

## ارزیابی اثرات شدت - مدت خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی گوناگون بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت نیشابور)

محمد نادریان فر<sup>۱\*</sup> و حسین انصاری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۸

### چکیده

دشت نیشابور در سال‌های اخیر با افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. در نتیجه، نقش عوامل مدیریتی در این دشت دارای اهمیت می‌باشد. از آن‌جا که پراکندگی بارندگی و ویژگی‌های زمین شناسی، در نقاط گوناگون دشت متفاوتند، در این پژوهش برای بررسی اثر خشک و ترسالی‌ها بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی، ابتدا از بین چاههای مشاهده‌ای انتخاب شده در سطح دشت، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای با کاربرد روش "وارد" (Ward)، ۶ چاه مشاهده‌ای معرف برای هر خوشه از دشت انتخاب گردید (خوشه‌ی ۱: سلطان آباد، خوشه‌ی ۲: فیلخانه، خوشه‌ی ۳: امان آباد، خوشه‌ی ۴: اراضی مهندس، خوشه‌ی ۵: امیرآباد و خوشه‌ی ۶: حسین آباد جنگل). سپس میانگین بارندگی در طول دوره‌ی ۸۵-۱۳۵۲ در هر کدام از خوشه‌ها با استفاده از روش IDW محاسبه شد. نتایج آزمون من-کندال نشان دادند که شیب سطح آب زیرزمینی در هر ۶ چاه مشاهده‌ای برای ماههای گوناگون دارای روند منفی می‌باشد. لذا، روند از سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای معرف هر خوشه به روش برون یابی منحنی روند حذف گردید. نتایج همبستگی پیرسون بین بارش و سطح آب زیرزمینی فاقد روند نشان دادند که اثرات بارندگی بر سطح آب زیرزمینی به صورت سالانه تکرار می‌گردد؛ لذا، برای یافتن اثرات خشکسالی و ترسالی بر سطح آب زیرزمینی، از شاخص SPI استفاده شد. نتایج تحلیل‌ها نشان دادند که برای خوشه‌ی ۱ تا ۶ بیش‌ترین  $R^2$  بین سطح آب زیرزمینی فاقد روند و SPI با مقیاس زمانی به ترتیب ۵۴، ۴۲، ۳۶، ۴۸، ۳۶ و ۳۶ ماهه برابر با ۰/۴۰۵، ۰/۴۳۴، ۰/۰۶۳، ۰/۲۴۸، ۰/۳۶۲ و ۰/۲۱۱ می‌باشند. نتایج نشان می‌دهند که خوشه‌ی امان آباد تحت تاثیر حرکت جریان‌های آب زیرزمینی، بویژه تغذیه و حرکت آب‌های زیرزمینی از بخش شرقی دشت و ارتفاعات بینالود قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، شاخص SPI، تحلیل خوشه‌ای، سطح آب زیرزمینی، برون یابی روند.

۱- دانشجوی دوره‌ی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*- نویسنده‌ی مسوول: naderian.mohamad@yahoo.com

## مقدمه

منابع آب زیرزمینی، بزرگ‌ترین ذخیره‌ی قابل دسترسی آب شیرین را در مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهند. در مناطقی که منابع آب سطحی محدود بوده و یا به راحتی در دسترس انسان قرار ندارند، می‌توان نیاز انسان‌ها را به آب از راه آب‌های زیرزمینی که در همه جا گسترده‌اند، برطرف کرد. ساز و کارها و شرایط گوناگون مؤثر بر منابع آب زیرزمینی، تغییراتی را در حجم ذخایر آب زیرزمینی و سطح سفره‌ی آزاد بوجود می‌آورد که جهت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، بایستی تحت اداری دقیق و پیش بینی‌های به موقع قرار گیرند. در این راستا بررسی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی است که می‌تواند در این مورد مفید و موثر واقع شود. برنامه ریزی برای توسعه و مدیریت منابع آب بایستی دربرگیرنده‌ی تمام کاربردها و فعالیت‌های مربوط به آب در یک حوضه‌ی آبخیز باشد. مدیریت منابع آب این هدف را تعقیب می‌کند که تعادلی مناسب را بین نیازهای مربوط به فعالیت‌های آب بر و منابع آب از میان امکانات قابل دسترس برقرار کند.

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که ممکن است در هر وضعیت اقلیمی رخ دهد. خشکسالی (drought) غالباً به عنوان یک پدیده‌ی خزنده بیان شده و توصیف زمانی و مکانی آن بسیار دشوار است (علیزاده، ۱۳۸۵). بنابراین، شناخت خشکسالی به عنوان یک بلیه و ارزیابی اثرات آن بر منابع، بویژه منابع آب ضروری است. لذا، امروزه پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد آب‌های سطحی و زیرزمینی انجام شده است تا شناختی اصولی‌تر و مدیریت منابع آب حاصل گردد. پاندا و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی برای شناختن و یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی Orissa هند و تاثیر خشکسالی و دخالت بشر از روش‌های آماری نافراسنجی من-کنندال استفاده کردند. نتایج آنان نشان دادند که افت سطح آب به علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری نتوانسته با تغذیه در سال‌های مرطوب این افت را جبران کند. شهید و هازریکا (۲۰۰۹)، به تحلیل آب‌نگار سطح آب زیرزمینی و گروه زمانی بارندگی در شمال غربی منطقه‌ی بنگلادش

پرداختند؛ نتایج آن‌ها نشان دادند که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده و اگر مداخله‌ی بشر در سامانه‌ی آب زیرزمینی وجود نمی‌داشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به گونه‌ی عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود. ویسنته سرانو و مورنا (۲۰۰۵)، به بررسی واکنش آبشناسی خشکسالی‌های هواشناسی با استفاده از شاخص معیار بارندگی<sup>۱</sup> (SPI) در مقیاس زمانی گوناگون و در یک حوضه‌ی بزرگ بسته در منطقه‌ی مرکزی اسپانیا پرداختند. آن‌ها نشان دادند که مقیاس زمانی بلند مدت (بیش‌تر از ۱۲ ماه) نمی‌تواند برای تعیین خشکسالی در این منطقه مفید باشد و روی هم رفته، تغییرات جریان‌های سطحی با مقیاس زمانی کوتاه مدت SPI و منابع آب زیرزمینی پاسخ مقیاس زمانی بلند مدت (۷-۱۰ ماه) قابل تبیین می‌باشد. خان و همکاران (۲۰۰۸) از شاخص معیار شده‌ی بارش (SPI) برای بررسی اثر خشکسالی و بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در ۳ منطقه‌ی تحت آبیاری در حوضه‌ی ماری-دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی خوبی بین شاخص SPI و نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در منطقه برقرار بوده و می‌توان با بهره‌وری از آن الگوی خشکسالی‌های اصلی را در استرالیا تعیین کرد. حمیدیان پور (۱۳۸۴) نیز به تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و شدت تاثیر آن بر منابع آب پرداخته است. نتایج وی حاکی از آنند که خشکسالی باعث تشدید افت آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است.

در این مطالعه برای یافتن ارتباط خشکسالی از تاخیر بارندگی و بدست آوردن همبستگی آن با سطح آب آبخانه استفاده می‌گردد، هر چند به دلیل تأثیر پیوسته و مداوم بارندگی بر سطح آب زیرزمینی، بررسی داده‌های بارندگی به صورت ماهانه و داده‌های مجزا چندان مطلوب نمی‌باشد، درحالی‌که در شاخص SPI می‌توان از مقیاس‌های یک ماهه تا چندین ساله استفاده کرده و اثر دوره‌های متوالی را بر آب زیرزمینی مطالعه نمود. از سوی دیگر، داده‌های بارندگی مقادیر عدد واری هستند که به صورت مجزا مورد

<sup>1</sup> - Standardized Precipitation Index

شده است، به گونه‌ای که از سال ۱۳۶۵ به بعد، وزارت نیرو این دشت را ممنوعه اعلام کرده است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۴). میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت در طول دوره‌ی آماری ۸۵-۱۳۷۶، ۷/۹ متر بوده است.

