

## تحلیل روابط تغییرات بارش و سطح آبهای زیرزمینی دشت مرند با روش NRMC

یونس نیکوخصال<sup>۱</sup>

علی اکبر رسولی<sup>۲</sup>

داوود مختاری<sup>۳</sup>

خلیل ولیزاده کامران<sup>۴</sup>

### چکیده

با توجه به فقدان رودخانه‌های دائمی به جز رودهای با دبی کم در قسمت جنوب غربی مرند، تامین آب منطقه اعم از شرب، کشاورزی، صنعت و دامپروری وابسته به آبهای زیرزمینی است. از طرفی اقتصاد مردم منطقه بیشتر وابسته به کشاورزی و دامپروری بوده و از آنجایی که آب مورد نیاز در این بخش، حجم عمده ای از آب مصرفی منطقه را تشکیل می‌دهد، لذا لازم است عوامل موثر بر سطح آبهای زیرزمینی منطقه بررسی شود تا ضمن مطالعه تاثیرات این عوامل، راههای مقابله با کم آبی و افت سطح آبهای زیرزمینی جدی گرفته شود. در این پژوهش روابط بین تغییرات بارش و سطح آبهای زیرزمینی دشت مرند در بازه زمانی ۱۶ ساله از سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، با استفاده از روش NRMC مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش ضمن محاسبه مقادیر NRMC برای دو شاخص SPI و SWI در منطقه، منحنی توزیع نرمال شده برای هر دو شاخص در ایستگاه‌های باران سنجی منتخب و چاه‌های پیژومتری منتخب رسم شد و معادله رگرسیون خطی و چند متغیره محاسبه شد. نتایج نشان داد که بارش و سطح آبهای زیرزمینی در سالهای مورد بررسی نوسانات زیادی داشته است که البته با توجه به نوسانات بیشتر آبهای زیرزمینی نسبت به بارش، می‌توان نتیجه گرفت که عوامل انسانی از جمله برداشت بی‌رویه از چاه‌ها می‌تواند عامل تاثیر گذار بر سطح آبهای زیرزمینی دشت مرند باشد. محاسبات نشان داد که مقدار همبستگی برای هر دو شاخص SPI و SWI در معادله چند متغیره غیر خطی بیشتر از مقدار معادله ی خطی است که بیانگر تاثیر عوامل متعدد دیگر علاوه بر نوسانات بارش بر سطح آبهای زیرزمینی است.

**واژگان کلیدی:** تغییرات بارش، تغییرات سطح آب زیرزمینی، NRMC، SPI، SWI، دشت مرند

### مقدمه

پیش بینی و ارزیابی نوسانات سطح آبهای زیرزمینی آبخوان از امور سودمند برای توسعه و مدیریت آبهای زیرزمینی و جلوگیری از بحران کم آبی می‌باشد. با توجه به محدود بودن منابع آبی در کشور و مشکلات ناشی از کم آبی و افزایش روز افزون جمعیت و در نتیجه افزایش برداشت از آبهای زیرزمینی، لازم است برای جلوگیری از کاهش بیش از حد منابع آبهای زیرزمینی و عواقب ناشی از آن از جمله خشک شدن چاه‌های آب، تنزل کیفیت آب شرب، افزایش هزینه پمپاژ، نشست زمین و ... راهکارهای مناسب ارائه شود و این مهم بدون مطالعه عوامل تاثیرگذار بر روی سطح آبهای زیرزمینی امکان پذیر نیست. چرخه ی آب در طبیعت رابطه ی مستقیم با اقلیم آن منطقه دارد. استفاده ی منطقی و صحیح از منابع آب، مستلزم شناخت دقیق کمی و کیفی و جمع آوری داده‌ها و اطلاعات مناسب اقلیمی

<sup>۱</sup> . دانشجوی دکتری گروه آب و هواشناسی، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند، ایران (نویسنده مسئول)

Email : younesnikoo46@gmail.com -Tel: 09143913265

<sup>۲</sup> . استاد گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی - دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> . استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup> . دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

است. تهی شدن مخازن آب‌های زیرزمینی، خشک شدن قنوات و چشمه‌ها و حتی چاه‌های نیمه عمیق و کاهش دبی چاه‌های عمیق، تغییر جهت جریان آب‌های زیرزمینی، شور شدن آبخوان‌ها، شور شدن خاک به واسطه آبیاری با آب‌های شور، بایر شدن کشتزارها، فرسایش خاک و... بیشتر دشت‌های کشور را در زمره مناطق درخطر بیشتر بیابان‌زایی قرار داده است (طاووسی، ۱۳۸۸: ۱۴). یکی از راهکارهای افزایش امنیت آب در کشور به‌جای اتکال تنها به آب‌های زیرزمینی، تنوع‌بخشی به منابع تأمین آب است (حسن‌لی و شفیع، ۱۳۸۹: ۵۶). به‌طور کلی با پدیده گرمایش جهانی، چرخه هیدرولوژیکی تندتر خواهد شد و شرایط ناحیه‌ای را دگرگون خواهد کرد. تقاضای بیشتر و مصرف زیادتر آب اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب را مضاعف می‌کند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۷: ۹۸).

