

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)

سمیرا نورمحمدی<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
سیدمحمد تاجبخش - استادیار آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
هادی معاریان - استادیار آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۴

چکیده

عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور از جمله استان خراسان رضوی شده است. در این تحقیق از تکنیک‌های تحلیل سری‌های زمانی مان-کندال و پتیت برای تحلیل روند شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی PSI در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۳) حوزه آبریز دشت مشهد استفاده شده است. جهت تحلیل مکانی وقوع خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با خشکسالی آب زیرزمینی نیز از روش‌های زمین آمار و تحلیل نقطه داغ استفاده گردید. نقشه‌های میان یابی شده شاخص SPI نشان داد که در سال‌های ۷۸-۷۹ تا ۸۰-۸۱، ۸۴-۸۵ تا ۸۷-۸۸، ۹۰-۹۱ و ۹۲-۹۳ حوزه آبریز مطالعاتی عمدتاً در طبقات فروخشک و خیلی خشک قرار می‌گیرد؛ اما نتایج تحلیل سری زمانی شاخص SPI در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه اندرخ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی دار نیست؛ بنابراین حوزه آبخیز مشهد - چناران حداقل در طی سه دهه اخیر تغییرات تدریجی محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تجربه نکرده است. تغییرات تدریجی سری زمانی شاخص PSI در چاه‌های مشاهداتی قاسم‌آباد، کلاته نادر، مسکران، نومهن و هاشم‌آباد غیرمعنی - دار و در بقیه چاه‌ها (۳۵ چاه) معنی دار می‌باشند. شاخص PSI در همه چاه‌ها به جز بلوار تلویزیون دارای روند کاهشی است. نقشه‌های پهنه‌بندی نیز نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ۶۴-۶۵ تا ۱۳۶۳-۷۹-۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و نمی‌توان ارتباط معنی - دار قوی بین این دو پدیده در دشت ارائه کرد. همچنین بر اساس تحلیل سری‌های زمانی دبی سالیانه آب مهم‌ترین

رودخانه‌های تغذیه‌کننده (که نشان دهنده روندی غیر معنی دار در دوره مطالعاتی است) باز هم نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه برقرار نمود. 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. تعداد حفر چاه در طول این چهار سال ۱۰۵۴ حلقه است که بیشترین میزان حفر چاه را در طول دوره آماری نشان می‌دهد؛ بنابراین برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را می‌توان عامل اصلی افت سطح سفره در دشت مشهد معرفی کرد.

**کلیدواژه‌ها:** افت سطح آبخوان، تحلیل سری زمانی، خشکسالی، میان‌یابی، SPI، PSI.

## ۱. مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش بسزایی داشته باشد (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این مناطق خسارت جبران‌ناپذیری مانند افت شدید و غیرقابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوت، تغییرات الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور را به دنبال خواهد داشت (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور یافتن اثرات بازندگی و بررسی تغییرات آن بر روی سطح آب زیرزمینی ضروری است (خان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۷-۱۵۹). یکی از چالش‌هایی که بشر با آن روبرو است مسئله تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از آن می‌باشد که تغییر اقلیم، تغییر در آبدهی رودخانه‌ها و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۹). در این میان استفاده از تحلیل سری‌های زمانی می‌تواند به تشخیص تغییرات اقلیمی و اثر آن‌ها بر روی منابع آب کمک شایانی نماید. یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (بروکس و همکاران، ۱۹۸۲: ۴۱۲)<sup>۲</sup>. جهت تحلیل روند سری‌های زمانی به‌صورت زمانی و مکانی و بررسی اثر اقلیم بر روی افت منابع آب زیرزمینی تحقیقات زیادی در دنیا انجام شده که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ژانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۴۴)، الگوی مکانی و زمانی مقادیر حداقل و حداکثر تراز آب زیرزمینی در ناحیه دلتای رودخانه پرل چین را با روشمان-کندال<sup>۴</sup> و روش پیش سفید کردن مان-کندال شناسایی کردند. آن‌ها گزارش کردند

1 Khan

2 Brooks, C.E.P. and Camthers, N

3 Zhang

4 Mann-Kendall

که در قسمت بالایی دلتا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی کاهشی و در قسمت‌های میانی و پایینی آن افزایشی است. در مطالعه‌ای دوبوی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲: ۱۶۵۰-۱۶۳۵) به تجزیه و تحلیل زمانی- مکانی روند سطح آب‌های زیرزمینی در دلتای رود سرخ ویتنام پرداختند. تجزیه و تحلیل سطح آب‌های زیرزمینی به صورت سالانه نشان داد که ۳۵ درصد از چاه‌ها در آبخوان آزاد روند نزولی را نشان می‌دهند، در حالی که ۲۱ درصد دارای روند افزایشی هستند. از سوی دیگر سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان محصور روند رو به پائین را تقریباً در تمام مکان‌ها نشان می‌دهد. وثوقی و همکاران (۲۰۱۳: ۵۵۹-۵۴۷) به تجزیه و تحلیل روند آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های ناپارامتری در دشت اردبیل پرداختند. در این مطالعه روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ چاه پیزومتر در مقیاس ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۷ با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها (بجز ۴ ایستگاه) تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی است و در بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌ها روند منفی معنی‌دار مشاهده شد. بررسی شیب خط روند نشان داد که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی‌متر در سال افت دارد. چاودهوری<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴: ۴۹۰-۴۷۹)، به بررسی روند بلند مدت (۲۰۱۰-۱۹۳۰) سطح آب-های زیرزمینی ناشی از اثرات خاک، پوشش زمین و آب در تگزاس پرداختند. در این مطالعه جهت شناسایی الگوهای مکانی تغییرات از روش‌های آماری و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>۳</sup>) استفاده شد. مشاهدات نشان می‌دهد که سطح آب‌های زیرزمینی در سال ۱۹۳۰ که حدوداً ۱۴ متر بود به ۳۶ متر در سال ۲۰۰۰ کاهش یافته است و این روند کاهش سطح آب زیرزمینی در سراسر تگزاس مشاهده می‌شود. وجود این روند نشان می‌دهد که کشت آبی از علل عمده در کاهش سطح آب زیرزمینی در مقایسه با افزایش شهرنشینی در تگزاس می‌باشد. صفائی و همکاران (۱۳۹۲)، به مقایسه شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI<sup>۴</sup>) با شاخص بارش استاندارد (SPI) در آبخوان کوهپایه-سگری با استفاده از GIS پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که به دلیل طولانی بودن فرایند نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی ناشی از بارش، فاصله زمانی بین این دو شاخص به لحاظ وضعیت بحرانی وجود دارد. مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که پایین دست حوزه مشهد با توجه به تجمع کشاورزی و روستانشینی به یک ناحیه بحرانی به لحاظ کیفیت آب تبدیل شده است.

تاکنون شاخص‌های متعددی برای پایش پدیده خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی پیشنهاد شده است. از جمله شاخص شدت خشکسالی پالمر PDSI<sup>۵</sup> که توسط پالمر (۱۹۶۵: ۴۵) ارائه شده و مفهوم اساسی آن بر

1 Du Bui

2 Chaudhuri

3 Geographical Information System

4 Ground water Resource Index

5 Palmer Drought Severty Index

اساس دما و بارش و همچنین رطوبت خاک استوار می‌باشد. شاخص ذخیره آب سطحی<sup>۱</sup> SWSI توسط شافر و دزمان<sup>۲</sup> (۱۹۸۲: ۱۷۵-۱۶۴) که مفهوم اصلی آن همان مفهوم شاخص پالمر است با این تفاوت که در این شاخص ذخیره آب موجود در برف مورد توجه و تأکید قرار گرفته است. و شاخص SPI توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳: ۱۸۳-۱۷۹) که بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می‌باشد. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳-۶-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد که از مهم‌ترین شاخص‌های آب زیرزمینی شاخص منبع آب زیرزمینی GRI است که به وسیله مندیسینو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۳۰۲-۲۸۲) و شاخص حالت پیزومتریک<sup>۴</sup> PSI توسط کنفدراسیون هیدروگرافی اسپانیا در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. توانایی شاخص SPI در ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات آب زیرزمینی (شاخص‌های GRI و PSI) در بسیاری از مطالعات انجام شده داخل و خارج کشور اثبات شده است (معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲-۱۲۰۷؛ وردی پورآزاد و همکاران، ۱۳۹۳؛ رضوانیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹؛ شهید و هازاریکا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹: ۲۰۰۶-۱۹۸۹؛ مندیسینو و سناتور، ۲۰۰۸: ۳۰۲-۲۸۲؛ خان و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۷-۱۵۹؛ جان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۶۰-۳۴۸).

