

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

بررسی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی دشت مازندران

نگارنده: رضا دهینی

استاد راهنما

دکتر زهرا گنجی نوروزی

استاد مشاور

دکتر مهدی دلقندی

بهمن ۱۳۹۷

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیز و ہمسر کرا تقدیرم

کہ صورانہ در این راہ یاریم کرفند

و تقدیم بہ آنان کہ

اہل یافتن اندنہ اہل یافتن

و آنان کہ متواضعانہ معترفند

حقیقتی را یافتہ اندنہ کل حقیقت را

شکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای متعال را که بندگان را توفیق تلاش و تفکر عطا فرمود. حال چگونه شکر او را گوئیم که منت را بر من تمام کرده و از سر رحمت خود، مرا در زمره جویندگان علم و دانش قرار داده است.

در این رهگذر، به رسم ادب خود را ملزم می‌دانم که با تواضع تمام و از صمیم قلب تشکر و سپاس خود را از اساتید ارجمندم سرکار خانم دکتر زهرا گنجی نوروزی و جناب آقای دکتر مهدی دلقندی عرضه دارم. همچنین از خانواده عزیزم که همواره برکوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت- هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یابوری بی چشم داشت برای من بوده‌اند نهایت سپاس- گزاری را دارم.

رضا دهینی

زمستان ۱۳۹۷

تعمدنامه

اینجانب رضا دهینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب‌زیرزمینی دشت مازندران تحت راهنمایی دکتر زهرا گنجی نوروزی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت های زیادی را باعث می‌شود. این پدیده از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده تمامی اقلیم‌ها به شمار می‌آید. اثرات خشکسالی صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌باشد. یکی از بخش‌های متأثر شده از شرایط بلند مدت خشکسالی منابع آب‌های زیرزمینی است که متأسفانه کمتر از سایر بخش‌ها مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، بررسی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در منطقه‌ای از مازندران می‌باشد. به منظور مطالعه و بررسی خشکسالی دشت مرکزی مازندران، از داده‌های بارش ایستگاه قائم‌شهر و آمل در دوره آماری ۳۱ ساله (۶۵-۹۵) استفاده شده است. با استفاده از شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، ویژگی‌های خشکسالی ارزیابی شده است. نتایج این ارزیابی حاکی از آن است که ایستگاه قائم-شهر ۵ سال و ایستگاه آمل ۳ سال با خشکسالی مواجه بوده‌اند که مهمترین آنها خشکسالی سال ۱۳۸۸ می-باشد که جزء خشکسالی‌های بسیار شدید می‌باشد. همچنین خشکسالی منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری (۶۵-۹۵) روند افزایشی دارد. در بررسی و تحلیل تراز آب چاه‌های پیژومتری، نقشه‌های هم‌تراز در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه ترسیم گردید. نتایج حاکی از آن می‌باشد سطح آب چاه‌های پیژومتری در دوره آماری (۶۵-۹۵) روند منفی دارد و بطور متوسط حدود ۸۰ سانتی‌متر افت داشته است. در ادامه ارتباط بین SPI و تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که بین SPI و تراز آب زیرزمینی رابطه مستقیمی وجود دارد و با کاهش SPI منطقه، تراز آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد ولی این امر با تأخیر زمانی همراه می‌باشد.

کلمات کلیدی : خشکسالی، آب زیرزمینی، شاخص SPI، تراز آب زیرزمینی، مازندران

مقاله مستخرج از پایان نامه

خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مازندران). سومین کنفرانس ملی
مهندسی کشاورزی و محیط زیست. تهران. ۲ آذر ۱۳۹۷.

فرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱ | فصل اول : مقدمه و هدف |
| ۲ | ۰۱۰۱ مقدمه |
| ۳ | ۰۲۰۱ ضرورت و اهمیت موضوع |
| ۳ | ۰۳۰۱ اهداف تحقیق |
| ۴ | ۰۴۰۱ فرضیات تحقیق |
| ۴ | ۰۵۰۱ روش انجام تحقیق |
| ۴ | ۰۶۰۱ ساختار پایان نامه |
| ۵ | فصل دوم : کلیات |
| ۶ | ۰۱۰۲ مقدمه |
| ۶ | ۰۲۰۲ مفهوم خشکسالی و انواع آن |
| ۷ | ۰۱۰۲۰۲ خشکسالی هواشناسی |
| ۸ | ۰۲۰۲۰۲ خشکسالی کشاورزی |
| ۸ | ۰۳۰۲۰۲ خشکسالی هیدرولوژیکی |
| ۸ | ۰۴۰۲۰۲ خشکسالی اقتصادی- اجتماعی |
| ۹ | ۰۳۰۲ پایش خشکسالی |
| ۹ | ۰۴۰۲ شاخص های خشکسالی |
| ۱۰ | ۰۵۰۲ مفهوم آبهای زیرزمینی |
| ۱۱ | ۰۶۰۲ مخاطرات آبهای زیرزمینی |
| ۱۲ | ۰۷۰۲ اشکال مختلف آبهای زیرزمینی |
| ۱۲ | ۰۱۰۷۰۲ آب هیگروسکوپی |
| ۱۲ | ۰۲۰۷۰۲ آب غشایی |
| ۱۲ | ۰۳۰۷۰۲ آب ثقیلی |
| ۱۲ | ۰۴۰۷۰۲ آب موبینگی |
| ۱۳ | ۰۸۰۲ مروری بر مطالعات گذشته |
| ۱۳ | ۰۱۰۸۰۲ مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی |

| | |
|----|--|
| ۱۷ | مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی |
| ۲۳ | فصل سوم : مواد و روش ها |
| ۲۴ | ۱۰۳ منطقه مورد مطالعه |
| ۲۴ | ۲۰۳ اطلاعات و داده‌های مورد نیاز |
| ۲۷ | ۳۰۳ شاخص‌های خشکسالی |
| ۲۸ | ۴۰۳ شاخص بارش استاندارد شده (SPI) |
| ۳۱ | ۵۰۳ نرم‌افزار DrinC |
| ۳۱ | ۶۰۳ درون‌یابی تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در محیط GIS و ترسیم نقشه‌های هم‌تراز |
| ۳۲ | ۷۰۳ روش درون‌یابی IDW |
| ۳۳ | ۸۰۳ چاههای بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه |
| ۳۴ | فصل چهارم : بحث و نتایج |
| ۳۵ | ۱۰۴ مقدمه |
| ۳۵ | ۲۰۴ نتایج شاخص SPI |
| ۴۲ | ۳۰۴ بررسی و تحلیل تراز آب چاههای پیزومتري و ترسیم نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی |
| ۴۲ | ۱۰۳۰۴ ترسیم نقشه‌های هم‌تراز سالانه |
| ۴۶ | ۲۰۳۰۴ ترسیم نقشه‌های هم‌تراز فصلی |
| ۴۹ | ۳۰۳۰۴ ترسیم نقشه‌های هم‌تراز ماهانه |
| ۵۲ | ۴۰۴ چاههای بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه |
| ۵۲ | ۵۰۴ نتایج ارتباط SPI و تراز آب زیرزمینی |
| ۵۶ | ۶۰۴ ضریب همبستگی بین بارش و ارتفاع سطح آب چاههای پیزومتري |
| ۵۸ | فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادها |
| ۵۹ | ۱۰۵ خلاصه و نتیجه‌گیری |
| ۶۰ | ۲۰۵ پیشنهادها |
| ۶۱ | پیوست‌ها |
| ۶۸ | منابع |
| ۶۹ | منابع داخلی |
| ۷۲ | منابع خارجی |

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) مقادیر بارندگی (میلی‌متر) ایستگاه هواشناسی قائم‌شهر (۲۰۱۶-۱۹۸۶) ۲۵
- جدول (۲-۳) مقادیر بارندگی (میلی‌متر) ایستگاه هواشناسی آمل (۲۰۱۶-۱۹۸۶) ۲۵
- جدول (۳-۳) مشخصات چاههای پیزومتری (متر) در طول دوره آماری (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ۲۶
- جدول (۴-۳) میانگین فصلی تراز آب چاههای پیزومتری (متر) در دوره آماری (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ۲۷
- جدول (۵-۳) طبقات شدت دوره خشک براساس مقادیر شاخص SPI ۳۰
- جدول (۶-۳) مشخصات چاههای بهره‌برداری ۳۳
- جدول (۱-۴) مقادیر سالانه SPI ایستگاه قائم‌شهر در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ۳۶
- جدول (۲-۴) مقادیر سالانه SPI ایستگاه آمل در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ۳۷
- جدول (۳-۴) فراوانی طبقات خشکسالی ایستگاه قائم‌شهر و آمل بر اساس شاخص SPI سالانه (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ۳۸
- جدول (۴-۴) مقدار SPI در مقیاس زمانی سه ماهه برای ایستگاه قائم‌شهر و آمل در بازه زمانی ۹۵-۶۵ ۴۱
- جدول (۵-۴) مشخصات چاههای پیزومتری در طول دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ۴۲
- جدول (۶-۴) اطلاعات سالانه چاههای پیزومتری ۴۳
- جدول (۷-۴) داده‌های فصلی چاههای پیزومتری مربوط به سالهای آماری ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ ۴۷
- جدول (۸-۴) مقادیر متوسط ماهانه چاههای پیزومتری سال ۱۳۸۰ ۴۹
- جدول (۹-۴) میانگین سالانه SPI در دوره زمانی ۳۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) ایستگاه قائم‌شهر و آمل ۵۳
- جدول (۱۰-۴) ضرایب همبستگی بین بارش و سطح آب زیرزمینی در مقیاس سالانه ۵۶
- جدول (پ-۱) داده‌های فصلی چاههای پیزومتری سالهای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ نسبت به سال ۶۵ ۶۲
- جدول (پ-۲) داده‌های سالانه چاههای پیزومتری در دوره آماری ۷۸ تا ۸۲ ۶۳
- جدول (پ-۳) میانگین SPI دو ایستگاه و تراز آب فصلی چاههای پیزومتری سالهای ۶۵ تا ۹۵ ۶۴