تأثیر خشکسالی هواشناسی در سیستم آب‌های زیرزمینی، به‌طور کلی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه (ون لانن و همکاران، ۱، ۲۰۰۰: ۵۳، بوئی یان ۲ و همکاران، ۳۰۰ : ۳۰۰) اتفاق می‌افتد. از آنجایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی عمدتاً با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند، تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی نهایتاً بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت (بیگی، ۳، ۲۰۱۰: ۷). خشکسالی آب زیرزمینی همچنین به ترکیب خطر فیزیکی و آسیب‌پذیری انسان در ارتباط با کاهش در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی و دسترسی به دوره‌ی خشکسالی اشاره دارد (ویل هاوس ۴ و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۶۷).

تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلندمدت اقلیمی مانند بارش، دما و تبخیر تأثیر می‌گذارد، اما تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (شکیبا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۱۰۵)؛ بنابراین بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نه‌تنها به پیش‌بینی قابل‌اطمینان از تغییرات متغیرهای اساسی اقلیمی نیاز دارد، بلکه به تخمین دقیق تغذیه آب زیرزمینی نیز نیازمند است. کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد منابع آب و برداشت بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد. ایران رتبه سوم برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی را دارد و به‌طور متوسط سالانه ۵ میلیارد مترمکعب آب بیش از ظرفیت لایه‌های آبدار زمین از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود (محمدی قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۵). با توجه به گرمایش جهانی و افزایش پدیده تبخیر، روز به روز نیاز به منابع آبی بیشتر می‌شود (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۶). آب‌های زیرزمینی به رغم اهمیت، در مقایسه با منابع آب‌های سطحی کم‌تر در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم مورد توجه قرار گرفته‌اند (حسن‌لی، ۱۳۹۰، ۲۳۴). محدودیت در آب قابل‌دسترس همراه با روند روزافزون افزایش جمعیت در مناطق خشک دنیا از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد. بر اثر تغییرات اقلیمی ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند شاخص‌های هواشناسی از جمله بارندگی و دما حاصل می‌شود که این ناهنجاری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۸). نتایج مطالعه (رودل و لی<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴: ۸۵) در بررسی شاخص خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آمریکا نشان دادند که شاخص خشکسالی SPI با تأخیر ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای بیشترین همبستگی با شاخص SWI بود. شر ستا و همکاران (۲۰۱۶: ۱۳۵)، در پژوهش خود تأثیرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب زیرزمینی در دلتای مکونگ ویتنام را بررسی کردند و دریافتند که تا پایان قرن ۲۱ میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و در نتیجه سطح آب زیرزمینی منطقه روند کاهشی خواهد بود.

صراف و همکاران (۱۳۹۴: ۷۴)، با پایش و پیش‌بینی‌های ترسالی و خشکسالی تبریز بیان کردند که روند بارش رو به کاهش است و از طرفی در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی ترسالی و خشکسالی‌ها رو به افزایش نهاده و از وضعیت نرمال فاصله گرفته‌اند.

<sup>1</sup> VanLanen et al

<sup>2</sup> Bhuiyan

<sup>3</sup> Beigi

<sup>4</sup> Villholth

<sup>5</sup> Shakiba

<sup>6</sup> Rodell and Li



با توجه به اینکه آبهای زیرزمینی مهمترین منبع آب مصرفی در منطقه ی مورد مطالعه می باشد، تاثیر تغییرات عناصر اقلیمی بویژه بارش بر روی سطح ایستابی چاههای منطقه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از داده های هواشناسی و اطلاعات مربوط به چاههای منطقه شاخص های بارش استاندارد و سطح آب استاندارد محاسبه و همبستگی بین آنها مورد بررسی قرار گرفت.

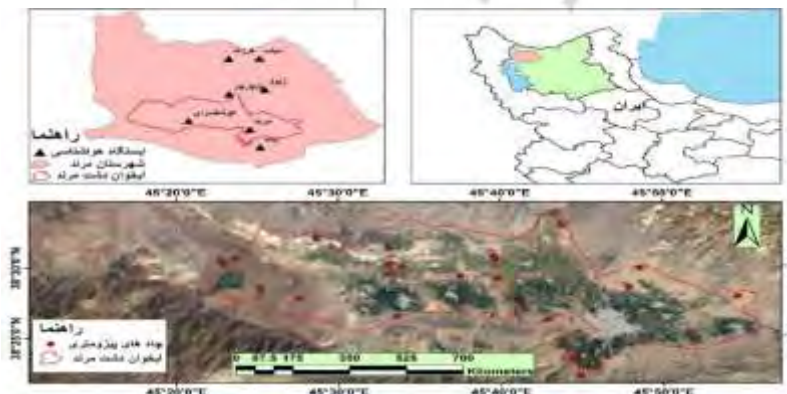
### مبانی نظری

تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده اتمسفری - اقیانوسی در مقیاس جهانی و درازمدت محسوب می شود. این پدیده متأثر از عواملی چون فعالیتهای خورشیدی، آتشفشانها، اقیانوسها و درصد گازهای گلخانه ای در اتمسفر است که دارای اثرات متقابلی می باشند و منجر به دگرگونی در وضعیت آب و هوا شده و بطور کلی روند جدیدی را در اقلیم جهانی موجب می شوند. مدل های گردش عمومی اتمسفر (GCM) آینده گرمتری را برای کره زمین پیش بینی می کند. وقوع چنین شرایطی می تواند بر منابع آب زیرزمینی در سطح یک حوضه آبریز تغییراتی را ایجاد نماید. منابع آب زیرزمینی همواره یکی از مهمترین منابع آبی در مناطق خشک محسوب می شود که مدیریت و بهره برداری بهینه این منابع بدون شناخت آنها امکان پذیر نمی باشد. بر این اساس، تهیه مدلهایی که بتوانند وضعیت آبخوان را با توجه به تغییر اقلیم پیش بینی کند، ضروری به نظر می رسد.