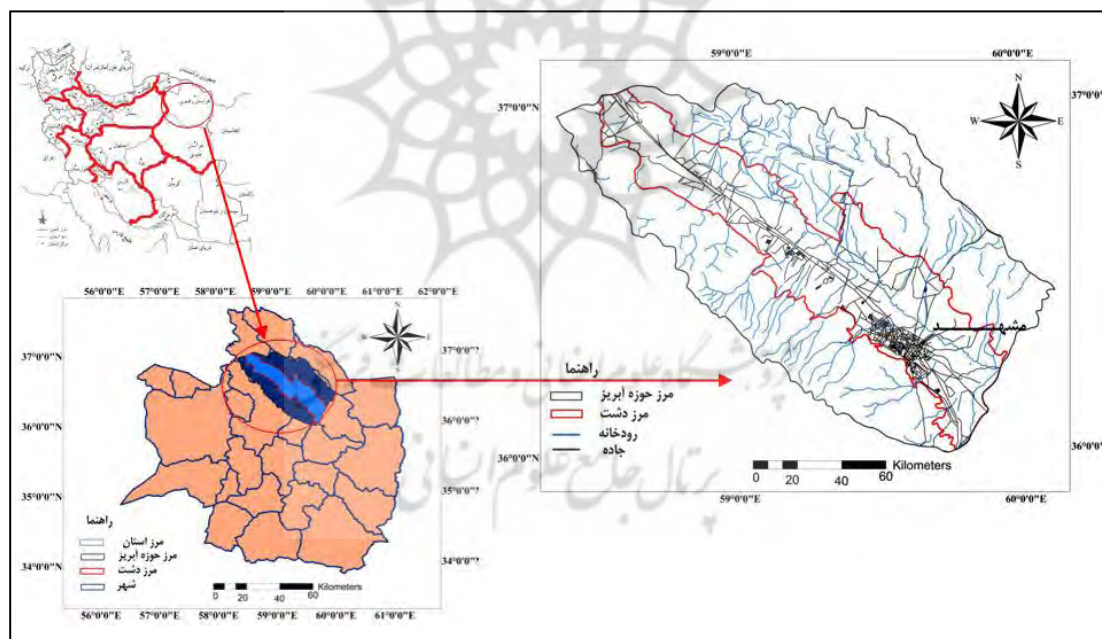
در این مطالعه تلاش می‌شود که با توجه به ضرورت و جایگاه دشت مشهد در تأمین منابع آبی ساکنان آن به تحلیل سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای بارش و سطح آب زیرزمینی این دشت پرداخته شود. دشت مشهد یکی از بزرگترین و مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی است. این دشت علاوه بر تأمین آب مورد نیاز کشاورزی به مقدار بیش از ۱/۵ میلیارد متر مکعب در سال، تأمین کننده آب شرب شهرهای مشهد، چناران، شاندیز و طرقبه نیز می‌باشد. رشد سریع جمعیت همراه با توسعه کشاورزی در دهه‌های اخیر سبب برداشت بی‌رویه و فشار بر منابع آبی این دشت شده است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق این است که به ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های آماری خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به صورت زمانی و مکانی بپردازد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مطالعاتی

- 1 Surface Water Supply Index
- 2 Shafer & Dezman
- 3 Mendicino
- 4 Piezometric State Index
- 5 Shahid and Hazarika
- 6 Jan

دشت مشهد-چناران در محدوده زیرحوزه کشف رود یکی از زیرحوزه های حوزه آبریز قره‌قوم بوده که در شمال استان خراسان رضوی، در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه واقع شده است. وسعت کل حوزه حدود ۹۹۰۹ کیلومتر مربع است که ۶۱۲۰ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۳۷۸۰ کیلومترمربع بقیه را دشت تشکیل می‌دهد (ترشیزیان و همکاران، ۱۳۸۶). سازندهای مختلف زمین شناسی از دوران پرکامبرین تا اواخر دوران سوم در این حوزه یافت می‌شود. رسوبات دوران چهارم زمین شناسی که آب‌خوان دشت را تشکیل داده از مواد فرسایش یافته و حمل شده این سازندها می‌باشند (مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). آب و هوای منطقه برّی و متنوع است، دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. میزان نزولات جوی در ارتفاعات و در سطح دشت تفاوت زیادی دارد ولیکن مقدار متوسط آن در سال ۲۵۰ میلیمتر گزارش شده است (ترشیزیان و همکاران، ۱۳۸۶). در دشت مشهد سطح آب زیرزمینی بخصوص در دهه اخیر بتدریج پایین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است. به همین دلیل از سال ۱۳۷۴ همراه با افت منابع آب زیرزمینی، این دشت از طرف وزارت نیرو جزو دشت‌های ممنوعه اعلام گردید (لشگری‌پور و همکاران، ۱۳۸۴).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## ۲.۲ داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

به منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی - مکانی ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های موجود، داده‌های دبی آب و داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه

با مراجعه به سازمان‌های هواشناسی کشور، تحقیقات منابع آب (تماب)، آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، برای دشت مشهد گردآوری شد. دوره آماری مشترکی برای داده‌های بارندگی و سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۳-۱۳۹۳ تعیین شد که در کل ۱۹ ایستگاه بارندگی با توجه به پراکندگی در دشت و حوزه‌های اطراف با دوره آماری تعیین شده باقی ماند و ۴۰ چاه مشاهده‌ای با دوره آماری تعیین شده با پراکندگی مناسب انتخاب گردید. همچنین داده‌های دبی آب برای ۱۰ ایستگاه هیدرومتری مهم تغذیه کننده دشت در دوره ۱۳۹۲-۱۳۶۲ انتخاب گردید. در واقع با توجه به طول دوره آماری موجود ایستگاه‌ها یک دوره شاخص ۳۰ ساله (۶۴-۱۳۶۳ تا ۹۳-۱۳۹۲) جهت هماهنگی طول دوره آماری انتخاب گردید. خلاءهای آماری با استفاده از ماتریس همبستگی و استفاده از روابط همبستگی بین ایستگاه‌های مجاور با یک رژیم آب و هوایی مشابه و دارای بیشترین ضریب همبستگی تکمیل و بعضاً تا دوره شاخص تطویل گردید (ایستگاه‌های آبدفیزی، زشک خراسان، سرآسیاب شانددیز، چناران و دهانه اخلمد با یک سال نقص آماری).

### ۳.۲. روش انجام مطالعه

در این تحقیق جهت ارزیابی اثر بارندگی و خشکسالی هواشناسی بر سطح سفره و خشکسالی آب زیرزمینی منطقه از تکنیک‌های تحلیل سری‌های زمانی مان-کندال و تیت استفاده شده است. جهت تحلیل مکانی وقوع خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با خشکسالی آب زیرزمینی نیز از روش‌های زمین آمار و تحلیل نقطه داغ<sup>۱</sup> استفاده گردید.

در این مطالعه، ابتدا تابع خودهمبستگی<sup>۲</sup> (جاویدی صباغیان و شریفی، ۱۳۸۸) در سری زمانی محاسبه و سپس تحلیل روند داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی دار در سری زمانی می‌باشند به روش حامد و رائو<sup>۳</sup> (۱۹۹۸: ۱۹۶-۱۸۲) انجام شد. در روش حامد و رائو اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ضرایب خودهمبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی دار باشد (ترابی و امام قلی‌زاده، ۱۳۹۴: ۱۵۱-۱۴۳).

در مرحله بعد تغییرات تدریجی سری زمانی به روش مان-کندال که جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند به شمار می‌رود محاسبه شد. این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵: ۲۵۹-۲۴۵) و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. در این روش ابتدا تک تک مشاهدات با یکدیگر مقایسه شده و اختلاف آن‌ها محاسبه می‌گردد. پس از اعمال تابع علامت و استخراج

1 Hot Spot

2 Autocorrelation function

3 Hamed & Rao

پارامتر  $S$ ، واریانس پارامتر  $S$  محاسبه شده و آماره  $Z$  در سطح معنی دار  $\alpha$  بدست می‌آید (معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲-۱۲۰۷؛ زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹۰-۱۷۳).

در این مطالعه، آزمون مان-کندال برای سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ بکار گرفته خواهد شد. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹۰-۱۷۳).

به منظور تشخیص نقطه تحول در سری‌های زمانی، روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این تحقیق از روش غیرپارامتری پیشنهاد شده توسط پتیت<sup>۱</sup> (۱۹۷۹: ۱۳۵-۱۲۶) استفاده شد. این روش زمان وقوع تغییر معنی دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. آماره آزمون  $U_{t,N}$  می‌باشد که بر اساس این آماره مشخص می‌شود آیا دو مجموعه نمونه  $X_1, \dots, X_t$  و  $X_{t+1}, \dots, X_N$  از یک جامعه آماری هستند یا خیر (گائو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۲۳۱-۳۲۱۹؛ معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲-۱۲۰۷).

جهت استخراج شدت خشکسالی آب زیرزمینی از شاخص حالت پیزومتریک<sup>۳</sup> (PSI) استفاده شد که توسط کنفدراسیون هیدروگرافی اسپانیا در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. این شاخص از مقادیر میانگین، بیشترین و کمترین داده‌های سطح آب زیرزمینی در محاسبات خود استفاده می‌کند (طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

شاخص بارش استاندارد<sup>۴</sup> (SPD) نیز که در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی<sup>۵</sup> و همکاران (مارتین‌واید و گومز<sup>۶</sup>، ۱۹۹۹: ۵۳۷-۵۵۵) ارائه شد به منظور تعریف و پایش خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. از نظر ریاضی شاخص SPI بر مبنای احتمالات تجمعی بارندگی‌ها در یک ایستگاه استوار می‌باشد که مقادیر مثبت و منفی شاخص SPI به ترتیب نشان دهنده شرایط تر و خشک می‌باشد (معماریان و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۵۴-۵۴۱؛ اژدری مقدم و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۲-۶۱؛ باکنلی و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵۴-۱۴۳؛ رازی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۵-۲۵). در این مطالعه شاخص خشکسالی SPI با استفاده از نرم افزار خشکسالی<sup>۷</sup> DIP برای ۱۹ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله محاسبه گردید و سپس تحلیل نوع روند و خودهمبستگی و تغییر نقطه تحول با استفاده از XLSTAT انجام شد.

1 Pettitt

2 Gao

3 Piezometric State Index

4 Standard Precipitation Index

5 McKee

6 Martin-Vide &amp; Gomez

7 Drought Indices Package

در این مطالعه بمنظور میان یابی و تهیه نقشه سطح از روش وزن دهی عکس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) (جهانی و دلبری، ۱۳۸۸؛ واتسون و فیلیپ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵: ۳۲۷-۳۱۵)، به دلیل خطا و پیچیدگی کمتر (مانند عدم نیاز به تحقق مفروضات آماری مانند توزیع نرمال) (حسنی پاک، ۱۳۹۲) نسبت به دیگر روش‌ها، استفاده شد و برای استخراج نقاط حدی به لحاظ شاخص‌های SPI و PSI از روش تحلیل نقاط داغ<sup>۳</sup> (میشل<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵: ۴۵) بهره گرفته شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. محاسبه شاخص SPI

نتایج تحلیل سری زمانی شاخص SPI در دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۹۳ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه اندرخ در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که حوزه آبخیز مطالعاتی حداقل در طی سه دهه اخیر (۳۰ سال اخیر) تغییرات محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی تجربه نکرده است.

