ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر مبتنی بر تحلیل سری زمانی داده‌های بارش و خشکسالی

شیوا آزادی شیبکوه*[۱] هادی معماریان خلیل آباد[۲] محسن پوررضا بیلندی[۳] میثم عابدین پور[۴] مرتضی اکبری[۵]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران
[۲] دانشیار مهندسی حفاظت خاک، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران
[۳] دانشیار هیدرولوژی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران
[۴] استادیار مهندسی آبیاری و زهکشی، مرکز آموزش عالی کاشمر، خراسان رضوی، ایران
[۵] استادیار مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵

چکیده

آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمند تأمین آب در جهان به شمار می‌روند. بطوری‌که امروزه مطالعات نشان می‌دهند عواملی چون بارندگی کم، خشکسالی‌های مستمر و بهره‌برداری بیش از ظرفیت، باعث ایجاد خسارت‌های اقتصادی و زیست محیطی شده است. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی اثرات بارندگی و خشکسالی بر سطح سفره آب زیرزمینی دشت کاشمر به عنوان یکی از مهمّترین دشت‌های حاصلخیز خراسان رضوی در شرق ایران و با استفاده از روش‌های تحلیل سری‌های زمانی مان-کندال و پتیت انجام شد. در این تحقیق از دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۷) داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی کاشمر، جهت ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی، با شاخص SPI و از داده‌های آماری ۱۷ چاه پیزومتر منطقه مورد مطالعه در یک دوره زمانی ۲۳ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۷) جهت ارزیابی خشکسالی آب زیرزمینی، با شاخص PSI استفاده شد. نتایج تحلیل سری زمانی شاخص SPI در بازه‌های مختلف ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۷ نشان داد که تغییرات تدریجی موجود در بازه ۶ و ۱۲ ماهه در سطح پنج درصد معنی‌دار (p-value= 0.05) که نقطه تغییر آن‌ها در سال ۷۹-۱۳۷۸ بوده و در بازه ۳ و ۲۴ ماهه معنی‌دار نبوده است. سری زمانی شاخص PSI در چاه‌های کلاته رحیم و خلیل آباد (در بخش های جنوب و شمال منطقه) به دلیل اینکه p-value≠ 0.05 غیر معنی‌دار و بقیه چاه‌ها معنی‌دار می‌باشد. این بدان معنی است که چاه‌های کلاته رحیم و خلیل آباد به دلیل عملیات‌های آبخوانداری صورت گرفته در منطقه شرایط بهتری در هنگام رخداد خشکسالی‌ها داشته‌اند. بنابراین، دشت کاشمر در بازه ۲۳ ساله ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۷ دچار خشکسالی آب زیرزمینی بوده است. باتوجه به نتایج شاخص‌های SPI و PSI، خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی تاثیرگذار بوده است، اما عامل مهمتر در خشکسالی آب زیرزمینی، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی می‌باشد که این بهره‌برداری‌ها باعث افت سطح آب به مقدار ۴۰ سانتی‌متر در سال در دشت کاشمر شده است.

واژه‌های کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، روش‌های زمین آمار، شاخص SPI، شاخص PSI،

مقدمه

تخمین کیفیت زمـانی و مکـانی آب در یک منطقه و نحوه تغییرات آن از مسائل بسیار مهم در مطالعات منابع آب‌های زیرزمینی بشمار می‌رود . از آنجایی که آب‌های زیرزمینی، بخش مهمی از اکوسیـستم قابـل تجدیـد منـابع آب می‌باشد، مدیریت نامناسب استحصال، بهره‌برداری و مصرف، منجر به تغییر کیفیت این منابع باارزش و تخریب مستقیم یا غیرمستقیم سایر منابع نظیر خاک مـی‌گـردد (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۹). افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای مکرر ناشی از آن همچون افزایش هزینه‌های استحصال آب، نشست زمین و کاهش کیفیت آب، امروزه به یک مشکل جهانی تبدیل شده است (مسلمی و همکاران، ۱۳۹۴). در این میان روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی و تخمین اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب وجود دارد. یکی از روش‌هایی که می‌توان برای تشخیص تغییرات اقلیم و تاثیر آن بر روی

*Email: azadishiva74@yahoo.com نویسنده مسئول: شیوا آزادی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

منابع آب استفاده نمود، تحلیل سری‌های زمانی است. بطوری که، از جمله روش‌های رایج در جهت تحلیل سری زمانی، مطالعه وجود یا عدم وجود روند در متغیرهای هیدرولوژی- اقلیمی با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد (فرسادنیا و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج تحقیقات مختلفی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی جهت مطالعه روند تغییرات سطح سفره آب‌های زیرزمینی بر اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف گزارش شده است. در این رابطه، محمدی و همکاران (۱۳۹۷) در دشت کرمان به بررسی خشکسالی هواشناسی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در سری زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۲ پرداختند. در این بررسی، مقادیر شاخص بارش استاندارد و شاخص منبع آب زیرزمینی در بازه های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید. همچنین، نتایج همبستگی بین دو شاخص بدون تاخیر زمانی و تاخیر زمانی ۱ تا ۱۲ ماهه مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج تحقیق آنان نشان داد که ۵۷ درصد تغییرات شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI)[1] ۴۸ ماهه توسط شاخص بارش استاندارد (SPI)[2] ۴۸ ماهه قابل توجیه است و سطح آب زیرزمینی به طور متوسط ۲۰ متر افت داشته است. در تحقیقی دیگر، کمالی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثر انواع خشکسالی و تغییرات اقلیمی بر وضعیت آبخوان نجف آباد در حوضه زاینده‌رود پرداختند. در این تحقیق از مدل داده- محور ماشین بردار پشتیبان (SVM[3]) برای شبیه سازی آبخوان نجف آباد استفاده گردید. از اینرو، مدل‌های با دقت بالا برای ورودی و خروجی حجم آبخوان انتخاب شدند. نتایج نشان داد که در زیر حوضه نجف آباد، تغییرات اقلیم در سال‌های آینده تاثیر معنی‌داری بر وضعیت آبخوان نخواهند داشت اما ضروری است که در سال‌های آینده بهره‌برداری از آبخوان و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

آزمون من کندال توسط Mann در سال ۱۹۴۵ ارائه و در سال ۱۹۷۵ توسط Kendall بسط داده شد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). این روش در جهت بررسی روند داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Panda et al., 2007). Asoka و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از آزمون Mann-Kendall و آزمون Sen به بررسی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی تحت تاثیر پمپاژ و تغییرپذیری اقلیمی در کشور هند پرداختند. در این تحقیق از تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و چاه‌های محلی استفاده شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که سطح سفره آب زیرزمینی در سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ در بخش شمالی هند سالانه ۲ سانتی‌متر کاهش و در بخش جنوبی هند سالانه بین ۱ تا ۲ سانتی‌متر افزایش داشته است. همچنین، Zofor و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات سطح آب زیرزمینی در سری زمانی ۱۹۷۵-۲۰۱۱ را در بنگلادش با استفاده از آزمون من کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که جهت روند سطح آب زیرزمینی افزایشی و معنی‌دار بوده است.