### تحلیل خوشه‌ای چاههای مشاهده‌ای موجود در

#### دشت

در این مطالعه بمنظور بررسی اثرات ترسالی و خشکسالی‌ها بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در نقاط گوناگون دشت، ابتدا با استفاده از تحلیل خوشه‌ای چاههای مشاهده‌ای انتخاب شده در سطح دشت را خوشه‌بندی نموده تا بتوان برای هر یک از خوشه‌ها نماینده‌ی معرف آن خوشه را پیدا کرد. خوشه‌بندی چاههای مشاهده‌ای موجود به این خاطر است که تحلیل تمامی چاههای مشاهده‌ای مشکل بوده و به جای بررسی تمام چاههای مشاهده‌ای می‌توان رفتارهای یکسانی را در قالب یک چاه مشاهده‌ای تجزیه و تحلیل کرد. لذا، در این پژوهش از روش تحلیل خوشه‌ای به روش "وارد" (Ward Clustering Method) استفاده شده است. در شکل ۲ موقعیت چاههای مشاهده‌ای انتخاب شده از بین چاههای مشاهده‌ای موجود در دشت، نشان داده شده اند.

### لایه‌ی اطلاعات بارندگی حوضه

جهت محاسبه‌ی میانگین بارندگی ماهانه‌ی دشت نیشابور و خوشه‌های منتخب از آمار و داده‌های ایستگاههای باران‌سنجی و تبخیرسنجی (شکل ۱) در طول دوره‌ی آماری ۸۵-۱۳۵۲ استفاده شد. برای محاسبه‌ی میانگین بارندگی دشت، روش میان‌یابی عکس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) که یکی از معمول‌ترین روش‌های درون‌یابی نقاط پراکنده در مکان است، بکار گرفته شد.

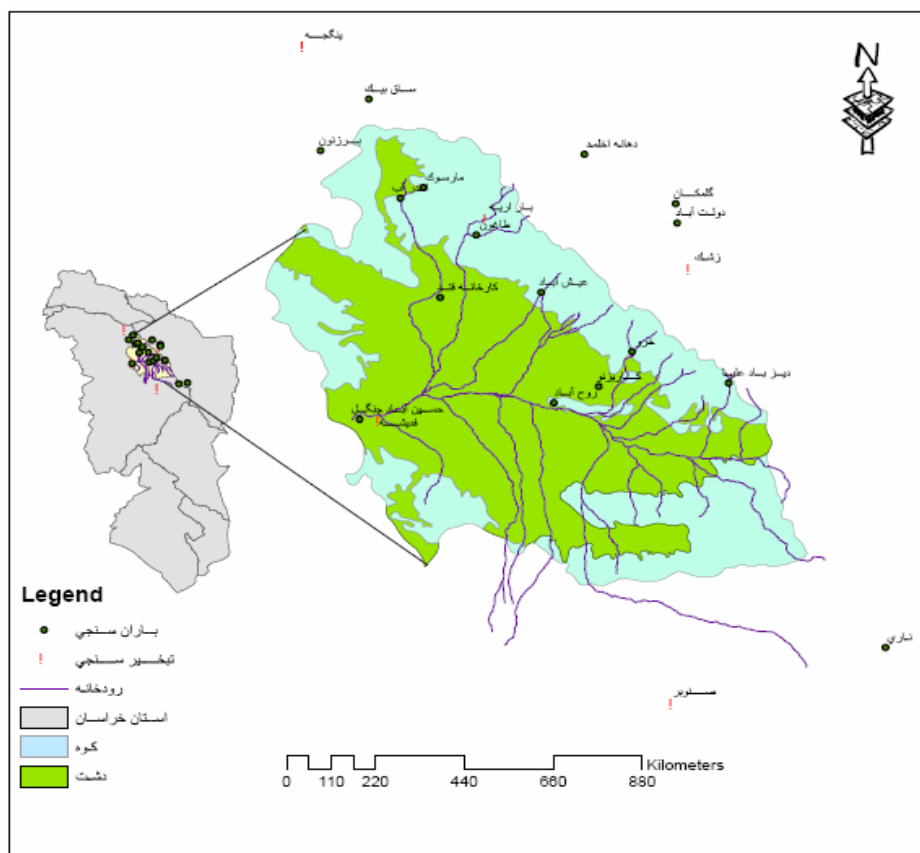
بررسی قرار می‌گیرند، در صورتی که در شاخص SPI، وضعیت وقوع بارندگی‌ها نسبت به شرایط بهنجار منطقه ارزیابی می‌شوند و آنچه بر تغییرات سطح آب زیرزمینی موثر است، همین تغییر روندهاست؛ به همین علت در این مطالعه از شاخص SPI که قابلیت محاسبه در زمان و مکان را داراست (هیز و همکاران، ۱۹۹۹)، برای تحلیل اثرات اقلیمی گوناگون (ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها) بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

#### وضعیت عمومی و موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت نیشابور بخشی از حوضه‌ی آبخیز کالشور نیشابور می‌باشد که در دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرقی کویر مرکزی واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک است. این حوضه در طول جغرافیایی ۱۷° ۵۷' تا ۳۰° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۰° ۳۵' تا ۳۹° ۳۶' شمالی قرار داشته و از شمال به خط‌الراس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلجوق و بال پلنگ، از جنوب به تپه ماهوارهای نیزه‌بند، سیاه‌کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه‌ی آبخیز دشت سبزوار محدود شده است (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰). منابع آبی موجود در دشت شامل رودها، قنات‌ها، چشمه‌ها و چاهها هستند. چاهها منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه بوده که از آبخانه‌ی دشت نیشابور تغذیه می‌شوند، قنات نیز در زهکشی آب زیرزمینی نقش دارند. شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وسعت کل حوضه ۷۳۵۰ کیلومتر مربع است که ۳۱۶۰ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات (۴۳٪) و ۴۱۹۰ کیلومتر مربع را دشت (۵۷٪) تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه‌ی منطقه در ارتفاعات بینالود واقع در شمال شرقی دشت بوده که از سطح دریا ۳۳۰۰ متر ارتفاع دارد، پایین‌ترین نقطه در محل خروجی دشت (حسین-آبادجنگل) واقع در قسمت غربی آن قرار دارد که حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا بلندتر است (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰). دشت نیشابور در سال‌های اخیر به علت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای کاربردهای کشاورزی با مشکل افت شدید سفره‌های آزاد آب مواجه