جدول ۱ نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص SPI ایستگاه‌های حوزه آبخیز مشهد- چناران

ایستگاه	MK تست روند			ایستگاه	MK تست روند		
	Tau	P-value	Trend		Tau	P-value	Trend
آبقد فریزی	n.s. ۰,۰۷۴	۰,۵۸	↑	امام زاده میامی	n.s. -۰,۰۹۷	۰,۴۸۷	↓
ارداک بند ساروج	n.s. -۰,۱۴۳	۰,۲۷۶	↓	گلمکان	n.s. ۰,۰۷۱	۰,۵۹۲	↑
اندرخ	* -۰,۴۹	۰,۰۰۰۱	↓	کلات منار	n.s. -۰,۲۴۲	۰,۰۶۳	↓
اریه چهار باغ	n.s. ۰,۰۷۶	۰,۵۶۸	↑	مارشک	n.s. -۰,۱۳۶	۰,۳۰۱	↓
بهمن جان علیا	n.s. ۰,۰۹۴	۰,۴۷۵	↑	اولنگ اسدی	n.s. -۰,۱۴۳	۰,۲۷۶	↓
چناران	n.s. ۰,۱۳۶	۰,۳۰۱	↑	سنگ دیوار	n.s. ۰,۰۲۱-	۰,۸۸۷	↑
دهانه اخلمد	n.s. ۰,۰۷۶-	۱	↓	سرآسیاب	n.s. ۰,۰۰۹	۰,۹۵۷	↑
دیزبادبالا	n.s. ۰,۰۳۲	۰,۸۱۷	↑	ینگجه آبشار	n.s. -۰,۰۲۸	۰,۸۴۴	↓
دولت آباد خرم دره	n.s. ۰,۲۳-	۰,۰۷۷	↓	زتشک	n.s. -۰,۰۲۳	۰,۸۷۲	↓
امام زاده رادکان	n.s. -۰,۰۷۱	۰,۵۹۲	↓				

\*: معنی دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی دار

نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی دشت مشهد در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی

- 1 Inverse Distance Weighted
- 2 Watson and Philip
- 3 Hot spot Analysis
- 4 Mitchell



شاخص SPI در ایستگاه‌های اندرخ و دولت آباد خرم دره در سطح پنج درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن‌ها سال ۱۳۷۶-۷۷ می‌باشد. در بقیه ایستگاه‌ها نقطه تغییر معنی داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون پتیت در سری زمانی شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی

حوزه آبخیز مشهد-چناران

ایستگاه	K <sub>T</sub>	P	Shift	T	ایستگاه	K <sub>T</sub>	P	Shift	T
آبقد فریزی	۶۴	n.s., ۶۱۶	-	-	امام زاده میامی	۶۴	n.s., ۶۱۶	-	-
ارداک بند ساروج	۶۷	n.s., ۵۱۵	-	-	گلمکان	۵۹	n.s., ۷۰۴	-	-
اندرخ	۱۹۶	*, ۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	کلات منار	۱۰۶	n.s., ۱۰۵	-	-
اریه چهار باغ	۴۲	n.s., ۹۴۵	-	-	مارشک	۷۷	*, ۳۹۴	-	-
بهمن جان علیا	۶۵	n.s., ۶۰۱	-	-	اولنگ اسدی	۸۳	n.s., ۳۱۵	-	-
چناران	۹۲	n.s., ۲۰۸	-	-	سنگ دیوار	۶۹	n.s., ۵۲۷	-	-
دهانه اخلمد	۴۲	n.s., ۹۲۴	-	-	سرآسیاب	۵۳	n.s., ۸۰۲	-	-
دیزباد	۴۰	n.s., ۹۶۵	-	-	ینگجه آبشار	۴۸	n.s., ۸۸۳	-	-
دولت آباد خرم دره	۱۲۵	*, ۰۳۲	↓	۱۳۷۶-۷۷	زشک	۵۲	n.s., ۸۱۵	-	-
امام زاده رادکان	۶۱	n.s., ۶۶۷	-	-					

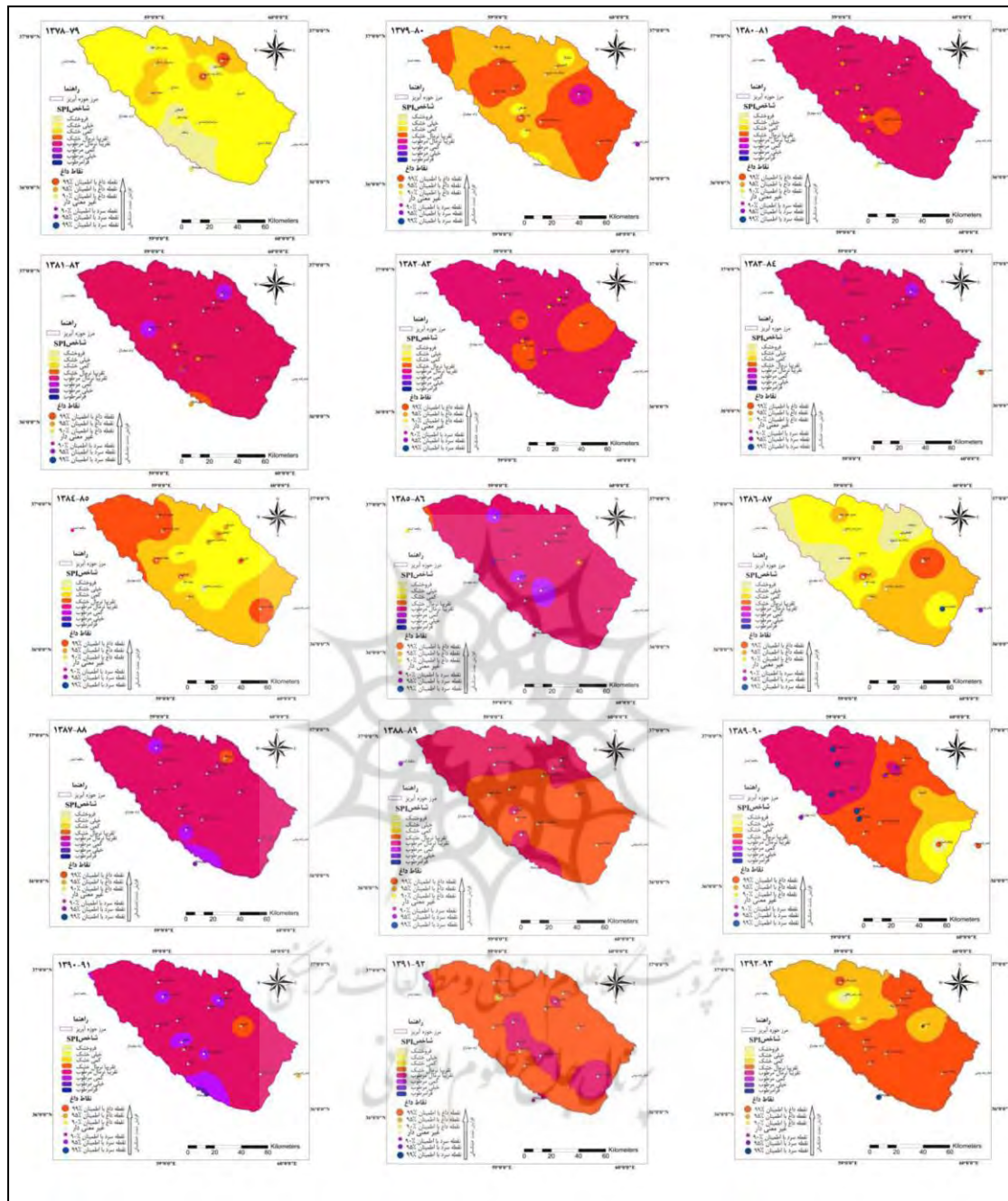
\*: معنی دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی دار

### ۳.۱.۲. پهنه‌بندی و تعیین نقاط داغ شاخص SPI

در شکل (۲) نقشه‌های پهنه‌بندی شده شاخص SPI در دوره آماری بروش IDW نشان داده شده است. همان طوری که در راهنمای نقشه نیز مشاهده می‌شود نقاط داغ در هشت طبقه قرار دارند. با افزایش شدت خشکسالی نقاط داغ با اطمینان ۹۹ درصد و هرچه به سمت فرامرطوب پیش می‌رویم نقاط سرد با اطمینان ۹۹ درصد دیده می‌شوند. بررسی این نقاط در نقشه‌ها می‌تواند در طبقه بندی و مرزبندی اقلیمی منطقه به لحاظ شاخص خشکسالی هواشناسی کمک شایانی نماید. همچنین برآحتی می‌توان ایستگاه‌هایی را که در محدوده‌های حدی<sup>۱</sup> (فروخشک یا فرامرطوب) قرار می‌گیرند از سایر ایستگاه‌ها تفکیک نمود که نمونه آن را می‌توان در نقشه‌های میان یابی شده مربوط به سال‌های ۷۱-۷۲، ۷۴-۷۵، ۸۳-۸۴ یا ۸۹-۹۰ مشاهده کرد.

نقشه‌های میان‌یابی شده شاخص خشکسالی SPI نشان می‌دهند که این شاخص در سال‌های ۶۳-۶۴ تا ۶۹-۷۰، ۷۲-۷۳ تا ۷۶-۷۵، ۸۰-۸۱ تا ۸۳-۸۴، ۸۵-۸۶ تا ۸۷-۸۸ و ۸۹-۸۸ تا ۹۰-۹۱ و ۹۱-۹۲ تا ۹۱-۹۲ در بخش زیادی از منطقه مطالعاتی عمدتاً در فاصله بین شدت‌های خشکسالی کمی خشک تا کمی مرطوب متغیر می‌باشد. در سال‌های ۷۰-۷۱، ۷۱-۷۲ و ۷۶-۷۷ بخش زیادی از منطقه مطالعاتی وضعیت خیلی مرطوب و فرامرطوب را تجربه کرده





شکل ۲ نقشه‌های میان یابی شده شاخص SPI به روش IDW در دوره آماری ۶۴-۱۳۶۳ تا ۹۳-۱۳۹۲ دشت

مشهد-چناران

## ۲.۳. محاسبه شاخص PSI

جدول (۳) معنی دار و غیرمعنی دار بودن سری زمانی پیوسته شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد. تغییرات تدریجی در چاه‌های مشاهداتی قاسم‌آباد، کلاته نادر، مسکران، نومهن و هاشم‌آباد غیرمعنی دار و در بقیه چاه‌ها معنی دار می‌باشند. همان طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید همه چاه‌ها بجز بلوار تلویزیون دارای روند کاهشی می‌باشند و چاه مشاهداتی بلوار تلویزیون دارای روند افزایشی است. که یکی از دلایل آن می‌تواند بدلیل عدم توسعه طرح‌های فاضلاب باشد که در نتیجه بار مضاعف ناشی از پساب به سفره آب زیرزمینی منتقل شده و شرایط بالا آمدگی موضعی سطح آب زیرزمینی در این مناطق را مهیا کرده است (گرجستانی و همکاران، ۱۳۹۴). در طی سال‌های اخیر نیز یک مؤلفه به بیلان آب حوزه کشف رود اضافه شده و آن هم انتقال آب از سد دوستی می‌باشد که با توجه به تأثیر انتقال آب بر مثبت شدن بیلان، افزایش تراز آب را در برخی از چاه‌های مشاهداتی از جمله بلوار صدا و سیما شاهد هستیم.

