخیص دوره‌های خشکسالی، از شاخص SPI در بازه‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای ایستگاه‌های منتخب در منطقه استفاده شد. شکل ۲ نتایج شاخص خشکسالی SPI را در مقیاس ۶ ماهه به‌عنوان مقیاس کوتاه‌مدت و ۴۸ ماهه، به‌عنوان مقیاس بلندمدت را نشان می‌دهد.

١ -Drought Indices Pakage

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



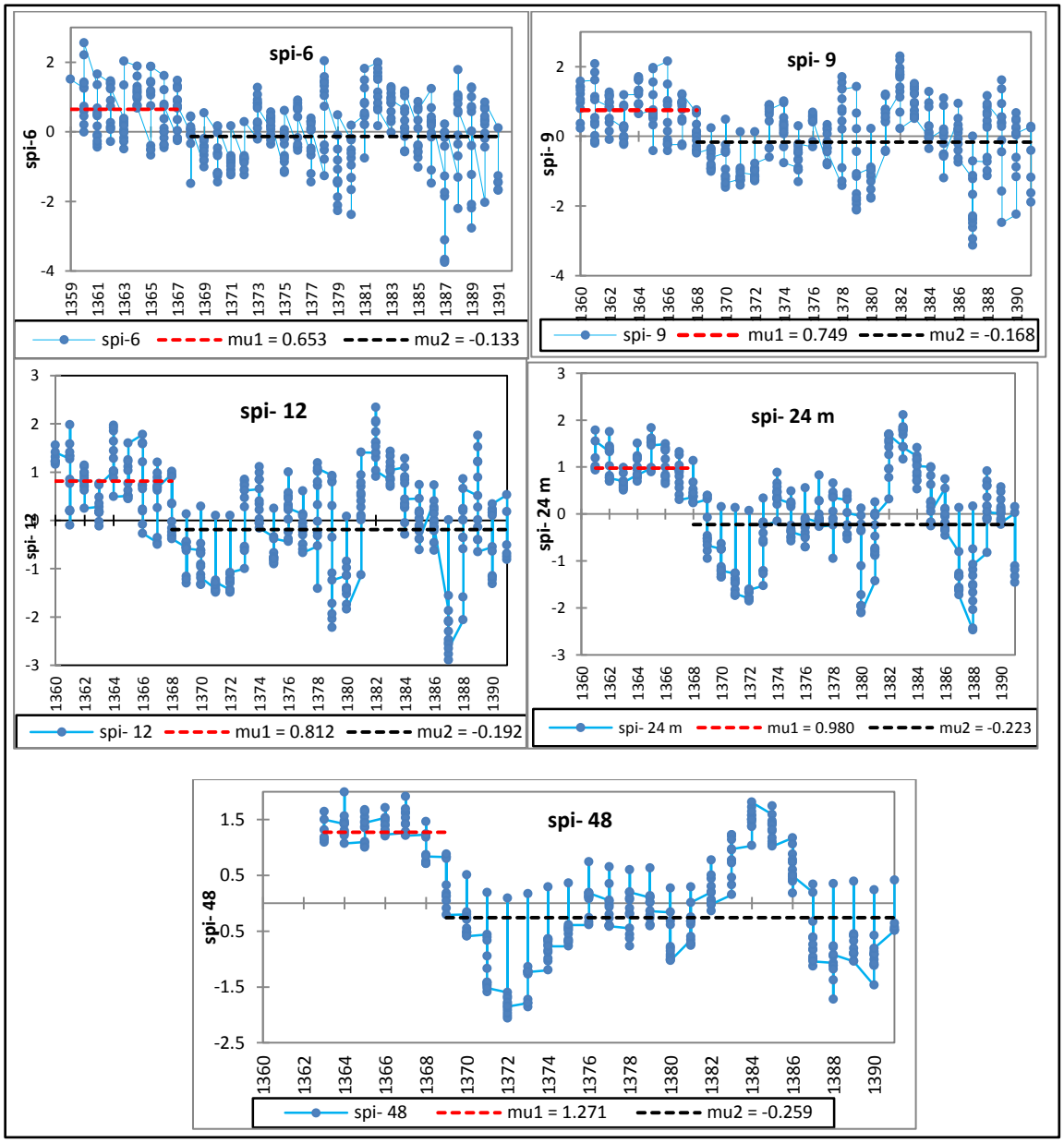
شکل ۲: دوره‌های خشکسالی و ترسالی در مقیاس ۶ و ۴۸ ماهه در ایستگاه‌های منتخب

خشکسالی در مقیاس کوتاه‌مدت دارای نوسان و شدت‌های بالا می‌باشد و چنانچه خشکسالی تداوم داشته باشد در مقیاس‌های بلندمدت با شدت کم و تداوم زیاد خود را نشان می‌دهد. در این پژوهش با توجه به بازه زمانی در دسترس داده‌های سطح آب زیرزمینی در دشت مرند و با توجه به هدف این مقاله، به تفسیر نتایج شاخص SPI از سال ۱۳۸۰ تا پایان دوره آماری پرداخته می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۲ نیز قابل مشاهده است شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۶ ماهه در ایستگاه کشکسرای در مردادماه ۱۳۸۷ اتفاق افتاده است (SPI=-۳,۷۶) و اگر شروع این خشکسالی را از مهرماه ۱۳۸۶ یعنی زمانی که مقادیر SPI منفی شده‌اند، در نظر گرفته شود تا مردادماه ۱۳۸۸ همزمان با مثبت شدن مقادیر SPI به طول انجامیده است که در مجموع طول دوره خشکسالی ۲۳ ماه محاسبه شده است. در مقیاس ۴۸ ماهه مقدار شدت خشکسالی در این ایستگاه کم و به تداوم دوره افزوده شده است به طوری که خشکسالی از فروردین‌ماه ۱۳۸۷ شروع شده و تا پایان دوره آماری به مدت ۵۳ ماه یعنی تا شهریورماه ۱۳۹۱ ادامه داشته است.