<sup>1</sup> -Inverse Distance Weights

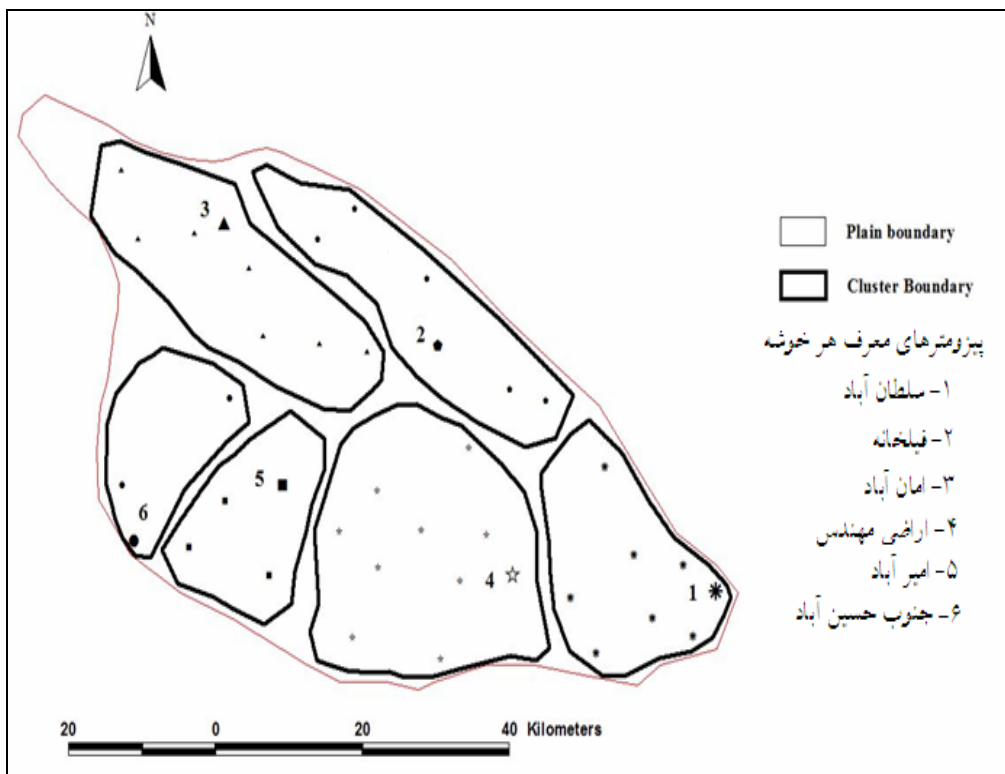


شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیر سنجی موجود در دشت نیشابور.

$$Z_{x_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{x_i} d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-\alpha}} \quad (1)$$

که در آن:  $Z_{x_0}$  مقدار تخمینی متغیر  $Z$  در نقطه‌ی  $X_0$ ؛ مقدار نمونه در نقطه‌ی  $X_i$ ؛  $d_i$  فاصله‌ی نقطه‌ی نمونه تا نقطه‌ی مورد تخمین و  $\alpha$  ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند که در این مطالعه ۲ در نظر گرفته شد (نادریان‌فر، ۱۳۸۹).  
در شکل ۲ لایه‌ی اطلاعات بارندگی در هر یک از خوشه‌ها ارائه شده است.

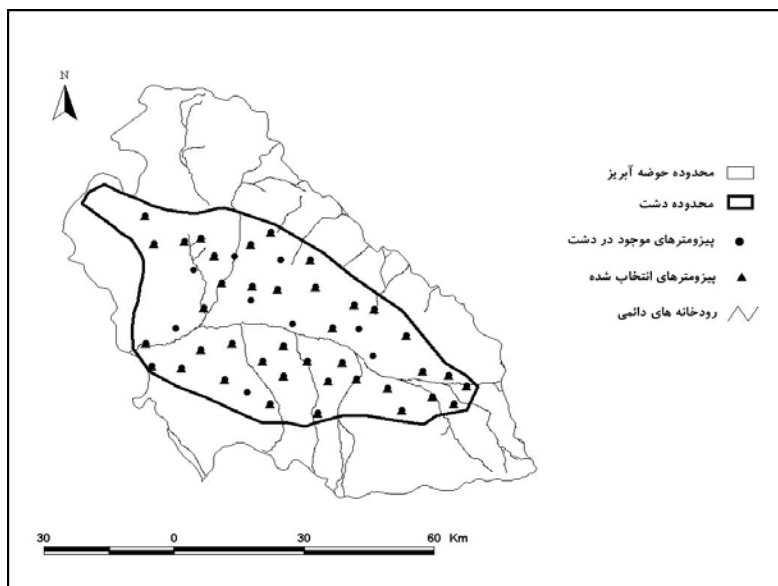
از آن‌جاکه شمار ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه کم می‌باشد، استفاده از سایر روش‌های میان‌یابی منجر به خطای تخمین بیش‌تری می‌شود؛ لذا، در این پژوهش از روش IDW استفاده شد. اساس روش یاد شده بر این فرضیه استوار است که در یک سطح درون‌یابی اثر یک فراسنج بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیش‌تر و نقاط دور کم‌تر تحت تاثیر قرار گرفته و هر چه فاصله از مبدا افزایش یابد، اثر فراسنج کم‌تر می‌شود. برای انجام این امر از نرم‌افزار ARCGIS بر اساس معادله‌ی زیر استفاده شد:



شکل ۲- لایه‌ی اطلاعاتی خوشه‌بندی شده برای محاسبه‌ی میانگین بارندگی (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷).

شد که همه‌ی چاههای مشاهده‌ای منتخب در آن خوشه را شامل شود و میانگین بارندگی که در آن لایه بدست می‌آید، معرف خوبی برای آن منطقه باشد.

همان گونه که بیان گردید، در این پژوهش از تحلیل خوشه‌ای با کاربرد روش "وارد" که ایزدی و همکاران (۱۳۸۷) برای دشت نیشابور انجام داده بودند، استفاده شد (شکل ۳). لذا، لایه‌ی اطلاعات بارندگی به گونه‌ای کشیده



شکل ۳- نمایش جاههای مشاهده ای موجود و انتخاب شده در سطح دشت (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷).

پژوهش برای محاسبه SPI، ابتدا مجموعه‌ای از میانگین دوره‌ها برای تعیین مجموعه داده با مقیاس‌های زمانی  $\bar{I}$  ماهه که  $\bar{I}$  برابر ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۲، ۴۸، ۵۴، ۶۰، ۶۶، ۷۲، ۷۸ و ۸۴ ماهه می‌باشد، ارایه شد. انتخاب این مجموعه‌ها با توجه به تأثیر کمبودهای بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی، مشخص می‌شود. این مجموعه در حال تغییر، برای هر ماه با توجه به مقادیر  $\bar{I}$  ماه قبل مقدار جدیدی را بدست می‌دهد. روی هم رفته، مطالعات گوناگون نشان می‌دهند که شاخص SPI در بیان کیفیت انواع خشکسالی‌های متفاوت قابل استفاده است (ادوارد و مک کی، ۱۹۹۷؛ هیز و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوموزکو، ۱۹۹۹).

### برون یابی روند

روند یا تمایل بلند مدت عبارت است از تحول متغیر مورد مطالعه در یک دوره‌ی طولانی بدون در نظر گرفتن تغییرات دوره‌ای، فصلی و نامنظم. به بیان دیگر می‌توان گفت روند عبارت است از حرکات رو به بالا و پایین یک سری زمانی که نشان دهنده‌ی کاهش یا افزایش بلند مدت یک سری زمانی است. در این روش با استفاده از رگرسیون کم‌ترین مربعات یک خط روند به داده‌ها برازش داده

### پایش خشکسالی

برای بررسی شرایط دوره‌های خشک و بررسی روند تغییرات طولانی مدت و تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی در این پژوهش، از شاخص بارندگی معیار شده (SPI) استفاده شد. شاخص SPI در سال ۱۹۹۳ میلادی به وسیله‌ی توماس بی. مک کی (مکی و همکاران، ۱۹۹۳)، یکی از پژوهشگران دانشگاه ایالتی کلرادو آمریکا، پیشنهاد گردید. این شاخص در حقیقت یک ابزار قوی برای تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی می‌باشد و مشخصه‌ی اصلی آن، انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی گوناگون می‌باشد این شاخص به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$SPI = \frac{X_{ik} - \bar{X}_i}{\delta_i} \quad (2)$$