جدول ۳ نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی مورد مطالعه در دشت مشهد - چناران

ایستگاه	MK تست روند			ایستگاه	MK تست روند		
	Tau	P	Trend		Tau	P	Trend
بحرآباد	*-۰,۳۸۴	۰,۰۰۳	↓	قره جنگل	*-۰,۹۴۷	۰,۰۰۱	↓
بلوار تلویزیون	*۰,۴۷۳	۰,۰۱۱	↑	قره چاه	*-۰,۸۱۳	۰,۰۰۱	↓
تخم مرز	*-۰,۹۱۱	۰,۰۰۰۱	↓	فزل حصار	*-۰,۸۷۵	۰,۰۰۰۱	↓
تنگل شور - مرغ یردک	*-۰,۹۹۵	۰,۰۰۰۱	↓	قلعه ساختمان	*-۰,۵۶۲	۰,۰۱۳	↓
جیم آباد	*-۰,۹۸۹	۰,۰۰۰۱	↓	فوزقان	*-۰,۵۳۲	۰,۰۲۱	↓
چمگرد	*-۰,۹۷۰	۰,۰۰۰۱	↓	کبیر	*-۰,۵۵۰	۰,۰۱۱	↓
چنبرغربال	*-۱	۰,۰۰۰۱	↓	کلاته شیخها	*-۰,۶۹۸	۰,۰۰۳	↓
حسن آباد ویرانی	*-۰,۷۹۴	۰,۰۰۰۱	↓	کلاته کریمخان	*-۰,۸۰۱	۰,۰۰۰۲	↓
خرم آباد	*-۰,۴۷۳	۰,۰۰۰۵	↓	کلاته نادر	n.s.-۰,۳۸۵	۰,۱۱۳	↓
دوغائی	*-۰,۵۶۲	۰,۰۱۸	↓	کنه بیست	*-۰,۹۵۱	۰,۰۰۰۱	↓
رضاآباد شرقی	*-۱	۰,۰۰۰۱	↓	کنوگرد	*-۰,۷۷۲	۰,۰۰۱	↓
ریاض	*-۰,۹۷۵	۰,۰۰۰۱	↓	گراب	*-۰,۵۹۴	۰,۰۰۶	↓
سراسیاب فردوسی	*-۰,۴۶۶	۰,۰۰۴	↓	مزرعه نمونه	*-۰,۹۳۷	۰,۰۰۰۱	↓
سهل الدین	*-۱	۰,۰۰۰۱	↓	مسکران	n.s.-۰,۰۰۵	۰,۹۹۲	↓
سیدآباد	*-۰,۸۹۲	۰,۰۰۰۱	↓	مغان	*-۰,۸۴۲	۰,۰۰۰۱	↓
شفیع	*-۰,۹۱۳	۰,۰۰۰۱	↓	ملی	*-۰,۸۱۰	۰,۰۰۰۱	↓
شورچه	*-۰,۷۰۰	۰,۰۰۰۱	↓	مؤمن آباد	*-۰,۹۴۱	۰,۰۰۰۱	↓
شیرحصار	*-۰,۹۵۱	۰,۰۰۰۱	↓	نومهن	n.s.-۰,۴۵۸	۰,۰۵۸	↓
عباس آباد نهرآباد	*-۰,۹۳۱	۰,۰۰۰۱	↓	هاشم آباد	n.s.-۰,۲۰۲	۰,۳۷۳	↓
قاسم آباد	n.s.-۰,۲۸۸	۰,۱۱۲	↓	یکه لنگه	*-۱	۰,۰۰۰۱	↓

نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی دشت مشهد-چناران در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی در سطح پنج درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن‌ها بیشتر بین سال‌های ۱۳۷۶-۷۷ و ۱۳۷۷-۷۸ می‌باشد. به طور کلی در همه چاه‌های مشاهداتی نقطه تغییر کاهشی می‌باشد بجز در چاه‌های مشاهداتی بلوار تلویزیون و مسکران که نقطه تغییر افزایشی بوده و به ترتیب در سال‌های آبی ۱۳۶۹-۷۰ و ۱۳۸۶-۸۷ واقع شده است.

جدول ۴ تغییرات ناگهانی در میانگین سری زمانی PSI چاه‌های مشاهداتی دشت مشهد - چناران

در سطح معنی دار ۵٪

ایستگاه	K <sub>T</sub>	P	Shift	T	ایستگاه	K <sub>T</sub>	P	Shift	T
بحرآباد	۱۴۸	*۰,۰۰۸	↓	۱۳۸۲-۸۳	قاسم آباد	۱۳۰	*۰,۰۰۴	↓	۱۳۸۴-۸۵
بلوار تلویزیون	۱۸۰	*۰,۰۰۰۲	↑	۱۳۶۹-۷۰	قره جنگل	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷
تخم مرز	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	قره چاه	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷
تنگل شور - مرغ بردک	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	قزل حصار	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸
جیم آباد	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	قلعه ساختمان	۱۶۲	*۰,۰۰۰۴	↓	۱۳۷۳-۷۴
چمگرد	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	قوزقان	۱۸۴	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۳-۷۴
چنبر غربال	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	کبیر	۱۹۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۹-۸۰
حسن آباد ویرانی	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	کلاته شیخها	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸
خرم آباد	۲۰۴	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	کلاته کریمخان	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸
دوغائی	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	کلاته نادر	۱۴۰	*۰,۰۰۰۲	↓	۱۳۸۴-۸۵
رضآباد شرقی	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۵-۷۶	کنه بیست	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷
ریاض	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	کنوگرد	۱۹۵	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۸-۷۹
سرآسیاب فردوسی	۱۷۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۲-۷۳	گراب	۱۵۸	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۲-۷۳
سهل الدین	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	مزرعه نمونه	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸
سیدآباد	۲۰۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸	مسکران	۱۳۸	*۰,۰۰۰۸	↑	۱۳۸۶-۸۷
شفیع	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	مغان	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷
شورچه	۲۰۸	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۸-۷۹	ملی	۱۹۶	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۷-۷۸
شیرحصار	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	مؤمن آباد	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷
عباس آباد نهرآباد	۲۱۰	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۷۶-۷۷	نومهن	۱۸۲	*۰,۰۰۰۱	↓	۱۳۸۱-۸۲

رو به پایین: ↓؛ رو به بالا: ↑؛ ۵٪ معنی دار در سطح: \*؛ غیر معنی دار: n.s.

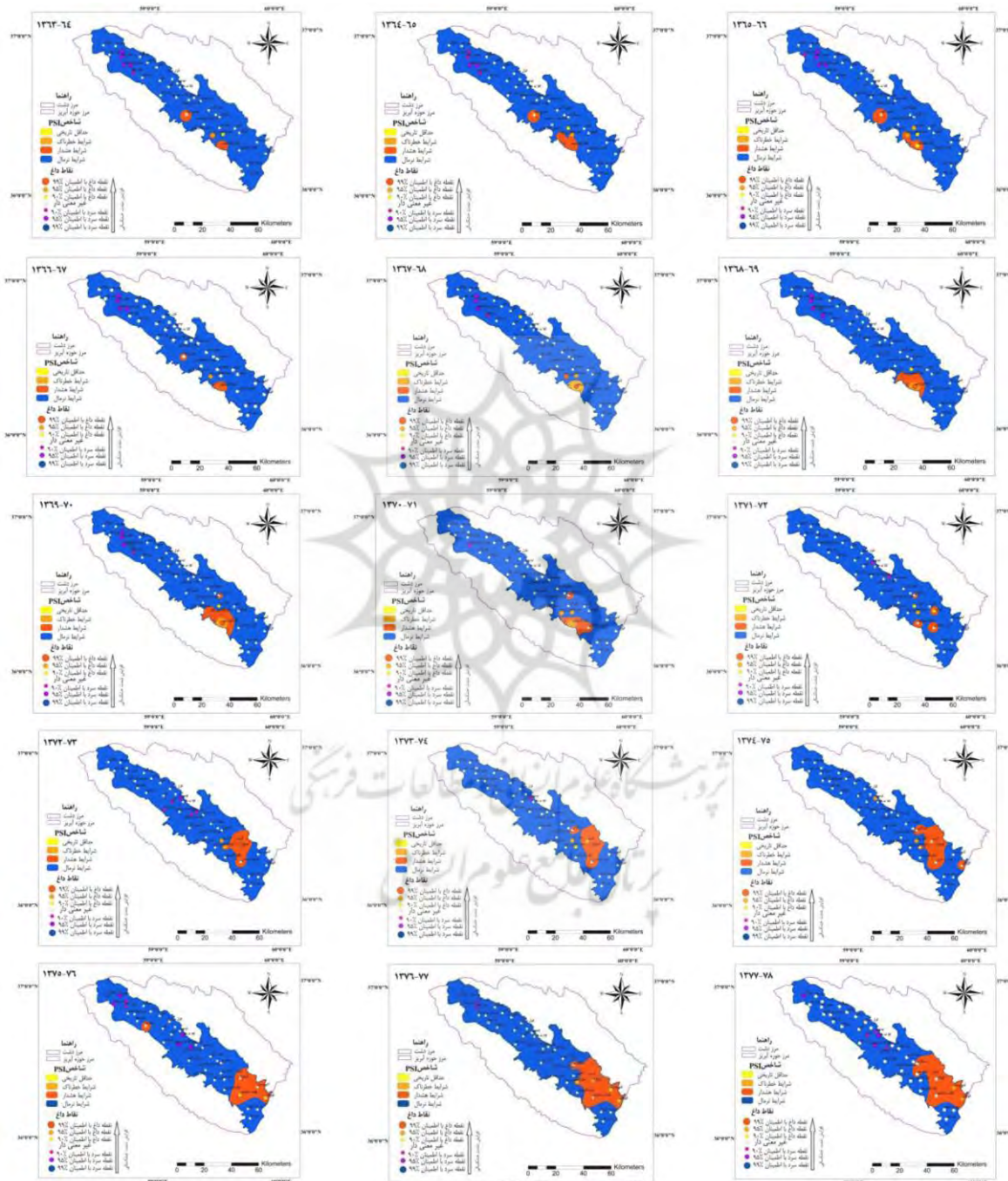
### ۳.۲.۱. پهنه‌بندی و تعیین نقاط داغ شاخص PSI