با توجه به وضعیت منطقه مورد مطالعه (دشت کاشمر) که از مهمترین دشت‌های استان خراسان رضوی بشمار می‌رود بطوری که بر اساس آمار سال ۱۳۹۸ حدود ۹۰ درصد اشتغال مردم منطقه در بخش کشاورزی و صنایع وابسته می‌باشد. متاسفانه در شرایط کنونی به علت افزیش جمعیت و به دنبال آن توسعه سریع کشاورزی و افزایش نیاز آبی در سال‌های اخیر منجر به بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده که متعاقب آن افت پی در پی سطح آب زیرزمینی باعث شده که این دشت جزء دشت‌های بحرانی استان قرار گیرد. همچنین به علت خشکسالی‌های پی در پی سال‌های اخیر (متوسط سالانه بارندگی ۲۱۰ میلی متر) ضروری است اقداماتی در جهت جلوگیری از برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در منطقه صورت پذیرد. و خشکسالی این مناطق پایان بپذیرد. از این رو، پایش مستمر وضعیت سفره آب زیرزمینی و پیش-بینی دقیق میزان افت سطح آب سفره با توجه به وضعیت فعلی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌تواند چشم اندازی از خطرات احتمالی پیش رو را نشان دهد و در جهت جلوگیری از صدمات بیشتر به منطقه، برنامه‌ریزی‌های لازم صورت پذیرد. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر بارش بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی- مکانی دشت کاشمر می‌باشد.

[1]- Groundwater Resource Index
[2]- Standard Precipitation Index
[3]- Support vector machines

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه

دشت کاشمر به عنوان بخشی از حوضه آبریز ایران مرکزی در شمال کویر نمک با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی تا ۵۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و۲ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوضه در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران قرار داشته و دارای وسعت ۲۰۴۵/۸ کیلومتر مربع است. حدود ۱۲۲۱/۱ کیلومتر مربع از این حوضه را دشت کاشمر تشکیل می دهد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴a). دشت کاشمر از شمال به محدوده مطالعاتی ریوش و از جنوب به محدوده مطالعاتی بجستان یونسی از شرق به ازغند و محولات فیض آباد و از غرب به محدوده مطالعاتی بردسکن و قاسم آباد بجستان محصور می‌شود (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۱۳۹۰).

جدول (۱) بیلان آبی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد، بنابراین، با توجه به جدول براساس مساحت ۱۹۳۶ کیلومتر مربعی محدوده مطالعاتی ۲۱۴/۲ میلیون متر مکعب حجم بارش در سال آبی ۹۷-۹۶ بوده است که از این میزان ۱۴۳/۱ میلیون متر مکعب و به عبارتی بیشترین حجم بارش تبخیر شده است و بخشی از آن به تغذیه آب زیرزمینی دشت کاشمر می‌رسد. ارتفاع بارش به میلیمتر در سال و حجم آب به میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

جدول (۱) : بیلان آب در محدوده مطالعاتی دشت کاشمر سال ۹۷-۱۳۹۶(شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی،۱۳۹۸)

موضوع	سال آبی ۹۷-۱۳۹۶	توضیحات
ارتفاع بارش (میلیمتر درسال)	۱۱۰۶	
حجم بارش (میلیون مترمکعب)	۲۱۴/۲	براساس مساحت ۱۹۳۶ کیلومترمربعی محدوده مطالعاتی
حجم تبخیر و تعرق (میلیون مترمکعب)	۱۴۳/۱	
حجم آب تجدیدشونده (میلیون مترمکعب در سال)	۷۱/۱	حاصل از بارش
حجم آبهای سطحی (میلیون مترمکعب در سال)	۰/۹	
حجم تغذیه آبخوانهای زیرزمینی از بارش (میلیون مترمکعب در سال)	۷۰/۲	
آب برگشتی به آبخوان (میلیون مترمکعب در سال)	۲۹/۸	با فرض ۱۵ درصد آب برگشتی مصارف کشاورزی و خدمات و ۷۰ درصد آب برگشتی شرب و صنعت
تغذیه زیرزمینی از جریان سطحی(میلیون مترمکعب در سال)	۲/۲	
کسری مخزن (میلیون مترمکعب در سال)	-۳۱/۴	بلند مدت ۳۶/۲۳-
جریان سطحی و انتقالی ورودی(میلیون مترمکعب در سال)	۲/۴	از محدوده ریوش
جریان سطحی و انتقالی خروجی(میلیون مترمکعب در سال)	۰/۲	به محدوده کویر نمک
آب زیرزمینی ورودی(میلیون مترمکعب در سال)	۲۲/۳	از محدوده ازغند
آب زیرزمینی خروجی(میلیون مترمکعب در سال)	۱۹/۷	به محدوده بردسکن

جدول (۲) نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه تعداد ۳۸۶ حلقه چاه مجاز در بخش کشاورزی، ۵۸ حلقه چاه در بخش شرب و بهداشت، ۲۸ حلقه چاه در بخش صنعت و ۳۵ حلقه چاه در بخش خدمات حفر شده است. در بخش کشاورزی اضافه برداشتی معادل ۲۱/۹۹ میلیون متر مکعب در سال از تعداد ۲۱۵ حلقه چاه، صورت می‌پذیرد. درواقع همین برداشت‌های اضافی باعث افت سطح آب چاه‌ها می‌شود. ۰/۹۷ میلیون متر مکعب در سال اضافه برداشتی است که از

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

تعداد ۹ حلقه چاه در بخش شرب و بهداشت محاسبه می‌شود. اضافه برداشت در ۸ حلقه چاه در بخش صنعت و ۱۶ حلقه چاه در بخش خدمات نیز به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۹ میلیون متر مکعب می‌باشد.

جدول (۲) : آمار چاه‌های منطقه مورد مطالعه به تفکیک مصرف و نوع چاه (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی،۱۳۹۸)

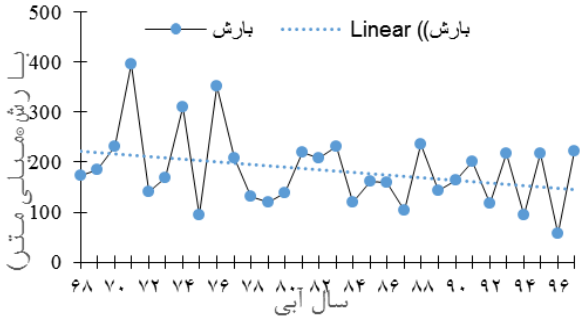
مصارف	نوع چاه	چاه‌های مجاز		اضافه برداشت		چاه‌های غیرمجاز		حجم برداشت واقعی	
		تعداد (حلقه)	حجم (میلیون متر مکعب)	تعداد (حلقه)	حجم (میلیون متر مکعب)	تعداد (حلقه)	حجم (میلیون متر مکعب)	تعداد (حلقه)	حجم (میلیون متر مکعب)
کشاورزی	عمیق	۳۸۳	۱۰۵/۲۶	۲۱۴	۲۱/۹۶	۰		۳۸۳	۱۱۵/۳۲
	نیمه عمیق	۲	۰/۱۴	۱	۰/۰۳	۱	۰	۳	۰/۱۰
	جمع	۳۸۵	۱۰۵/۴۰	۲۱۵	۲۱/۹۹	۱	۰	۳۸۶	۱۱۵/۴۲
شرب و بهداشت	عمیق	۵۷	۲۵/۰۳	۸	۰/۹۳	۰		۵۷	۱۵/۹۸
	نیمه عمیق	۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۴	۰		۱	۰/۰۶
	جمع	۵۸	۲۵/۰۵	۹	۰/۹۷	۰	۰	۵۸	۱۶/۰۴
صنعت	عمیق	۲۸	۰/۷۹	۸	۰/۲۲	۰		۲۸	۰/۷۱
	نیمه عمیق	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰
	جمع	۲۸	۰/۷۹	۸	۰/۲۲	۰	۰	۲۸	۰/۷۱
خدمات	عمیق	۳۴	۲/۵۲	۱۵	۰/۲۶	۰		۳۴	۲۱۰
	نیمه عمیق	۱	۰/۰۱	۱	۰/۰۳	۰		۱	۰/۰۴
	جمع	۳۵	۲/۵۳	۱۶	۰/۲۹	۰	۰	۳۵	۲۱۴
جمع	عمیق	۵۰۲	۱۳۳/۶۰	۲۴۵	۲۳/۳۷	۰	۰	۵۰۲	۱۳۴/۱۱
	نیمه عمیق	۴	۰/۱۷	۳	۰/۱۰	۱	۰	۵	۰/۲۰
	جمع	۵۰۶	۱۳۳/۷۷	۲۴۸	۲۳/۴۷	۱	۰	۵۰۷	۱۳۴/۳۱

حوضه آبریز کاشمر دارای اقلیم نیمه خشک تا خشک است. در این منطقه ریزش باران عمدتاً محدود به فصل زمستان و بهار و معمولاً بارندگی‌ها به صورت رگباری همراه با رعد و برق و ایجاد سیلاب است (شرکت مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴c).