در ادامه به منظور بررسی سری زمانی خشکسالی، ایستگاه کشکسرای به‌عنوان نمونه بررسی می‌گردد (شکل ۳) و در جدول ۲ شدیدترین خشکسالی و فراوانی نسبی خشکسالی برای تمامی ایستگاه قابل‌مشاهده می‌باشد. با توجه به نتایج شکل ۳ مشاهده می‌شود که یک دوره ترسالی متوسط از ابتدای دوره آماری تا سال‌های ۷۰-۶۹ در منطقه حاکم بود است، به‌طوری‌که در انتهای این دوره با کاهش ناگهانی بارندگی (سال‌های ۷۰-۶۹)، یک دوره کم بارشی تا پایان سری زمانی مورد مطالعه شکل‌گرفته است. با توجه به نتایج SPI حتی بارندگی‌های سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴ نیز این روند کم بارشی و را نتوانسته‌اند جبران کنند. چنانچه نتایج سری زمانی شاخص SPI در ایستگاه کشکسرای را به دو دوره ترسالی و خشکسالی تقسیم نماییم، مشاهده می‌شود که در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت ۶ و ۴۸ ماهه مقدار میانگین این شاخص برای دوره ترسالی (۱۳۵۹ تا ۱۳۶۹) SPI ۶= ۰,۶۵۳ و SPI ۴۸= ۱,۲۷۱ و برای دوره کم بارشی (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

میانگین شاخص SPI در کل دوره در مقیاس زمانی ۶ ماهه برابر با ۰/۱۳۳- و در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه برابر با ۰/۲۵۹- می‌باشد. با توجه به نتایج شکل ۳ هرچقدر از بازه زمانی ۶ ماهه به بازه زمانی ۴۸ ماهه نزدیک شویم بر میزان میانگین شاخص SPI افزوده‌شده به‌طوری‌که می‌توان چنین نتیجه گرفت که عدد میانگین در مقیاس‌های زمانی بلندمدت حاصل جمع مقادیر SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر است که ممکن است بالاتر و یا پایین‌تر از نرمال قرار بگیرند. به‌طورکلی هرچقدر بازه زمانی خشکسالی افزایش یابد، تعداد خشکسالی‌ها کم و بر تداوم آن‌ها افزوده می‌شود. تداوم خشکسالی در بازه‌های زمانی بلندمدت، برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب و نوسان سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری کاربرد دارد.



شکل ۳: وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه نمونه (کشکسرای) در مقیاس‌های زمانی مختلف

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول ۲: شدیدترین مقدار مشاهده‌شده و فراوانی نسبی خشکسالی‌های هواشناسی در منطقه

نام ایستگاه	ویژگی‌های خشکسالی	مقیاس‌های زمانی خشکسالی هواشناسی (ماهانه)					
		۶	۹	۱۲	۱۸	۲۴	۴۸
پل چرچر	شدیدترین مقدار SPI	-۳,۰۲	-۲,۸۴	-۲,۷۳	-۲,۳۷	-۲,۲۱	-۱,۸۴
	ماه/سال	بهمن‌ماه ۱۳۷۷	اسفندماه ۱۳۶۹	فروردین‌ماه ۱۳۷۰	تیرماه ۱۳۶۳	فروردین‌ماه ۱۳۷۰	دی‌ماه ۱۳۶۵
	درصد فراوانی نسبی	۴۳	۴۶	۴۸	۴۹	۴۹	۴۵
پیام	شدیدترین مقدار SPI	-۲,۷۳	-۳,۰۵	-۳,۲۷	-۳,۲۶	-۳,۱۳	-۲,۲۳
	ماه/سال	آبان ماه ۱۳۶۰	اسفندماه ۱۳۶۰	اردیبهشت‌ماه ۱۳۶۱	شهریورماه ۱۳۶۱	مهرماه ۱۳۶۱	مهرماه ۱۳۶۳
	درصد فراوانی نسبی	۴۴	۴۵	۴۶	۴۴	۴۹	۵۶
زنوز	شدیدترین مقدار SPI	-۲,۹۵	-۲,۴۱	-۲,۳۸	-۲,۳۹	-۲,۴۴	-۲,۲۴
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۶۳	دی‌ماه ۱۳۷۹	بهمن‌ماه ۱۳۷۹	مهرماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰
	درصد فراوانی نسبی	۴۲	۴۵	۴۹	۴۹	۴۹	۴۵
کشکسرای	شدیدترین مقدار SPI	-۳,۷۶	-۳,۱۳	-۲,۸۹	-۲,۴	-۲,۴۸	-۲,۰۶
	ماه/سال	مردادماه ۱۳۸۷	شهریورماه ۱۳۸۷	دی‌ماه ۱۳۸۷	بهمن‌ماه ۱۳۸۷	فروردین‌ماه ۱۳۸۸	آبان ماه ۱۳۷۲
	درصد فراوانی نسبی	۴۵	۴۵	۴۲	۴۲	۴۴	۴۹
مرند	شدیدترین مقدار SPI	-۳,۶۸	-۳,۴۸	-۲,۴۹	-۲,۱۱	-۲,۴۹	-۲,۰۶
	ماه/سال	خردادماه ۱۳۷۱	شهریورماه ۱۳۷۱	خردادماه ۱۳۷۱	آذرماه ۱۳۷۱	خردادماه ۱۳۷۱	مردادماه ۱۳۷۱
	درصد فراوانی نسبی	۴۱	۴۵	۴۸	۴۸	۵۱	۵۲
میاب	شدیدترین مقدار SPI	-۳,۵۱	-۲,۳۱	-۲,۲۴	-۲,۵۴	-۲,۳۶	-۲,۰۳
	ماه/سال	بهمن‌ماه ۱۳۷۷	بهمن‌ماه ۱۳۷۹	اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۰	آبان ماه ۱۳۸۰	آبان ماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰
	درصد فراوانی نسبی	۴۲	۴۲	۴۳	۴۸	۴۵	۴۳
هرزندات	شدیدترین مقدار SPI	-۲,۷	-۲,۱۹	-۲,۲	-۲,۲۲	-۲,۳۲	-۱,۷۳
	ماه/سال	تیرماه ۱۳۶۶	مهرماه ۱۳۶۶	آذرماه ۱۳۷۹	مردادماه ۱۳۸۰	آبان‌ماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰
	درصد فراوانی نسبی	۴۳	۴۶	۴۹	۴۹	۴۸	۵۶

در این بخش به‌منظور بررسی نوسان سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری از شاخص SWI در بازه‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد. شکل ۴ نتایج سری زمانی SWI برای پیزومتر قره قوم (W ۱) به‌عنوان نماینده ورودی دشت و پیزومتر غرب مرند (W۶) به‌عنوان نماینده خروجی دشت و جدول ۳ شدیدترین خشکسالی و فراوانی نسبی خشکسالی در دشت مرند را نشان می‌دهند. همان‌طور که در سری زمانی SWI قابل مشاهده است، در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت نوسان مقادیر خشکسالی زیاد بوده ولی در بازه‌های زمانی بلندمدت با افزایش تداوم مقادیر SWI می‌توان زمان شروع افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی را تشخیص داد. به‌طوری‌که در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴ که میزان بارش در منطقه مناسب بوده است، سری زمانی شاخص SWI دارای مقادیر منفی بوده که نشان‌دهنده کاهش برداشت و یا پایداری سطح ایستابی است ولی با شروع خشکسالی هواشناسی از سال ۱۳۸۵ و تداوم آن تا پایان دوره آماری مشاهده می‌شود که افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی شدت یافته و در بازه‌های زمانی ۶ تا ۴۸ ماهه این روند افزایش برداشت کاملاً مشهود می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۴: وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های پیزومتر نمونه (قره قوم) در مقیاس‌های زمانی مختلف