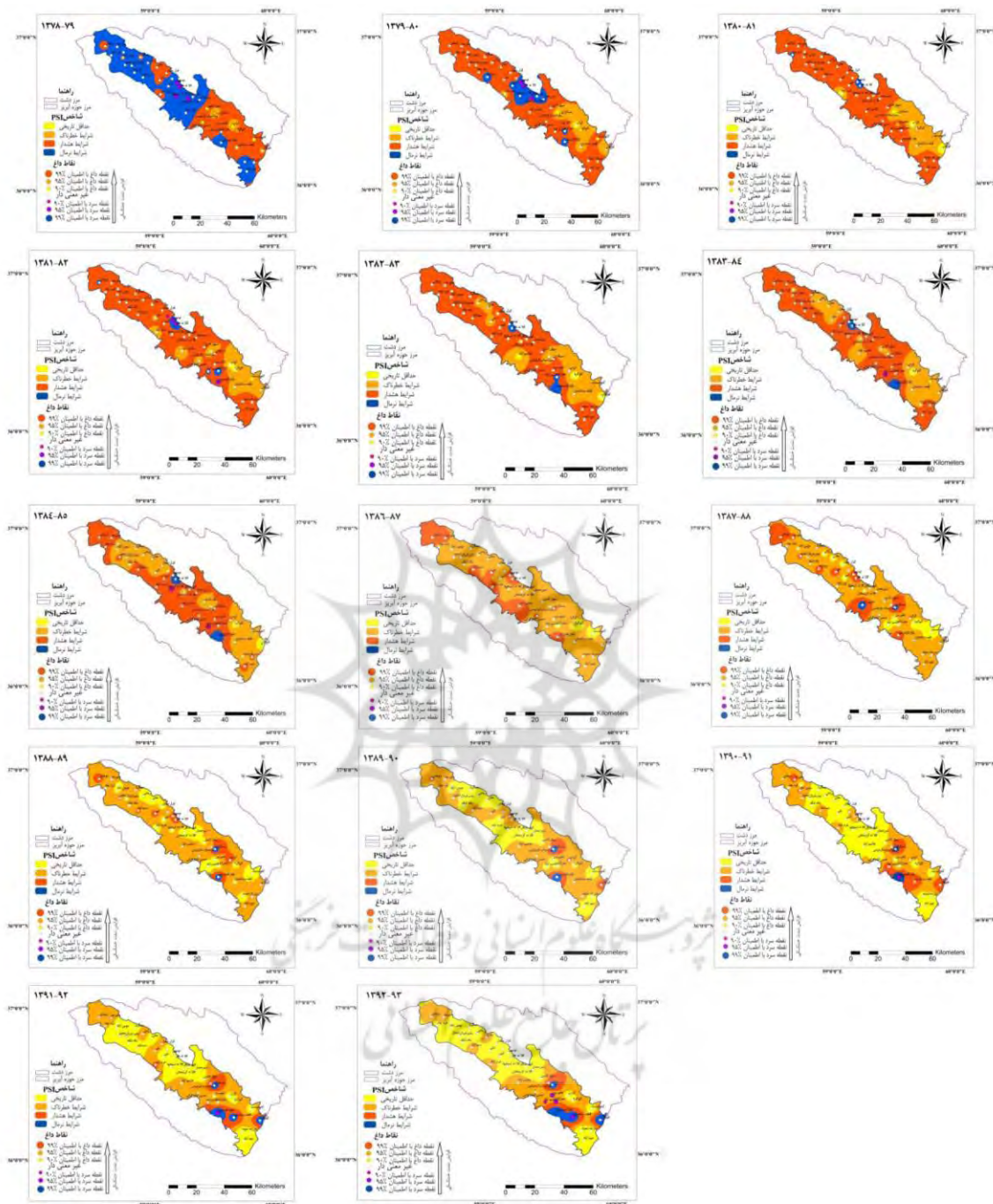
در شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی شده شاخص PSI در دوره آماری به روش IDW نشان داده شده است. با بررسی نقاط داغ می‌توان چاه‌هایی را که در محدوده‌های حدی<sup>۱</sup> (حداقل تاریخی یا شرایط نرمال) قرار می‌گیرند از سایر چاه‌های مشاهده‌ای تفکیک نمود که نمونه آن را می‌توان در نقشه‌های میان یابی شده مربوط به سال‌های ۷۸-۷۹، ۸۰-۷۹، یا ۹۳-۹۲ مشاهده نمود. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ۶۴-۱۳۶۳ تا ۷۹-

1 Extreme boundaries



۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم شاخص PSI در دشت مطالعاتی در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به طوری که در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ شرایط حداقل تاریخی در دشت مشهد-چناران بوضوح قابل مشاهده است.





شکل ۳ نقشه‌های میانمایی شده شاخص PSI به روش IDW برای دوره آماری ۶۴-۱۳۶۳ تا ۹۳-

۱۳۹۲ دشت مشهد- چناران

## ۳.۳. تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI

به منظور بررسی نحوه تاثیرگذاری خشکسالی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران، از همبستگی و تحلیل رگرسیون بین دو نقشه SPI و PSI در مناطق مشترک در محیط نرم افزار Statistica استفاده شد (جدول ۵). کارایی استفاده از این روش در مطالعات مشابه نیز (سبزی پرور و کاظمی، ۱۳۸۹؛ ۹۹-۱۱۱، کریمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ۲۸-۱۵) تاکید و بررسی شده است. به منظور ارزیابی قدرت همبستگی بین دو متغیر از طبقه بندی ارائه شده توسط اوانس<sup>۱</sup> (۱۹۹۶) استفاده شد.

جدول ۵ تحلیل همبستگی بین شاخص‌های SPI بدون تأخیر، با یک و دو سال تأخیر و PSI برای ۳۰

سال دوره آماری

سال (SPI)	ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی	سال (SPI)	ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی	سال (SPI)	ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی
	شاخص PSI		شاخص PSI		شاخص PSI
۶۳-۶۴	۶۳-۶۴	۶۴-۶۵	۶۴-۶۵	۶۵-۶۶	۶۵-۶۶
	۰,۰۹۹۲ خیلی ضعیف		۰,۰۱۲۳ خیلی ضعیف		۰,۱۰۰۹ خیلی ضعیف
	۶۴-۶۵		۶۵-۶۶		۶۶-۶۷
	۰,۰۸۵۸ خیلی ضعیف		۰,۰۸۳۳ خیلی ضعیف		۰,۰۲۶۶ خیلی ضعیف
۶۶-۶۷	۶۵-۶۶	۶۷-۶۸	۶۶-۶۷	۶۸-۶۹	۶۷-۶۸
	۰,۰۱۴۴ خیلی ضعیف		۰,۱۶۳۳ خیلی ضعیف		۰,۰۳۹۷ خیلی ضعیف
	۶۶-۶۷		۶۷-۶۸		۶۸-۶۹
	۰,۰۲۶۶ خیلی ضعیف		۰,۰۵۹۹ خیلی ضعیف		۰,۱۴۸۴ خیلی ضعیف
۶۹-۷۰	۶۷-۶۸	۷۰-۷۱	۶۸-۶۹	۷۱-۷۲	۶۹-۷۰
	۰,۰۳۹۷ خیلی ضعیف		۰,۲۱۵۰ ضعیف		۰,۱۷۱۱ خیلی ضعیف
	۶۸-۶۹		۶۹-۷۰		۷۰-۷۱
	۰,۰۵۳۲ خیلی ضعیف		۰,۲۴۱۱ ضعیف		۰,۱۸۶۱ خیلی ضعیف
۷۲-۷۳	۶۹-۷۰	۷۳-۷۴	۷۰-۷۱	۷۴-۷۵	۷۱-۷۲
	۰,۲۸۳۰ ضعیف		۰,۲۴۰۵ ضعیف		۰,۴۸۸۵ متوسط
	۷۰-۷۱		۷۱-۷۲		۷۲-۷۳
	۰,۱۶۵۰ خیلی ضعیف		۰,۴۷۰۰ متوسط		۰,۴۹۰۰ متوسط
۷۴-۷۵	۷۱-۷۲	۷۵-۷۶	۷۲-۷۳	۷۶-۷۷	۷۳-۷۴
	۰,۰۷۹۷ خیلی ضعیف		۰,۵۳۳۸ متوسط		۰,۰۵۸۰ متوسط
	۷۲-۷۳		۷۳-۷۴		۷۴-۷۵
	۰,۰۸۷۴ خیلی ضعیف		۰,۰۹۸۳ قوی		۰,۴۱۷۸ متوسط
۷۴-۷۵	۷۳-۷۴	۷۵-۷۶	۷۴-۷۵	۷۵-۷۶	۷۵-۷۶
	۰,۰۱۱۱ خیلی ضعیف		۰,۰۵۳۰ متوسط		۰,۶۶۸۱ قوی
	۷۴-۷۵		۷۵-۷۶		۷۶-۷۷
	۰,۰۱۱۱ خیلی ضعیف		۰,۰۵۳۰ متوسط		۰,۶۶۸۱ قوی