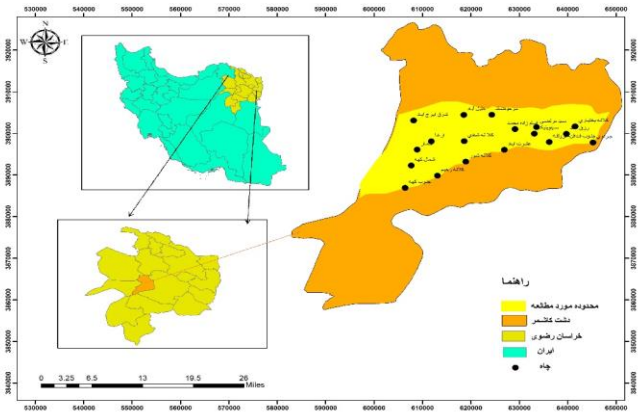
شکل (۱) تغییرات بارش را در بازه زمانی ۳۰ ساله نشان می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه خشکی مثل دشت کاشمر نوسان بسیار زیادی در میزان بارندگی‌ها مشاهده می‌شود. بیشترین میزان ریزش‌های جوی در منطقه رژیم زمستانه است و اکثر بارش‌ها جبهه‌ای می‌باشند. زیرا در فصل زمستان منطقه تحت نفوذ آب و هوای سرد و خشک قطبی قرار گرفته و باعث ایجاد بارش می‌شود. اما در فصل تابستان به علت نفوذ آب و هوای گرم و خشک، افزایش دما را در پی خواهد داشت. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]



شکل (۱) : تغییرات بارندگی منطقه مورد مطالعه در ۳۰ سال گذشته



شکل (۲) : موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و ایران

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر بارش بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و مکانی از داده‌ها و اطلاعات زیر استفاده شد.

- داده‌های بارندگی دشت کاشمر
- داده‌های سطح آب چاه‌های پیزومتری و
- تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

این داده‌ها به همراه آمار مربوط به چاه‌های کشاورزی و شرب از سازمان‌های ذیربط گردآوری و جهت تحلیل نتایج استفاده گردید.

بر این اساس، دوره آماری ۳۰ سال مربوط به داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی کاشمر از سال ۱۳۶۸-۱۳۹۷ و دوره آماری ۲۳ سال برای چاه‌های پیزومتری، در بازه زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۷در نظر گرفته شدند. همچنین، تعداد ۱۷ حلقه چاه پیزومتری با توجه به پراکنش مناسب جهت مطالعه انتخاب گردید. در این تحقیق از آزمون‌های تحلیل سری زمانی من کندال و پتیت به منظور ارزیابی اثر بارش و خشکسالی هواشناسی بر سطح سفره و خشکسالی آب زیرزمینی استفاده شد. همچنین، از آزمون‌های زمین آمار و تحلیل نقاط داغ در جهت تحلیل مکانی وقوع خشکسالی هواشناسی و رابطه آن با خشکسالی آب زیرزمینی استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا تابع خودهمبستگی در سری زمانی مورد محاسبه قرار گرفت و داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی‌دار بودند به روش Hamed and Rao از سری زمانی حذف گردیدند. سپس در جهت تحلیل روند سری‌های زمانی از آزمون ناپارامتری من کندال استفاده گردید. این آزمون نخست به وسیله Mann در سال ۱۹۴۵ و سپس به وسیله Kendall در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت. نتایج این آزمون نشان دهنده وجود یا عدم وجود روند در سری‌های زمانی، معنی‌داری یا غیرمعنی‌داری آن و بصورت کلی، در صورت وجود روند، مثبت یا منفی بودن روند می-باشد. در این آزمون فرض صفر به معنای عدم وجود روند در داده‌ها و فرض یک نشان دهنده وجود روند (رد فرض صفر) در

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

سری داده می‌باشد. در این آزمون سطح معنی داری ۹۵٪ و۹۹٪ در نظر گرفته شده است (زارع ابیانه، ۱۳۹۱). بعلاوه، در این تحقیق جهت تعیین نقطه تحول در سری زمانی از آزمون ناپارامتری Pittet بهره گرفته شد. این آزمون در واقع زمان تغییر معنی‌دار را در میانگین سری‌های زمانی مشخص می‌کند. نقاط تغییر درواقع نقاطی هستند که در آن میانگین سری قبل و بعد از آن دارای اختلاف قابل توجهی می‌باشند. آماره آزمون $U_{t,N}$ می‌باشد که آزمون می‌کند آیا دو مجموعه نمونه $X_1,\ldots,X_t$ و $X_{t+1},\ldots,X_N$ از یک جامعه آماری می‌باشند یا خیر؟ (Rao et al., 2012؛ Memarian et al., 2012). همچنین، برای تعیین شدت خشکسالی آب زیرزمینی از شاخص حالت پیزومتریک (PSI) استفاده گردید. شاخص حالت پیزومتریک در سال ۲۰۰۵ توسط کنفدراسیون هیدروگرافی اسپانیا ارائه شد. این شاخص می‌تواند برای هر سطح پیزومتری مورد استفاده قرار گیرد بطوری که در محاسبات از مقادیر میانگین، بیشترین و کمترین داده‌های سطح آب زیرزمینی استفاده می‌کند (Sáenz et al., 2009).

شاخص بارش استاندارد (SPI) در سال ۱۹۹۳ توسط Makce و همکاران (۱۹۹۳) برای پایش و تحلیل خشکسالی‌ها ارائه شد. این شاخص می‌تواند خشکسالی‌ها و ترسالی‌های نادر را در طی مقیاس زمانی معین (۱ ، ۳ ، ۶ ماهه و ...) را برای هر نقطه جغرافیایی که دارای آمار بارندگی مناسبی باشد، تعیین و بررسی نماید. از نظر ریاضی این شاخص بر مبنای احتمالات تجمعی بارندگی‌ها در یک ایستگاه و توزیع گاما استوار می‌باشد (Martin.vide & Gomez, 1999). مقدار مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقدار منفی آن بیانگر بارندگی کمتر از بارش متوسط می‌باشد. بنابراین، بر اساس شاخص بارش استاندارد (SPI)، خشکسالی زمانی به وقوع می پیوند که شاخص به طور پی در پی منفی به مقدار ۱- یا کمتر برسد و خشکسالی زمانی به پایان می‌رسد که مقدار شاخص مثبت گردد. در این تحقیق، شاخص SPI به وسیله نرم افزار DIP محاسبه گردید و سپس نوع روند، خودهمبستگی و تغییر نقطه تحول با استفاده از نرم افزار XLSTAT انجام شد. در این بررسی برای تعیین نقاط حدی شاخص PSI از روش تحلیل نقاط داغ (Michel, 2005) از مسیر Hotspot موجود در نرم افزار GIS استفاده گردید.