که در آن،  $\delta_i$  انحراف از معیار داده‌های  $i$  امین ایستگاه،  $X_{ik}$  مقادیر بارندگی برای  $i$  امین ایستگاه و  $k$  امین مشاهده، و  $\bar{X}_i$  میانگین بارندگی ایستگاه  $i$  ام می‌باشد. تعیین و پایش دوره خشک شامل تاریخ آغاز، پایان، دیرپایی و شدت دوره‌ی خشک است. با تعیین SPI که به عنوان یک شاخص کمی و کاربردی برای مقیاس‌های زمانی متفاوت مطرح است، می‌توان فراسنج‌های بالا را محاسبه کرد (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵). در این

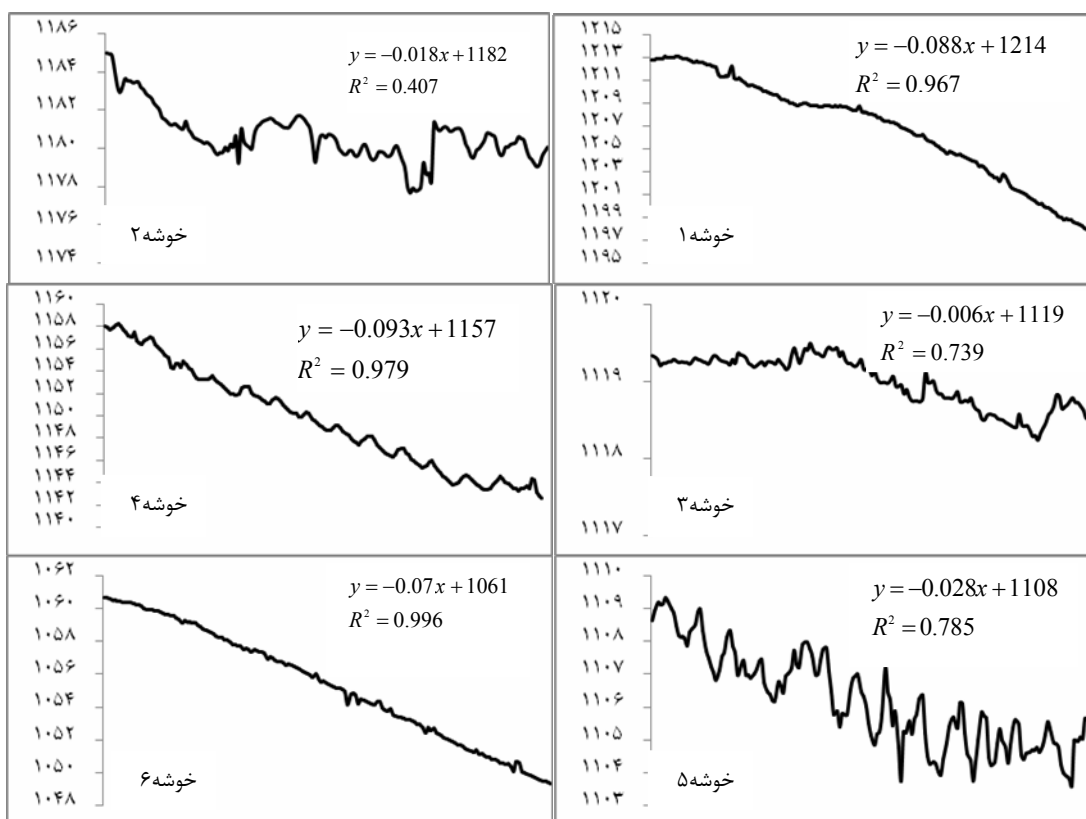
بخش شرقی دشت نیشابور قرار داشته و معرف چاههای مشاهده‌ای موجود در آن خوشه می‌باشد. این بخش از دشت، در این محدوده و ارتفاعات بینالود دارای بافت درشت آبرفتی و تحت تاثیر تغذیه‌ی سطحی و زیرزمینی مناسبی قرار دارد به گونه‌ای که در طول دوره‌ی ۸۵-۱۳۷۲ به اندازه‌ی ۴/۹۱ متر افت داشته و میانگین افت سالانه ۰/۳۵ متر بوده است.

می‌شود، در نتیجه، باقیمانده‌ها فاقد روند خواهد شد. نرم‌افزار بکار رفته برای این امر Minitab 14 می‌باشد.

## نتایج و بحث

داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی در خوشه‌های منتخب

شکل ۴ نشان دهنده‌ی نوسان‌های کم سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای فیلخانه (خوشه‌ی ۲) که در



شکل ۴- آب‌نماهای سطح آب زیرزمینی در چاههای مشاهده‌ای: سلطان آباد (خوشه‌ی ۱)، فیلخانه (خوشه‌ی ۲)، امان آباد (خوشه‌ی ۳)، اراضی مهندس (خوشه‌ی ۴)، امیرآباد (خوشه‌ی ۵)، حسین‌آباد جنگل (خوشه‌ی ۶) در طول دوره‌ی ۸۵-۱۳۷۲.

چاه مشاهده‌ای راه سلطان آباد نمک که در بخش جنوب شرقی دشت نیشابور واقع است، نشان دهنده‌ی افت شدید سطح آب زیرزمینی در این خوشه می‌باشد. فرسایش سازنده‌های ریزدانه، بویژه آهکرس، آبخوان ریزدانه‌ی این بخش را فراهم آورده‌اند که از نظر دانه‌بندی وضعیت مطلوبی ندارند؛ بنابراین، تحت تغذیه‌ی سطحی و زیرزمینی مناسبی قرار نگرفته و این امر در کنار برداشت

چاههای مشاهده‌ای امان آباد و امیر آباد واقع در بخش شمالی و شمال غربی دشت، مشابه چاه مشاهده‌ای فیلخانه نسبت به سایر چاههای مشاهده‌ای از افت کم‌تری برخوردارند، به گونه‌ای که در طول دوره‌ی ۸۵-۱۳۷۲ به ترتیب، ۰/۹۸ و ۲/۹۶ متر افت داشته که میانگین افت سالانه ۰/۰۷ و ۰/۷۴ متر بوده‌اند.

طول این دوره به ترتیب ۱۵/۴۹ و ۱۱/۳۲ متر افت کرده‌اند.

### بررسی آزمون‌های روند بر سطح آب زیرزمینی در خوشه‌های منتخب

نتایج آزمون من-کندال برای بررسی روند در سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای معرف هر خوشه در جدول ۱ ارائه شده است.

بیش از حد باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در این بخش از دشت گردیده است. به گونه‌ای که در طول دوره‌ی ۸۵-۱۳۷۲ سفره‌ی آزاد ۱۵/۲۱ متر افت داشته است که این مقدار ۴ برابر افت در چاه مشاهده‌ای فیلخانه در همان دوره است؛ بدین ترتیب، میانگین افت سالانه ۱/۰۸ متر بوده است. چاه‌های مشاهده‌ای اراضی چاه مهندس و حسین آباد جنگل (شکل ۴) مشابه چاه مشاهده‌ای سلطان آباد از افت شدیدی برخوردار بوده‌اند، به گونه‌ای که در

جدول ۱- نتایج آزمون من-کندال بر سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای منتخب در دشت نیشابور.