فهرست اشکال

- شکل (۱-۴) نمودار سالانه شاخص **SPI** ایستگاه قائم شهر از سالهای ۶۵ تا ۹۵ ۳۶
- شکل (۲-۴) سری زمانی ۱۲ ماهه شاخص **SPI** ایستگاه آمل از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵ ۳۷
- شکل (۳-۴) نمودار **SPI** ۶ ماهه ایستگاه قائم شهر در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ۳۹
- شکل (۴-۴) نمودار **SPI** ۶ ماهه ایستگاه آمل در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ۳۹
- شکل (۵-۴) سری زمانی ۳ ماهه شاخص **SPI** ایستگاه قائم شهر از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵ ۴۰
- شکل (۶-۴) سری زمانی ۳ ماهه شاخص **SPI** ایستگاه آمل از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵ ۴۱
- شکل (۷-۴) نقشه‌های هم‌تراز ۶۵ سال ۴۴
- شکل (۸-۴) نقشه‌های هم‌تراز ۷۵ سال ۴۴
- شکل (۹-۴) نقشه‌های هم‌تراز ۸۵ سال ۴۵
- شکل (۱۰-۴) نقشه‌های هم‌تراز ۹۵ سال ۴۶
- شکل (۱۱-۴) نقشه‌های هم‌تراز تابستان ۱۳۸۵ ۴۸
- شکل (۱۲-۴) نقشه‌های هم‌تراز پاییز ۱۳۶۵ ۴۸
- شکل (۱۳-۴) نمودار میانگین ماهانه سال ۱۳۸۰ ۵۰
- شکل (۱۴-۴) نقشه هم‌تراز تیر ۱۳۸۰ ۵۰
- شکل (۱۵-۴) نقشه هم‌تراز مرداد ۱۳۸۰ ۵۱
- شکل (۱۶-۴) نمودار سالانه شاخص **SPI** و تراز آب زیرزمینی (۱۳۶۵-۱۳۹۵) ایستگاه قائم شهر و آمل ۵۳
- شکل (۱۷-۴) نمودار شاخص **SPI** و تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۳۱ ساله در مقیاس ۶ ماهه ایستگاه قائم شهر و آمل ۵۴
- شکل (۱۸-۴) نمودار شاخص **SPI** و تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۳۱ ساله در مقیاس ۳ ماهه ایستگاه قائم شهر و آمل ۵۵
- شکل (پ-۱) نقشه هم‌تراز بهار ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵ ۶۵
- شکل (پ-۲) نقشه هم‌تراز تابستان ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵ ۶۶
- شکل (پ-۳) نقشه هم‌تراز پاییز ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵ ۶۶
- شکل (پ-۴) نقشه هم‌تراز زمستان ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵ ۶۷
- شکل (پ-۵) نمودار میانگین فصلی **SPI** و تراز آب در فصل بهار ۶۵ تا ۹۵ ۶۷

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه

خشکسالی یکی از مخاطرات اصلی مرتبط با هواشناسی است که بخش‌های مختلف محیطی را در طول دوره وقوع خود تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مخاطره طبیعی تمام جوانب زندگی ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بطور کلی خشکسالی زمانی روی می‌دهد که کاهش چشمگیر آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای روی دهد (کورایا^۱، ۱۹۹۱). طی سالهای اخیر در کل کشور خشکسالی‌های مستمر و شدیدی رخ داده که در نتیجه آن منابع آبهای سطحی خشک یا بسیار کم شده و سفره‌های زیرزمینی با افت سطح ایستابی شدیدی روبه‌رو شده است. منابع آبهای زیرزمینی با توجه به عمق سفره، نوع آن، ویژگی‌های زمین‌شناسی، خصوصیات شبکه آب‌های سطحی روی آن، نسبت به خشکسالی واکنش نشان می‌دهند در نتیجه خشکسالی بر منابع آب‌های سطحی منطقه اثرات تخریبی مستقیم داشته است و خشکسالی بصورت غیرمستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی از منابع آب سطحی، افزایش برداشت از طریق چاه‌های عمیق جهت مصارف کشاورزی، افزایش دما و تبخیر و تعرق و تغییر نوع بارش در نتیجه کاهش میزان تغذیه از بارش‌های جوی بر منابع آبهای زیرزمینی مؤثر می‌باشد، بنابراین اثرات خشکسالی با تأخیر زمانی بیشتری در آبهای زیرزمینی رخ می‌دهد. هر خشکسالی با سه خصوصیت شدت، طول دوره و پهنای تحت تأثیر شناخته می‌شود.

زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می‌شوند، ابتدا آبیگری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره‌های آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کنند، چنین خشکسالی را خشکسالی آب‌های زیرزمینی می‌نامند. بازگشت آب به سفره‌های زیرزمینی، گردش و چرخه طبیعی در حال حاضر سیکل

¹ correia

کندتری پیدا کرده است چرا که بدلیل فرسایش خاک، قطع درختان و پوشش گیاهی و کاهش بارندگی، آب باران در سطح می ماند و تبدیل به سیلاب های شدید می شود.

۲-۱- ضرورت و اهمیت موضوع

کشور ایران بدلیل استقرار در عرض جغرافیایی ۲۵-۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴-۶۶ درجه شرقی به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، همواره با مشکل کم آبی و خشکسالی های متناوب مواجه می باشد. نزدیک به ۸۰ درصد مساحت ایران دچار مشکل کم آبی بسیار شدید است که می توان خشکسالی و کمبود آب در ایران را زلزله خاموش قرن شناخت. با توجه به آمار سال ۱۳۹۳ شرکت مدیریت منابع آب ایران ۵۵ درصد کل منابع آب کشور را آب های زیرزمینی تشکیل می دهند که از این میزان ۶۳ درصد مربوط به آب شرب مردم می باشد. همچنین بیش از ۶۰۹ دشت کشور با افت سطح آب های زیرزمینی مواجه هستند که از این تعداد ۳۳۰ دشت در وضعیت بحرانی بسر می برند. هر چند به گفته کارشناسان، خشکسالی قابل کنترل نیست اما می توان با اجرای برنامه های درست و مدیریت منطقی این خطر را با کمترین آسیب پشت سر گذاشت و با توجه به تأخیر زمانی بین خشکسالی و افت سطح آب زیرزمینی می توان از اثرات خشکسالی بر آب های زیرزمینی پیشگیری و مقابله کرد. بنابراین آگاهی در مورد نحوه تغییرات سطح آب زیرزمینی با میزان تغییرات بارش می تواند مدیران را در مدیریت صحیح خشکسالی یاری نماید. بر این اساس در این تحقیق سعی می شود یک رابطه منطقی بین شاخص خشکسالی و تراز آب های زیرزمینی ایجاد گردد.

۳-۱- اهداف تحقیق

این تحقیق با اهداف زیر شکل گرفت:

- ۱- پایش خشکسالی هواشناسی منطقه مورد مطالعه
- ۲- بررسی بررسی تأخیر زمانی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی
- ۳- تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی طی سالیان اخیر

۴-۱- فرضیات تحقیق

- ۱- خشکسالی در دراز مدت باعث کاهش سطح آب زیرزمینی می‌شود.
- ۲- تأثیر خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه است.
- ۳- همبستگی شدیدی بین بارش و سطح آب زیرزمینی وجود دارد.

۵-۱- روش انجام تحقیق

در این تحقیق، شاخص SPI، با استفاده از نرم افزار DrinC تحت تابع توزیع گاما محاسبه گردید. با استفاده از شاخص SPI ابتدا شرایط بلند مدت خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت سپس با استفاده از روش های آماری و برقراری ارتباط بین میانگین شاخص خشکسالی و نقشه های هم تراز و هم عمق چاه- های پیزومتری، تأثیر خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی منطقه مرکزی مازندران مورد بررسی قرار گرفت.

۶-۱- ساختار پایان نامه

در این تحقیق به ترتیب در فصل اول مقدمه، ضرورت و اهمیت موضوع، اهداف و فرضیات، فصل دوم کلیاتی درباره خشکسالی و انواع آن و مروری بر تحقیقات پیشین، فصل سوم مواد و روش انجام تحقیق، فصل چهارم نتایج و بحث، فصل پنجم نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است.

فصل دوم

کلیات

۱-۲- مقدمه

خشکسالی یک شکل طبیعی از اوضاع آب و هوایی است که تکرار آن در طول زمان امری گریزناپذیر است. از گذشته یکی از بلاهای طبیعی شناخته شده و در مقایسه با بلاهای طبیعی دیگر از نظر شدت، طول مدت واقعه، گسترش منطقه‌ای و خسارت مالی و جانی بسیار قوی‌تر است. در دهه‌های اخیر از میان حوادث طبیعی، فراوانی خشکسالی بیش از حوادث دیگر بوده است. این پدیده می‌تواند در همه نوع آب و هوایی رخ دهد زیرا خصیصه موقت تمام اقلیم‌ها است (قنبری و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین کشورها همواره تلاش کرده اند تا با ارائه راهکارهایی مناسب از سوی دست اندرکاران و مردم با آن مقابله کنند و آثار آن را به حداقل ممکن برسانند. خشکسالی در مقایسه با سایر بلاها (زلزله، آتشفشان، طوفان، سیل، صاعقه، سونامی)، یکی از عمده‌ترین مخاطرات طبیعی از دید شدت، مدت، خسارات جانی، اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی به شمار می‌رود که امکان دارد سبب بسیاری از تحولات اجتماعی-اقتصادی مثل جنگ‌ها، قحطی‌ها و مهاجرت‌ها شود (بیزدانی و همکاران، ۱۳۸۷). این پدیده یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت است که برای هر اقلیمی تکرار شدنی و قابل پیشامد است.

۲-۲- مفهوم خشکسالی و انواع آن

با توجه به این‌که خشکسالی همواره با توزیع زمانی و مکانی متفاوت در نقاط مختلف جهان روی می‌دهد، می‌توان گفت که هم در کشورهای توسعه یافته و هم در حال توسعه، اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی منطقه‌ای متفاوتی به همراه دارد. لذا برای ارائه تعریف خشکسالی نظرات و پیشنهادات مختلفی وجود دارد. بطور کلی تعاریف خشکسالی را می‌توان به دو دسته مفهومی و عملی (کاربردی) طبقه‌بندی کرد.

تعاریف مفهومی به صورت توصیفی و مفهومی ارائه شده که در لغت نامه‌ها موجود است. بعنوان مثال خشکسالی عبارت است از " یک دوره ممتد کمبود بارش که باعث صدمه به محصولات زراعی و کاهش عملکرد می‌شود."

بطور کلی تعاریف مفهومی به دلیل عدم بیان زمان وقوع خشکسالی نمی‌تواند راهنمای خوبی برای تعیین خشکسالی باشد. تعاریف عملی (کاربردی) علاوه بر تعاریف مفهومی، خشکسالی و اثرات آن را در طول یک دوره آماری بیان می‌کند. این تعاریف به پژوهشگران کمک می‌کند تا شروع، شدت و خاتمه خشکسالی را تشخیص داده و حتی در برخی از تعاریف اثرات بالقوه خشکسالی نیز در نظر گرفته می‌شود. بطور کلی برای ارائه یک تعریف مناسب از خشکسالی باید به سه نکته مهم توجه کرد:

۱- مقدار و شدت بارندگی و یا میزان کمبود آن مشخص شود.

۲- مدت زمان، یک ویژگی مهم در تشخیص خشکسالی است و بایستی برای تعیین میزان درجه خشکسالی و ارتباط بین مدت زمان و شدت مشخص شود.

۳- آستانه‌ای به عنوان یک نقطه مرجع برای تعیین زمان شروع خشکسالی تعیین شود.

طبق تعاریف ارائه شده توسط محققان، خشکسالی را می‌توان به انواع خشکسالی هواشناسی، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی کرد (انگبینی و همکاران، ۱۳۸۸).

۱-۲-۲- خشکسالی هواشناسی

خشکسالی هواشناسی در بسیاری از منابع با عنوان خشکسالی اقلیم‌شناسی از آن نام برده شده است، که معمولاً براساس درجه خشکی، طول دوره خشکسالی و میزان انحراف واقعی بارش نسبت به مقادیر متوسط ماهانه، فصلی و یا سالانه تعریف می‌شود. بطور کلی خشکسالی هواشناسی بیانگر کمبود و یا کاهش مقدار بارندگی در طی یک دوره زمانی بوده که منجر به خشکی منطقه می‌گردد.