بحث و نتایج

محاسبه شاخص SPI

با توجه به جدول (۳) نتایج تحلیل سری زمانی SPI در بازه‌های مختلف ۳ ، ۶ ،۱۲ و۲۴ ماهه در دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۹۷ نشان داد که تغییرات تدریجی در بازه ۶ و ۱۲ ماهه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و در بازه ۳ و ۲۴ ماهه غیرمعنی‌دار بود. به عبارتی حوزه آبخیز دشت کاشمر در بازه‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه دچار خشکسالی هواشناسی شده است و در بازه‌های زمانی ۳ و ۲۴ ماهه خشکسالی محسوسی دیده نمی‌شود.

جدول (۳) : نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص SPI ایستگاه های حوضه آبخیز

دوره آماری	بازه زمانی (ماه)	تست روند MK		
		Trend	P	Tau
۱۳۶۸-۱۳۹۷	۳	↓	۰/۰۷۶	n.s-۰/۰۷۲
۱۳۶۸-۱۳۹۷	۶	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۱۴۰*
۱۳۶۸-۱۳۹۷	۱۲	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۲۷۵*
۱۳۶۸-۱۳۹۷	۲۴	↑	۰/۲۹۱	n.s۰/۰۳۴

*معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و n.s غیرمعنی دار

با توجه به جدول (۴) نتایج به دست آمده از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص SPI ایستگاه هواشناسی دشت کاشمر نشان داد که تغییرات سری زمانی این شاخص در بازه های زمانی ۳ ، ۶ و ۱۲ ماهه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است بطوری که نقطه تغییر آن‌ها کاهشی و در سال ۷۹-۱۳۷۸ بوده است ؛ در بازه زمانی ۲۴ ماهه نقطه تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

جدول (۴): نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته شاخص SPI ایستگاه های هواشناسی حوضه آبخیز دشت کاشمر

بازه زمانی	T	K_T	P	Shift
۳	۷۸-۷۹	۵۵۸۳/۰۰۰ *	۰/۰۳	↓
۶	۷۸-۷۹	۸۵۸۰/۰۰۰ *	۰/۰۰۰۱	↓
۱۲	۷۸-۷۹	۱۴۲۷۲/۰۰۰ *	۰/۰۰۰۱	↓
۲۴	–	۱۰۰۸/۰۰۰ N.S.	۱/۰۰۰	-

*معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و n.s غیرمعنی دار

محاسبه شاخص PSI

در جدول (۵) روند سری زمانی پیوسته شاخص پیزومتریک چاه‌های مشاهداتی در سطح احتمال پنج درصد نشان داده شده است. با توجه به جدول در بین تمام چاه‌ها، دو چاه کلاته رحیم و خلیل آباد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبوده است در حالی که مابقی دارای روندی معنی‌دار می‌باشند. جدول (۵) نشان می‌دهد که به جز چاه خلیل آباد تمامی چاه‌ها دارای روندی کاهشی می‌باشند، روند چاه خلیل آباد احتمالا به دلیل عملیات پخش سیلاب و عملکرد پروژه‌های آبخوانداری افزایشی شده است.

جدول (۵) : نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی مورد مطالعه در دشت کاشمر

ایستگاه	دوره آماری	MK تست روند		
		Trend	P	Tau
امام زاده محمد	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۲	-۰/۷۲۳*
ارغا	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۹۱*
عشرت آباد	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۴۸*
جنوب فدافن	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰	- ۰/۹۱۳*
جنوب کهه	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۳۹*
جردوی	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰	-۰/۷۴۰*
کلاته بختیاری	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۳۷*
کلاته شادی	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۸۹۶*
کلاته رحیم	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۱۸۳	-۰/۲۶۴n.s.
کلاته شور	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۸۶۱*
خلیل آباد	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↑	۰/۶۰۰	۰/۱۲۶n.s.
رزق آباد	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۸۵*
سرحوضک	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۹۱*
سید مرتضی	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۱/۰۰۰*
شرق ایرج آباد	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۰/۹۹۱*
شمال کهه	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۱/۰۰۰*
تکمار	۱۳۷۵-۱۳۹۷	↓	۰/۰۰۰۱	-۱/۰۰۰*

*معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و n.s. غیرمعنی دار

جدول (۶) نتایج به دست آمده از تحلیل آزمون همگنی پتیت در جهت تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

PSI چاه‌های دشت کاشمر را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن می‌باشد که تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI در چاه کلاته رحیم و خلیل آباد در سطح احتمال ۵ درصد غیرمعنی دار و در مابقی چاه‌ها معنی‌دار است که نقطه تغییر در همه چاه‌های مشاهداتی معنی‌دار کاهشی می باشد. بیشترین تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI در سال ۸۶-۱۳۸۵بوده است به جز چاه‌های جردوی، رزق آباد، شمال کهه و تکمار که نقطه تغییر آنها به ترتیب سالهای ۸۵-۱۳۸۴، ۱۳۸۲-۸۳، ۱۳۸۲-۸۳ و ۸۴-۱۳۸۳ بوده است.

جدول (۶) : تغییرات ناگهانی در میانگین سری پیوسته شاخص PSI چاه های مشاهداتی مورد مطالعه دشت کاشمر در سطح معنی-داری ۵ درصد

ایستگاه	T	K_T	P	Shift
امام زاده محمد	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱,۰۰۰	۰,۰۰۰۱*	↓
ارغا	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
عشرت آباد	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
جنوب فدافن	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
جنوب کهه	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
جردوی	۱۳۸۴-۸۵	۱۱۸/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
کلاته بختیاری	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
کلاته شادی	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
کلاته رحیم	-	۵۶/۰۰۰	۰/۲۲۶n.s.	-
کلاته شور	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
خلیل آباد	-	۶۳/۰۰۰	۰/۱۲۶n.s.	-
رزق آباد	۸۳-۱۳۸۲	۷۲/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
سرحوضک	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
سید مرتضی	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
شرق ایرج آباد	۱۳۸۵-۸۶	۱۲۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
شمال کهه	۸۳-۱۳۸۲	۷۲/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓
تکمار	۱۳۸۳-۸۴	۸۱/۰۰۰	۰/۰۰۰۱*	↓