خوشه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱	-۴/۸۱*	-۴/۸۱*	-۴/۹۲*	-۴/۹۱*	-۴/۹۲*	-۴/۹۱*	-۴/۹۱*	-۴/۹۲*	-۴/۹۲*	-۴/۹*	-۴/۹۳*	-۴/۹۴*
۲	-۲/۰۸*	-۲/۰۸*	-۱/۸۶	-۲/۶۲*	-۲/۳۵*	-۲/۴۶*	-۳/۰۱*	-۲/۱۸*	-۲/۱۸*	-۲/۶۲*	-۲/۱۸*	-۲/۱۹*
۳	-۳/۳۴*	-۳/۴۵*	-۳/۵*	-۳/۳۵*	-۳/۱۲*	-۲/۷۹*	-۲/۷۹*	-۳/۵۲*	-۳/۱۷*	-۳/۱۷*	-۳/۳۹*	-۳/۳۹*
۴	-۴/۸۱*	-۴/۸۱*	-۴/۹۲*	-۴/۹۲*	-۴/۹۳*	-۴/۹۲*	-۴/۹۲*	-۴/۸۱*	-۴/۷۶*	-۴/۸۱*	-۴/۸۱*	-۴/۸۱*
۵	-۴/۹۲*	-۴/۹*	-۴/۹۳*	-۴/۹۲*	-۴/۹۳*	-۴/۹۲*	-۴/۹۲*	-۴/۸۱*	-۴/۹۲*	-۴/۹۲*	-۴/۹*	-۴/۹۳*
۶	-۳/۷۸*	-۴/۳۷*	-۴/۱۷*	-۴/۱۶*	-۴/۵۵*	-۴/۴۸*	-۴/۴۹*	-۳/۶۱۳*	-۲/۷۳*	-۳/۰۱*	-۲/۷۳*	-۳/۰۶*

\* روند منفی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد

$$Y_t = 1214.57 - 0.0915 \times t \quad (۳)$$

$$Y_t = 1182.25 - 0.01817 \times t \quad (۴)$$

$$Y_t = 1119.5 - 0.006 \times t \quad (۵)$$

$$Y_t = 1157.59 - 0.0938 \times t \quad (۶)$$

$$Y_t = 1061 - 0.0709 \times t \quad (۷)$$

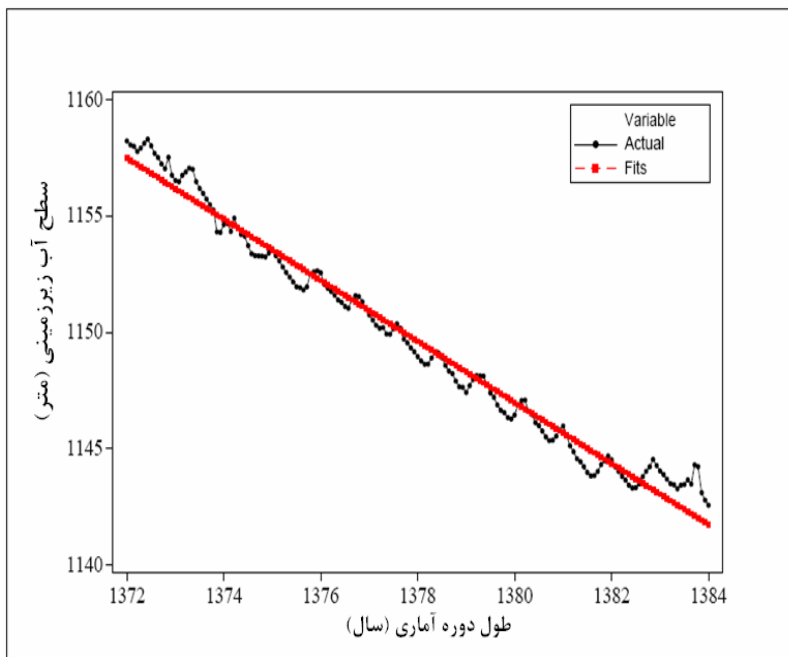
$$Y_t = 1108.39 - 0.0255 \times t \quad (۸)$$

که در آن‌ها  $Y_t$  افت سطح آب بر حسب متر و  $t$  زمان بر حسب سال می‌باشد.

شکل ۵ خط روند برازش داده شده بر داده‌های سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای اراضی چاه مهندس می‌باشد، که از باقیمانده‌ها (residuals) برای تحلیل‌ها استفاده شده است.

همان گونه که نشان داده شده است، به جز ماه آذر در چاه مشاهده‌ای فیلخانه (خوشه ۲)، شیب سطح آب در سایر چاه‌های مشاهده‌ای دارای روند منفی بوده‌اند که این روند در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. لذا، برای یافتن همبستگی بین سطح آب زیرزمینی، شاخص SPI و بارندگی باید این روند از داده‌ها حذف شود. برای خارج کردن روند از آن و همچنین، بررسی اثرات فصلی از روش برون‌یابی منحنی روند بر داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت استفاده شد. معادله‌ی خط روند برازش داده شده بر داده‌های سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای (۳): راه سلطان آباد نمک، (۴): فیلخانه، (۵): امان آباد، (۶): اراضی چاه مهندس، (۷): جنوب حسین آباد جنگل و (۸): امیر آباد به ترتیب زیر است:





شکل ۵- خط روند برازش داده شده بر داده‌های سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده ای اراضی چاه مهندس.

### رابطه‌ی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی

بمنظور تعیین کمی ارتباط بارش‌های ماهانه و تغییرات ماهانه‌ی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت، ضریب همبستگی بین بارش ماهانه و تغییرات ماهانه سطح ایستابی باید محاسبه شود. برای بدست آوردن این همبستگی پس از ایستاسازی داده‌ها از

شاخص  $Z_{score} = \frac{x - \bar{x}}{\delta}$  استفاده شد و داده‌ها معیار

گردید. در جدول ۲ بیشینه‌های همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و بارندگی در تاخیرهای گوناگون و برای نقاط متفاوت دشت نیشابور ارائه شده اند.

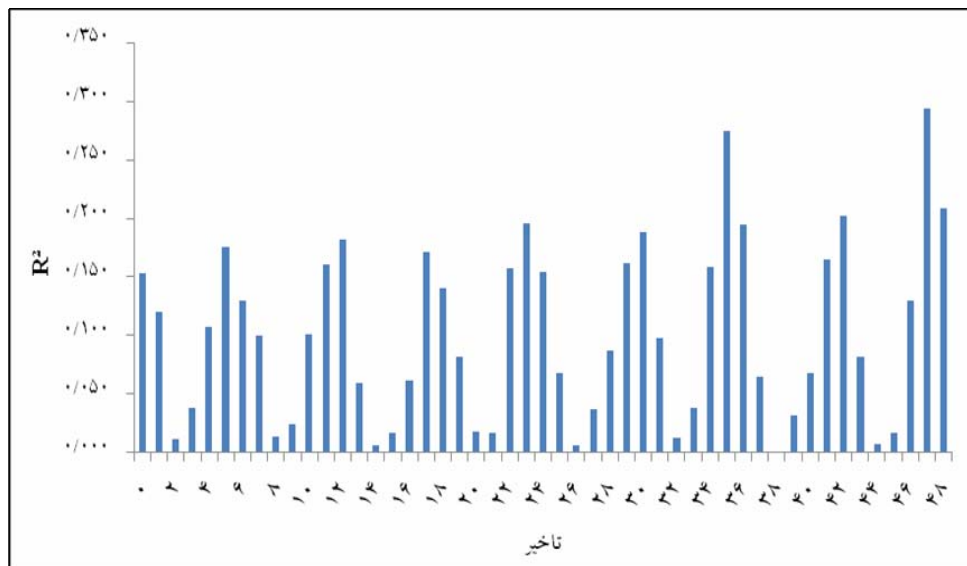
جدول ۲- بیشینه‌ی همبستگی بین بارندگی ماهانه و سطح آب زیرزمینی در خوشه‌های گوناگون (تأخیر از ۱ تا ۱۲ ماه).