۲-۲-۲- خشکسالی کشاورزی

خشکسالی کشاورزی، اثرات ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی را با عوامل کشاورزی مرتبط می‌سازد و بیشتر به کمبود بارش، کمبود رطوبت خاک و اختلاف بین میزان تبخیر و تعرق واقعی پتانسیل تاکید دارد. این نوع از خشکسالی زمانی روی می‌دهد که رطوبت قابل دسترس خاک برای محصولات کشاورزی به سطحی برسد که باعث پژمردگی گیاه و اثرات زیان‌بار بر روی میزان تولید محصول گردد. خشکسالی کشاورزی معمولاً پس از خشکسالی هواشناسی و ماقبل خشکسالی هیدرولوژیکی و یا اقتصادی- اجتماعی واقع می‌شود.

۲-۲-۳- خشکسالی هیدرولوژیکی

در صورت تداوم طولانی مدت خشکسالی هواشناسی و کاهش حجم جریان آب رودخانه و یا سطح آبهای زیرزمینی، خشکسالی هیدرولوژیکی رخ می‌دهد. این پدیده غالباً بر اثر کمبود و یا فقدان بارش زمستانی در عرض‌های میانی بوجود می‌آید. خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر بیشتری نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد، زیرا اثرات کمبود بارش در اجزاء سیستم هیدرولوژیکی نظیر رطوبت خاک، جریان رودخانه و سطح مخازن و آبهای زیرزمینی دیرتر نمایان می‌شود.

۲-۲-۴- خشکسالی اقتصادی- اجتماعی

خشکسالی اقتصادی- اجتماعی معمولاً پس از یک دوره بسیار طولانی مدت پس از خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حادث می‌گردد و موجب قحطی، شیوع بیماری، ناامنی، مرگ‌ومیر، بیکاری و مهاجرت‌های گروهی و گسترده می‌شود. همچنین این نوع خشکسالی تأثیرات زیادی بر روی ابعاد مختلف اقتصادی و بویژه انواع خاصی از محصولات و کالاهای اقتصادی می‌گذارد. بطور کلی، تعریف خشکسالی اقتصادی- اجتماعی تلفیقی از عرضه و تقاضای برخی کالاهای اقتصادی با اجزاء خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است. خشکسالی

اقتصادی-اجتماعی زمانی رخ می‌دهد که تقاضا برای یک کالای اقتصادی بدلیل نقصان عرضه آب از حاصل کمبود بارش از میزان عرضه فزونی گیرد.

۳-۲- پایش خشکسالی^۱

برآورد اثرات و خسارات خشکسالی تا حد زیادی دشوار می‌باشد، زیرا برخلاف سایر پدیده‌های مخاطره‌انگیز، تعیین دقیق زمان شروع و پایان خشکسالی دشوار است و اثرات آن به آرامی نمایان و بطور گسترده در ناحیه جغرافیایی وسیعی گسترش می‌یابد (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۹۴). این مسئله اهمیت انجام پایش گسترده و پایش آگاهی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مساعد خشکسالی) نشان می‌دهد. شدت و تداوم دو ویژگی اولیه خشکسالی بوده که مستقیماً به مقادیر پارامتر مورد بررسی وابسته هستند. بر همین اساس در پایش خشکسالی که از ابزارهای مهم در مدیریت خشکسالی محسوب می‌گردد، برای بیان کمی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. هدف از تهیه و کاربرد هر شاخص خشکسالی ارائه یک ارزیابی ساده و کمی سه خصوصیت شدت، تداوم و گستردگی مکانی خشکسالی است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین شاخص‌ها اطلاعاتی راجع به اثرات خشکسالی بر اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به ما می‌دهند.

۴-۲- شاخص‌های خشکسالی^۲

شاخص‌های خشکسالی مقادیر قابل توجهی از اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژی مانند درجه حرارت، بارندگی، برف، جریان رودخانه‌ها و سایر منابع آبی را به کار می‌گیرند تا تصویر جامعی از وضعیت خشکسالی را بطور منطقه‌ای، در قالب محدوده‌ای از اعداد بیان نمایند. مقادیر شاخص خشکسالی یک عدد می‌باشد که به مراتب مفیدتر از

¹ Drought monitoring

² Drought Indices

داده‌های خام مرتبط با این پدیده عمل کرده و در تصمیم‌گیری‌های آتی برنامه‌ریزان اهمیت بسزایی دارد. برای پایش وضعیت خشکسالی شاخص‌های متعددی وجود دارد که هیچکدام ذاتاً نسبت به دیگری ارجحیت نداشته، اما بعضی آنها در شرایط خاص بهتر عمل می‌کنند. این شاخص‌ها در ارزیابی خشکسالی متناسب با اهداف و داده‌های موجود تعیین می‌شوند. برخی از این شاخص‌ها عبارتند از:

شاخص شناسایی خشکسالی^۱ (RDI)، شاخص دهک‌ها^۲ (DI)، شاخص شدت خشکسالی پالمر^۳ (PDSI)، شاخص بارش استاندارد شده^۴ (SPI)، شاخص ذخیره آب سطحی^۵ (SWSI)، شاخص درصدی از نرمال^۶ (PN) و شاخص خشکسالی رطوبت خاک^۷ (SMDI).

۵-۲- مفهوم آب‌های زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی به آب‌هایی گفته می‌شود که در لایه‌های آبدار و اشباع زیرزمین تجمع پیدا کرده است. بخشی از آب‌های سطحی در اثر نیروی جاذبه وارد محیط متخلخل خاک شده و به سمت پایین حرکت می‌کند. لایه‌های مختلف زمین از مواد و ترکیبات مختلف خاک شکل گرفته و در زمان‌های مختلف بوجود آمده‌اند. مجموعه عواملی نظیر جنس و اندازه دانه‌ها، میزان تخلخل، میزان تراکم، میزان ترک‌خوردگی و ... باعث می‌شود بخش‌های مختلف فضای زیرزمین ظرفیت‌های متفاوتی برای جذب، ذخیره و انتقال آب داشته باشند. لایه‌هایی از زمین که به صورت نسبی ظرفیت بالاتری برای جذب، ذخیره و انتقال آب دارند آبخوان نامیده می‌شوند. به دلیل نفوذپذیری بیشتر این لایه‌ها، بخش اعظم آب نفوذ کرده در عمق زمین به صورت طبیعی جذب آنها می‌شود.

¹ Reclamation drought index

² Dciles Index

³ Palmer drought Index

⁴ Standardized precipitation Index

⁵ Surface water supply Index

⁶ Percent Of normal Index

⁷ Soil moisture drought index

بسته به شرایط احاطه کننده آن، یک لایه آبدار می‌تواند مانند یک مخزن زیرزمینی آب را ذخیره یا مانند یک رودخانه زیرزمینی آب را به لایه‌های مجاور و عمیق‌تر منتقل نماید. ابعاد این مخازن یا رودخانه‌های زیرزمینی می‌تواند از چند ده‌متر تا چندصد کیلومتر متفاوت باشد. آب‌های زیرزمینی حدود ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی را که فعالانه در چرخه آب‌شناختی دخالت دارند را تشکیل می‌دهند. با این وجود حدود ۵۰ درصد جمعیت دنیا از نظر آب شرب متکی به همین آب‌های زیرزمینی هستند (ولایتی، ۱۳۹۴).

۶-۲- مخاطرات آب‌های زیرزمینی

به دلیل عدم شناخت صحیح یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری سریع آب‌های زیرزمینی، سهل‌انگاری‌های زیادی صورت گرفته است. اجازه داده‌ایم که بنزین و سایر مایعات مضر از مخازن زیرزمینی به درون سفره‌های آب‌های زیرزمینی نفوذ کند. آلاینده‌ها، از محل‌های دفن زباله یا سیستم‌های فاضلاب که بطور غلطی ساخته شده‌اند، به داخل آن تراوش کنند. در سال‌های اخیر برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آنها بیشتر است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده است. با این کار سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین‌دست (مناطق با ارتفاع کمتر که آب جاری در لایه‌های آبدار تحت اثر گرانش به سمت آنها جریان می‌یابد) و از بین رفتن چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است.

در سال ۲۰۰۵ میلادی چین، هند و ایران رتبه‌های اول تا سوم برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را داشته‌اند. ایران بطور متوسط سالانه پنج میلیارد مترمکعب آب بیش از ظرفیت لایه‌های آبدار زمین از آنها بهره‌برداری می‌کند (ولایتی، ۱۳۹۴).

۲-۷- اشکال مختلف آب‌های زیرزمینی

۲-۷-۱- آب هیگروسکوپی

آبی است که بصورت قطره‌های ریز در اطراف دانه‌های رسوب می‌چسبد.

۲-۷-۲- آب غشایی

آبی است که بصورت یک قشر نازک، اطراف دانه‌های رسوب را می‌پوشاند.

۲-۷-۳- آب ثقلی

آبی است که اطراف و بین دانه‌های رسوب را پر می‌کند و اگر امکان حرکت برایش وجود داشته باشد از محل خود تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین یا ثقل، حرکت کرده و جریان می‌یابد.

۲-۷-۴- آب موئینگی

بخشی از آب است که بر روی سطح آب زیرزمینی و سوار بر آن، در میان رسوبات دانه‌ریز قرار می‌گیرد. رسوبات دانه ریز فضای لوله مانند و پیچ‌وخم داری ایجاد می‌کنند که تحت تأثیر نیروی موئینگی، بخشی از آب زیرزمینی را درخلاف جهت نیروی ثقل تا ارتفاع چندین متری به بالا می‌کشند. ضخامت آب موئینگی به قطر دانه‌های رسوب بستگی داشته و هر چه دانه‌های رسوب ریزتر باشند ضخامت قشر موئینگی نیز بیشتر خواهد بود (ولایتی، ۱۳۹۴).

۸-۲- مروری بر مطالعات گذشته

۸-۲-۱- مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی

خشکسالی و پایش آن پدیده‌ای است که از دیرباز توجه انسان را به خود جلب نموده است و تحقیقات فراوان در مورد خشکسالی، اثرات، مدیریت و پایش آن در اکثر کشورهای دنیا از جمله ایران به انجام رسیده است.

لی یو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی ویژگی‌های خشکسالی را هم از نظر زمانی و هم مکانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های هواشناسی ۵۴ ایستگاه هواشناسی لس فلات چین^۲ در بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۵۷ مورد استفاده قرار گرفته، همچنین به منظور ارزیابی خشکسالی در سری‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، از سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص شدت خشکسالی پالمر خود کالیبره شده (SC-PDSI) و شاخص استاندارد شده تعرق (SPEI) استفاده گردیده است. خشکسالی از نظر مکانی از جنوب شرق به شمال غرب کاهش، و از نظر زمانی افزایش را در اواخر بهار، اوایل تابستان و اواسط زمستان نشان می‌دهد.