پهنه بندی و تعیین نقاط داغ شاخص PSI

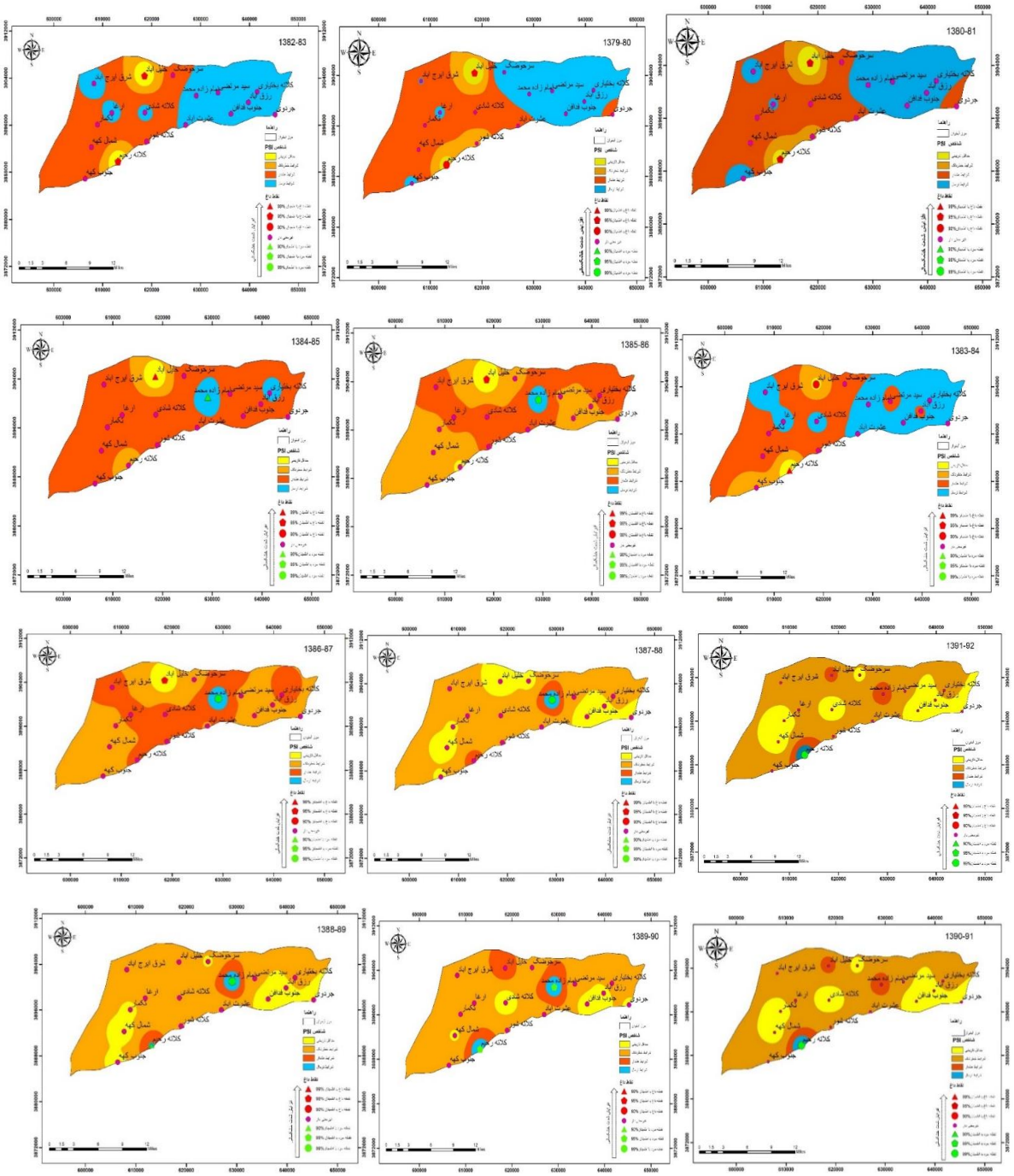
نقشه‌های پهنه بندی شاخص پیزومتریک در دوره آماری به روش IDW میانیابی گردید. باتوجه به راهنمای نقشه، نقاط داغ به هشت طبقه تقسیم شدند. در این طبقه‌بندی هر چه به سمت افزایش شدت خشکسالی پیش رفته نقاط داغ با اطمینان ۹۹ درصد قابل مشاهده و هر چه به سمت وضعیت مرطوب پیش رفته است، نقاط سرد با اطمینان ۹۹ درصد قابل مشاهده می‌باشند. بررسی نقاط داغ در نقشه‌ها در طبقه‌بندی و مرزبندی اقلیمی خشکسالی آب زیرزمینی و شناسایی چاه-هایی که در محدوده‌های حدی (حداقل تاریخی یا شرایط نرمال) قرار دارند، حائز اهمیت می‌باشد. طبق نقشه‌های پهنه بندی شده شکل (۳) از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۷ محدوده بیشتر در شرایط هشدار و از ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ محدوده از غرب به سمت شرق دشت کاشمر به سمت شرایط نرمال قرار داشته است. براساس شکل (۳) دشت کاشمر از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۷ به طور تدریجی در شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به عبارتی خشکسالی آب زیرزمینی در دشت کاشمر رفته رفته به اوج خود رسیده است. در قسمت‌های شرقی و شمالی دشت نسبت به قسمت غربی و جنوبی دشت کاشمر

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

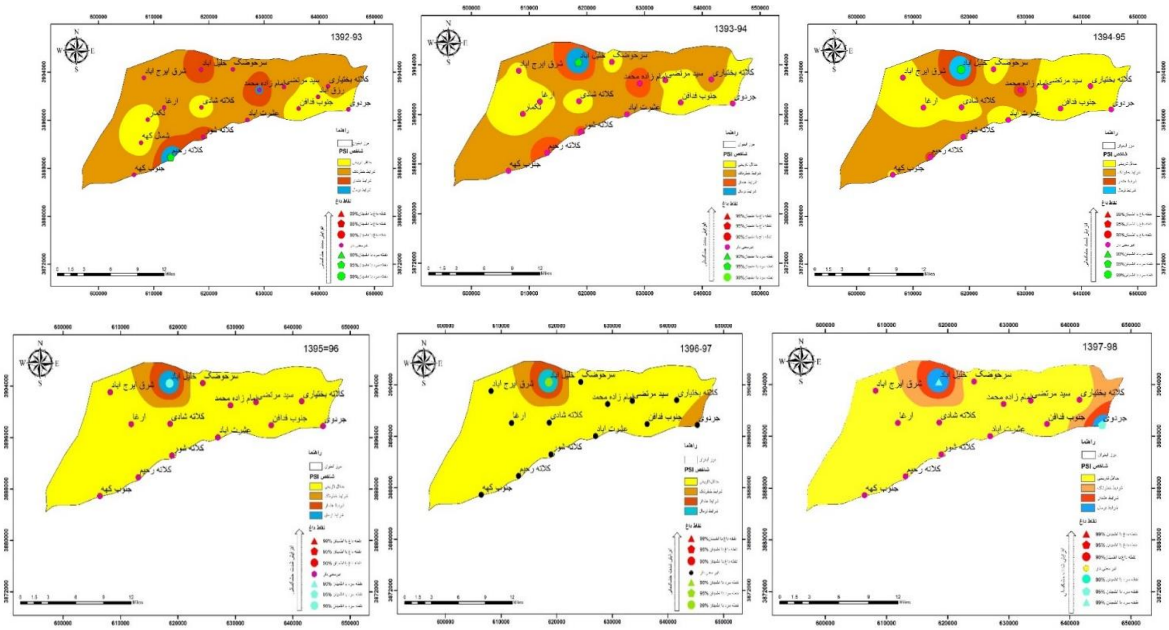
شدت خشکسالی کمتر می‌باشد. علت آن نیز می‌تواند حفر چاه‌های کمتر و به تبع آن بهره‌برداری کمتر از حد مجاز باشد. چاه‌هایی که در قسمت شرق دشت در حالت نرمال هستند در پایین دست چاه خلیل آباد قرار می‌گیرند.

تاثیر مثبت عملیات‌های آبخوانداری صورت گرفته در بخش‌های شمال شرقی منطقه و بخش شمالی شهرستان خلیل آباد و همچنین اثر طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده بر روی رودخانه شصت دره به منظور مهار سیلاب‌های شهری و تغذیه سفره زیرزمینی به خوبی مشهود است. یکی از علل جهت گیری وضعیت بخش‌های شرق و شمال شرق منطقه به سوی حالت نرمال، درشت دانه‌تر بودن آبخوان‌ها در این مناطق است. از علل دیگر می‌توان به عدم وجود شبکه جمع آوری فاضلاب (اگو) در شهر کاشمرکه باعث استفاده منازل این شهر از چاه‌های جذبی برای دفع فاضلاب شده اشاره کرد. این موضوع عاملی برای نفوذ فاضلاب درون چاه جذبی و تاثیرپذیری مثبت سفره‌های آب زیرزمینی در این منطقه است.