	خیلی ضعیف		متوسط -۰,۴۵		۰,۶۳۳ قوی
۷۵-۷۶	۷۵-۷۶	۷۶-۷۷	۷۶-۷۷	۷۷-۷۸	۷۷-۷۸
	خیلی ضعیف ۰,۱۵۶۴		متوسط -۰,۵۲۵۷		ضعیف -۰,۳۱۵۶
	۷۶-۷۷		۷۷-۷۸		۷۸-۷۹
	خیلی ضعیف ۰,۱۴۸		قوی -۰,۶		خیلی ضعیف -۰,۰۴
	۷۷-۷۸		۷۸-۷۹		۷۹-۸۰
	ضعیف ۰,۲۸۶		متوسط -۰,۴۷		خیلی ضعیف -۰,۰۱۸
۷۸-۷۹	۷۸-۷۹	۷۹-۸۰	۷۹-۸۰	۸۰-۸۱	۸۰-۸۱
	خیلی ضعیف ۰,۰۰۳۹		قوی -۰,۶۸۹۸		متوسط ۰,۴۳۵۵
	۷۹-۸۰		۸۰-۸۱		۸۱-۸۲
	خیلی ضعیف ۰,۰۰۴۸		قوی -۰,۶۰۹		ضعیف ۰,۳۵۹
	۸۰-۸۱		۸۱-۸۲		۸۲-۸۳
	خیلی ضعیف ۰,۱۱۵		متوسط -۰,۴۶		ضعیف ۰,۳۲
۸۱-۸۲	۸۱-۸۲	۸۲-۸۳	۸۲-۸۳	۸۳-۸۴	۸۳-۸۴
	متوسط ۰,۴۸۵۹		خیلی ضعیف ۰,۰۹۸		ضعیف ۰,۳۸۹۹
	۸۲-۸۳		۸۳-۸۴		۸۴-۸۵
	متوسط ۰,۴۲۶		خیلی ضعیف -۰,۰۹۵		ضعیف ۰,۳۵۵
	۸۳-۸۴		۸۴-۸۵		۸۵-۸۶
	ضعیف ۰,۳۳		خیلی ضعیف -۰,۱۸۸		-
۸۴-۸۵	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۶-۸۷
	ضعیف -۰,۳۷۷۶		-		ضعیف -۰,۲۴۰۶
	۸۵-۸۶		۸۶-۸۷		۸۷-۸۸
	-		خیلی ضعیف ۰,۱۷۸		خیلی ضعیف ۰,۰۳۱۱
	۸۶-۸۷		۸۷-۸۸		۸۸-۸۹
	ضعیف -۰,۲۱۵		خیلی ضعیف ۰,۰۲۲۷		خیلی ضعیف ۰,۱۶۲۹
۸۷-۸۸	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۸۹-۹۰
	ضعیف ۰,۳۰۶۶		خیلی ضعیف ۰,۰۶۲۵		ضعیف -۰,۲۲۰۳
	۸۸-۸۹		۸۹-۹۰		۹۰-۹۱
	ضعیف ۰,۲۳۵۹		قوی -۰,۰۶۴۲		ضعیف -۰,۳۲۴۹
	۸۹-۹۰		۹۰-۹۱		۹۱-۹۲
	خیلی ضعیف -۰,۰۷۹۸		خیلی ضعیف -۰,۱۰۰۹		متوسط -۰,۴۰۰۷
۹۰-۹۱	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳	۹۲-۹۳
	ضعیف -۰,۳۲۱۷		ضعیف ۰,۲۲۳۰		متوسط ۰,۴۳۴۹
	۹۱-۹۲		۹۲-۹۳		
	ضعیف -۰,۳۲۰۱		ضعیف ۰,۲۲۳		
	۹۲-۹۳				
	ضعیف -۰,۳۶۰۸				

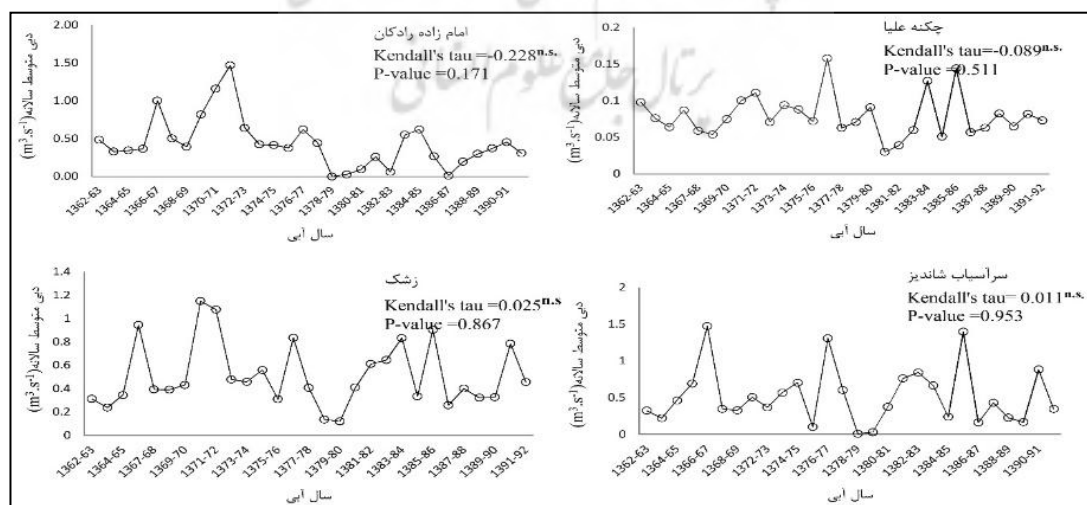
نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و در واقع نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین این دو پدیده در دشت مشهد - چناران ارائه داد. با بررسی ضرایب همبستگی متوسط به بالا بین دو

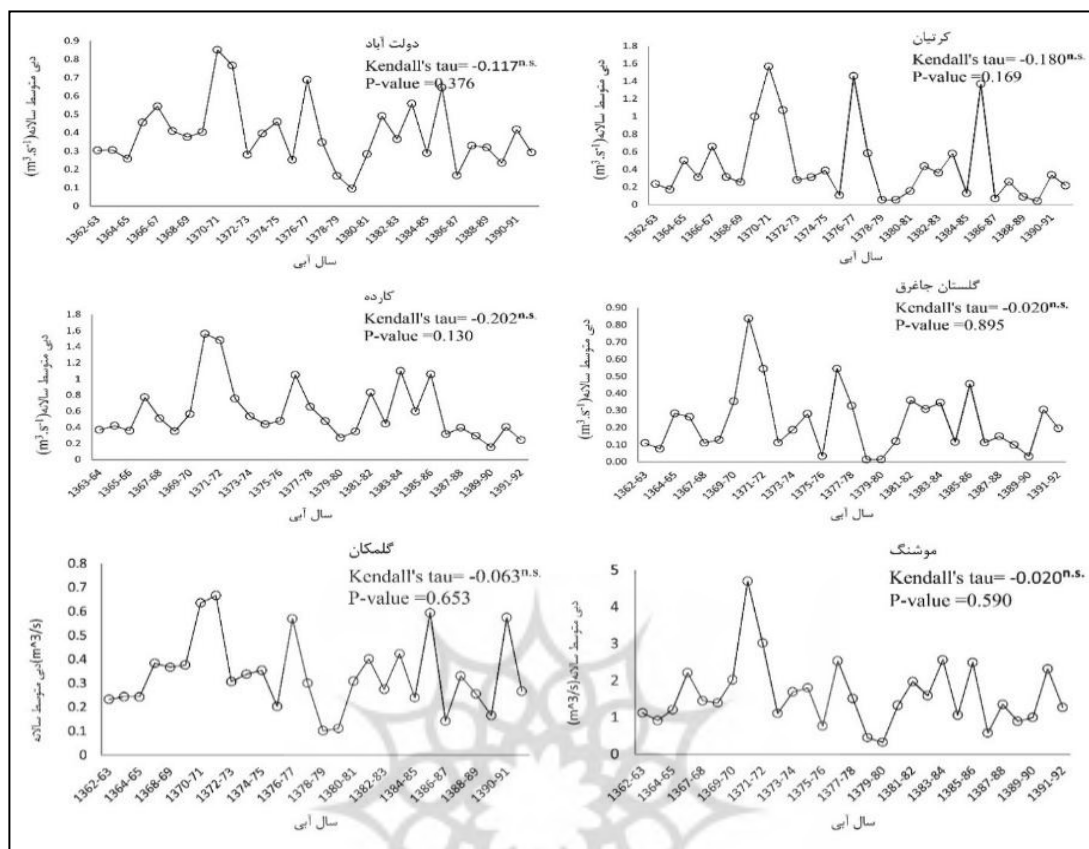
شاخص SPI و PSI مشخص می‌شود که در اکثر موارد این ارتباط از نوع معکوس می‌باشد. به عنوان مثال ضریب همبستگی بین شاخص SPI در سال ۷۱-۷۲ با شاخص PSI همان سال و سال ۷۲-۷۳ و ۷۳-۷۴ به ترتیب برابر با ۰,۴۹-، ۰,۴۹- و ۰,۵۸- می‌باشد. مشابه این ارتباط نیز بین شاخص SPI سال ۷۳-۷۴ با شاخص PSI سال‌های ۷۳-۷۴، ۷۴-۷۵ و ۷۵-۷۶ مشاهده می‌گردد. البته ذکر این نکته ضروری است که منطقه مطالعاتی در سال‌های ۷۱-۷۲ تا ۷۵-۷۶ شرایط نرمالی را در هر دو مورد خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی تجربه کرده است. بین شاخص SPI سال ۷۶-۷۷ با شاخص PSI در سال‌های ۷۷-۷۸ و ۷۸-۷۹ نیز همین ارتباط معکوس وجود دارد. یعنی با کاهش شدت خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آب زیرزمینی نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش نیز می‌یابد. این بدان معنی است که عملاً کنترل تغییرات خشکسالی آب زیرزمینی در این سال‌ها در اختیار تغییرات خشکسالی هواشناسی نبوده و باید علل دیگری را جستجو نمود. حتی در برخی از سال‌ها که منطقه به لحاظ خشکسالی هواشناسی شرایط خشکی را تجربه نموده است (به عنوان مثال سال‌های ۷۹-۸۰ و ۸۹-۹۰) نیز نمی‌توان ارتباط مستقیمی را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار نمود و این ارتباط حتی بین خشکسالی هواشناسی ۷۹-۸۰ با خشکسالی آب زیرزمینی ۸۰-۸۱ و ۸۱-۸۰ از نوع معکوس و قوی می‌باشد (با ضرایب همبستگی ۰,۶۹- و ۰,۶۱-). اما در برخی از سال‌ها می‌توان ارتباط مستقیم متوسطی را بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی یافت نمود. به عنوان مثال شاخص SPI در سال ۹۲-۹۳ با شاخص PSI در همان سال با ضریب همبستگی ۰,۴۳ ارتباط مستقیمی را برقرار می‌نماید که شاید دلیل آن امتداد و پیوستگی شرایط خشکسالی هواشناسی در سال‌های قبل باشد. تقویت ضرایب همبستگی در مواردی که ارتباط بین خشکسالی آب زیرزمینی با خشکسالی هواشناسی با یک یا دو سال تأخیر برقرار گردید نشان دهنده این است که شاخص‌های هیدروژئولوژیکی با شاخص‌های خشکسالی در بسیاری از موارد همزمانی ندارند، به این دلیل که در تبدیل فرآیند بارش به عنوان اصلی‌ترین شاخص هواشناسی به رواناب و پس از آن فرآیند نفوذ و پیوستن آن به منابع آب زیرزمینی عوامل دیگری از جمله ساختار زمین‌شناسی منطقه و میزان نفوذپذیری سازندهای موجود در منطقه نیز نقش زیادی ایفا می‌کنند (یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ شکبیا و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۲۵؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مندسینو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۸۲-۳۰۲).