سطح آب زیرزمینی در ایران در اغلب دشتهای کشت آبی در حدود ۵/۰ تا ۱ متر در سال افت دارد (Shiati, 1999: ۸۵). این وضعیت در بسیاری از دشتهای دنیا مانند ایگنوگانگاتیک در هند، دشتهای شمالی چین و جنوب غربی آمریکا نیز همین گونه است (Shiati and Smedema, 2002: ۴۶). لذا شناخت و بهره برداری اصولی از منابع آب زیرزمینی بویژه در مناطق خشک می تواند در توسعه پایدار فعالیتهای اجتماعی و اقتصادی آن منطقه نقش بسزایی داشته باشد. بدین منظور و برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است که نوسانات سطح آب زیرزمینی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۳۸).

### منطقه مورد مطالعه

دشت مرند با مختصات ۴۵ درجه و ۱۵ تا ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و با مساحتی معادل ۵۱۷/۴۲ کیلومترمربع، یکی از دشتهای وسیع در شمال غرب استان آذربایجان شرقی است. این دشت بین ارتفاعات محصور بوده و دارای شیب ملایمی در حدود ۲-۵ درصد از دامنه شمالی و جنوبی و شرق به طرف مرکز دشت و در نهایت قسمت غربی می باشد اقلیم حاکم بر منطقه بر اساس طبقه بندی دوما رتن از نوع نیمه خشک و سرد زمستانی می باشد. این منطقه از نظر وسعت دومین دشت استان محسوب می شود و آب مورد نیاز اراضی کشاورزی و بخش قابل توجهی از آب شرب شهر مرند و روستاهای اطراف را تأمین می کند.



شکل ۱- نقشه موقعیت دشت مرند در ایران و استان آذربایجان شرقی و موقعیت چاههای پیزومتری و ایستگاههای باران سنجی منطقه مورد مطالعه

## داده‌ها و روشها

جهت مطالعه روند تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مرنده، از داده‌های سطح ایستابی ۲۳ چاه پیژومتری در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ استفاده شد. آمار و اطلاعات مورد استفاده برای محاسبه بارندگی متوسط ماهانه و سالانه نیز از داده‌های ۸ ایستگاه باران سنجی (پل چرچر، پیام، زنوز، کشکسرای، مرنده، میاب یکانات و هرنندات) طی دوره آماری ۱۸ سال (۱۳۹۷-۱۳۸۰) مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری در سال‌های مختلف تأسیس شده‌اند، بنابراین آمار ثبت شده در آن‌ها از نظر طول دوره آماری یکنواخت نیستند؛ بنابراین دوره آماری مشترک به منظور تجزیه و تحلیل سری داده‌ها (۱۳۸۰- تا ۱۳۹۵) انتخاب گردید. با استفاده از روش ماتریس همبستگی برای انتخاب ایستگاه‌های باران سنجی و با در نظر داشتن داده‌های آماری کامل در ۴ ایستگاه و پوشش مناسب منطقه توسط این ایستگاه‌ها، ۴ ایستگاه مرنده، زنوز، کشکسرای و یکانات برای مطالعه انتخاب شد و همچنین برای هر ایستگاه، یک چاه پیژومتری در محدوده ایستگاه انتخاب شد که عبارتند از: چاه کندلج کنار جاده، چرچر، کشکسرای ارلان و جنوب شرق گله بان. نقشه و مشخصات ایستگاه‌ها و چاه‌های منتخب در شکل ۲ و جداول ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش و چاه‌های ثبت مشاهدات سطح ایستابی منتخب بر روی تصویر ماهواره ای دشت مرنده - شهرپور

۱۳۹۸

جدول ۱- مشخصات عمومی ایستگاه‌های باران سنجی منتخب در دشت مرنده

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	نام حوضه ی آبریز	مختصات جغرافیایی		
				طول	عرض	ارتفاع
۱	زنوز	باران سنج	دریای خزر	۴۵-۵۰	۳۸-۳۶	۱۷۲۰
۲	کوشک سرای	باران سنج	دریای خزر	۴۵-۳۶	۳۸-۲۸	۱۱۵۰
۳	مرنده	باران سنج	دریای خزر	۴۵-۷۶	۳۸-۴۳	۱۳۱۷
۴	یکانات	باران سنج	دریای خزر	۴۵-۵۴	۳۸-۴۳	۱۴۰۵