[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

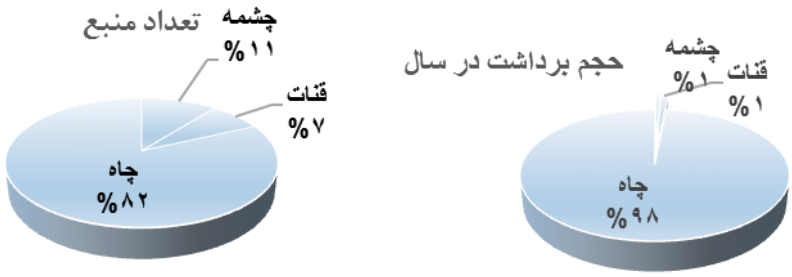


شکل (۳) : نقشه‌های میانیابی شده شاخص PSI به روش IDW برای دوره آماری مشخص شده از سال۱۳۷۵-۱۳۹۷

همچنین، مطابق با جدول (۷) تعداد ۵۰۷ چاه عمیق و نیمه عمیق در دشت کاشمر حفر شده است که میزان برداشت سالانه از منابع آب زیرزمینی آن حدود ۱۳۴/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر این اساس، حدود ۸۲ درصد از منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود استحصال می‌شود، بطوری که سالانه حجم آب برداشت شده معادل ۹۸/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد (شکل ۴).

جدول(۷) : منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر و برداشت در سال براساس آماربرداری سال ۹۷- ۱۳۹۶ (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۸)

نوع منبع آبی	چاه	قنات	چشمه	جمع
تعداد	۵۰۷	۴۶	۶۶	۶۱۹
برداشت در سال (میلیون متر مکعب)	۱۳۴.۳	۱.۳	۰.۷	۱۳۶.۲

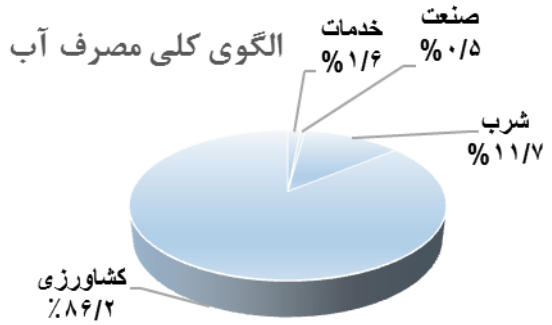


شکل(۴) : منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر براساس آماربرداری سال ۹۷- ۱۳۹۶ (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۸)

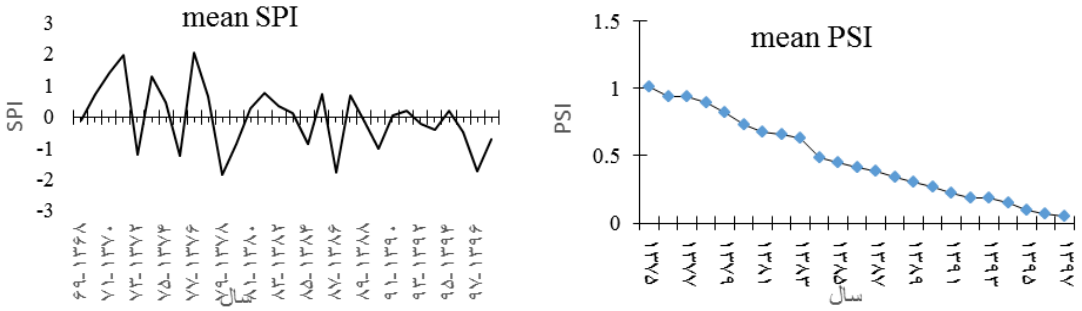
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

از طرف دیگر، مطابق با شکل (۵) و جدول (۲) حدود ۸۶/۲ درصد از منابع آب زیرزمینی و سطحی سالانه معادل ۱۱۵/۴۲ میلیون متر مکعب از آن در بخش کشاورزی، ۱۱/۷ درصد به میزان ۱۶/۰۴ میلیون متر مکعب در بخش شرب و بهداشت استفاده می‌شود. همچنین این میزان در بخش صنعت ۰/۵ درصد، معادل ۰/۷۱ میلیون متر مکعب در سال و بخش خدمات ۱/۶ درصد به میزان ۲/۱۴ میلیون متر مکعب در سال را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل(۵) : منابع آب تجدید پذیر دشت کاشمر و حجم برداشت از آبهای سطحی و زیرزمینی(شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۸)

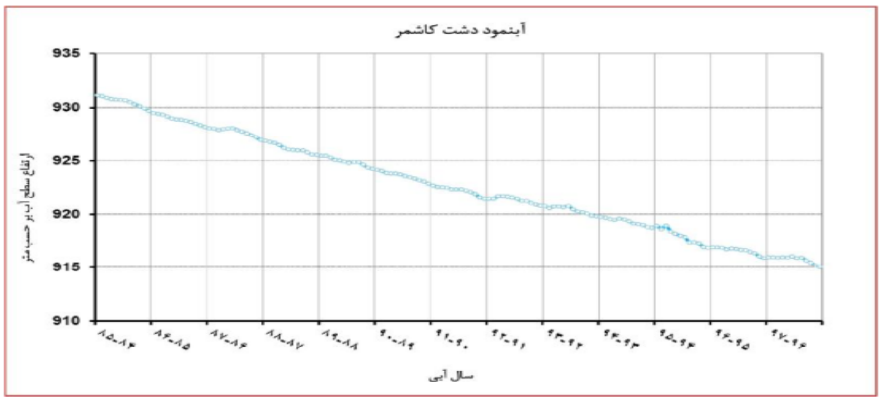


شکل (۶) : نمودار متوسط SPI و PSI

با توجه به شکل (۶) نمودار متوسط شاخص PSI و SPI به ترتیب در بازه ۲۳ و ۳۰ سال بیان می‌کند که سطح آب زیرزمینی و میزان بارش از روندی نزولی در تمام سال‌ها برخوردار بوده است؛ که از علل آن به ترتیب می‌توان به بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی؛ کمبود ریزش‌های جوی و تبخیر زیاد اشاره کرد. این در حالیست که با توجه به اهمیت دشت کاشمر به عنوان یکی از قطب‌های تولید محصولات کشاورزی در استان خراسان رضوی، متاسفانه سالانه حدود ۳۶/۲۳- میلیون متر مکعب کسری مخزن دارد. مقایسه دو شاخص SPI و PSI نشان می‌دهد که در دوره آماری سی ساله، خشکسالی هواشناسی و کاهش نزولات جوی بر خشکسالی آب زیرزمینی دشت موثر بوده است، اما نمی‌توان ارتباط قوی معنی‌داری را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار کرد، بطوری که تاثیر عوامل دیگری در ارتباط با خشکسالی آب زیرزمینی دشت کاشمر با توجه به بیلان منفی آبخوان محتمل خواهد بود. بنابراین، مطابق شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) از علل خشکسالی آب زیرزمینی در دشت کاشمر می‌توان به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی اشاره کرد. علاوه بر مسایل فوق، بحرانی بودن دشت کاشمر از لحاظ وضعیت نامناسب سفره‌های آب زیرزمینی از یک سو (دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی، ۱۳۸۸) و توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و طبیعتا به دنبال آن افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی از سویی دیگر، باعث بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی دشت شده است (نجف زاده و همکاران، ۱۳۹۳). در نتیجه با استفاده غیر اصولی و بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، سطح سفره‌های آب زیرزمینی کاهش یافته بطوری که افت سطح آب باعث ایجاد فرونشست در دشت گردیده است. مسئله نشست زمین، تنها به تخریب جاده‌ها، اماکن، تأسیسات و بالاتر قرار گرفتن لوله جدار چاه‌ها و خم شدن میل گاردان چاه موتور، ختم

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

نمی‌شود، بلکه تغییراتی در آرایش دانه‌های رسوب در آبخوان‌ها، به وجود می‌آورد که دیگر امکان برگشت آن به حالت اولیه، و با حجم فضاهای خالی گذشته، میسر نخواهد بود ولو این که آبخوان، در یک دوره طولانی، تحت ترسالی‌ها قرار گیرد و شرایط برای تغذیه آن فراهم شود (ولایتی، ۱۳۸۵). در شکل (۷) ارتفاع سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است که به علت اضافه برداشت‌ها روندی کاهشی داشته است.