جدول ۳: شدیدترین مقدار مشاهده‌شده و فراوانی نسبی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در منطقه

نام ایستگاه و کد چاه	ویژگی‌های خشکسالی	مقیاس‌های زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی (ماهانه)					
		۶	۹	۱۲	۱۸	۲۴	۴۸
قره قوم W ۱	شدیدترین مقدار SWI	۲،۲۵	۲،۲۴	۲،۳۱	۲	۱،۹۶	۱،۶۳
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۰	آذرماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰	شهریورماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۸
	درصد فراوانی نسبی	۵۹	۵۷	۵۶	۵۷	۶۹	۵۸
کندلج W ۲	شدیدترین مقدار SWI	۲،۲۵	۲،۲۴	۲،۴۴	۱،۹۷	۱،۹۵	۱،۸۳
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۰	شهریورماه ۱۳۸۰	اسفندماه ۱۳۸۰	شهریورماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۳	۵۲	۵۶	۵۷	۵۹	۵۹
اسداغی W ۳	شدیدترین مقدار SWI	۱،۹۴	۲،۰۷	۲،۱۵	۱،۹۶	۲،۲۱	۲،۴۸
	ماه/سال	دی‌ماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۰	۵۳	۵۵	۵۳	۵۱	۵۱
بهرام W ۴	شدیدترین مقدار SWI	۲،۸۷	۲،۷۱	۲،۴۴	۲،۷۳	۲،۲۱	۲،۲۱
	ماه/سال	اسفندماه ۱۳۸۱	بهمن‌ماه ۱۳۸۱	فروردین‌ماه ۱۳۸۲	تیرماه ۱۳۸۲	بهمن‌ماه ۱۳۸۲	بهمن‌ماه ۱۳۸۲
	درصد فراوانی نسبی	۵۰	۵۳	۵۲	۵۱	۵۱	۶۶
کشکسرای W ۵	شدیدترین مقدار SWI	۲،۴۴	۲،۲۴	۲،۲۱	۲،۰۱	۲،۴۳	۲،۴۶
	ماه/سال	مردادماه ۱۳۹۰	فروردین‌ماه ۱۳۸۹	اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۹	تیرماه ۱۳۹۰	مردادماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۰	۴۶	۴۶	۴۵	۶۴	۴۰
غرب مرند ۱ W ۶	شدیدترین مقدار SWI	۲،۳۱	۲،۳۹	۲،۳۱	۲،۰۶	۲،۲۲	۲،۱۴
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۹	۶۲	۶۳	۶۵	۶۴	۴۸

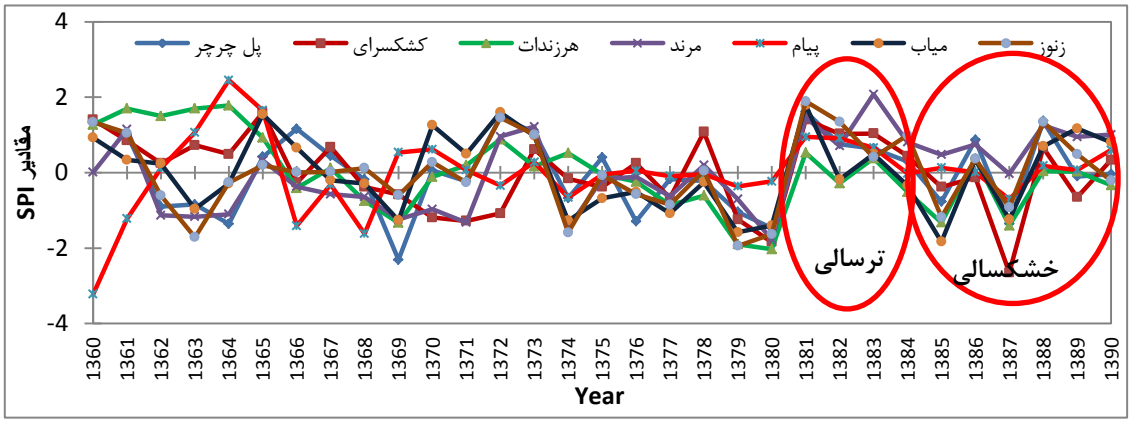
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

ادامه جدول ۳: شدیدترین مقدار مشاهده‌شده و فراوانی نسبی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در منطقه