جدول ۲- مشخصات چاه‌های پیژومتری منتخب در دشت مرنده

ردیف	نام محدوده	کد محدوده	نام چاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	میانگین عمق سطح ایستابی (m)
۱	مرنده	۱۱۰۷	کندلج-کنار جاده	۵۶۴۷۰۰	۴۲۴۹۴۰۰	۱۶.۲۲۷
۲	مرنده	۱۱۰۷	کوشک سرای	۵۴۹۰۵۰	۴۲۵۴۶۵۰	۶۲.۷۸۳
۳	مرنده	۱۱۰۷	جنوب شرق گله بان	۵۴۸۰۱۲	۴۲۶۴۰۳۹	۲۰.۸۹۴
۴	مرنده	۱۱۰۷	چرچر	۵۶۳۶۵۰	۴۲۶۷۰۰۰	۹.۹۱۲



در این تحقیق ابتدا با استفاده از داده‌های بارش و سطح ایستابی چاه‌های پیژومتري مقادير SPI<sup>۱</sup> و SWI<sup>۲</sup> محاسبه شد و سپس مقادير NRMC<sup>۳</sup> برای هر شاخص محاسبه گردید، که به ترتیب به هر یک از این روشها اشاره می‌شود:

### محاسبه ی شاخص SPI در ایستگاههای باران سنجی دشت مرند

شاخص بارندگی استاندارد شده توسط مک کی<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۳، ۱۹۹۵) ارائه شد. هدف وی و همکاران بررسی آنومالی‌ها و بارش‌های سنگین بوده است. این شاخص برای بازه‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و جهت ارائه ی هشدار و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. معادله ی محاسباتی این شاخص به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{SPI} = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق،  $X_{ij}$  بارندگی فصلی در ایستگاه بارندگی  $i$  با  $j$  تعداد مشاهده،  $X_{im}$  میانگین درازمدت بارندگی و  $\sigma$  انحراف معیار است.

### محاسبه ی شاخص SWI در منطقه مورد مطالعه

شاخص سطح آب استاندارد در سال ۲۰۰۴ به وسیله بوئی یان<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۶) جهت پایش نوسانات سطح سفره‌های آب زیرزمینی در بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده که با استفاده از روش زیر قابل محاسبه است.

$$\text{SWI} = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن،  $W_{ij}$  متوسط فصلی سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی  $i$  تا  $j$ ،  $W_{im}$  عبارت است از میانگین درازمدت فصلی و  $\sigma$  انحراف معیار می‌باشد. مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده ی خشکسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم خشکسالی و شرایط نرمال می‌باشد. جدول ۳ طبقه بندی شاخص‌های SPI و SWI را نشان می‌دهد.

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص‌های SPI و SWI

مقادیر SWI (بوئی یان، ۲۰۰۶)	مقادیر SPI (مک کی، ۱۹۹۳)	طبقه خشکسالی
< ۰	> ۰	بدون خشکسالی
۰ تا ۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
۱ تا ۱/۴۹	۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط

<sup>۱</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>۲</sup> Standardized Water level Index

<sup>۳</sup> Normal Rain Mass Curve

<sup>۴</sup> McKee et al

<sup>۵</sup> Bhuiyan et al

## روش NRMC (Normal Rain Mass Curve)

در این روش برای هر دو شاخص SPI و SWI منحنی توزیع نرمال شده فصلی تنظیم شد. نام دیگر توزیع نرمال، «توزیع طبیعی» یا «تابع گاوسی»<sup>۱</sup> است، علت نام‌گذاری و همچنین اهمیت این توزیع، هم‌خوانی بسیاری از مقادیر حاصل شده، هنگام نوسان‌های طبیعی و فیزیکی پیرامون یک مقدار ثابت با مقادیر حاصل از این توزیع است. در واقع منحنی نرمال شده ی تجمعی، نوعی نمودار تراکمی یک متغیر اقلیمی و یا هیدرولوژیکی (مانند بارش و سطح ایستابی) است که از حاصل کسر هر مشاهده در سری آماری از میانگین دراز مدت و تقسیم آن بر خود میانگین مربوطه طبق فرمول ذیل استخراج می‌گردد. (رسولی، ۱۹۹۴: ۶۷)

$$\text{NRMC}_{xi} = \frac{Xi - \bar{Xm}}{\{(Xi - \bar{Xm}) / \bar{Xm}\}} * 100 \quad \text{رابطه ۳:}$$

در فرمول بالا  $Xi$  معرف مقدار هر مشاهده ی بارش و یا مقدار سطح ایستابی و  $\bar{Xm}$  نشان دهنده ی میانگین درازمدت در سری مشاهدات می‌باشد. در جداول ۴ و ۵ محاسبات مربوط به فصل اول سال ۱۳۹۵ برای کوشک سرای به عنوان نمونه آورده شده است

جدول ۴- محاسبه مقدار NRMC- SWI برای کوشک سرای در سال - فصل ۱-۱۳۹۵

سال-فصل	SWI	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m) / X_m$	$\frac{xi - xm}{(xi - xm) / xm} * 100$
۱-۱۳۹۵	-۰/۴۵۶	-۰/۶۱۶	-۳۸/۴۹۹	۱/۶

جدول ۵- محاسبه مقدار NRMC- SPI برای کوشک سرای در سال - فصل ۱-۱۳۹۵

سال-فصل	SPI	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m) / X_m$	$\frac{xi - xm}{(xi - xm) / xm} * 100$
۱-۱۳۹۵	۱/۳۱۳	۱/۳۴۲	۱۷/۵۴۱	۷/۰۸۳