شکل(۷): آبنمود محدوده مطالعاتی دشت کاشمر(شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی،۱۳۹۸)

یافته‌های این تحقیق با نتایج حسین‌زاده کرمانی (۱۳۹۲)، خیرخواه و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد، بطوری که یافته‌های حسین زاده کرمانی (۱۳۹۲) نشان داد که سطح آب زیرزمینی دشت کاشمر در گذر زمان به طور متوسط سالانه حدود ۷۰ سانتی‌متر افت داشته است. افت مذکور در دوره خشکسالی سال‌های ۱۳۷۹ -۱۳۷۸و۸۰ -۱۳۷۹ بسیار نگران کننده است و به ۳/۴۲ متر رسیده است. بر اساس شاخص خشکسالی SPI، سال‌هایی که آب‌های زیرزمینی بیشترین افت را داشته‌اند مصادف با سال‌هایی بوده که خشکسالی اقلیمی شدیدی در منطقه رخ داده است. اما اصلی‌ترین عامل در افت سطح آب دشت کاشمر بهره‌برداری غلط از آب‌های زیرزمینی بوده است. خیرخواه و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی همه جانبه‌ای که بر دشت کاشمر به عنوان دشتی با افت محسوس سطح آب زیرزمینی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان افت سطح ایستابی در دشت کاشمر در طول ۲۶ سال بیش از ۲۶ متر می‌باشد. بررسی علل و عوامل مؤثر بر افت سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که مهمترین عامل آن برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. وضعیت آب و هوایی، کشت نامناسب و آبیاری سنتی در این منطقه مهمترین دلایل برداشت از آب‌های زیرزمینی در طی سالیان اخیر است. بنابراین مشاهده می‌شود که پایین رفتن سطح آب زیرزمینی در دشت کاشمر بیش از اینکه بعلت خشکسالی و کاهش ریزش‌های جوی باشد متأثر از برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی می‌باشد و این برداشت بی‌رویه، دشت را در حالت بحرانی قرار داده و به عنوان یک دشت ممنوعه قلمداد می‌شود. نتایج نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) بر دشت مشهد- چناران حاکی از غیرمعنی‌داری سری زمانی شاخص SPI بود اما نقشه‌های میانیابی شده شاخص SPI نشان داد در سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۰-۷۹، ۸۵-۸۴، ۸۷-۸۶، ۹۰-۸۹ و ۹۳-۹۲ دشت مشهد- چناران عمدتا در طبقات فروخشک و خیلی خشک قرار می-گیرد. سطح آب زیرزمینی دشت مشهد- چناران از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ بیشتر از ۲۵ متر افت را تجربه کرده که بیشترین آن در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ بوده که بالغ بر ۶ متر افت مشاهده شده است. عامل اصلی افت سطح سفره زیرزمینی در دشت مشهد را برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی معرفی کردند که این افت سطح آب عامل فرونشست و پیشروی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین دردشت مشهد شده است. همچنین، پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶) در دشت تویسرکان اثرات خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تطابق خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی نشان داد که خشکسالی هواشناسی به تنهایی نمی‌تواند بر سطح آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد و استفاده بی‌رویه از چاه‌های بهره‌برداری و برداشت از آنها تاثیر به سزایی بر افت سطح آب دشت

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

تویسرکان داشته است. روشان و همکاران (۱۳۹۷) با به کار گیری شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی آب زیرزمینی دشت ساری- نکا پرداختند. بررسی‌ها حاکی از آن بود که تغییرات مکانی خشکسالی بیان کننده وقوع خشکسالی در بخش‌های شمالی دشت بوده که مربوط به مرداد ماه سال ۱۳۸۴ می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان دادند که مرداد ماه دارای بیشترین مقدار پهنه خشکسالی و بهمن ماه دارای کمترین مقدار آن می‌باشد که مهمترین عامل آن برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی برای کشاورزی می-باشد. در نتیجه حفر فراوان چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، برداشت آب بدون صرفه اقتصادی، بی آب شدن قنوات، پیشروی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین، شور شدن خاک و از بین رفتن مزارع کشاورزی، نشست زمین و نابودی قابلیت جذب آب در سفره‌ی آب زیرزمینی و ازدیاد بیابان از پیامدهای برداشت بی‌رویه آب از سفره‌ها می‌باشد (سربازی، ۱۳۸۸).

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از تغییرات سری زمانی شاخص SPI با استفاده از آزمون همگنی پتیت نشان داد که بازه زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ماهه معنی‌دار شد که نقطه تغییر آنها در سال ۷۹-۱۳۷۸ است و بازه زمانی ۲۴ ماهه غیرمعنی‌دار شد. تحلیل سری زمانی SPI نشان داد که در بازه‌های ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۹۷ تغییرات تدریجی در بازه ۶ و ۱۲ ماهه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و در بازه ۳ و ۲۴ ماهه غیرمعنی‌دار است. درواقع بررسی تحلیل سری زمانی نشان داد که حوزه آبخیز دشت کاشمر در بازه ۶ و ۱۲ ماهه دچار خشکسالی هواشناسی شده است و با توجه به بیلان آب در منطقه مورد مطالعه ارتباط قوی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی نمی‌توان یافت و خشکسالی آب زیرزمینی علت مهمتری دارد. طبق نقشه‌های پهنه بندی شاخص PSI از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۷ محدوده مورد مطالعه بیشتر در شرایط هشدار و از ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ از قسمت غرب به شرق دشت کاشمر به سمت شرایط نرمال و از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۷ به طور تدریجی در شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به عبارتی خشکسالی آب زیرزمینی در دشت کاشمر رفته رفته به اوج خود رسیده است. همچنین، براساس نمودار شاخص PSI سالانه در دوره آماری ۱۳۷۵-۱۳۹۷ سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۷ از روندی نزولی در تمام سال‌ها برخوردار بوده است. بنابراین بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی اصلی‌ترین علت خشکسالی آب زیرزمینی دشت کاشمر می‌باشد.

منابع

۱. پورمحمدی، س.، م. ت. دستورانی، ه. جعفری، ع. مساح بوانی، م. گودرزی، ف. باقری و م. ح. رحیمیان (۱۳۹۷). بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت تویسرکان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹(۱)، ۴۶-۵۷.

۲. حسین‌زاده کرمانی، م. (۱۳۹۲). بررسی وضعیت خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی (نمونه موردی :دشت کاشمر). نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، ۳۱ اردیبهشت و ۱ خرداد.

۳. خیرخواه، آ. و ه. معماریان (۱۳۹۴). بحران آب در دشت کاشمر، عوامل، پیامدها و راهکارها. اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران، ۱۴ و ۱۵ بهمن، دانشگاه یزد.