اسپینونی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بحث و بررسی بزرگترین رویدادهای خشکسالی اروپا در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۵۰ پرداختند. در این پژوهش جهت محاسبه خشکسالی از سه شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI)، شاخص تعرق استاندارد شده بارش و شاخص خشکسالی خشکی (RDI) و ادغام آنها به یک شاخص ترکیبی در مقیاس ۳ ماهه و ۱۲ ماهه به ترتیب برای خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده شده است. نتایج حاصله بیشترین فراوانی خشکسالی، مدت و شدت را در سالهای ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در شمال اروپا و روسیه، در

¹ Liu

² Loess plateau of china

³ Spinoni

سال ۱۹۷۰ در مرکز اروپا و جزایر بریتانیا و در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ در منطقه مدیترانه و جمهوری بالتیک^۱ نشان می‌دهد.

استاگه^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی خشکسالی هواشناسی در اروپا پرداختند. در این تحقیق دو شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد (SPI) و شاخص بارش استاندارد تعرق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در آن برای بررسی و کنترل اثرات فصلی و سالانه شاخص‌ها از رگرسیون لجستیک استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که هر دو شاخص با ضریب همبستگی مناسب، توانایی پیش‌بینی مناسبی در تعیین اثرات خشکسالی هواشناسی دارا هستند.

شاه^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به محاسبه خشکسالی در منطقه سورت (گجرات)^۴ پرداختند. در این پژوهش از شاخص بارش استاندارد شده که از سادگی و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها برخوردار است، استفاده شده است. همچنین از ۴۰ سال داده جهت محاسبه خشکسالی در منطقه مذکور استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که، روش SPI با در نظر گرفتن تنها، داده‌های بارش نتایج دقیق و بهتری در وضعیت خشکسالی واقعی از خود نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان بیان کرد که این شاخص برای برنامه‌های کاربردی کشاورزی روشی ساده و مؤثر است.

جین^۵ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به مقایسه چند شاخص خشکسالی در حوضه رودخانه کن پرداختند. در این مطالعه جهت ارزیابی خشکسالی و مناسب‌ترین شاخص، از شاخص‌های خشکسالی مختلفی همچون شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص مؤثر خشکسالی (EDI)، شاخص چینی (CZI)، خروجی بارش (RD) و دهک بارش بر اساس شاخص خشکی (RDDI) استفاده شده است. این شاخص‌ها بر اساس پنج گام زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و

¹ Baltic.republics

² H.stagge

³ Shah

⁴ Surat District (Gujarat)

⁵ Jain

⁶ Ken

۱۲ ماهه با یکدیگر مقایسه شدند. این مطالعه نشان می‌دهد که بازه زمانی ۹ ماهه نسبت به چهار دوره دیگر بهترین نتیجه را نشان داده و شاخص‌های RD و RDDI نسبت به دیگر شاخص‌ها از نتایج قابل قبولی برخوردار بوده‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که شاخص EDI با توجه به تفاوت گام زمانی این شاخص با دیگر شاخص‌ها، خشکسالی زودتری را نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد و در نهایت این مطالعه بیان می‌کند که شاخص EDI، نتایج متفاوت‌تری در کشورهایی چون ایران، کره، ژاپن، استرالیا و ترکیه از خود نشان می‌دهد.

وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی خشکسالی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های بارش و دمای ماهیانه (۱۹۸۹-۱۹۶۰)، و بکارگیری شاخص‌های استاندارد شده تعرق (SPEI)، بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر خودکالیبره (SC-PDSI) به ارزیابی منطقه مورد مطالعه پرداخته است. نتایج، کاهش بارش در حدود ۷۰-۳۰ درصد و افزایش دما را نسبت به مقادیر متوسط ماهانه نشان می‌دهد. مقایسه نهایی شاخص‌های مذکور، حاکی از دقت شاخص SPEI نسبت به SPI و پیش‌بینی شدت خشکسالی‌های خفیف توسط SC-PDSI می‌باشد.

کین^۲ و همکاران (۲۰۱۵) خشکسالی را در حوضه‌های هه^۳ در شمال چین تا سال ۲۰۱۰ تجزیه و تحلیل کردند. در این راستا از شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص شدت خشکسالی رطوبت خاک (SMDS) و شاخص نرمال پوشش گیاهی (A-NDVI) استفاده شده است. نتایج بیانگر آن است که شاخص SMDS خشکسالی‌هایی با مدت زمان کوتاه‌تر اما شدیدتر از شاخص SPI از خود نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در ۵۱ سال گذشته، ۳۶ خشکسالی شدید برای شاخص SMDS و ۴۱ خشکسالی برای شاخص SPI نشان داده شده که بزرگترین آن در سال ۱۹۹۱ رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ارتباط همبستگی بین شاخص SMDS سالانه و شاخص A-NDVI بیش‌تر از شاخص SPI می‌باشد.

¹ Wang

² Qin

³ Haihe

بابایی‌فینی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق به پایش و پهنه‌بندی خشکسالی بلند مدت ایران پرداختند. در این تحقیق از داده‌های آماری ۷۰ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ سال و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. نتایج شاخص SPI در بازه ۱۲ ماهه خشکسالی بسیار شدید بیشتر از ۶ درصد برای شرق و جنوب غرب کشور و بیشتر از ۴/۶ درصد برای غرب، مرکز و شرق کشور و کمتر از ۴ درصد را بقیه مناطق کشور داشته‌اند. در بازه ۲۴ ماهه درصد خشکسالی بسیار شدید همانند بازه ۱۲ ماهه یک درصد کاهش یافته، ولی دامنه پراکندگی آن در درصدهای بالای ۶ درصد افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، در مناطقی که در بازه ۱۲ ماهه دچار خشکسالی بسیار شدید بوده‌اند، در بازه ۲۴ ماهه نیز دارای خشکسالی شدید هستند. بطور کلی می‌توان گفت که غرب، شرق و جنوب شرق بیشترین خشکسالی شدید را داشته‌اند.

اکرمی و همکاران (۱۳۹۲) اثرات خشکسالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی را در دشت یزد-اردکان مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های آماری ۱۳۸۹-۱۳۴۰ و دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) به ترتیب جهت بررسی خشکسالی اقلیمی و آب‌شناختی استفاده شده است. نتایج دو شاخص بیانگر افزایش ۱/۳ برابری خشکسالی اقلیمی نسبت به ترسالی اقلیمی، و روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی (متوسط افت سالانه سطح ایستابی در حدود ۰/۵ متر در سال) بوده است. همچنین بررسی رابطه بین شاخص SPI و GRI نشان می‌دهد که بین وقوع خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه تأخیر زمانی وجود دارد و میزان تأخیر زمانی بین خشکسالی‌های اقلیمی و آب‌شناختی حدود ۱ تا ۲ سال برآورد شده است.

صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) احتمالات خشکسالی و ترسالی را در تهران برآورد کردند. در این پژوهش از داده‌های بارندگی ایستگاه مهرآباد در دوره ۲۰۰۶-۱۹۵۶، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) و مدل زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده شده است. با بررسی شدت خشکسالی مشخص شد که خشکسالی ملایم بیشترین سهم را نسبت به سایر خشکسالی‌ها به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر شدیدترین خشکسالی‌ها در

سال های ۱۹۹۷ و ۱۹۶۷ رخ داده و طولانی ترین آن مربوط به دوره ۱۹۶۸-۱۹۶۶ بوده است. همچنین نتایج حاکی از کاهش دوره های نرمال و افزایش دوره های خشک، کاهش تعداد متوسط خشکسالی و افزایش طول دوره های خشکسالی در مقیاس های زمانی بلندمدت می باشد. بطور کلی نتایج، افزایش احتمال وقوع پدیده خشکسالی در تهران را نشان داد.

ملکی نژاد و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی شدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به ترتیب با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص سطح آب استاندارد (SWI) در حوضه چغلوندی در استان لرستان و داده های ۱۸ ساله بارندگی ۸ ایستگاه باران سنجی، آمار دبی ۲ ایستگاه هیدرومتری و داده های سطح ایستابی چاه های پیژومتری استفاده شده است. نتایج بیانگر افزایش شدت و تداوم خشکسالی ها (بویژه خشکسالی هیدرولوژیکی) بوده و بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (آبهای سطحی و زیرزمینی) تأخیر زمانی متفاوتی وجود دارد. همچنین نقشه های پهنه بندی خشکسالی در مناطق جنوبی و مرکزی حوضه شدت بالای این دو خشکسالی را نشان داده اند.

با بررسی و دقت در مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی، می توان نتیجه گرفت که شاخص های خشکسالی در مناطق مختلف نتایج متفاوتی نشان داده که مستلزم بررسی شاخص های متنوع تر می باشد. همچنین می توان به اهمیت واقعه خشکسالی و اثرات آن در برنامه ریزی کلان ملل در مدیریت منابع آب پی برد.

۲-۸-۲- مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیر خشکسالی بر منابع آب

زیرزمینی

نوحه گر و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی رودخانه میناب پرداختند. در این پژوهش فراوانی خشکسالی با استفاده از دو شاخص RDI و SPI در ایستگاه-

های باران‌سنجی معرف واقع در دشت‌های این حوضه تعیین شد. نتایج نشان داد هر دو شاخص SPI و RDI بیشترین فراوانی خشکسالی ملایم و متوسط را برای منطقه برازش دارند. شاخص SPI براساس فرضیه سنجه کارآمد، سازگاری بهتری با منطقه مورد مطالعه نشان داد. بنابراین شاخص SPI برای ارزیابی روابط خشکسالی و منابع آب انتخاب شد. سپس به منظور بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب سطحی رابطه این شاخص با تغییرات متوسط دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری نزدیک هر دشت سنجیده شد. نتایج نشان داد این رابطه با همبستگی بالا معنی‌دار می‌باشد.

سلیمانی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی از شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی برای تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر کاهش آبدهی دریاچه کیو استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است.

شکیبا و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیر زمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده بر افت سطح آب‌های زیرزمینی تأثیر بسزایی داشته‌اند. همچنین ایشان با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقدار SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

حمیدیان‌پور (۱۳۸۴) به بررسی تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب پرداخت. او با استفاده از روش SPI، خصوصیات خشکسالی (فراوانی وقوع، شدت و مدت) و دوره‌های آن را ارزیابی کرد و جهت بررسی اثرات خشکسالی بر روی منابع آب زیرزمینی از روش همبستگی و رگرسیون بین میانگین وزنی بارش دشت و تغییرات سطح ایستابی ماهانه و سالانه دشت استفاده کرد. نتایج نشان داد که تغییرات سطح ایستابی با تأخیر یکساله نسبت به نوسانات ترسالی و خشکسالی رخ داده است. سطح ایستابی در سال‌هایی با بارندگی نرمال نیز دارای افت بوده است که می‌توان به افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی نسبت داد.

اعلمی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تأثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل پرداختند. در این مطالعه، روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ ایستگاه پیژومتری در مقیاس ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۷ با آزمون ناپایداری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. برای هر سری زمانی، شیب خط روند با استفاده از روش تخمین گر Sen محاسبه شد نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی است. بررسی شیب خط روند نشان داد که بطور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی متر در سال افت دارد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و آبهای زیرزمینی در دشت اراک را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از دو شاخص بارش استاندارد شده SPI و شاخص سطح آب استاندارد SWI، داده‌های بارندگی ۱۱ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۵ و ۴۴ چاه پیژومتری در دوره ۱۳۸۶-۱۳۶۴، در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه استفاده شده است. بررسی‌ها از نقطه نظر طولانی‌ترین تداوم خشکسالی آبهای زیرزمینی و هواشناسی به ترتیب در غرب و بخش‌های شمال شرقی و شرق حوزه اتفاق افتاده است. همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از SPI و SWI بدست آمده در محیط GIS، نشان داد که خشکسالی هواشناسی از نظر مکانی دارای روند مشخص نمی‌باشد، در حالی که خشکسالی آبهای زیرزمینی به صورت تصادفی در منطقه رخ نداده و تمرکز آنها در نقاط مشخص از حوزه که دارای تنش‌های بارشی و انسانی می‌باشد، ایجاد شده است.