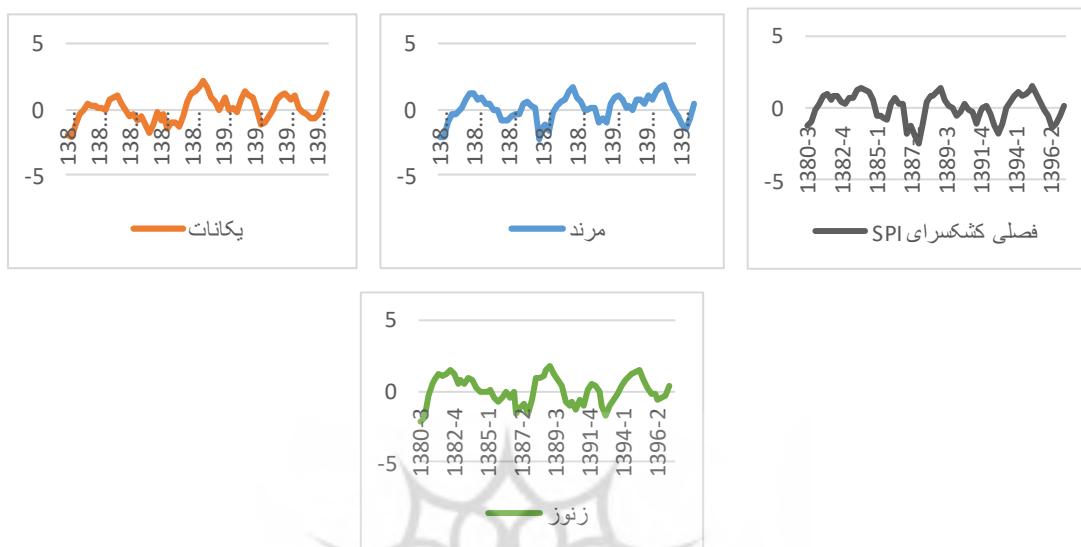
پس از محاسبه مقادیر NRMC برای شاخص SPI هر ایستگاه منتخب، برای نشان دادن میزان همبستگی شاخص بارش استاندارد نرمال شده، منحنی توزیع بارش نرمال شده با استفاده از معادله خطی رگرسیون و معادله توزیع چند متغیره به دست آمد که در نمودارهای شکل ۵ نشان داده شده است. برای نمایش همبستگی بین SWI، پس از محاسبه مقادیر NRMC برای شاخص SWI هر یک از چاه-های منتخب، منحنی توزیع نرمال شده فصلی SWI با استفاده از معادلات مربوط رسم شد که در نمودارهای شکل ۶ نشان داده شده است. روش NRMC داده‌ها را نرمال می‌کند و تغییرات را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد. همچنین می‌توان نوسانات مربوط به شاخص‌های SPI و SWI را از روی منحنی‌های توزیع نرمال شده ملاحظه نمود و سالهای تر و خشک را تعیین کرد.

## تجزیه و تحلیل داده ها

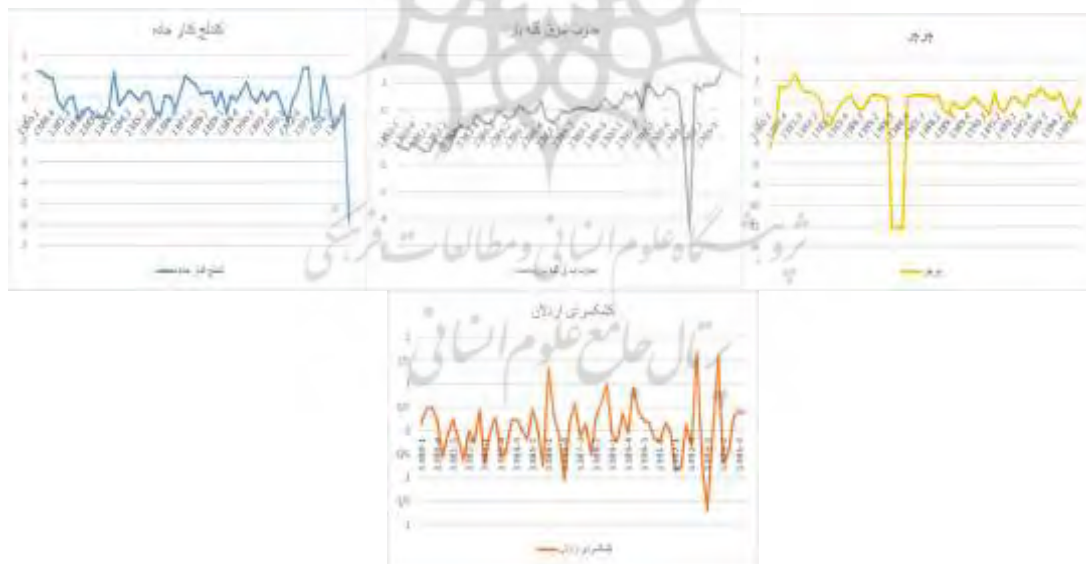
یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که شدیدترین سالهای خشک در دوره ی آماری فوق در طی سالهای ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷ رخ داده است که شدیدترین سالهای خشک مربوط به ایستگاه کوشک سرای در زمستان سال ۱۳۸۷ بوده است. شدیدترین سالهای تر در ایستگاههای مورد مطالعه در سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ رخ داده است و بیشترین مقدار به ترتیب مربوط به ایستگاه یکانات در سال ۱۳۸۹ و مرند در ۱۳۹۵ و زوز در ۱۳۸۹ و کوشک سرای در سال ۱۳۹۵ می‌باشد. با توجه به مقادیر SWI و نمودارهای استخراج شده از SWI، بیشترین مقادیر SWI مربوط به چاه چرچر در سال ۱۳۸۱ و کندلج در سال ۱۳۸۰ و گله بان در سال ۱۳۹۵ است و کمترین SWI مربوط