۴،۵	ویژگی‌های خشکسالی	مقیاس‌های زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی (ماهانه)					
		۶	۹	۱۲	۱۸	۲۴	۴۸
حسین بیک W ۷	شدیدترین مقدار SWI	۱،۹۶	۱،۹۷	۲	۱،۹۸	۱،۹۹	۱،۹۳
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۲	آذرماه۱۳۸۲	اسفندماه ۱۳۸۱	شهریورماه ۱۳۸۲	اسفندماه ۱۳۸۲	اسفندماه ۱۳۸۳
	درصد فراوانی نسبی	۴۶	۴۶	۴۵	۴۵	۴۶	۴۸
غرب مرند ۲ W ۸	شدیدترین مقدار SWI	۱،۷۵	۱،۷۲	۱،۷۳	۱،۸۴	۱،۸۴	۱،۹
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۷	۵۶	۵۵	۵۲	۵۰	۵۲
غرب ابرغان W ۹	شدیدترین مقدار SWI	۲،۳	۲،۳۷	۲،۲۹	۲،۱۶	۲،۵۷	۲،۰۹
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۱	آبان ماه ۱۳۸۱	آذرماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۳
	درصد فراوانی نسبی	۵۴	۵۱	۵۱	۵۲	۴۷	۵۲
دولت‌آباد W ۱۰	شدیدترین مقدار SWI	۱،۴۳	۱،۴	۱،۳۹	۱،۴۸	۱،۴۵	۱،۵۹
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۹	آذرماه ۱۳۸۹	اسفندماه ۱۳۸۹	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۶۱	۵۱	۶۱	۶۱	۶۰	۶۱
قرمزی قشلاق W ۱۱	شدیدترین مقدار SWI	۳،۵۱	۲،۴۷	۲،۴۲	۲،۵۱	۲،۴۶	۲،۳۴
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۴۶	۴۴	۴۵	۴۵	۴۷	۴۸
یالقوز آغاج W ۱۲	شدیدترین مقدار SWI	۲،۶۱	۲،۶۹	۲،۶۶	۲،۵۹	۲،۶۷	۲،۶۶
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	بهمن‌ماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۰	۵۰	۵۴	۵۰	۵۲	۵۳
اراضی مرکید W ۱۳	شدیدترین مقدار SWI	۱،۶۸	۱،۶۹	۱،۶۸	۱،۷۴	۱،۷۴	۱،۸۴
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۶۱	۶۱	۶۴	۶۰	۶۰	۶۱
قراجه محمد W ۱۴	شدیدترین مقدار SWI	۲،۹۲	۲،۷۹	۲،۶۹	۲،۸۲	۲،۷	۲،۵
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۳۹	۳۹	۴۰	۳۷	۴۰	۴۴
ساری تپه W ۱۵	شدیدترین مقدار SWI	۲،۵	۲،۵۳	۲،۵۵	۲،۵	۲،۵۷	۲،۴۴
	ماه/سال	مردادماه ۱۳۸۱	آبان ماه ۱۳۸۱	بهمن‌ماه ۱۳۸۱	شهریورماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۳
	درصد فراوانی نسبی	۳۵	۳۵	۳۶	۳۷	۳۹	۳۵
محمد قاطران W ۱۶	شدیدترین مقدار SWI	۲،۵۷	۲،۲۴	۲،۱۸	۱،۹۳	۲،۰۶	۲،۱۴
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۸	بهمن‌ماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	دی‌ماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۰	۴۶	۴۸	۴۷	۵۰	۴۸
محمد گله بان W ۱۷	شدیدترین مقدار SWI	۱،۶۸	۱،۷۳	۱،۷۵	۱،۸۲	۱،۸۲	۲
	ماه/سال	فروردین‌ماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۲	۵۲	۵۵	۵۱	۵۵	۴۸
قرخلار W ۱۸	شدیدترین مقدار SWI	۲،۰۵	۲،۰۳	۲،۰۳	۲،۲	۲،۱۶	۲
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۷	۵۶	۵۵	۵۷	۶۰	۵۳
یامچی W ۱۹	شدیدترین مقدار SWI	۱،۶۶	۱،۷۵	۱،۸۱	۱،۸۳	۱،۸۵	۱،۹۵
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۸	۵۶	۵۵	۵۷	۵۷	۴۸
اراضی یامچی W ۲۰	شدیدترین مقدار SWI	۱،۱۴	۱،۱۸	۱،۲۸	۱،۲۷	۱،۳۶	۱،۴۹
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۰	آذرماه ۱۳۸۵	اسفندماه ۱۳۸۵	شهریورماه ۱۳۸۶	اسفندماه ۱۳۸۵	اسفندماه ۱۳۸۷
	درصد فراوانی نسبی	۷۶	۷۵	۷۰	۷۱	۶۹	۶۱
شرق گله بان W ۲۱	شدیدترین مقدار SWI	۱،۸۷	۱،۷۵	۱،۸۵	۱،۷۶	۱،۸۴	۱،۷۶
	ماه/سال	فروردین‌ماه ۱۳۹۰	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۸	۵۸	۶۰	۶۳	۶۳	۶۱
قمیش آغل W ۲۲	شدیدترین مقدار SWI	۱،۵۶	۱،۵۶	۱،۶۱	۱،۶۶	۱،۶۶	۱،۷۸
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۸	آذرماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	شهریورماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰	اسفندماه ۱۳۹۰
	درصد فراوانی نسبی	۵۷	۵۹	۵۷	۵۸	۶۰	۶۱
چر چر W ۲۳	شدیدترین مقدار SWI	۲،۰۲	۲،۱۲	۲،۱۵	۲،۲	۲،۴۳	۲،۱
	ماه/سال	شهریورماه ۱۳۸۱	آذرماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۱	اسفندماه ۱۳۸۳
	درصد فراوانی نسبی	۶۱	۵۸	۵۷	۵۲	۵۳	۵۸

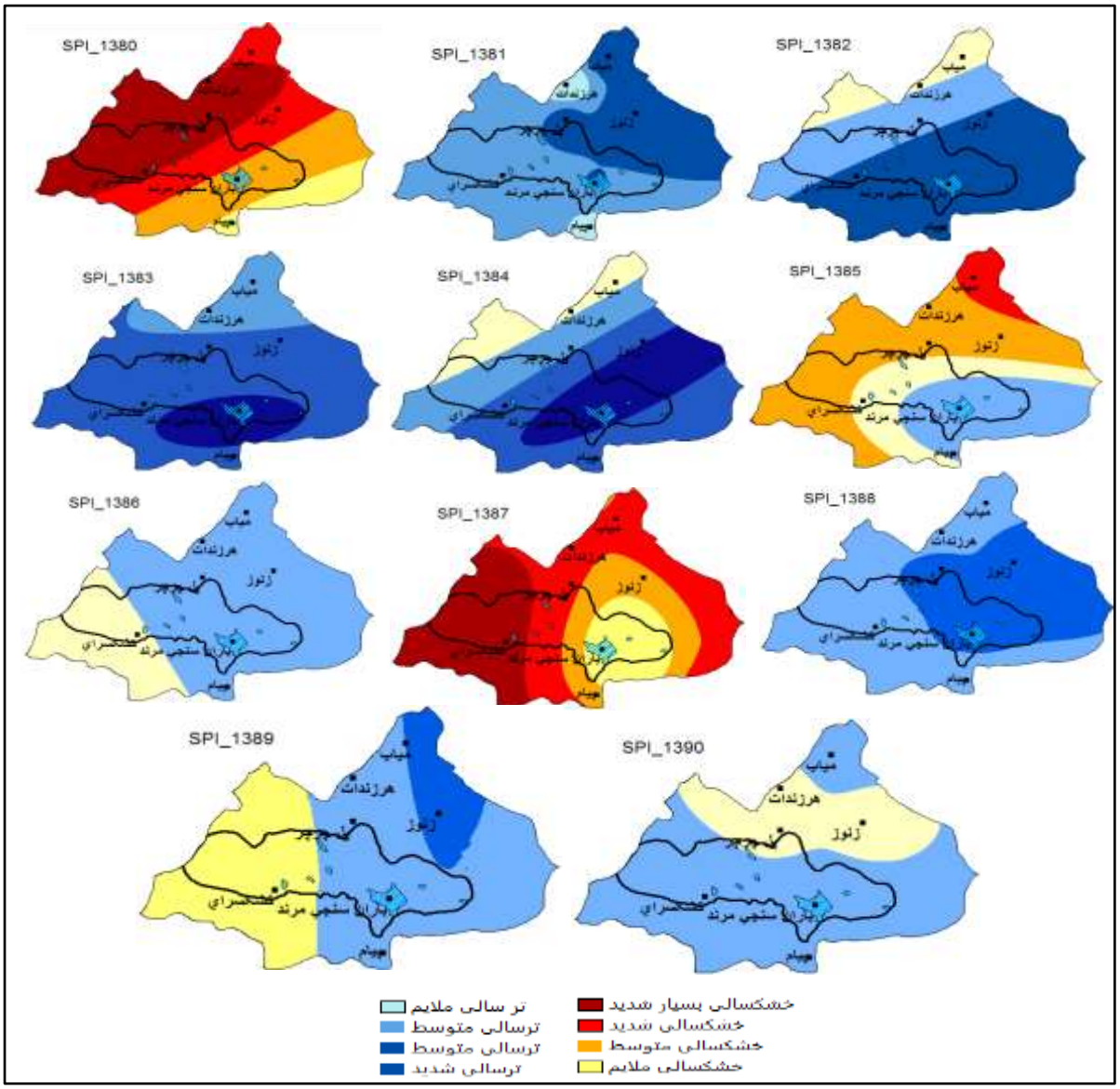
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