صیف و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا پرداختند. در این مطالعه میزان آسیب‌پذیری خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۷ و وضعیت خشکسالی آب و زمین شناسی طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۲ با استفاده از شاخص منبع آب زیرزمینی GRI مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج، روند کاهشی را برای شاخص GRI نشان داده و خشکسالی آب و زمین‌شناسی با درجات بالا در منابع آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ نشان داده است. همچنین با توجه به نتایج، شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه، با میانگین ارتفاع

سطح آب زیرزمینی، شاخص GRI و شاخص هدایت الکتریکی استاندارد شده (SECI) رابطه معنی داری را در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد که تأثیرپذیری مستقیم کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه را از خشکسالی در دشت فسا تأیید می‌کند.

شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۲) به بررسی تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان پرداختند. در این تحقیق با استفاده از روش Z استاندارد، خشکسالی‌ها و شدت آنها مشخص شد و سال-های آبی ۷۷-۷۹ بعنوان سال‌های شاخص خشکسالی تعیین گردید. در بررسی توزیع مکانی شدت خشکسالی و افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های همدان از قابلیت GIS و نرم افزار ARC/view و ARC info و از رابطه تیزولد در تعیین شدت کمبود بارش و خشکی، و از هیدروگراف‌های معرف سطح آب‌های زیرزمینی جهت تعیین میزان و شدت افت ماهیانه و سالانه سطح ایستابی استفاده گردید. نتایج نشان داد خشکسالی بر منابع آب سطحی منطقه اثرات تخریبی مستقیم داشته، ولی در آب‌های زیرزمینی بین کاهش بارش و افت سطح ایستابی، ضریب همبستگی معنا داری وجود ندارد و خشکسالی بصورت غیرمستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی از منابع آب سطحی، افزایش برداشت از طریق چاه‌های عمیق جهت مصارف کشاورزی، افزایش دما و تبخیر و تعرق و تغییر نوع بارش در نتیجه کاهش میزان تغذیه از بارش‌های جوی و ... بر منابع آب‌های زیرزمینی مؤثر می‌باشد. بنابراین اثرات خشکسالی با تأخیر زمانی بیشتری در آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد.

صمدی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی روند تغییرات آب زیرزمینی دشت ارومیه، ۳۱ ایستگاه پیزومتری در مقیاس ماهانه و سالانه در دوره‌های آماری ۸۹-۸۱ با استفاده از آزمون ناپایداری من-کندال^۱ مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بطور متوسط تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه حدود ۱۹/۹ سانتی متر در سال در دهه اخیر در حال کاهش بوده است که علت این کاهش ناشی از بروز خشکسالی‌های پیوسته در چند سال اخیر، کاهش بارندگی و برداشت بی رویه و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

¹ Mann-kendall

مندیسینو^۱ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) را برای مناطق کالابریا^۲ با اقلیم مدیترانه‌ای برای دوره ۴۵ ساله به کار بردند و با SPI منطقه مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی GRI با SPI در مقیاس زمانی طولانی‌تر، مناسب‌تر است.

دیلیپ^۳ و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی تأثیر خشکسالی روی سطح آب زیرزمینی در کشور هند (اورسیا) پرداختند. ایشان سطح آب را در ۱۰۲ ایستگاه قبل و بعد از بادهای موسمی در طول دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۴۳ مورد بررسی و آنالیز قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که اراضی پایین‌دست به دلیل کمبود بارش در طول سال‌های خشک، دمای بالا و فشارهای انسانی حتی در سال‌های مرطوب نیز تغذیه و احیا نشده‌اند.

پولمو^۴ و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تغییر اقلیم، خشکسالی و دسترسی آب زیرزمینی در ایتالیای جنوبی پرداختند. ایشان با استفاده از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی، آنالیز روند و آزمون‌های آماری t – استیودنت و من‌کندل و آنالیز همبستگی داده‌ها به این نتیجه رسیدند که روند دسترسی به منابع آب زیرزمینی آنقدر منفی است که می‌توان وضعیت را برای کاربران آب وخیم دانست. آنها نشان داده‌اند که این مسئله نه فقط به دلایل طبیعی (بارش و تغذیه کم)، بلکه به دلیل افزایش تخلیه به وسیله چاه‌ها برای جبران عدم دسترسی به آب‌های سطحی به دام انداخته شده توسط سدها نیز بوده است.

خان^۵ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی وضعیت خشکسالی در اراضی زراعی یکی از حوضه‌های کشور استرالیا با سطح آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم اینکه منابع آب زیرزمینی نواحی مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند اما در موارد زیادی بین شاخص SPI و سطح آب زیرزمینی ارتباط قوی وجود دارد.

¹ Mendicino

² calabria

³ Dileep

⁴ Polemo

⁵ khan

شاهید^۱ و همکاران (۲۰۱۰) به تحلیل سطح آب زیرزمینی و زمان‌های بارندگی در شمال غربی منطقه بنگلادش پرداختند. نتایج آنها نشان داد که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده است و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی وجود نداشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به گونه‌ای عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بوده است.

پاندا^۲ و همکاران (۲۰۰۷) مطالعه‌ای جهت تعیین کاهش سطح آبهای زیرزمینی ایالت اورسای هند و تشخیص مکانیزم‌های ایجاد کننده خشکسالی و تأثیر انسان بر منابع آب انجام داده و به این نتیجه رسیدند که افت سطح آب زیرزمینی به علت کاهش بارش در سال‌های خشک، دماهای بالا و تأثیر انسانی می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق‌الذکر و مطالعات انجام شده، علاوه بر مطالعات اندک صورت گرفته در ایران، مطالعه‌ای در زمینه اثر خشکسالی بر آبهای زیرزمینی در منطقه مازندران صورت نگرفته است. بنابراین در این تحقیق سعی شده است ابتدا خشکسالی در منطقه بررسی، سپس با ارتباط بین شاخص SPI و سطح آب چاه‌های پیرومتری، تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گیرد.

¹ Shahid

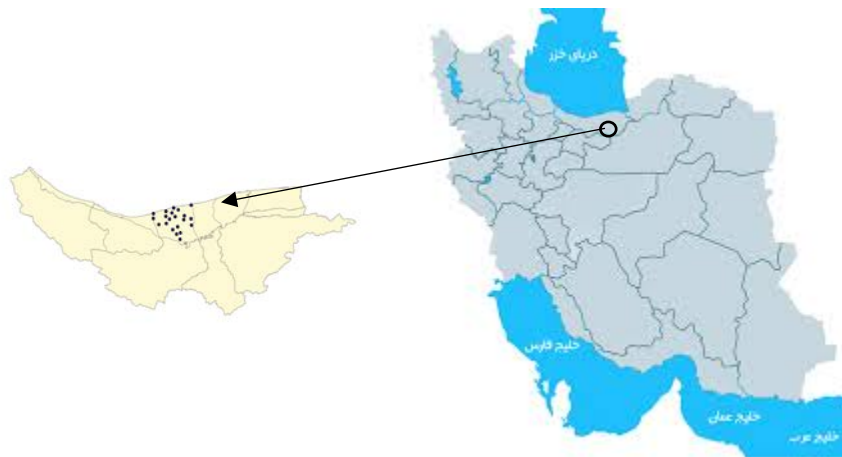
² Panda

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد نظر بخشی از حوزه آبخیز دریای خزر می‌باشد که مساحتی بالغ بر ۱۲۰ هزار هکتار دارد و در مختصات "۶۵' ۶۷° ۵۲ تا "۰۷' ۳۵° ۵۲ شرقی و "۸۷' ۵۳° ۳۶ تا "۷۶' ۴۶° ۳۶ شمالی در بین سه شهر بابل، بابلسر و آمل واقع شده است. در این محدوده ارتفاع از سطح دریا از ۲۱- متر در بابلسر تا ۴۰ متر در آمل متغیر می‌باشد.



آب و هوا در تابستان گرم و مرطوب و در زمستان ملایم می‌باشد.

۳-۲- اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل دو بخش می‌باشد. بخش اول مقادیر ماهانه و سالانه بارش مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی قائم‌شهر و آمل در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) می‌باشند که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. بدلیل ناقص بودن داده‌های بارندگی ایستگاه آمل، داده‌های بارش ایستگاه قائم‌شهر که آمار آن کامل و مورد اطمینان می‌باشد را به عنوان ایستگاه مبنا انتخاب کرده و با استفاده از

روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها، مقدار بارندگی برای هر یک از سال‌های فاقد آمار در ایستگاه آمل به شرح زیر محاسبه گردید:

$$X1 = X2 \times \frac{XA}{XB} \quad (۳-۱)$$

X1 : مقدار بارندگی در سال فاقد آمار بر حسب میلی‌متر

X2 : مقدار بارندگی ایستگاه مبنا در سال مربوطه بر حسب میلی‌متر

XA : میانگین بارندگی در سالهای مشترک در ایستگاه فاقد آمار

XB : میانگین بارندگی در سالهای مشترک در ایستگاه مبنا

بدین ترتیب سالهایی که فاقد آمار بارش بود، تخمین زده و داده‌های بارندگی ایستگاه آمل کامل گردید و به دوره آماری ۳۰ ساله رسیده است.