<sup>1</sup> Gaussian function

به چاه گله بان در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۰ و ۱۳۸۲ و چاه چرچر در سالهای ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ و ۱۳۸۳ می‌باشد. نوسانات و تغییرات فصلی SPI و SWI را در ایستگاههای باران سنجی و چاههای پیژومتری منتخب دشت مرند در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودارهای نوسانات SPI فصلی برای ۴ ایستگاه باران سنجی منتخب دشت مرند در سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷

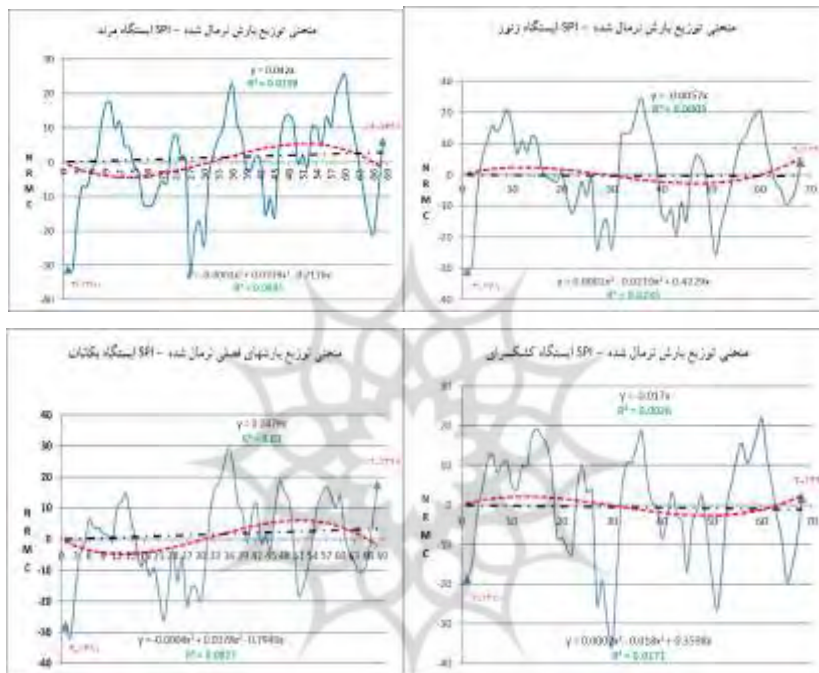


شکل ۴- نمودارهای نوسانات SWI فصلی برای ۴ چاه منتخب دشت مرند در سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵

نتایج ضمن آنکه ارتباط مستقیم بارش و سطح ایستابی چاهها را نمایان می‌کند، ولی در مورد ارتباط همزمان بارش و سطح ایستابی از سطح اطمینان پایین تری برخوردار است. ضعف ضریب همبستگی همزمان بین بارش و سطح آب زیرزمینی عمدتاً به دو دلیل است: اول تاخیر زمانی نفوذ آب باران و ذوب برفها و رسیدن آنها به عمق زمین، دوم نوسانات بارش و عدم وجود آهنگ منظم در برداشت آب از چاه ها.