آبخوان دشت مشهد - چناران دارای ظرفیت تجدیدشونده آب زیرزمینی ۹۵۰ میلیون مترمکعب است که در حال حاضر سالانه ۱۰۷۵ میلیون مترمکعب از آن تخلیه می‌گردد. به دلیل میزان کسری مخزن که ۱۲۵ میلیون مترمکعب

گزارش شده بیلان آبخوان منفی است (بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹؛ شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه بیلان آبخوان منفی است و از سویی دیگر نمی‌توان ارتباط قوی معنی داری را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار کرد، باید به دنبال دلایل دیگری مرتبط با خشکسالی آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران بود. همانطور که در شکل شماره ۸ دیده می‌شود و بر اساس تحلیل سری‌های زمانی دبی سالیانه آب مهمترین رودخانه‌های تغذیه کننده دشت مشهد در محل ایستگاه‌های هیدرومتری زشک، گل‌مکان، امامزاده رادکان، گلستان-جاغرق، دولت آباد-خرم دره، موشنگ، سرآسیاب شاندیز، چکنه علیا، کرتیان و کارده می‌توان دریافت که در کلیه ایستگاه‌ها بر اساس آماره Kendall s tau روند تغییرات دبی کاهشی است ولی به لحاظ آماری در سطح ۰.۵٪ معنی دار نمی‌باشد. پس باز هم نمی‌توان ارتباط معنی دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی برقرار نمود.

با توجه به شکل (۵-الف) سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۳ بیشتر از ۲۵ متر افت را تجربه کرده که بیشترین آن در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ (بالغ بر ۶ متر افت) مشاهده شده است. همانطور که در شکل (۵-ب) نشان داده شده است تعداد حفر چاه در طول این چهار سال ۱۰۵۴ حلقه می‌باشد که بیشترین میزان حفر چاه را در طول دوره آماری دارا می‌باشد. همچنین در طول این دوره آبخوان مورد مطالعه بالغ بر ۸۱۱ میلیون متر مکعب کاهش حجم را تجربه کرده که بر اساس آمار مشاهداتی نیز بیشترین میزان افت سطح و کاهش حجم در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ مشاهده گردید. به دلیل افت سطح آب زیرزمینی و برداشت بی رویه این دشت جزء دشت‌های ممنوعه اعلام گردیده و در حالت بحرانی قرار گرفته است (دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی، ۱۳۸۸). بنابراین نمی‌توان گفت که خشکسالی‌های اخیر و کاهش ریزش‌های جوی مهم‌ترین دلیل در پایین رفتن سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران بوده است. این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی رضوانیان و همکاران (۱۳۹۲) و نورمحمدی و معاریان (۱۳۹۴) نیز همخوانی دارد.



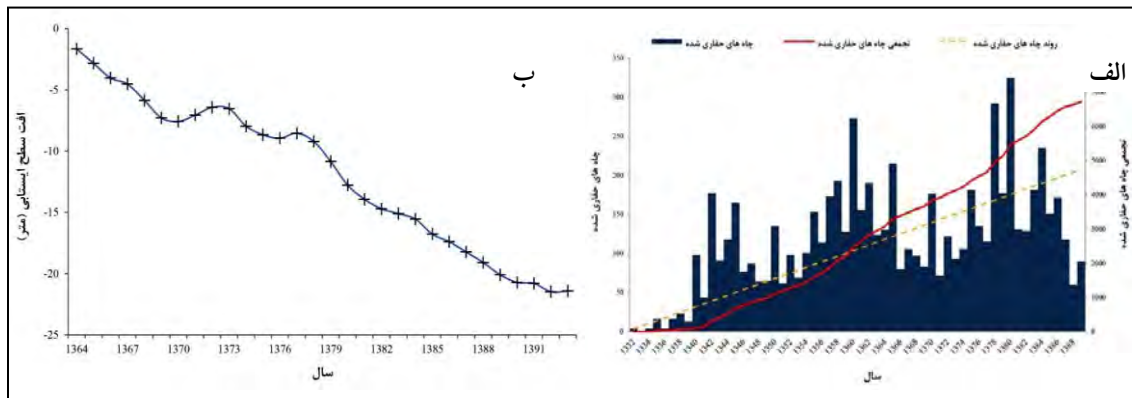


شکل ۴ دبی متوسط سالانه ایستگاه‌های مستقر بر رودخانه‌های مهم تغذیه کننده دشت مطالعاتی طی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۰ (بر حسب متر مکعب در سال)

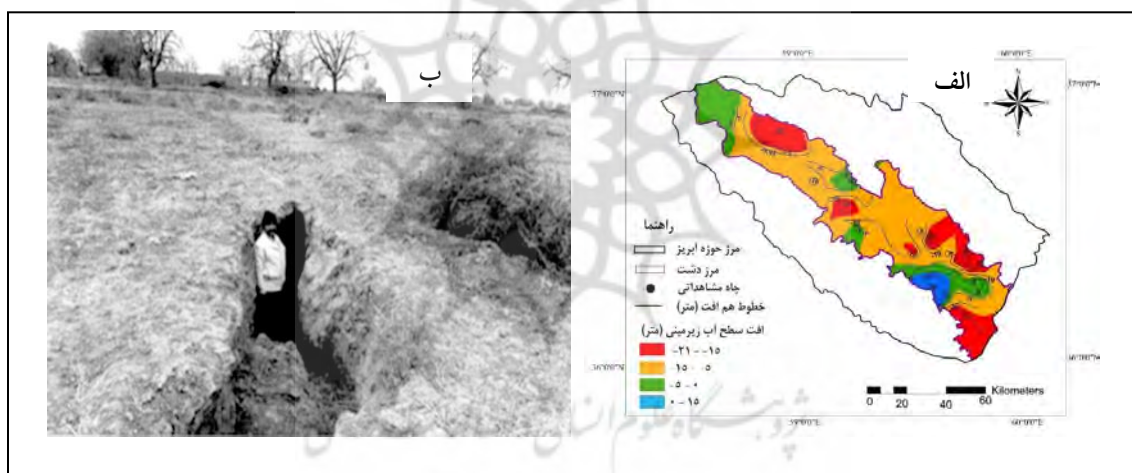
با استفاده از نتایج اندازه گیری سطح آب زیرزمینی در ده سال (۷۶-۱۳۷۵ لغایت ۸۶-۱۳۸۵) و نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی مشخص می شود که میزان افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت مشهد متناسب با میزان بهره برداری توسط چاه‌ها و تغذیه آبخوان در نقاط مختلف می باشد (بهینافر و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به نقشه هم افت آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران (شکل ۶-الف) ملاحظه می شود که میزان افت سطح ایستابی آب در بعضی از قسمت‌های دشت مانند محدوده روستای حسن خوردو و یا منطقه طوس تا ۲۱ متر در طول دوره آماری نیز به ثبت رسیده است. شکل شماره (۶-ب) عمق نشست و درز و شکاف حاصل از تخلیه آبخوان را در محدوده دشت مشهد (روستای حسن خوردو) نشان می دهد.