در این بخش ابتدا مقادیر سالانه خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی جهت تشخیص پهنه‌های درگیر خشکسالی در حوضه آبریز مرند و همچنین دشت مرند، در نرم‌افزار GIS ترسیم گردید. شکل ۵ و ۶ مقادیر سالانه خشکسالی را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی می‌توان چنین استنباط نمود که در شرق حوضه نسبت به دیگر مناطق حوضه بیشتر در معرض خشکسالی‌های شدید قرار دارد. به‌طوری‌که در خشکسالی‌های فراگیر سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷، شدیدترین خشکسالی‌ها در منطقه شرقی حوضه آبریز مرند رخداده است. شناخت پهنه‌های درگیر خشکسالی می‌تواند به برنامه‌ریزی جهت مدیریت خشکسالی کمک نماید. با توجه به نتایج شکل ۵ و همچنین با توجه به هدف این پژوهش مشاهده می‌شود که از سال ۱۳۸۰ که داده‌های آب زیرزمینی موجود بوده تا سال ۱۳۹۰، دو دوره متمایز ترسالی و خشکسالی رخداده است. طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۸۴ بارندگی بالاتر از نرمال در منطقه رخداده است و از سال ۱۳۸۵ به بخصوص خشکسالی فراگیر ۱۳۸۷ تا پایان دوره آماری، یک دوره خشکسالی در منطقه حاکم بوده است. خشکسالی فراگیر در منطقه به‌صورت محسوس بر سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت مرند تأثیر گذاشته و با توجه به نتایج اشکال ۷ و ۸ این تغییرات قابل‌مشاهده می‌باشد.



شکل ۵: سری زمانی خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز مرند

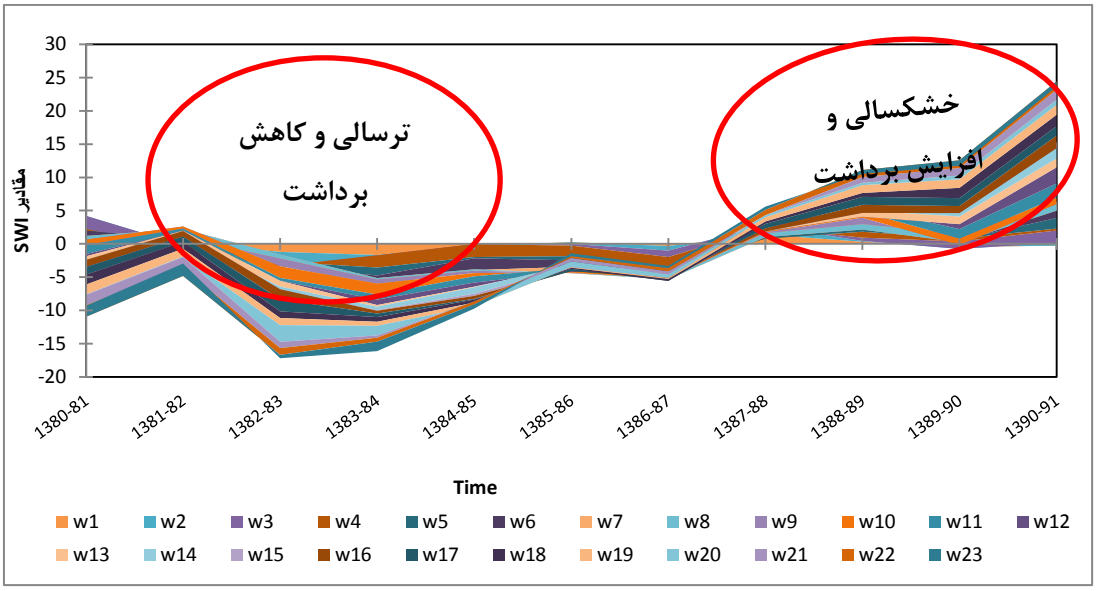
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