نام خوشه	راه سلطان آباد نمک	فیلخانه	امان آباد	اراضی چاه مهندس	حسین آباد جنگل	امیر آباد
تأخیر (LAG)	۱۱	۷	۱۱	۱۲	۴	۱۰
$R_{max}$	۰/۱	۰/۲۱	۰/۱۵۳	۰/۴۲۶	۰/۱۴۴	۰/۲۷۷

نتایج نشان می‌دهند که اثر بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در نقاط گوناگون دشت نیشابور متفاوت است، به گونه‌ای که کم‌ترین تأخیر برای خوشه‌ی حسین‌آباد جنگل واقع در خروجی دشت بدست آمد که در آن‌جا عمق آب زیرزمینی نسبت به سایر نقاط دشت بسیار کم‌تر است (سجادی، ۱۳۸۸). در حالی که بیش‌ترین تأخیر برای خوشه‌ی سلطان آباد و اراضی چاه مهندس که در بخش

جنوب شرقی و جنوبی دشت قرار دارد، بدست آمد. در این منطقه عمق آب زیرزمینی بالا می‌باشد. همچنین، بیش‌ترین همبستگی برای خوشه‌ی اراضی مهندس در تأخیر ۱۲ ماه بدست آمده است ( $R=0/426$ )، یعنی اثرات بارندگی ۱۲ ماه بعد در سطح آب زیرزمینی رخ می‌نماید، اما این همبستگی در تأخیرهای ۲۴ و ۳۶ و ۴۸ ماه دارای ضریب‌های همبستگی مشابهی می‌باشد (شکل ۶) که علت

آن تاثیر ندادن مقیاس زمانی گوناگون (منظور بررسی اثر جمعی بارندگی است) به داده‌های بارندگی است.



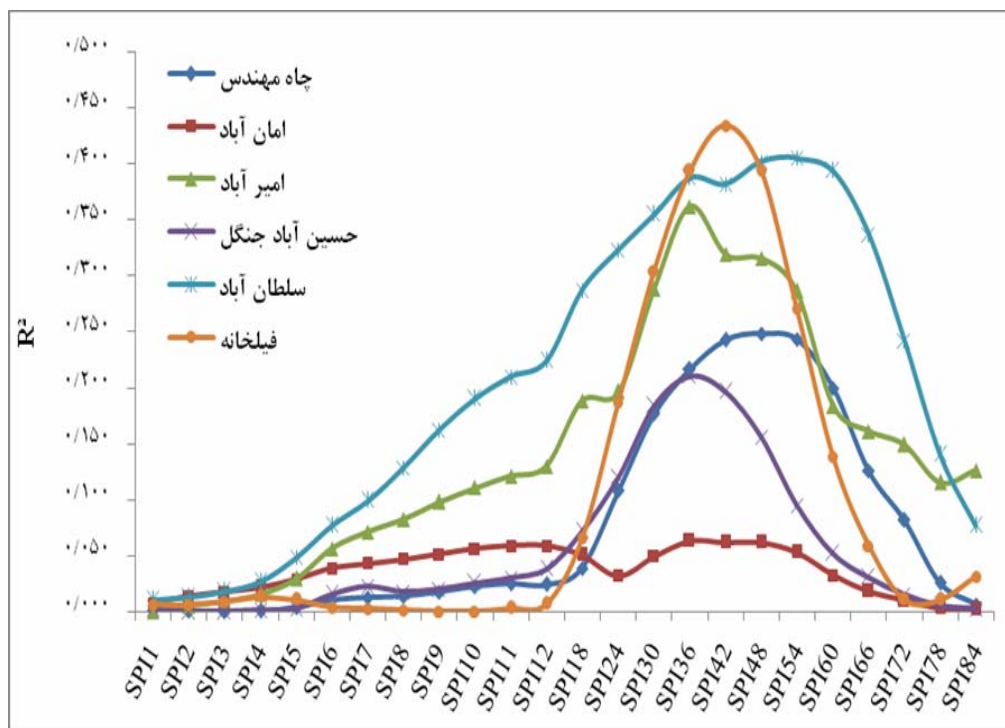
شکل ۶- ارتباط بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در تاخیرهای گوناگون (خوشه‌ی ۴، اراضی چاه مهندس).

### اثر شرایط اقلیمی گوناگون بر نوسان‌های سطح آب

#### زیرزمینی دشت

شکل ۷ نشان دهنده‌ی نتایج ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی گوناگون و گروه زمانی سطح آب زیرزمینی فاقد روند (Detrend) دشت می‌باشد.

این همبستگی به طور سالانه تکرار می‌گردد. به همین دلیل، در این پژوهش از شاخص SPI که قابلیت محاسبه‌ی تاخیرهای زمانی گوناگون و همچنین، بررسی اثر جمعی بارندگی بر آب زیرزمینی را دارد، استفاده شده است. شکل ۶ به خوبی اثرات فصلی وقوع بارندگی را بر سطح آب زیرزمینی و تکرار این همبستگی در سال‌های گوناگون نشان می‌دهد.

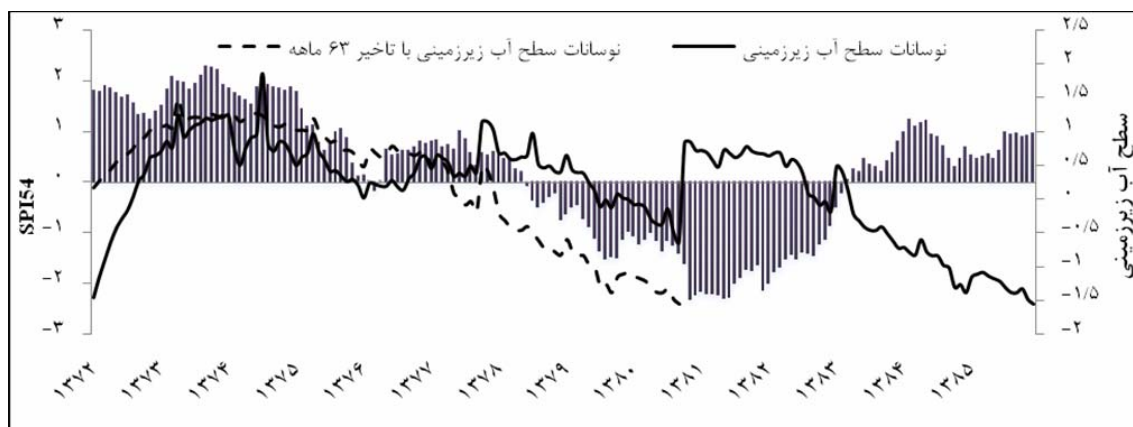


شکل ۷- ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین داده‌های متوالی اصلاح شده‌ی سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی گوناگون در خوشه‌های منتخب.

سازگار است. لورنزو لاکروز و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که برای جریان ورودی، خروجی و ذخیره شده، در حوضه‌ی مورد مطالعه به ترتیب بیش‌ترین همبستگی پیرسون با مقیاس‌های زمانی ۳-۵، ۴۸ و ۳۳ ماهه بدست آمده است. همچنین، سزالای و همکاران (۲۰۰۰)، نشان دادند که SPI با مقیاس زمانی بلند مدت با سطح آب زیرزمینی رابطه دارد، به گونه‌ای که نتایج همبستگی پیرسون بین SPI و سطح آب زیرزمینی واقع در بخش جنوب شرقی، جنوب غربی، مرکزی و غربی منطقه با مقیاس زمانی به ترتیب ۱۸ ( $R=0/24$ )، ۲۴ ( $R=0/38$ )، ۱۲ ( $R=0/52$ ) و ۵ ( $R=0/52$ ) رابطه داشت.

شکل ۸ نشان‌دهنده‌ی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI با مقیاس زمانی ۵۴ ماه برای خوشه‌ی سلطان آباد می‌باشد.