۴. دفتر مطالعات پایه منابع آب (۱۳۹۰). گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی دشت کاشمر، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

۵. روشان، س. ح. و م. حبیب‌نژاد روشن (۱۳۹۷). پایش تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های GRI و SWI (مطالعه موردی: دشت ساری- نکا). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۷)، ۲۷۹-۲۶۹.

۶. زارع ابیانه، ح.، م. بیات ورکشی و ص. معروفی (۱۳۹۱). بررسی نوسانات عمق آب زیرزمینی در دشت ملایر. نشریه دانش آب و خاک، ۲۲(۲)، ۱۹۰-۱۷۳.

۷. زهتابیان، غ.ر.، ع.ا. جان فزا، ح. محمدعسگری و م. ج. نعمت الهی (۱۳۸۹). مدلسازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

شیمیایی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرمسار). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۱)، ۷۳-۶۱.
۸. سربازی، م.، س. فیض نیا و م. مهدوی (۱۳۹۷). بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان مشهد با استفاده از GIS و روش‌های آماری چند متغیره، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۱(۳)، ۶۵۷-۶۴۵.
۹. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۳۹۸). گزارش سیمای آب محدوده مطالعاتی کاشمر، سال آبی ۹۶-۹۷.
۱۰.شرکت مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۴c). گزارش هیدرولوژی دشت کاشمر، شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، ۹۹ صفحه.
۱۱.فرسادنیا، ف.، م. رستمی کامرود و ع. مقدم‌نیا (۱۳۹۱). تحلیل روند بارندگی در استان مازندران با استفاده از روش من-کندال منطقه ای. تحقیقات منابع آب ایران۸(۲)، ۷۰-۶۰.
۱۲.کمالی، ش.، ک. اصغری و آ. احمدی (۱۳۹۸). تحلیل خشکسالی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات ترکیبی هیدرولوژیکی و هواشناسی به روش داده- محور. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۳.محمدی، ص.، ف. ناصری و ح. نظری پور (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد(SPI) و منابع آب زیرزمینی(GRI). اکوهیدرولوژی، ۵(۱)، ۱۱-۲۲.
۱۴.مسلمی، ح.، ع. آبکار و س. چوپانی (۱۳۹۴). ارزیابی تاثیرات پخش سیلاب دهندر بر منابع آب زیرزمینی دشت هشتبندی (استان هرمزگان)، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات سیرجان، ۸(۴)، ۳۸۸-۳۷۷.
۱۵.مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (a ۱۳۸۴).گزارش طرح مدل ریاضی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کاشمر، جلد اول، گزارش هواشناسی.
۱۶.نجف زاده، ه.، ن. ناصری‌حصار و س. آ. هاشمی‌نسب (۱۳۹۳). بررسی مشکلات منابع آب دشت کاشمر و نقش عملیات آبخوانداری در بهبود وضعیت منطقه، کنگره استحصال آب و آبخیزداری، ۲۹ و ۳۰ بهمن، بیرجند.
۱۷.نورمحمدی، س.، س. م. تاجبخش و ه. معماریان (۱۳۹۶). بررسی اثر عنصر بارش بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی- مکانی خشکسالی(مطالعه موردی: دشت مشهد در حوزه آبخیز کشف رود). جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره ۲۱، صفحات ۴۴-۱۹.
۱۸.ولایتی، س. (۱۳۸۵). بررسی بحران آب استان خراسان. نشریه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۰، ۲۳۴-۲۱۳.
19. Asoka A., Gleeson T., Wada Y., and Mishra V. (2017*). Relative contribution of monsoon precipitation and pumping to changes in groundwater storage in India*. Nature Geoscience, *10*(2): *109-117.*
20. Hamed K. H., and Ramachandra Rao A. (1998). *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*. Journal of Hydrology, *204(1): 182-196.*
21. Martin-Vide J., and Gomez L. (1999*). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells.* International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, *19(5):537-555.*
22. McKee T. B., Doesken 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. Boston, MA: American Meteorological Society. *Vol. 17, No. 22, pp. 179-183*
23. Memarian H., Balasundram S. K., Talib J. B., Sood A. M., and Abbaspour K. C. (2012). *Trend analysis of water discharge and sediment load during the past three decades of development in the Langat basin, Malaysia.* Hydrological Sciences Journal, *57(6): 1207-1222*.
24. Mitchell A. (2005). *The ESRI Guide to GIS Volume 2*: Spatial Measurements & Statistics.
25. Panda D. K., Mishra A., Jena S. K., James B. K., and Kumar A. (2007). *The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India.* Journal of hydrology, *343(3-4): 140-153.*
26. Rao Z. L., Fu Y. L., Li Y. H., Liu J. X., Chen N., and Zhang X. P. (2012). *Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades.* Hydrology and Earth System Sciences, *16*(9): *3219-3231.*
27. Sáenz M. C., Montoya F. F., and de Mingo R. G. (2009). *The role of groundwater during drought*. In Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems (*pp. 221-241*). Springer, Dordrecht.
28. Zafor M., Alam M., Bin J., Rahman M., and Amin M. N. (2017). *The analysis of groundwater table variations in Sylhet region, Bangladesh.* Environmental Engineering Research, *22(4):369-376.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]

Evaluation of temporal-spatial changes of groundwater resources in Kashmar plain based on time series analysis of precipitation and drought data

Shiva Azadi Shibkooh [1] Hadi Memarian Khalilabad [2] Mohsen Pourreza Beilandi [3] Meysam Abedinpour [4] Morteza Akbari[5]

[1]Master of Watershed Engineering, Birjand University, South Khorasan, Iran
[2]Associate Professor of Soil Conservation Engineering, Birjand University, South Khorasan, Iran
[3]Associate Professor of Hydrology, Birjand University, South Khorasan, Iran
[4]Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Kashmar Higher Education Center, Khorasan Razavi, Iran
[5]Assistant Professor of Desert Areas Management, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi, Iran

Received: 2020/05
Accepted: 2020/07

Abstract

Groundwater is one of the most important resources of water in the world. Studies show that low rainfall, persistent droughts, and over-exploitation have caused economic and environmental damage. Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of rainfall and drought on the groundwater of Kashmar plain as one of the most important fertile plains of Khorasan Razavi in eastern Iran, using Man-Kendall and Petit time series. In this study, from the 30-year statistical period (1989-2017), the rainfall data of Kashmar meteorological station were used to evaluate the effects of meteorological drought, with SPI index. Furthermore, the statistical data of 17 piezometer wells in the study area in 23 years (1996-2017) were used to assess groundwater drought, with PSI index. The results of the time series analysis of the SPI index in different ranges of 3, 6, 12, and 24 months in 1989-2017 showed that the gradual changes in the range of 6 and 12 months at the five percent significant level (p-value = 0.05), which the point of change was 1999-2000, however, it was not significant in 3 and 24 months. Since p-value≠ 0.05, the time series of the PSI index in Kalat-e-Rahim and Khalilabad wells (in the southern and northern parts of the region) is not significant, but the other wells are significant. This means that Kalat-e-Rahim and Khalilabad wells were in better condition during droughts due to aquifer operations in the area. Therefore, Kashmar plain has suffered from groundwater drought from 1996 to 2018. According to the SPI and PSI indices, meteorological drought has affected groundwater resources, but a more important factor in groundwater drought is the over-exploitation of groundwater, which has led to declining 40 cm groundwater levels per year in Kashmir plain.

Keywords: SPI Index, PSI Index, Groundwater Level Loss, Ground statistics methods.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.1.4.9]