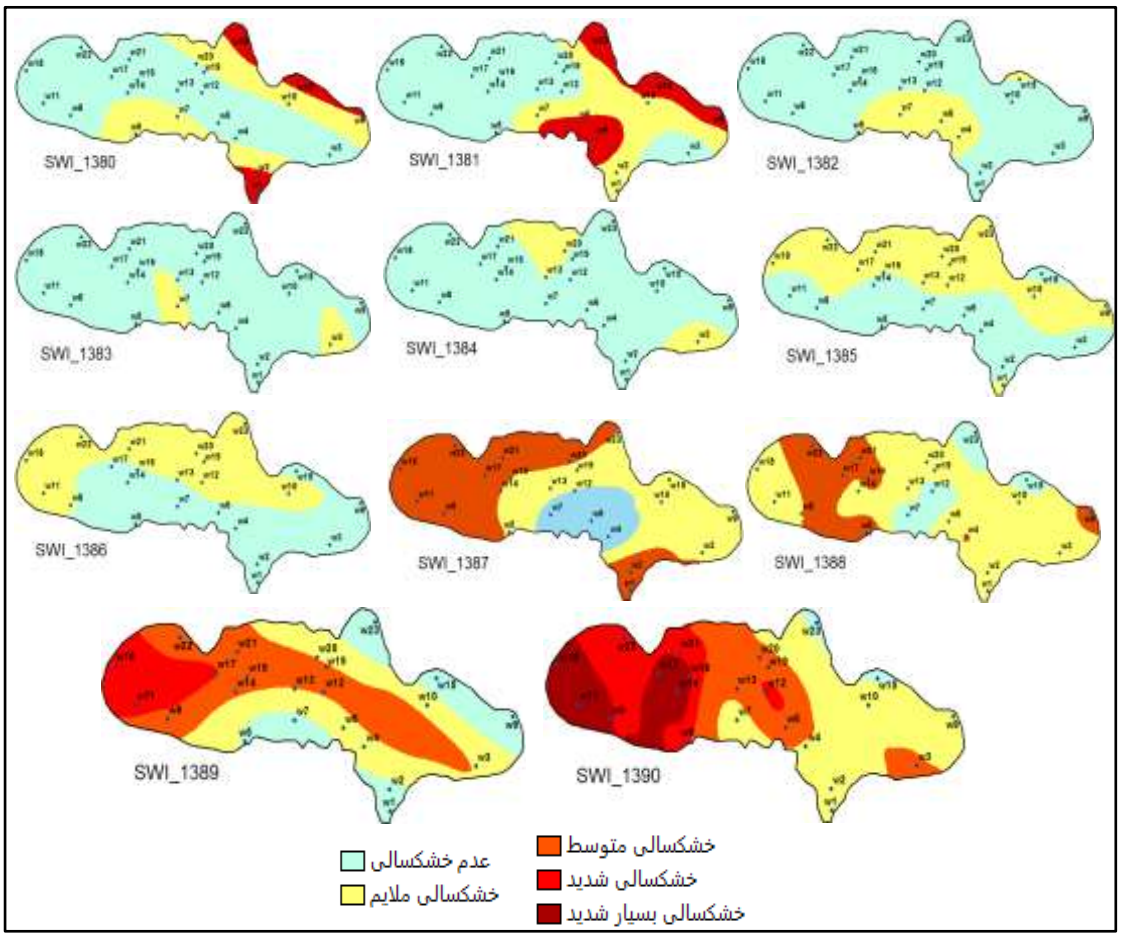
شکل ۶: نتایج پهنه‌بندی SPI سالانه

نتایج به‌دست آمده در شکل ۷ و ۸ نشان می‌دهد که سطح ایستابی در دشت مرند تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی و کاهش بارندگی در منطقه می‌باشد. به‌طوری در شکل ۷ نتایج سری زمانی خشکسالی سالانه با استفاده از شاخص SWI نشان‌دهنده پایداری سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴ در اثر بارندگی مناسب در منطقه و روند افزایش برداشت از سال ۱۳۸۷ در اثر بروز خشکسالی شدید در منطقه تا پایان دوره آماری می‌باشد. در شکل ۷ جهت نشان دادن تغییرات سطح ایستابی و شناخت بهتر سال‌های مشترک خشکسالی در تمامی چاه‌های پیزومتری از نمودار Stacked Area در محیط اکسل استفاده شد که مقادیر SPI را بزرگ‌تر و با اغراق بیشتری نشان می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]



شکل ۷: سری زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در دشت مرن

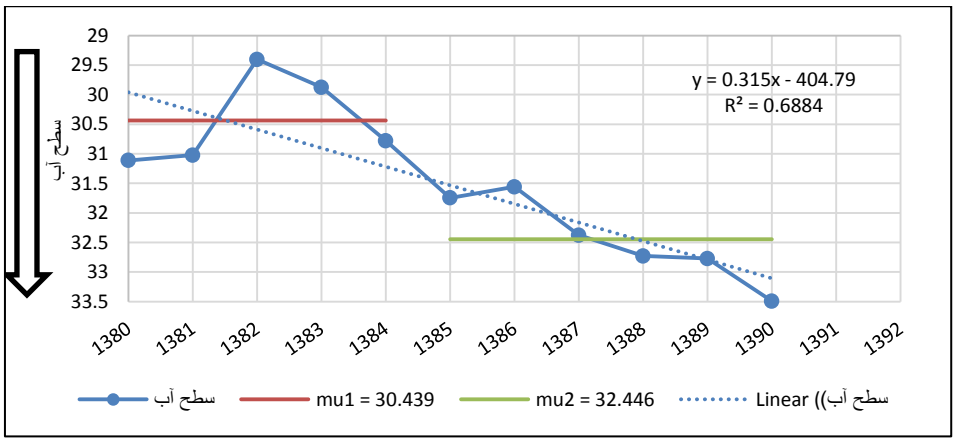


شکل ۸: نتایج پهنه‌بندی SWI سالانه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

همان‌طور که در شکل ۸ مشخص می‌باشد، نتایج خشکسالی سالانه آب‌های زیرزمینی در محیط GIS به‌صورت پهنه‌بندی جهت شناخت مناطق مستعد خشکسالی ترسیم گردید. با توجه به تأثیر غیرمستقیم و همراه با تأخیر زمانی بارندگی بر سطح ایستابی مشخص شد که در دوره‌هایی که بارندگی در منطقه مناسب بوده است روند برداشت از آبخوان کم و در سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ که خشکسالی شدید در منطقه رخداده است، روند افزایش برداشت از غرب آبخوان که خروجی آبخوان نیز می‌باشد، افزایش‌یافته و تا پایان دوره آماری با توجه به جبران نشدن نیاز آبی منطقه توسط بارندگی این روند ادامه دارد.

به‌طورکلی با بررسی نقشه‌های سالانه شاخص‌های بارش استاندارد و سطح آب استاندارد می‌توان چنین استنباط نمود که روند تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی با تغییرات خشکسالی و ترسالی هواشناسی در منطقه هم‌خوانی داشته، بنابراین افت سطح ایستابی دشت مرند می‌تواند تا حدود زیادی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی باشد و با توجه به این نتیجه افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در طی دوره آماری مورد مطالعه، جهت جبران کم‌آبی رخداده است. از ویژگی‌های بارز دشت مرند وجود دو فصل بارشی متفاوت طی سال است. یک دوره مرطوب که از اواسط بهمن آغازشده و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد و یک دوره خشک که در بقیه سال به چشم می‌خورد. انطباق فصل خشک با دوره رویش گیاهان زراعی، مصرف آب به‌منظور جبران نیاز آبی گیاهان را ضروری می‌کند. این کمبود عمدتاً از منابع آب زیرزمینی جبران می‌شود. افزایش برداشت طی سال‌های اخیر و به‌طور محسوس بعد از وقوع خشکسالی‌های هواشناسی در منطقه، تعادل بین ورودی و خروجی دشت به‌هم‌خورده و کاهش ذخیره مخزن را سبب گردیده است (شکل ۹).