این شکل نشان می‌دهد که برای همه‌ی چاه‌های مشاهده‌ای منتخب همبستگی بین سطح آب زیرزمینی و شاخص دارای یک روند صعودی و سپس نزولی است، به گونه‌ای که در مورد خوشه‌ی سلطان آباد بیش‌ترین همبستگی آب زیرزمینی با SPI، با توجه به ضریب تبیین برابر  $R^2=0/405$  می‌باشد که در مقیاس زمانی ۵۴ ماه وجود آمده است و از این مقیاس به بعد، همبستگی‌ها کاهش یافته و از یک روند کاهشی تبعیت می‌کنند؛ این نتایج برای خوشه‌های منتخب امان آباد، حسین آباد جنگل، امیرآباد، اراضی چاه مهندس و فیلخانه به ترتیب در مقیاس زمانی، ۳۶ ( $R^2=0/211$ )، ۳۶ ( $R^2=0/063$ )، ۳۶ ( $R^2=0/362$ )، ۴۸ ( $R^2=0/248$ )، ۴۲ ( $R^2=0/434$ ) ماهه بدست آمد؛ لذا، در دشت نیشابور مقیاس‌های زمانی بلند مدت (بیش‌تر از ۳۶ ماه) منجر به خشکسالی آبشناسی خواهد شد. این دستاوردها با نتایج سایر پژوهشگران



شکل ۸- تغییر شکل گروه زمانی سطح آب زیرزمینی معیار شده و SPI در مقیاس ۵۴ ماهه (خوشه‌ی سلطان آباد).

۲- بیش‌ترین عمق برخورد به آب در حوالی روستای سلطان آباد در سمت جنوب شرق حوضه (خوشه ۱) دیده می‌شود که از ۱۲۰ متر نیز فراتر می‌رود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۴).

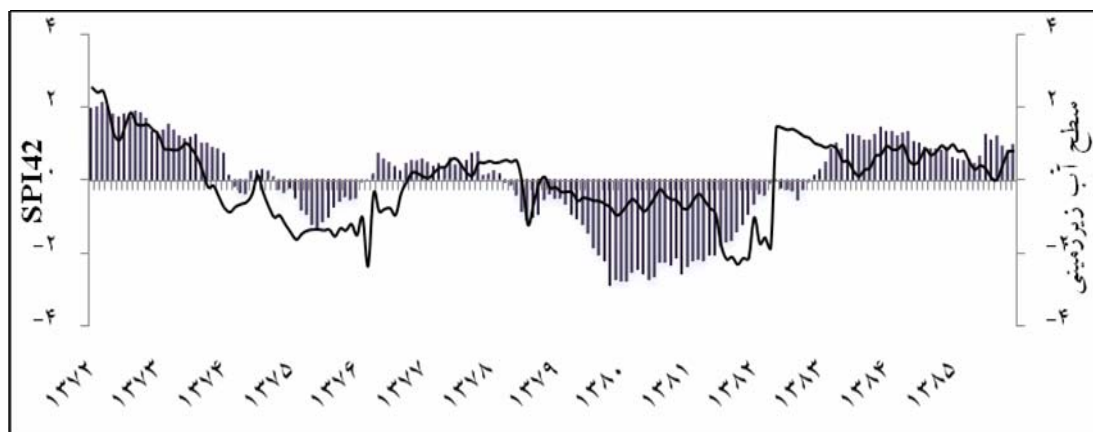
۳- در این بخش از دشت از اندازه‌ی بارش به میزان زیادی کاسته شده و میزان تبخیر بسیار بالاست.

۴- پیامد پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی، تخلیه‌ی خاک از آب، فشردگی آن و ناتراوایی زمین هنگام بارندگی می‌باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۴)؛ لذا، تاثیر بارندگی و شدت خشکسالی‌ها با تاخیر زمانی بالایی صورت می‌گیرد.

شکل ۹ تغییرات سطح آب زیرزمینی را در شرایط ترسالی و خشکسالی برای خوشه‌ی فیلخانه نشان می‌دهد. در شرایط ترسالی، سطح آب زیرزمینی افزایش یافته و با شروع خشکسالی کاهش می‌یابد؛

همان گونه که نشان داده شده است، با آن که در طول سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ که در این قسمت از دشت خشکسالی رخ داده، سطح آب زیرزمینی به طرز عجیبی افزایش یافته است. شواهد اولیه نشان می‌دهند که ترسالی‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ می‌توانند دلیل این مدعا باشند؛ نتایج تاخیرهای گوناگون سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI با مقیاس زمانی ۵۴ ماه نشان دادند که در تاخیر ۶۳ ماه بیش‌ترین همبستگی ( $R^2=0/825$ ) بوجود آمده است (شکل ۸). لذا، اثرات بارندگی بر این نقطه از دشت در دراز مدت بر سطح آب زیرزمینی مؤثر می‌باشد. از جمله عوامل این تاخیر زیاد:

۱- وجود تشکیلات میوسن است که به صورت ته نشست‌های آهک‌رسی، گچی و نمکی همراه با ماسه سنگ با رنگ‌های گوناگون در این بخش وجود دارند. تشکیلات میوسن کاملاً ناتراوا می‌باشند.

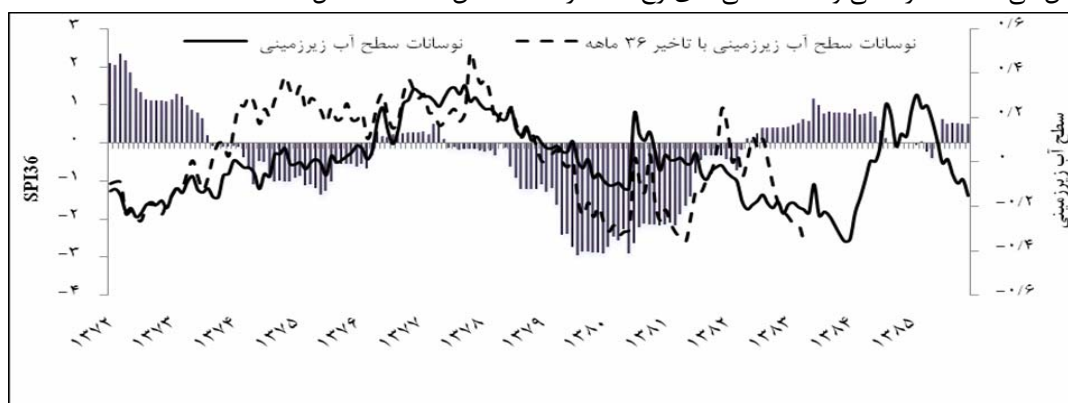


شکل ۹- تغییر شکل گروه زمانی سطح آب زیرزمینی معیار شده و SPI در مقیاس ۴۲ ماهه (خوشه‌ی فیلخانه).

این بخش از دشت بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی موثر نبوده‌اند، زیرا بیشینه‌ی ضریب تبیین بین سطح آب زیرزمینی با شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳۶ ماهه، برابر  $0/063$  بدست آمد که همبستگی ضعیفی است. در نتیجه، افزون بر خشکسالی، عوامل مهم‌تری نیز بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در این بخش از دشت حکمفرما می‌باشند که می‌توان به جریان‌های آب زیرزمینی، بویژه تغذیه و حرکت آب‌های زیرزمینی از بخش شرقی دشت و ارتفاعات بینالود و همچنین، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی اشاره کرد که باعث بروز تغییرات شدید سطح آن شده اند (شکل ۱۰).