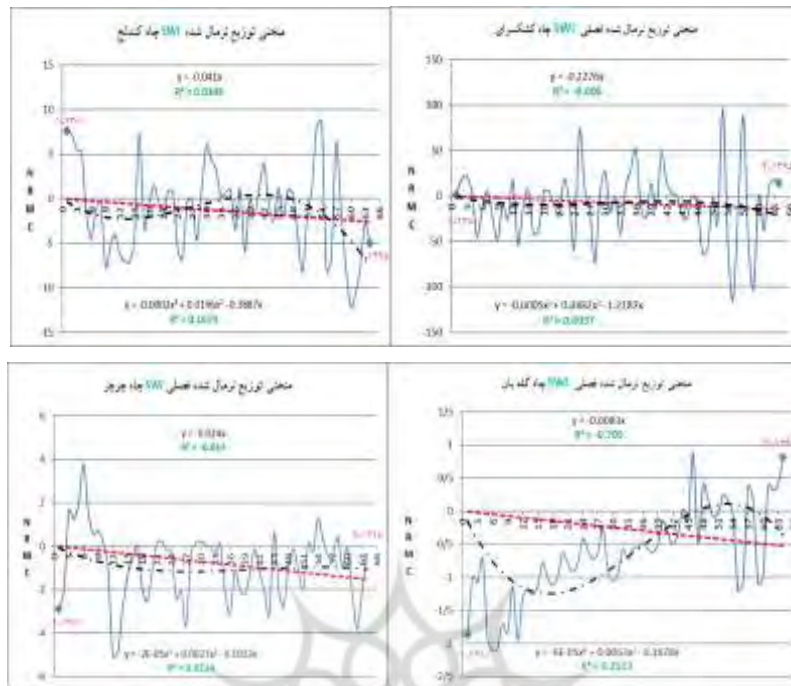


بررسی‌ها نشان می‌دهد که دو شاخص SPI و SWI با تاخیر زمانی یک فصل از همبستگی در سطح یک درصد بر خوردار است و این به این معناست که کاهش بارش بعد از یک فصل تاثیر مستقیم بر روی سطح ایستابی چاهها دارد. نمودارهای SWI نسبت به SPI از نوسانات بیشتری برخوردار است و این بیانگر تاثیر عوامل دیگری علاوه بر بارش بر سطح ایستابی چاهها از جمله برداشت بی‌رویه از چاهها می‌باشد. این نوسانات در منحنی‌های توزیع نرمال شده نیز مشهود است. همچنین با توجه به همبستگی بیشتر هر دو شاخص SPI و SWI در معادلات چند متغیره نسبت به خطی که در نمودارهای شکل ۵ و ۶ مشهود است می‌توان نتیجه گرفت که عوامل متعدد دیگری به غیر از بارش بر سطح ایستابی چاهها موثر است.



شکل ۵- منحنی‌های توزیع بارش فصلی نرمال شده برای ۴ ایستگاه باران سنجی منتخب در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷





شکل ۶- منحنی توزیع نرمال شده SWI چاه‌های بیژمتری منتخب در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵

## بحث و بررسی

نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر ارتباط معنا دار بین تغییرات بارش و سطح ایستابی آبهای زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است. نتیجه محاسبه ی همبستگی برای مقدار بارش فصلی و سطح ایستابی فصلی برای ۴ ایستگاه منتخب و چاه‌های مربوطه و تعیین سطح معناداری با استفاده از جدول اعداد بحرانی، نشان داد با تأخیر یک فصل دارای همبستگی در سطح ۱ درصد در سه مورد و ۵ درصد در یک مورد است. شمسی پور (۱۳۸۲) در دشت همدان به یک تأخیر ۹ ماهه بین بارش و سطح ایستابی و دست یافت. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در دشت اراک تاثیر پذیری منابع آب زیرزمینی از خشکسالی را با یک تأخیر دو ماهه بیان کردند. نتایج مطالعه (رودل و لی<sup>۱</sup> ۲۰۱۴) در بررسی شاخص خشکسالی آب‌های زیرزمینی در آمریکا نشان دادند که شاخص خشکسالی SPI با تأخیر ۱۲ و ۲۴ ماهه دارای بیشترین همبستگی با شاخص SWI بود.

با توجه به نوسانات بیشتر سطح ایستابی نسبت به نوسانات میزان بارش، می‌توان نتیجه گرفت عوامل دیگری مثل عامل انسانی از جمله برداشت بی‌رویه عامل تاثیر گذار بر روی سطح ایستابی چاههاست. بیضایی و محمدی (۱۳۸۲) در بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور نتیجه گرفتند که عامل اصلی افت سطح آبهای زیرزمینی برداشت بی‌رویه ی آب برای مصارف کشاورزی است. کماسی و همکاران (۱۳۹۵) تاثیر عوامل انسانی بر کاهش تراز آب زیرزمینی را مقدم بر عامل تغییر اقلیم در دشت سیلاخور بیان کردند. گرلس و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) در تحلیل نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی هلند، زهکشی آب زیرزمینی، خشکسالی و برداشت بی-رویه توسط کشاورزان را عامل کاهش تراز آب زیرزمینی در منطقه اعلام کردند.

<sup>1</sup> Rodell and Li

<sup>2</sup> Gehrles et al

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از شاخص SPI نشان داد که در طول مدت مطالعه (۱۳۸۰-۱۳۹۷) سه دوره کم بارش از زمستان ۱۳۸۴ تا آغاز سال ۱۳۸۸، تابستان ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۱ و زمستان ۱۳۹۵ تا تابستان ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است. سالهای تر در دوره آماری مورد مطالعه مربوط به سالهای ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ می‌باشد. شاخص SWI نشان داد از لحاظ زمانی و مکانی، کم آبی چاهها منطبق بر خشکی حاصل از شاخص SPI بود. همچنین بررسی نمودارهای SPI و SWI فصلی برای ایستگاهها و چاههای منتخب حاکی از نوسانات شدید در بارش و سطح ایستابی چاهها بود. در شدیدترین خشکسالی هواشناسی در سال ۱۳۹۳ رخ داده و تاثیر آن روی آبهای زیرزمینی در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به شدت نمایان است و این به خاطر تاخیر زمانی حاصل از خشکسالی هواشناسی می‌باشد. این در حالی است که با وجود شدت خشکسالی هواشناسی در سال ۱۳۹۳ به دلیل بارندگی‌های مناسب در سالهای قبل خشکسالی آبهای زیرزمینی در سال ۱۳۹۳ کمتر می‌باشد. بررسی منحنی‌های توزیع نرمال شده نیز بیانگر همبستگی بین تغییرات بارش و سطح آبهای زیرزمینی دشت مرند بود که البته این همبستگی با یک فصل تاخیر از معناداری بالاتری برخوردار است. همچنین محاسبات نشان داد که مقدار همبستگی برای هر دو شاخص SPI و SWI در معادله رگرسیون چند متغیره غیر خطی بیشتر از مقدار معادله ی خطی است که بیانگر تاثیر عوامل متعدد دیگری علاوه بر نوسانات بارش بر سطح آبهای زیرزمینی است. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق می‌توان گفت که سطح آبهای زیرزمینی علاوه بر بارش وابسته به عوامل دیگری از جمله زمین شناسی منطقه، لیتولوژی، مورفولوژی تکتونیکی، شکل مخزن سفره، فاصله سفره‌های زیرزمینی تا محل تغذیه و... می‌باشد و برای دستیابی به نتایج کامل تر به نظر می‌رسد لازم است در تحقیقات آتی به این عوامل نیز پرداخته شود.