شکل ۹: هیدروگراف سالانه آب زیرزمینی دشت مرند (سال‌های ۹۰-۱۳۸۰)

با توجه به هیدروگراف سالانه سطح ایستابی در آبخوان دشت مرند در شکل ۹، می‌توان روند سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در این منطقه را به دو دوره متفاوت، قبل و بعد از خشکسالی هواشناسی شدید و فراگیر ۱۳۸۷ تقسیم نمود. خشکسالی هواشناسی سال ۱۳۸۷ درواقع از سال ۱۳۸۵ شروع‌شده و در این سال به‌صورت فراگیر در کل منطقه اتفاق افتاده است. هیدروگراف سالانه آب زیرزمینی به‌خوبی تأثیر بارندگی بر سطح ایستابی را نشان می‌دهد و نسبت به بارندگی واکنش نشان داده است. با توجه به اینکه، افزایش اعداد سطح ایستابی نشان‌دهنده کاهش آب در چاه‌های پیزومتری می‌باشند، می‌توان اختلاف سطح آب را قبل و بعد از خشکسالی ۱۳۸۷ به میزان ۲ متر ارزیابی نمود. رگرسیون خطی بین سطح آب زیرزمینی و طول دوره آماری با مقدار R^2 =۰,۶۹ برآورد شده است که روند کاهشی آب زیرزمینی در دشت مرند را توجیه می‌کند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

در ادامه جهت تعیین ارتباط بین بارش‌های ماهانه و نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی دشت مرند، ضرایب همبستگی بین این دو پارامتر محاسبه شد (جدول ۴). در بررسی همبستگی‌ها مشخص شد که تأثیرپذیری سطح آب زیرزمینی از خشکسالی به صورت همزمان دارای ضرایب همبستگی و سطح اطمینان پایینی می باشد. از جمله دلایل ضعیف بودن ضریب همبستگی بین بارش و سطح آب زیرزمینی به صورت همزمان، به طور کلی می‌توان به دو دلیل اشاره نمود: نخست اینکه آب ناشی از نزولات جوی دارای یک تأخیر زمانی برای رسیدن به لایه‌های منابع آب زیرزمینی است و دوم اینکه تأثیر عوامل انسانی مانند برداشت از آب زیرزمینی با میزان بارش ماهانه دارای آهنگ منظمی نمی‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). ضرایب همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و بارش‌های یک تا ۷ ماه قبل در نرم‌افزار SPSS به دست آمد. جهت برآورد همبستگی ابتدا ماه مربوط به خشکسالی هواشناسی با همان ماه مربوط به خشکسالی آب زیرزمینی روبروی هم قرارگرفته که با مشاهده عدم همبستگی هم‌زمان می‌بایست ماه‌های جلوتر مربوط به خشکسالی آب زیرزمینی مورد آزمایش قرار گیرد. این روند تا زمانی که بالاترین همبستگی به دست آید ادامه پیدا کرد و درنهایت نتایج همبستگی در جدول (۴) ارائه شده است. ضرایب به دست آمده نشان دهنده این است که بین بارش پنج ماه قبل و سطح آب زیرزمینی بالاترین ضریب همبستگی وجود دارد که این همبستگی در سطح خطا (معنی‌داری) ۱ درصد معنی‌دار است.

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

بارندگی ماهانه	بارندگی ماهانه هم‌زمان	بارندگی ماهانه یک ماه قبل	بارندگی ماهانه دو ماه قبل	بارندگی ماهانه سه ماه قبل	بارندگی ماهانه چهار ماه قبل	بارندگی ماهانه پنج ماه قبل	بارندگی ماهانه شش ماه قبل
ضریب همبستگی	-۰/۱۹۹*	-۰/۲۴۴**	-۰/۲۹۰*	-۰/۶۳۵*	-۰/۷۱۲**	-۰/۷۲۰**	-۰/۶۶۷**
تعداد مشاهدات	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱	۱۲۱

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

نتیجه‌گیری

شاخص‌های SPI و SWI این امکان را به وجود می‌آورد که در یک دوره ثابت از اطلاعات محاسبه‌شده به‌وسیله این شاخص-ها، زمان شروع و پایان خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی و همچنین شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها محاسبه شود. این مطلب در مطالعات Hayes و همکاران (۱۹۹۸) در آمریکا و Bhuiyan و همکاران (۲۰۰۶) نیز به انجام رسیده است. نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی (اشکال ۵ و ۸) که با استفاده از مقادیر SPI و SWI در محیط Arc Gis به دست آمد نشان داد که خشکسالی‌های هواشناسی با توجه به مشخصات خشکسالی‌ها، ازنظر مکانی دارای روند مشخصی نمی‌باشند درحالی‌که خشکسالی‌های آب‌های زیرزمینی به‌صورت تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آن‌ها در نقاط مشخص از آبخوان که دارای تنش‌های بارشی و انسانی (از نظر برداشت بی‌رویه و بیش از حد مجاز) می‌باشند، ایجادشده است. با توجه به اینکه افزایش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی جهت جبران کمبود بارش و نیاز آبی منطقه بوده است، می‌توان رابطه خشکسالی هواشناسی بر کاهش سطح آب زیرزمینی در دشت مرند را توجیه نمود و با توجه به نتایج به دست آمده، تأخیر زمانی این رابطه می‌تواند در مدیریت بحران و مدیریت ریسک در آینده بسیار مفید باشد. این موضوع با مطالعات ایمانی و اسفندارانی (۱۳۹۰) و پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

در ایجاد همبستگی و ارتباط بین بارش و افت سطح ایستابی، بهترین همبستگی آن‌ها، ۰/۷۲- با تأخیر زمانی ۵ ماهه است که در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی دشت مرند را با یک تأخیر ۵ ماهه نمایان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

می‌کند. شمسی‌پور (۱۳۸۲) در دشت همدان به یک تأخیر ۹ ماهه بین بارش و سطح ایستابی و دست‌یافت. همچنین ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) با استفاده از دو شاخص SWIو SPI در حوضه چغلوندی، به تأخیر زمانی یک‌ساله. محمدی‌قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت ساوه به تأخیر ۵ ماهه به نتایج مشابهی دست یافتند و محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت اراک، تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی از خشکسالی را با یک تأخیر دو ماهه بدست آوردند. هرچند عامل آب و هوایی بیشترین تأثیر را در افت سطح ایستابی طی سال‌های اخیر داشته، ولی این بحران حاصل مجموعه عواملی ازجمله برداشت‌های بی‌رویه است که خود معلول خشکسالی هواشناسی می‌باشد؛ بنابراین چون روند تغییرات سطح ایستابی با تغییرات خشکسالی هم‌خوانی دارد، می‌توان نتیجه گرفت که افت سطح ایستابی دشت مرند عمدتاً تحت تأثیر خشکسالی می‌باشد.