از معضلات برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی این دشت می توان به تبدیل چاه‌های نیمه عمیق به عمیق، غیر اقتصادی شدن برداشت آب، خشک شدن قنات‌ها، پیش روی آب‌های شور بسمت آب‌های شیرین، شور شدن

خاک و نابودی مزارع و باغ‌ها، نشست زمین و از میان رفتن همیشگی قابلیت جذب آب در سفره آب زیرزمینی و تشدید روند بیابان‌زایی اشاره کرد (سربازی، ۱۳۸۸؛ بهنیاور و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۵ نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران (مدیریت منابع آب ایران، ۹۲) (الف) و تعداد چاه‌های حفاری شده از سال ۱۳۳۲ تا ۱۳۸۹ (ب)



شکل ۶ نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران (الف) و عمق نشست و درز و شکاف دیوار ناشی از نشست زمین در دشت مشهد (ب) (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۴)

#### ۴. نتیجه‌گیری

تحلیل سری زمانی شاخص SPI در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۶۳ با استفاده از آزمون مان-کندال ثابت می‌کند که در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه اندرخ تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص SPI نیز در کلیه ایستگاه‌ها بجز اندرخ و دولت آباد خرم دره در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که حوزه آبخیز مشهد - چناران حداقل در طی سه دهه اخیر

تغییرات تدریجی محسوس را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تجربه نکرده است. اما تغییرات تدریجی سری زمانی شاخص PSI در اکثر چاه‌های مشاهداتی معنی‌دار است. تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده که نقطه تغییر آن‌ها بیشتر کاهشی و بین سال‌های ۱۳۷۶-۷۷ و ۱۳۷۷-۷۸ می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ۶۴-۱۳۶۳ تا ۷۹-۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۱۳۷۸-۷۹ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم شاخص PSI در دشت مطالعاتی در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به طوری که در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ شرایط حداقل تاریخی در دشت مشهد-چناران به‌وضوح قابل مشاهده است. نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص خشکسالی SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و در واقع نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین این دو پدیده در دشت مشهد - چناران ارائه داد. این بدان معنی است که عملاً کنترل تغییرات خشکسالی آب زیرزمینی در این سال‌ها در اختیار تغییرات خشکسالی هواشناسی نبوده و باید علل دیگری را جستجو نمود. حتی در برخی از سال‌ها که منطقه به لحاظ خشکسالی هواشناسی شرایط خشکی را تجربه نموده است (به عنوان مثال سال‌های ۸۰-۷۹ و ۹۰-۸۹) نیز نمی‌توان ارتباط مستقیمی را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار نمود. همچنین بر اساس تحلیل سری-های زمانی دبی سالیانه آب مهم‌ترین رودخانه‌های تغذیه‌کننده (که نشان دهنده روندی غیر معنی‌دار در دوره مطالعاتی است) باز هم نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه برقرار نمود. بنابراین بر اساس تحلیل‌های انجام شده و آمار موجود، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را می‌توان عامل اصلی افت سطح سفره معرفی کرد که باعث فرونشست و پیش‌روی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین در دشت مشهد شده است. نتایج اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در ده سال ۷۶-۷۵ تا ۸۶-۸۵ و نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که میزان افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت مشهد - چناران، متناسب با میزان بهره‌برداری توسط چاه‌ها و تغذیه آبخوان است.

#### کتابنامه

- ایمانی، مهناز؛ طالبی اسفندارانی، علی؛ ۱۳۹۰. بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. صص ۱-۱۲.
- بهنیافر، ابولفضل؛ قنبرزاده، هادی؛ اشراقی، علی؛ ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن. فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم انداز زاگرس. سال دوم. شماره ۵. پاییز ۱۳۸۹. صص ۱۳۲-۱۴۶.

- ترشیزیان، حبیب اله؛ آقاییگی، محمد؛ برزکار، اسماعیل؛ ۱۳۸۶. امکان استفاده از قنوات مترو که جهت تغذیه مصنوعی آب-های زیرزمینی در دشت مشهد. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی کمیته تحقیقات. صص ۱۴۰-۱.
- جهانی، سمانه؛ دلبری، معصومه؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و برآورد بیشترین بارش ۲۴ ساعته در استان گلستان، همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸. صص ۹-۱.
- حسینی پاک، علی اصغر؛ ۱۳۹۲. زمین آمار (ژئواستاتستیک)، دانشگاه تهران. صص ۳۲۸-۱.
- دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی؛ ۱۳۸۸. گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت دشت مشهد. صص ۴۸-۱.
- رضوانیان، سمیه؛ اسدی، تورج؛ گودرزی، حسام الدین؛ ۱۳۹۲. بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت مشهد. سومین همایش ملی سلامت محیط زیست توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس. صص ۱۶-۱.
- زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورشکی، مریم. و معروفی، صفر؛ ۱۳۹۱. بررسی نوسانات عمق آب زیرزمینی در دشت ملایر، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۲۲. صص ۱۷۳-۱۹۰.
- طائی سمیرمی، مجید؛ فاتحی‌مرج، احمد؛ میرنیا، سید خلاق؛ ۱۳۹۱. بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص حالت پیرومتریک (مطالعه موردی: دشت گریباگان، استان فارس)، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۱، بهار و تابستان. صص ۸۹-۸۶.
- سبزی‌پرور، علی اکبر؛ کاظمی، آزاده؛ معروفی، صفر؛ غفوری، محمد؛ بذرافشان؛ ۱۳۸۹. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دوازدهم، شماره یک، بهار. صص ۹۷-۱۱۱.
- سالجقه، علی؛ نجفی حاجی‌پور، منصور؛ و فتح آبادی، ابوالحسن؛ ۱۳۸۸. تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکوف مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صص ۱۸-۱.
- سربازی، محبوبه؛ مهدوی، محمد؛ فیض نیا، سادات؛ و قزل سوفلو، عباسعلی؛ ۱۳۸۸. پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. صص ۸۸-۱.
- سلیمانی، مهدی؛ قاسمیه، هدی؛ ساداتی نژاد، سیدجواد؛ میرزاوند، محمد؛ ۱۳۹۲. بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیک بر نوسانات آب زیرزمینی با استفاده از شاخص PSI، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی - انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران. صص ۹-۱.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی؛ ۱۳۸۹. گزارش تعیین وضعیت آب زیرزمینی دشت مشهد. صص ۶۳-۱.
- شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک؛ خیری، افسانه؛ ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، جغرافیا، فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۸. صص ۲۰-۱.
- کریمی، ولی‌الله؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ آبکار، علی جان؛ ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه-های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم. شماره ۵ پاییز. صص ۴۳-۲۱.

- صفائی، حمید؛ اصغری، کیوان. و صفوی، حمیدرضا؛ ۱۳۹۲. مقایسه شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) با شاخص بارش استاندارد (SPI) مطالعه موردی: آبخوان کوهپایه-سگزی، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه. صص ۱۳-۱.
- گرجستانی، کیان؛ اخترپور، علی؛ ابریشمی، سعید؛ ۱۳۹۴. مطالعه آزمایشگاهی و عددی تأثیر افزایش رطوبت ناشی از بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی مشهد بر پایداری، یک گود پایدار سازی به روش Anchorage، پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد. صص ۱۱۱-۱.
- لشگری پور، غلامرضا؛ سوزی، زینب؛ پیوندی، زکبه؛ ۱۳۸۴. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران. صص ۱۵-۱.
- مقدم، علیرضا؛ قلعه بان تکمه داش، میلاد؛ اسماعیلی، کاظم؛ ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲. صص ۲۱۱-۲۲۵.
- مساعدی، ابوالفضل؛ کوهستانی؛ نسیرین؛ ۱۳۸۹. تحلیل روند تغییرات دبی رودخانه های استان گلستان با استفاده از روش های پارامتری و ناپارامتری، چهارمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. صص ۱۸-۱.
- نادریان فر، محمد؛ انصاری، حسین؛ ضیایی، علی قلی؛ داوری، کامران؛ ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات و نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوزه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، سال اول، شماره ۳، بهار ۱۳۹۰. صص ۲۲-۳۷.
- نورمحمدی، سمیرا؛ معماریان، هادی؛ ۱۳۹۴. بحران آب دشت مشهد، عوامل، پیامدها و راهکارها، اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران. صص ۱۴-۱.
- یاسمنی، سمانه؛ محمدزاده، حسین؛ مساعدی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۱. بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت جام- فریمان با بکارگیری شاخص های SPI و GRI. شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. صص ۱-۷.
- وردی پورآزاد، آیلین؛ آذرخشی، مریم؛ مساعدی، ابوالفضل؛ فرزاد مهر، جلیل؛ ۱۳۹۳. بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از شاخص های SPI و GRI. کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راه-کارها و چالش ها، تبریز. صص ۱۹-۱.
- Bacanli, U. G., Firat, M., & Dikbas, F. (2009). Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(8), 1143-154.
- Brooks C.E.P., Camthers N. (1982). *Handbook of Statistical Method Meteorology*, London, H.M.S.O. 401-412.
- Chaudhuri, S., & Ale, S. (2014). Long-term (1930° 2010) trends in groundwater levels in Texas: influences of soils, landcover and water use. *Science of the Total Environment*, 490, 379-390.
- Evans, J. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*: Brooks/Cole Pub Co. 26, 106-114.



- Gao, Z. L., Fu, Y. L., Li, Y. H., Liu, J. X., Chen, N., & 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.
- Hamed, K. H., Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.
- Javidi Sabbaghian, R., & Sharifi, M. B. (2009). Random modeling application in river flow simulation and estimation of mean annual river discharge by time series analysis. In *International conference on water resources (ICWR)*. Shahrood, Iran, 15-17.
- Jan, C. D., Chen, T. H., & Lo, W. C. (2007). Effect of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations. *Journal of hydrology*, 332(3), 348-360.
- Khan, S., Gabriel, H. F., & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(2), 159-177.
- Martin-Vide, J., & Gomez, L. (1999). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of climatology*, 19(5), 537-555.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Kendall M. G. (1948). Rank correlation methods.
- Mendicino, G., Senatore, A., & Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3), 282-302.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sood, A. M., & 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.
- Memarian, H., Bilondi, M. P., & Rezaei, M. (2016). Drought prediction using co-active neuro-fuzzy inference system, validation, and uncertainty analysis (case study: Birjand, Iran). *Theoretical and applied climatology*, 125(3-4), 541-554.
- Principe, J. C., Lefebvre, W. C., Lynn, G., Fancourt, C., & Wooten, D. (2007). *NeuroSolutions-Documentation, the Manual and On-Line Help*. 33-41.
- Mitchell, A. (2005). *The ESRI guide to GIS analysis volume 2: Spatial measurement and statistics*. 24-29.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & 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. 17(22), 179-183.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought*. Washington, DC: US Department of Commerce, Weather Bureau. 30(6), 44-52.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 126-135
- Watson, D. F., & Philip, G. M. (1985). A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geo-processing*, 2(4), 315-327.

- Shahid, S., & Hazarika, M. K. (2010). Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water resources management*, 24(10), 1989-2006
- Shafer, B. A., & Dezman, L. E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the western snow conference*. Colorado State University Fort Collins CO. 50, 164-175.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann° Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1), 254-271.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann° Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1), 254-271.
- Zhang, X., Zhang, L., Zhao, J., Rustomji, P., & Hairsine, P. (2008). Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resources Research*, 44(7), 124-131.