ایستگاه‌های هواشناسی قائم‌شهر و آمل، نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشند. میانگین ۳۱ سال آمار بارش دو ایستگاه قائم‌شهر و آمل در جداول (۱-۳) و (۲-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳) مقادیر بارندگی (میلی‌متر) ایستگاه هواشناسی قائم‌شهر (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

| پارامتر | ۰۰۰ | ۰۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰۰۰۰ | ۰۰۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰۰۰ |
|-----------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| میانگین بارندگی | ۳۹.۹ | ۲۸.۳ | ۳۰.۶ | ۳۰.۸ | ۳۷.۹ | ۸۱ | ۹۸.۸ | ۱۰۱.۱ | ۷۴.۶ | ۶۸.۱ | ۶۱.۵ | ۷۰.۳ | ۷۲۲.۹ |
| حداقل بارندگی | ۰ | ۱.۸ | ۳.۸ | ۳.۲ | ۰ | ۷ | ۱۹ | ۱۲ | ۲۱.۴ | ۱۸.۳ | ۸.۹ | ۲۰ | ۴۶۳.۲ |
| حداکثر بارندگی | ۱۰۶.۶ | ۷۱.۴ | ۱۶۰ | ۱۲۶.۷ | ۱۰۰ | ۱۶۲.۹ | ۲۸۸.۷ | ۲۰۶.۵ | ۱۶۵.۴ | ۱۴۱.۵ | ۱۲۴.۶ | ۱۶۶.۱ | ۹۴۰.۴ |

جدول (۲-۳) مقادیر بارندگی (میلی متر) ایستگاه هواشناسی آمل (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

| پارامتر | ۰۰۰ | ۰۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰۰۰۰ | ۰۰۰ | ۰۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰ | ۰ ۰۰۰۰ |
|-----------------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| میانگین بارندگی | ۳۵ | ۲۱.۵ | ۲۱ | ۲۷.۱ | ۳۰.۴ | ۷۰ | ۱۱۵.۶ | ۹۸.۵ | ۷۶.۱ | ۶۲.۶ | ۵۸.۴ | ۵۸.۷ | ۶۷۴.۹ |
| حداقل بارندگی | ۰ | ۱.۶ | ۰ | ۰.۱ | ۰ | ۱.۵ | ۲۲.۲ | ۲۰.۲ | ۱۴ | ۲۰.۶ | ۸.۴ | ۱۸.۹ | ۳۹۱.۳ |
| حداکثر بارندگی | ۱۱۵ | ۵۴.۳ | ۱۱۰ | ۱۱۱.۳ | ۱۰۸.۳ | ۱۴۰.۸ | ۱۹۵.۵ | ۲۳۸.۴ | ۱۳۹.۶ | ۱۰۹.۶ | ۱۰۵.۶ | ۱۰۵.۵ | ۸۷۱.۶ |

بخش دوم داده‌های مورد نیاز این تحقیق شامل مقادیر ماهانه چاههای پیزومتری در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) می‌باشند که از بخش مطالعات منابع آب شرکت آب منطقه‌ای ساری اخذ گردید. در دشت‌های منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۱ عدد چاه پیزومتری وجود دارد که مشخصات آنها در جدول (۳-۳) آمده است. همچنین در جدول (۴-۳) میانگین فصلی چاههای پیزومتری در طول دوره سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ارائه شده است.

جدول (۳-۳) مشخصات چاههای پیزومتری در طول دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

| آب وفاضلاب | مخزن امیرکام | قاضی محله | رزکنار | تلیکران | فک چال | احمدچاله پی | شریعت کلا | بنه کنار | خدیبو |
|------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|-----------|----------|---------|
| ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ |
| ۶۵۰۵۸۲ | ۶۴۹۸۲۲ | ۶۴۹۰۷۴ | ۶۴۲۰۹۶ | ۶۴۱۶۶۷ | ۶۳۸۸۳۵ | ۶۳۸۷۷۰ | ۶۳۵۳۵۱ | ۶۳۵۰۵۷ | ۶۳۴۶۱۲ |
| ۴۰۴۳۷۲۲ | ۴۰۵۰۰۴۶ | ۴۰۶۳۵۶۰ | ۴۰۵۲۵۹۹ | ۴۰۴۸۶۱۳ | ۴۰۲۸۸۵۱ | ۴۰۳۵۳۷۴ | ۴۰۴۱۲۱۱ | ۴۰۵۸۰۰۲ | ۴۰۳۳۹۲۰ |
| ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۸ | ۱۲ | ۱۲ |

| مرزنگو | درویش خیل | سرخورد | افراسرا | بالامیرده | نوکلا | اسکنده | بیشه کلا | حسین آباد | بیرجنده | خشت سر |
|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------|
| ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ |
| ۶۳۱۹۸۶ | ۶۲۹۹۳۶ | ۶۲۹۶۷۲ | ۶۲۸۱۹۶ | ۶۲۵۸۴۹ | ۶۲۳۳۰۹ | ۶۲۱۴۲۰ | ۶۲۱۲۹۹ | ۶۱۴۱۱۰ | ۶۰۷۶۲۸ | ۶۰۷۴۱۵ |
| ۴۰۵۰۹۶۴ | ۴۰۳۸۰۷۲ | ۴۰۵۹۶۰۹ | ۴۰۵۴۵۲۳ | ۴۰۴۸۲۲۵ | ۴۰۴۳۵۶۴ | ۴۰۵۰۷۱۷ | ۴۰۵۵۶۹۸ | ۴۰۴۲۰۵۶ | ۴۰۴۷۸۱۱ | ۴۰۵۲۵۰۶ |
| ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۶ | ۱۰ | ۱۲ |

جدول (۳-۴) میانگین فصلی تراز آب چاه‌های پیزومتری (متر) در دوره آماری (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

| سال | بهار | تابستان | پاییز | زمستان |
|-----|-------|---------|-------|--------|
| ۶۵ | ۰.۱۴ | -۰.۳ | ۰.۲۶ | ۰.۱۸ |
| ۶۶ | ۰.۲۲ | -۰.۱۶ | ۰.۴۴ | ۰.۴۷ |
| ۶۷ | ۰.۲۲ | ۰.۰۲ | ۰.۱ | ۰.۲۱ |
| ۶۸ | ۰.۱۵ | ۰.۴۷ | ۰.۰۸ | ۰.۱۵ |
| ۶۹ | ۰.۰۴ | -۰.۶ | -۰.۲۱ | ۰.۰۷ |
| ۷۰ | -۰.۰۲ | -۰.۷۳ | -۰.۴۹ | ۰.۱۶ |
| ۷۱ | ۰.۰۴ | -۰.۳۶ | -۰.۲۷ | -۰.۱۸ |
| ۷۲ | -۰.۳۷ | -۰.۶۲ | -۰.۳۷ | -۰.۴۷ |
| ۷۳ | -۰.۵۲ | -۰.۷۳ | -۰.۲ | -۰.۲۷ |
| ۷۴ | -۰.۴۵ | -۰.۸ | -۰.۲۸ | -۰.۲۲ |
| ۷۵ | -۰.۲۷ | -۰.۷۶ | -۰.۱ | -۰.۱۸ |
| ۷۶ | -۰.۵ | -۰.۷ | -۰.۲۸ | -۰.۲۲ |
| ۷۷ | -۰.۵۸ | -۰.۸۳ | -۰.۶ | -۰.۵ |
| ۷۸ | -۰.۸ | -۱.۵۸ | -۰.۷۶ | -۰.۵۵ |
| ۷۹ | -۱.۱۶ | -۱.۸۳ | -۱ | -۰.۷۵ |
| ۸۰ | -۱.۴۵ | -۲.۲ | -۱.۱۳ | -۰.۷۷ |
| ۸۱ | -۰.۸ | -۱.۲۸ | -۰.۶۳ | -۰.۶۴ |
| ۸۲ | -۰.۷ | -۰.۹۵ | -۰.۵۵ | -۰.۶۳ |
| ۸۳ | -۰.۵۶ | -۰.۸۵ | -۰.۷ | -۰.۵۷ |
| ۸۴ | -۰.۷۳ | -۰.۹۵ | -۰.۸۵ | -۰.۷۹ |
| ۸۵ | -۰.۹ | -۱.۲۶ | -۰.۹ | -۰.۶ |
| ۸۶ | -۰.۷ | -۱.۰۳ | -۰.۸۲ | -۰.۵۸ |
| ۸۷ | -۱.۱۵ | -۱.۶ | -۰.۸ | -۰.۵۵ |
| ۸۸ | -۰.۷۲ | -۱.۱ | -۰.۷ | -۰.۶۶ |
| ۸۹ | -۰.۸۸ | -۱.۴۶ | -۱.۰۵ | -۰.۷۲ |
| ۹۰ | -۰.۹۴ | -۱.۳۲ | -۰.۷۷ | -۰.۵۲ |
| ۹۱ | -۰.۹ | -۱.۳۵ | -۰.۷ | -۰.۳۷ |
| ۹۲ | -۰.۹۳ | -۱.۴۲ | -۰.۵۶ | -۰.۶۸ |
| ۹۳ | -۱.۰۷ | -۱.۵ | -۰.۹ | -۰.۷۷ |
| ۹۴ | -۱.۰۳ | -۱.۹۲ | -۱.۰۷ | -۰.۶ |
| ۹۵ | -۰.۶۸ | -۱.۱۹ | -۰.۶۹ | -۰.۶ |

۳-۳- شاخص‌های خشکسالی

طی دهه‌های گذشته محققان شاخص‌های متعددی را به منظور پایش وضعیت خشکسالی و بررسی اثرات کمی ناشی از آن ارائه داده‌اند. این شاخص‌ها بر اساس تعاریف خشکسالی و روش محاسباتی که در آن از یک یا چند متغیر هواشناسی و در بعضی موارد همراه با متغیرهای آب‌شناسی استفاده شده، بدست می‌آیند. در تحقیق حاضر به منظور پایش دوره‌های خشکسالی، شاخص SPI انتخاب شد.

۳-۴- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این روش توسط مک‌کی^۱ و همکارانش (۱۹۹۳) ارائه شد. شاخص بارش استاندارد شده، شاخصی است که براساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت بکار برده می‌شود. به عبارت دیگر با توجه به تغییرپذیری این شاخص می‌توان از آن در مقیاس کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس بلند مدت برای اهداف هیدرولوژی و بر اساس تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه استفاده کرد. همچنین شاخص بارش استاندارد شده، رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع، پیش‌بینی می‌کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک کرده و نسبت به دیگر شاخص‌ها از پیچیدگی کمتری برخوردار می‌باشد. به علاوه بسیاری از برنامه‌ریزان چند منظوره بودن شاخص بارش استاندارد را درک کرده و به اهمیت فوق العاده آن پی برده‌اند. از سویی به این امر نیز آگاهی دارند که در این شاخص مقادیر و ارزش‌ها بر داده‌های اولیه‌ای که ممکن است تغییر کنند استوار می‌باشند و آن را یکی از نکات ضعف این شاخص در نظر دارند.