به نظر می‌رسد پایش مداوم وضعیت خشکسالی و نظارت قوی بر میزان برداشت، به‌ویژه در خشکسالی‌های شدید و طولانی، برای جلوگیری از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در دشت مرند امری بسیار ضروری است. این امر می‌تواند با بهینه‌سازی در مصرف آب در بخش‌های مختلف، به‌ویژه کشاورزی انجام شود. همچنین در بخش کشاورزی با توجه به اینکه آب موردنیاز آبیاری در این دشت اکثر از منابع آب زیرزمینی است، استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای در کمک به کاهش افت سطح ایستابی مؤثر می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در خشکسالی‌ها (به‌ویژه با تأخیر زمانی ۵ ماهه بر منابع آب زیرزمینی دشت مرند) نسبت به میزان و نوع برداشت از آب‌های زیرزمینی هشدارها و تمهیدات لازم به عمل آید.

منابع

احمدی آخورمه، مریم؛ احمد نوحه‌گر، مهدی سلیمانی مطلق و مجید طایی‌سمیرمی. ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، سال ششم، **۲۱**: ۱۰۵-۱۱۷.

ایمانی، مهناز و علی طالبی اسفندارانی. ۱۳۹۰. بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های GRI, SPI، *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

بختیاری عنایت، بهرام؛ آرش ملکیان و علی سلاجقه. ۱۳۹۴. آنالیز همبستگی پایه زمانی و تأخیر زمانی بین خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب‌شناختی دشت هشتگرد. *تحقیقات آب و خاک ایران*، شماره **۴**، **۴۶**: ۶۰۹-۶۱۶.

پورمحمدی، سمانه؛ محمدتقی دستورانی، هادی جعفری، علیرضا مساح بوانی، مسعود گودرزی، فاطمه باقری و محمدحسین رحیمیان. ۱۳۹۶. بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت تویسرکان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*،**۹**: ۵۷-۴۶.

رضیئی، طیب؛ پیمان دانش کارآراسته، روح‌انگیز اختری و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف. *تحقیقات منابع آب ایران*، **۳۵**: ۲۵-۳.

زینالی، بتول؛ مجتبی فریدپور و صیاد اصغری سراسکانرود. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مرند). *مدیریت حوزه آبخیز*، **۱۴**: ۱۷۷-۱۸۷.

ساری، الهه. ۱۳۹۰. *پایش خشکسالی هواشناسی به روش SPI و تأثیر آن بر کشت گندم دیم در استان آذربایجان شرقی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

قلی‌زاده، محمدحسین.١٣٨٣. *پیش‌بینی و پیش‌آگاهی خشکسالی در غرب ایران*. پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت معلم تهران. تهران.

کریمی، مهشید؛ کاکا شاهدی و خه‌بات خسروی. ١٣٩٥. بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی در حوضه آبخیز قره‌سو. *فیزیک زمین و فضا*، **(١)٤٢**: ١٧٠-١٥٩.

محمدی قلعه‌نی، مهدی؛ کیومرث ابراهیمی و شهاب عراقی نژاد. ١٣٩١. ارزیابی تأثیر عوامل آب و هوایی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه). *مجله دانش آب و خاک*، **٢١(٢)**: ٩٣-١٠٨.

محمدی، حسین مراد؛ علی‌اکبر شمسی‌پور. ١٣٨٢. تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب‌های زیرزمینی دشت‌های شمال همدان. *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*، **٤٥**: ١٣٠-١١٥.

ملکی نژاد، حسین؛ مهدی سلیمانی مطلق. ١٣٩٠. بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی. *مجله پژوهش آب ایران*، **(٩)٥**: ٧٢-٦١.

محمدی، محسن؛ حمیدرضا مرادی و مهدی وفاخواه.١٣٩١. توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک. *فصلنامه جغرافیایی طبیعی*، **(٥)١٥**: ٨٤-٧٧.

محمد نیا قرایی؛ سهراب، ناصر جاودانی خلیفه، سهیلا جوانمرد، لیلی خزانه‌داری و محمود خسروی.١٣٧٩. بررسی شاخص ارزیابی و امکان‌سنجی کاربرد شاخص شدت خشکسالی پالمر در ایران. *مجموعه مقالات کنفرانس خشکسالی کرمان*.

Bhuiyan, C.; R. P. Singh, and F.N. Kkogan.٢٠٠٦. Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) using Different Indices based on Ground and Remote Sensing data. International.Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, ٨: ٢٨٩-٣٠٢. DOI ١٠,١٠١٦/j.jag.٢٠٠٦,٠٣,٠٠٢.

Bogdan, B.; K. Kubiak-Wójcicka. ٢٠١٧. Impact of meteorological drought on hydrological drought in Toruń (central Poland) in the period of ١٩٧١–٢٠١٥. Journal of Water and Land Development. No. ٣٢ p. ٣-١٢. DOI: ١٠,١٥١٥/jwld-٢٠١٧-٠٠٠١.

Ekrami, M., H. Malekinezhad., and M. R. Ekhtesasi. ٢٠١٣. Evaluation of Meteorological drought and Hydrological Drought Impacts on Ground Water Resource. Iran-Watershed Management Science & Engineering. ٧ (٢٠).

Ezzine, H.; A. Bouziane, and D. Quasar. ٢٠١٤. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indexes in Morocco using open short time series data. Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information. ٢٦, ٣٦-٤٨. DOI.org/١٠,١٠١٦/j.jag.٢٠١٣,٠٥,٠٠٥

Khan, S.; H. F. Gabriel and T. Rana. ٢٠٠٨. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. Irrigation Drainage System. ٢٢: ١٥٩-١٧٧.

Kogan, F. N. ٢٠٠٠. Contribution of remote sensing to drought early warning in early warning systems for drought preparedness and drought management, ed. D.A. Wilhite and D.A. Wood. ٧٥–٨٧. Geneva: World Meteorological Organization.

Mckee B.T.; N. J. Doesken, and J. Kleist.١٩٩٣. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, ٨th Conference on Applied Climatology, Anaheim CA. American Meteorological Society, ١٧-٢٢: ١٧٩-١٨٤.

Peters, E.; P. J. J. F. Torfs, H. A. J, Van Lanen, and G. Bier. ٢٠٠٣. Propagation of drought through groundwater-a new approach using linear reservoir theory. Hydro Processes ١٧: ٣٠٢٣–٣٠٤٠.

Rossi. G. ٢٠٠٠. Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In: Voght JV, Somma F (Eds) Drought and drought mitigation in Europe. Kluwer, Dordrecht.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

Sahoo. R. N.; Dipanwita Dutta, M. Khanna, N. Kumar, S. K. Bandyopadhyay. ۲۰۱۵. Drought assessment in the Dhar and Mewat Districts of India using meteorological, hydrological and remote-sensing derived indices. Natural Hazards,۷۷ (۲): ۷۳۳-۷۵۱. DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰۶۹-۰۱۵-۱۶۲۳-z.

WMO (World Meteorological Organization). ۲۰۰۶. Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges. WMO Publication–No. ۱۰۰۶. WMO, Geneva, Switzerland.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]