شدت این کاهش در خشکسالی‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ شدید بود که نشان می‌دهد افزون بر خشکسالی بوجود آمده سطح آب زیرزمینی به علت برداشت بیش از حد<sup>۱</sup> کاهش بیش‌تری یافته است. همچنین، بنظر می‌رسد که افزایش ۳ متری سطح آب زیرزمینی در بهمن سال ۱۳۸۲ که در آبنگار چاه مشاهده ای قابل تشخیص نبوده، مربوط به تغییر شبکه تیسن می‌باشد.

نتایج ضریب تبیین بین شاخص SPI با سطح آب زیرزمینی در خوشه‌ی امان آباد (شکل ۷) با دیگر خوشه‌ها متفاوت است. به گونه‌ای که همبستگی‌های بدست آمده نشان می‌دهند که ترسالی و خشکسالی‌های رخ داده در



شکل ۱۰- تغییر شکل گروه زمانی سطح آب زیرزمینی معیار شده و SPI در مقیاس ۳۶ ماهه (خوشه‌ی امان آباد).

۱- در این پژوهش روند ناشی از اضافه برداشت از داده‌های سطح آب زیرزمینی حذف گردید، اما حذف این روند به این معنی نیست که به طور کلی عامل اضافه برداشت از داده‌ها حذف شده است، بلکه ما روند عینی که قابل مشاهده است را حذف کردیم.

گونه‌ای که بیشینه‌ی همبستگی سطح آب زیرزمینی با SPI در مقیاس زمانی ۳۶ ماه، یعنی  $R^2=0/063$  می‌رسد که همبستگی ضعیفی است. در نتیجه، افزون بر خشکسالی عوامل مهم‌تری بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در این بخش از دشت حکمفرماست که می‌توان به جهت حرکت جریان‌های آب زیرزمینی، بویژه تغذیه و حرکت آب‌های زیرزمینی از بخش شرقی دشت و ارتفاعات بینالود و همچنین، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی اشاره کرد که باعث تغییرات شدید سطح سفره‌ی آزاد آب شده است. در نتیجه، خشکسالی‌ها در دشت نیشابور عامل اصلی افت سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشند، ولی به تنهایی عامل بحران نبوده بلکه برداشت بی‌رویه از دیگر عوامل است. در نتیجه خشکسالی‌های هواشناسی در کوتاه مدت بر سطح آب زیرزمینی اثری ندارند، اما در بلند مدت و کاهش اثر تجمعی بارندگی‌ها باعث افت سطح آب زیرزمینی می‌شوند. در پایان، توصیه می‌شود که با انجام شیوه‌های مدیریتی درست، در نقاطی که دارای افت شدید سطح آب زیرزمینی است بویژه در بخش جنوب شرقی و جنوبی دشت، از سامانه‌های نوین آبیاری جهت افزایش بازدهی آبیاری استفاده گردد. به شرطی که سطح زیر کشت افزایش نیابد تا تعادل در تراز آب زیرزمینی حاصل گردد.

### منابع

- ۱- ایزدی، ع؛ ک. داوری؛ ا. علیزاده و ب. قهرمان. ۱۳۸۷. کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۲): ۱۴۴-۱۳۳.
- ۲- حسینی، آ؛ م. فرج زاده و س. ولایتی. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی. کمیته پژوهشات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان.
- ۳- حمیدیان پور، م. ۱۳۸۴. تحلیل دوره های خشکسالی دشت مشهد و میزان تاثیر آن بر منابع آب. پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- ۴- سجادی، ک. ۱۳۸۸. شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از مدل PMWIN. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ۸۰۸ صفحه.

همچنین، نتایج بررسی تاخیرهای گوناگون سطح آب زیرزمینی نشان دادند که بیش‌ترین همبستگی با توجه به ضریب تبیین برابر با  $0/25$  ( $R^2=0/25$ ) و در تاخیر ۳۲ ماهه سطح آب زیرزمینی با شاخص SPI<sub>36</sub> بدست آمد (شکل ۱۰). گرچه تاثیر شرایط اقلیمی بر سطح آب زیرزمینی در این بخش از دشت با تاخیر زمانی ۳۲ ماهه همراه است، اما همزمان با خشکسالی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ سطح آب زیرزمینی در سال آخر خشکسالی افزایش چشمگیری یافته است. لذا، همان گونه که اشاره شد، بنظر می‌رسد که این بخش از دشت به شدت تحت تاثیر جریان‌های آب زیرزمینی قرار دارد زیرا جهت حرکت آب زیرزمینی از شرق و شمال دشت به سمت خروجی حوضه (غرب دشت) بوده (سجادی، ۱۳۸۸) و این خوشه درست در بین جهت حرکت جریان‌های زیرزمینی واقع شده است.

روی هم رفته، نتایج ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی گوناگون و گروه زمانی سطح آب زیرزمینی فاقد روند (Detrend) دشت نشان می‌دهد که رابطه‌ی بین سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی کوتاه بسیار ضعیف بوده و در مقیاس زمانی بالا همبستگی‌ها افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که برای خوشه‌های منتخب، مقیاس زمانی بیش‌تر از ۳۶ ماه بدست آمد، یعنی تاثیر بارندگی بر سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور با تاخیری بیش‌تر از ۳۶ ماه همراه است.

### نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان دادند که تاثیر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در نقاط گوناگون دشت نیشابور متفاوت است به گونه‌ای که بخش‌های جنوب شرقی دشت (خوشه‌ی ۱) که تحت تاثیر تغذیه و بارندگی کم قرار دارند، همبستگی بین SPI با سطح آب زیرزمینی با تاخیر زمانی بالایی (۵۴ ماه) بدست آمد ( $R^2=0/405$ )؛ از عوامل این تاخیر زمانی بالا می‌توان به بارندگی و تغذیه‌ی کم، عمق زیاد سطح آب زیرزمینی که پیامد پایین رفتن آن، تخلیه‌ی خاک از آب، فشرده شدن آن و نا تراوایی هنگام بارندگی است و تشکیلات ناتراوای میوسن اشاره کرد. همچنین، کم‌ترین همبستگی در خوشه‌ی ۳ (امان آباد) بدست آمد، به

- 13- McKee, T. B. N., J. Doesken., and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eight Conf. On Applied Climatology, Anaheim, CA. Am. Meteorol. Soc. 179-184.
- 14- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In: Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15 – 20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts. pp. 233 - 236.
- 15- Panda, D. K., A. Mishra., S. K. Jena., B. K. James., and A. Kumar. 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. J. Hydrol. 343: 140– 153.
- 16- Shahid, Sh., and M. K. Hazarika. 2009. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. Water Resour. Manage. (In Press).
- 17- Szalai, S., C. S. Szinell., and J. Zoboki. 2000. Drought Monitoring in Hungary. In: Early warning systems for drought preparedness and drought management. WMO, Geneva. pp. 161-176.
- 18- Vicente-Serrano, S. M., and J. I. Lopez-Moreno. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. Hydrol. Earth Syst. Sci. 9: 523–533.
- ۶- نادریان‌فر، م. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات فراسنجهای کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی گوناگون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۷- ولایتی، س و س. توسلی. ۱۳۷۰. منابع و مسائل آب خراسان. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- 8- Edwards, D. C. and T. B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales, Atmospheric Science Paper No. 634.
- 9- Hayes, M., D. A. Wilhite., M. Svoboda., and Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. Bull. Amer. Meteor. Soc. 80: 429–438.
- 10- Khan, S., H. F. Gabriel., and T. Rana. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig. Drain. Syst. 22: 159–177.
- 11- Komuscu, A. U. 1999. Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. Drought Network News. 11: 7–13.
- 12- Lorenzo-Lacruz, J., S. M. Vicente-Serrano., J. I. Lopez-Moreno., S. Begueria., and J. M. Garcia-Ruiz. 2010. The impact of drought water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). J. Hydrol. 386: 13– 26.