¹ M ckee

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هر منطقه براساس ثبت داده‌های بارش در بلند مدت برای یک دوره دلخواه استوار می‌باشد. این گزارشات (بارش) در بلند مدت با یک توزیع احتمال متناسب شده‌اند. بنابراین متوسط بارش استاندارد شده برای هر منطقه و برای هر دوره دلخواهی صفر و انحراف معیار آن یک می‌باشد (ادوارد و مک کی^۱، ۱۹۹۷). ارقام مثبت شاخص بارش استاندارد معرف بهتری نسبت به میانگین بارش می‌باشند. چون شاخص بارش استاندارد شده رقمی شده است یعنی بصورت عدد درآمده بنابراین می‌تواند به روش یکسانی معرف اقلیم‌های خشک و مرطوب باشد همچنین می‌توان دوره‌های مرطوب را نیز از طریق این شاخص نشان داد. برآوردهای این شاخص می‌تواند ابتدا با استفاده از تابع توزیع احتمال‌های مختلف محاسبه و سپس به یک توزیع نرمال تبدیل گردد بطوریکه میانگین SPI برای محل و دوره مورد نظر صفر شود (تی کاس^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). این شاخص براساس توزیع گاما توسط تابع فرکانس و یا چگالی احتمال آن بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad . \quad x > 0 \quad (3-2)$$

که در آن α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس توزیع، x مقدار بارش و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما بوده که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3-3)$$

با استفاده از تبدیل یاد شده مقدار SPI بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3-4)$$

¹ Edwards and mckee

² Tigkas

که در آن μ تخمین میانگین و σ انحراف معیار می‌باشد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) با توجه به ارزش حاصل از این شاخص و با توجه به خصوصیات شاخص و زمان وقوع آن در یک دوره آماری طولانی مدت، شدت دوره‌های خشک را طبقه‌بندی کردند. در این طبقه‌بندی، یک خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص بارش استاندارد منفی تداوم داشته باشد و همچنین وقوع یک خشکسالی زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد ۱- یا کمتر باشد و در صورتیکه SPI مثبت شود رخداد خشکسالی به پایان خواهد رسید. بنابراین هر رخداد خشکسالی یک دوره‌ای دارد که توسط شروع و پایانش و همچنین شدت هر ماهی که رخداد در آن تداوم داشته است تعیین می‌شود. مقادیر طبقات مختلف شدت خشکسالی شاخص SPI ارائه شده مک‌کی و همکاران در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

جدول (۳-۵) طبقات شدت دوره خشک بر اساس مقادیر شاخص SPI

| طبقات خشکسالی | مقدار شاخص |
|-----------------------|---------------|
| ترسالی بسیار شدید | ۲ یا بیشتر |
| ترسالی شدید | ۱/۵ تا ۱/۹۹ |
| ترسالی متوسط | ۱ تا ۱/۴۹ |
| نرمال | ۰/۹۹ تا ۰/۹۹ |
| خشکسالی متوسط | ۱/۴۹ تا -۱ |
| خشکسالی شدید | ۱/۹۹ تا -۱/۵۰ |
| خشکسالی بسیار شدید | ۲- یا کمتر |

در این تحقیق، شاخص SPI با استفاده از نرم‌افزار DrinC تحت تابع توزیع گاما محاسبه گردید.

۵-۳- نرم افزار DrinC

DrinC نرم‌افزاری جهت محاسبه شاخص‌های خشکسالی یک و چند پارامتره که در مرکز ارزیابی مخاطرات طبیعی و مدیریت منابع آب دانشگاه آتن تهیه و تولید شده است. تنها داده ورودی این نرم‌افزار، بارش می‌باشد و دارای دو تابع گاما و لوگ-نرمال بوده و SPI را بصورت ماهانه، فصلی، شش‌ماهه و سالانه ارائه می‌دهد. همچنین این نرم‌افزار قابلیت محاسبه شاخص‌های RDI و SDI را نیز دارد.

۶-۳- درون‌یابی تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین

آماري در محیط GIS و ترسیم نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق

ضرورت آگاهی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی آب‌های زیرزمینی در مناطق گوناگون دارای اهمیت بسزایی است و زمین‌آمار بعنوان ابزاری مناسب ما را در رسیدن به این امریاری می‌کند. برخی از روش‌های درون‌یابی عبارتند از: روش کریجینگ^۱، روش معکوس فاصله^۲ (IDW)، روش توابع پایه ای شعاعی^۳ (RBF).

۷-۳- روش درون‌یابی IDW

در این روش فرض بر این است که نقاط نمونه‌ای، از مکان تأثیر می‌پذیرند. در واقع نقاط نمونه‌ای اثر وزنی دارند. به بیان دیگر پیکسل‌های نزدیک به نقاط نمونه اثر بیشتری نسبت به پیکسل‌های دورتر از این نقاط می‌گیرند. پس این روش در شرایطی مناسب است که با افزایش فاصله از نقاط نمونه، وزن سلول‌ها کاهش یابد. در این روش فاصله هر نقطه یا پیکسل با پیکسل‌های مجاور سنجیده شده و سپس برحسب مقدار فاصله به آن سلول،

¹ Kriging

² Inverse Distance Weighted

³ Radial Basis function

ارزش یا ضریب وزن داده می‌شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آنها بدست می‌آید. الگوریتم این روش بصورت زیر است:

(۳-۵)

$$x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{D_i} \right) / \sum \left(\frac{1}{D_i} \right)$$

X: ارزش برآورد شده از روش درون‌یابی

Z_i: ارزش نقاط موجود (نقاط یا پیکسل‌های همسایه)

D_i: فاصله بین x و هر نقطه موجود

۸-۳ - چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۶۵۳ حلقه چاه (کم‌عمق، عمیق، آرتزین) وجود دارد که توسط سازمان نقشه-برداری کشور برداشت و ثبت گردیده است. مصرف چاه‌های مورد نظر در بخش کشاورزی شامل کشت برنج، مرکبات، گل و گیاه و... می‌باشد در جدول (۳-۶) مشخصات چاه‌های بهره‌برداری ارائه شده است.

جدول (۳-۶) مشخصات چاههای بهره‌بردار

| نوع مصرف | تعداد چاه | □□□ □ | □□□ □ | □□□□ | محدوده |
|----------|-----------|---------|--------|------|--------------|
| کشاورزی | ۱۰ | ۴۰۵۲۵۰۶ | ۶۰۷۴۱۵ | ۱۵۰۱ | خشت سر |
| کشاورزی | ۲۰ | ۴۰۴۷۸۱۱ | ۶۰۷۶۲۸ | ۱۵۰۱ | بیرجنده |
| کشاورزی | ۵۹ | ۴۰۴۲۰۵۶ | ۶۱۴۱۱۰ | ۱۵۰۱ | حسین آباد |
| کشاورزی | ۲۵۸ | ۴۰۵۵۶۹۸ | ۶۲۱۲۹۹ | ۱۵۰۱ | بیشه کلا |
| کشاورزی | ۱۳ | ۴۰۵۰۷۱۷ | ۶۲۱۴۲۰ | ۱۵۰۱ | اسکنده |
| کشاورزی | ۴۱ | ۴۰۴۳۵۶۴ | ۶۲۲۳۰۹ | ۱۵۰۱ | نوکلا |
| کشاورزی | ۱۵ | ۴۰۴۸۲۲۵ | ۶۲۵۸۴۹ | ۱۵۰۱ | بالا میرده |
| کشاورزی | ۱۰۴ | ۴۰۵۴۵۲۳ | ۶۲۸۱۹۶ | ۱۵۰۱ | افراسرا |
| کشاورزی | ۱۴۱ | ۴۰۵۹۶۰۹ | ۶۲۹۶۷۲ | ۱۵۰۱ | سرخرود |
| کشاورزی | ۳۳۲ | ۴۰۳۸۰۷۲ | ۶۲۹۹۳۶ | ۱۵۰۱ | درویش خیل |
| کشاورزی | ۱۸۶ | ۴۰۵۰۹۶۴ | ۶۳۱۹۸۶ | ۱۵۰۱ | مرزنگو |
| کشاورزی | ۲۰ | ۴۰۳۳۹۲۰ | ۶۳۴۶۱۲ | ۱۵۰۱ | خدیو |
| کشاورزی | ۲۲۳ | ۴۰۵۸۰۰۲ | ۶۳۵۰۵۷ | ۱۵۰۱ | بنه کنار |
| کشاورزی | ۲۷۶ | ۴۰۴۱۲۱۱ | ۶۳۵۳۵۱ | ۱۵۰۱ | شریعت کلا |
| کشاورزی | ۱۵۶ | ۴۰۳۵۳۷۴ | ۶۳۸۷۷۰ | ۱۵۰۱ | احمدچاله پی |
| کشاورزی | ۲۶۷ | ۴۰۲۸۸۵۱ | ۶۳۸۸۳۵ | ۱۵۰۱ | فک چال |
| کشاورزی | ۲۱۶ | ۴۰۴۸۶۱۳ | ۶۴۱۶۶۷ | ۱۵۰۱ | تلیکران |
| کشاورزی | ۱۷۰ | ۴۰۵۲۵۹۹ | ۶۴۲۰۹۶ | ۱۵۰۱ | رزکنار |
| کشاورزی | ۱۳۲ | ۴۰۶۳۵۶۰ | ۶۴۹۰۴۷ | ۱۵۰۱ | قاضی محله |
| کشاورزی | ۱۳ | ۴۰۵۰۰۴۹ | ۶۴۹۸۲۲ | ۱۵۰۱ | مخزن امیرکلا |
| کشاورزی | ۱ | ۴۰۴۳۷۲۲ | ۶۵۰۵۸۲ | ۱۵۰۱ | آب وفاضلاب |
| | ۲۶۵۳ | | | | جمع کل |

فصل چہارم

بحث و نتائج

۱-۴- مقدمه

در این فصل نتایج به دست آمده از این تحقیق به همراه تحلیل مربوط به آنها ارائه می‌گردد. نتایج را می‌توان در چند بخش زیر خلاصه نمود:

- بررسی شاخص SPI در مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای دو ایستگاه قائم‌شهر و آمل
- ارتباط بین SPI و تراز آب زیرزمینی
- بررسی تراز آب چاه‌های پیژومتری و ترسیم نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق
- تعیین تعداد چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه جهت مصارف کشاورزی
- تعیین ضریب همبستگی بین بارش و تراز سطح آب

۲-۴- نتایج شاخص SPI

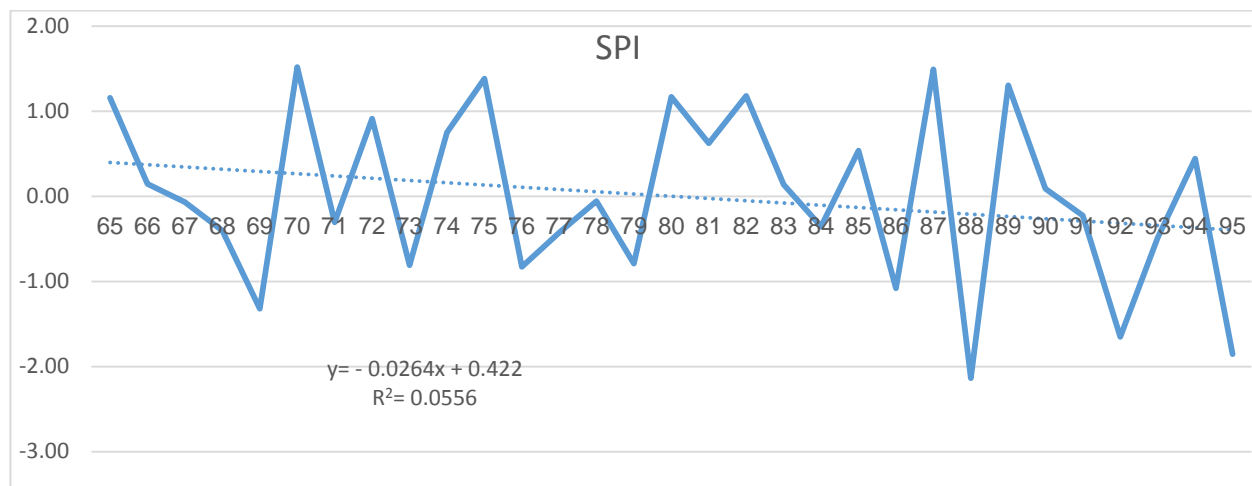
از آنجائیکه برای محاسبه شاخص SPI حداقل دوره آماری ۳۰ ساله موردنیاز می‌باشد، بدلیل ناقص بودن داده‌های بارش ایستگاه آمل، داده‌های بارش ایستگاه قائم‌شهر را به عنوان مبنا قرار داده و با روش تفاضل‌ها و نسبتها، داده‌های بارندگی ایستگاه آمل کامل گردید و به دوره آماری ۳۰ ساله رسیده است. پس از تحلیل داده‌ها و آمار موجود، شاخص بارش استاندارد شده برای هر دو ایستگاه قائم‌شهر و آمل برای مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه با استفاده از نرم‌افزار DrinC محاسبه شده است. در ادامه به نتایج تحلیل

خشکسالی در ایستگاه آمل و قائمشهر پرداخته می شود. در جداول و شکل های (۱-۴) و (۲-۴) نتایج شاخص SPI سالانه ایستگاه قائمشهر و آمل ارائه شده است.