## منابع و ماخذ

- اصغری مقدم، اصغر، فخری، میرسجاد، نجیب، مرتضی، (۱۳۹۴)، پهنه بندی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی آبخوان دشت مرند به روش AVI و مدل‌های DRASTIC در محیط GIS، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه تبریز، دوره ۱۹، صفحه ۴۱-۱۹
- ایزدی، عزیزالله، داوری، کامران، علیزاده، امین و بیژن، قهرمان، (۱۳۸۷)، کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ج ۲، ش ۲، صفحه ۱۳۳-۱۴۴.
- حسن لی، علی مراد و شفیعی، مجید، (۱۳۸۹)، راهبردهای سازگاری با خشکسالی. گزارش راهبردی مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت.
- رسولی، علی اکبر، (۱۳۹۰)، مقدمه ای بر هواشناسی و اقلیم شناسی ماهواره ای، تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، صفحه ۳۴۸-۳۵۲.
- رسولی، علی اکبر، (۱۹۹۴)، تحلیل زمانی - مکانی بارش‌های رعد و برقی، رساله دکترا، علوم زمین - اقلیم شناسی کاربردی و سنجش از دور و GIS، دانشگاه ولونگونگ استرالیا.
- رسولی، علی اکبر، روشنی، رقیه، قاسمی، احمدرضا (۱۳۹۲). تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های سالانه ی ایران. تحقیقات جغرافیایی. دوره بیست و هشت، شماره صد و هشت. صفحه ۲۲۴-۲۰۵.
- رضایی بنفشه، مجید، جلالی عنصردی، طاهره، (۱۳۹۷) بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آبهای زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه تبریز، دوره ۲۲، شماره ۶۴ صفحه ۷۹-۵۹
- زینالی، بتول، فریدپور، مجتبی و صیاد، اصغری سراسکانرود، (۱۳۹۵). بررسی تأثیر هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مرند). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۴، صفحه ۱۸۷-۱۷۷.
- شکیب، علیرضا، میرباقری، بابک و خیری، افسانه، (۱۳۸۹)، خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۵، صفحه ۱۲۴-۱۰۵.
- صمدی بروجنی، حسین و ابراهیمی، عطاله، (۱۳۸۹)، پیامدهای خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در استان چهارمحال و بختیاری. انتشارات سروش، مرکز تحقیقات منابع آب (دانشگاه شهراکرد)، چاپ اول، صفحه ۵۱۲.
- طاووسی، تقی، (۱۳۸۸)، فرآیندها و پیامدهای بیابان‌زایی. فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی. سال چهارم. شماره یک.
- کشاورز، مرضیه، کرمی، عزت اله و زمانی، غلامحسین، (۱۳۸۹)، آسیب‌پذیری خانوارهای کشاورز از خشکسالی. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، جلد ۶ شماره ۲، صفحه ۳۲-۱۵.
- محمدی، حسین، (۱۳۹۰)، آب و هواشناسی مناطق خشک. چاپ اول: دانشگاه تهران.
- مختاری، داود. (۱۳۸۱). نقش عوامل تکتونیکی در تکامل مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ. فضایی جغرافیایی، شماره ۵،
- مختاری، داود، (۱۳۸۸)، آبراهه‌ها مطالعه موردی: رودخانه باغلا در دامنه شمالی میشو داغ (شمالغرب ایران)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲۲.
- ولی زاده کامران، خلیل و همکاران، (۱۳۸۹)، بهینه سازی (اگر و کلیماتیک آفتابگردان در شمال دریاچه ارومیه، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، پاییز ۱۳۹۲.
- Bhuiyan, C. R.P. Singh and F.N. Kogan. 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8: 289-302.
- Li B, & Rodell M (2014) Evaluation of a model-based groundwater drought indicator in the conterminous US. Hydrology 526:78-88
- McKee, T. B. N. Doesken, J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eight Conf. On Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 179-184.
- Mishra AK, Singh VP (2010) A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391: 202-216.
- Shrestha, S. Bach, T. V. & Pandey, V. P. (2016). Climate change impact on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. Environmental

- science & policy, 61, 1-13.
- Van Lanen, H. A. J. & Peters, E. (2000). Definition, effects and assessment of groundwater droughts. In Drought and drought mitigation in Europe (pp. 49-61). Springer, Dordrecht.
  - Wu H, Hayes MJ (2001) An evaluation of the standardized precipitation index, the China index and statistical Z- Score. International Journal of Climatology 21: 741-758.