جدول (۱-۴) مقادیر سالانه SPI ایستگاه قائمشهر در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|----------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| سال | ۶۵ | ۶۶ | ۶۷ | ۶۸ | ۶۹ | ۷۰ | ۷۱ | ۷۲ | ۷۳ | ۷۴ | ۷۵ | ۷۶ | ۷۷ | ۷۸ | ۷۹ | ۸۰ |
| SPI | ۱.۱۶ | ۰.۱۴ | -۰.۰۷ | -۰.۰۴ | -۱.۳۲ | ۱.۵۲ | -۰.۳۱ | ۰.۹۱ | -۰.۸۱ | ۰.۷۵ | ۱.۳۸ | -۰.۸۳ | -۰.۴۲ | -۰.۰۶ | -۰.۷۹ | ۱.۱۷ |
| شدت خشکسالی | نرمالی متوسط | نرمالی | نرمالی | نرمالی | خشکسالی متوسط نرمالی | نرمالی شدید | نرمالی | نرمالی | نرمالی | نرمالی | نرمالی متوسط | نرمالی | نرمالی | نرمالی | نرمالی | نرمالی متوسط |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------------|--------|--------|----------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|
| سال | ۸۱ | ۸۲ | ۸۳ | ۸۴ | ۸۵ | ۸۶ | ۸۷ | ۸۸ | ۸۹ | ۹۰ | ۹۱ | ۹۲ | ۹۳ | ۹۴ | ۹۵ |
| SPI | ۰.۶۲ | ۱.۱۸ | ۰.۱۴ | -۰.۳۶ | ۰.۵۳ | -۱.۰۸ | ۱.۴۹ | -۲.۱۴ | ۱.۳ | ۰.۰۹ | -۰.۲۳ | -۱.۶۵ | -۰.۴۹ | ۰.۴۴ | -۱.۸۶ |
| شدت خشکسالی | نرمالی | نرمالی متوسط | نرمالی | نرمالی | خشکسالی متوسط نرمالی | خشکسالی بسیار شدید نرمالی متوسط | خشکسالی متوسط | خشکسالی بسیار شدید نرمالی متوسط | نرمالی | نرمالی | نرمالی | خشکسالی شدید | نرمالی | نرمالی | خشکسالی شدید |



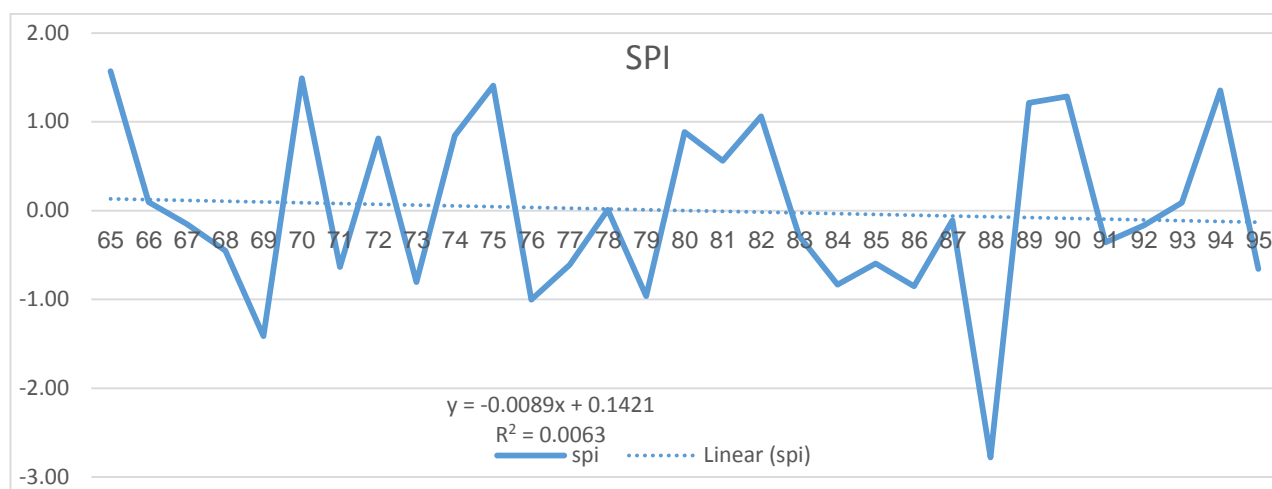
شکل (۱-۴) نمودار سالانه شاخص SPI ایستگاه قائمشهر از سالهای ۶۵ تا ۹۵

همانطور که در جدول (۱-۴) و شکل (۱-۴) مشاهده می شود در ایستگاه قائمشهر، ۵ سال خشکسالی قابل تشخیص می باشند که مهمترین آنها سال ۱۳۸۸ که بسیار شدید و سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ که جزء خشکسالی -

های شدید می‌باشند. با گذشت زمان بر تعداد خشکسالی‌ها افزوده می‌شود بطوریکه از ۵ مورد خشکسالی، تعداد ۴ مورد آن در بازه زمانی ۸۶ تا ۹۵ اتفاق افتاده است. بهترین وضعیت رطوبتی مربوط به سال ۱۳۷۰ می‌باشد که ترسالی شدید را شاهد هستیم.

جدول (۲-۴) مقادیر سالانه SPI ایستگاه آمل در دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------|-------|---------------------|---------------|--------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|-------|
| سال | ۶۵ | ۶۶ | ۶۷ | ۶۸ | ۶۹ | ۷۰ | ۷۱ | ۷۲ | ۷۳ | ۷۴ | ۷۵ | ۷۶ | ۷۷ | ۷۸ | ۷۹ | ۸۰ |
| □□□ | ۱.۵۷ | ۰.۱ | -۰.۱۵ | -۰.۴۵ | -۱.۴۱ | ۱.۴۹ | -۰.۶۳ | ۰.۸۱ | -۰.۸۱ | ۰.۸۵ | ۱.۴۱ | -۱ | -۰.۶۱ | ۰.۰۱ | -۰.۹۶ | ۰.۸۹ |
| شدت خشکسالی | ترسالی شدید | نرمال | نرمال | خشکسالی متوسط نرمال | خشکسالی متوسط | ترسالی متوسط | نرمال | نرمال | نرمال | نرمال | ترسالی متوسط | خشکسالی متوسط | نرمال | نرمال | نرمال | نرمال |
| سال | ۸۱ | ۸۲ | ۸۳ | ۸۴ | ۸۵ | ۸۶ | ۸۷ | ۸۸ | ۸۹ | ۹۰ | ۹۱ | ۹۲ | ۹۳ | ۹۴ | ۹۵ | |
| □□□ | ۰.۵۶ | ۱.۰۶ | -۰.۲۹ | -۰.۸۳ | -۰.۵۹ | -۰.۸۵ | -۰.۱۱ | -۲.۷۸ | ۱.۲۱ | ۱.۲۸ | -۰.۳۶ | -۰.۱۷ | ۰.۰۹ | ۱.۳۵ | -۰.۶۶ | |
| شدت خشکسالی | نرمال | ترسالی متوسط | نرمال | نرمال | نرمال | نرمال | خشکسالی بسیار شد نرمال | خشکسالی متوسط | ترسالی متوسط | ترسالی متوسط | نرمال | نرمال | نرمال | ترسالی متوسط | نرمال | |



شکل (۲-۴) سری زمانی ۱۲ ماهه شاخص SPI ایستگاه آمل از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵

چنانچه در جدول و شکل (۲-۴) دیده می‌شود ایستگاه آمل ۳ سال با خشکسالی مواجه می‌باشد که مهمترین آنها خشکسالی سال ۱۳۸۸ بوده که جزء خشکسالی بسیار شدید می‌باشد. دو مورد دیگر مربوط به سالهای

۱۳۶۹ و ۱۳۷۶ بوده که جزء خشکسالی‌های متوسط می‌باشد. بهترین وضعیت رطوبتی در این ایستگاه مربوط به سال ۱۳۶۵ بوده که دارای ترسالی شدید می‌باشد.

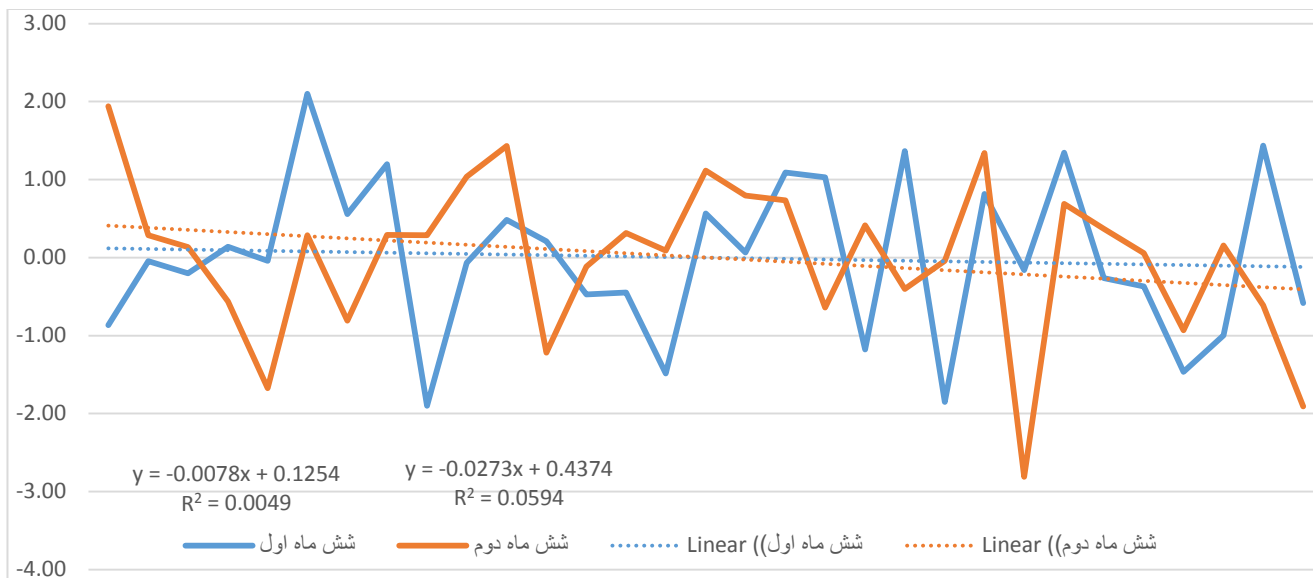
در جدول (۳-۴) فراوانی طبقات خشکسالی ایستگاه قائم‌شهر و آمل بر اساس شاخص SPI سالانه ارائه شده است.

جدول (۳-۴) فراوانی طبقات خشکسالی ایستگاه قائم‌شهر و آمل بر اساس شاخص SPI سالانه (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

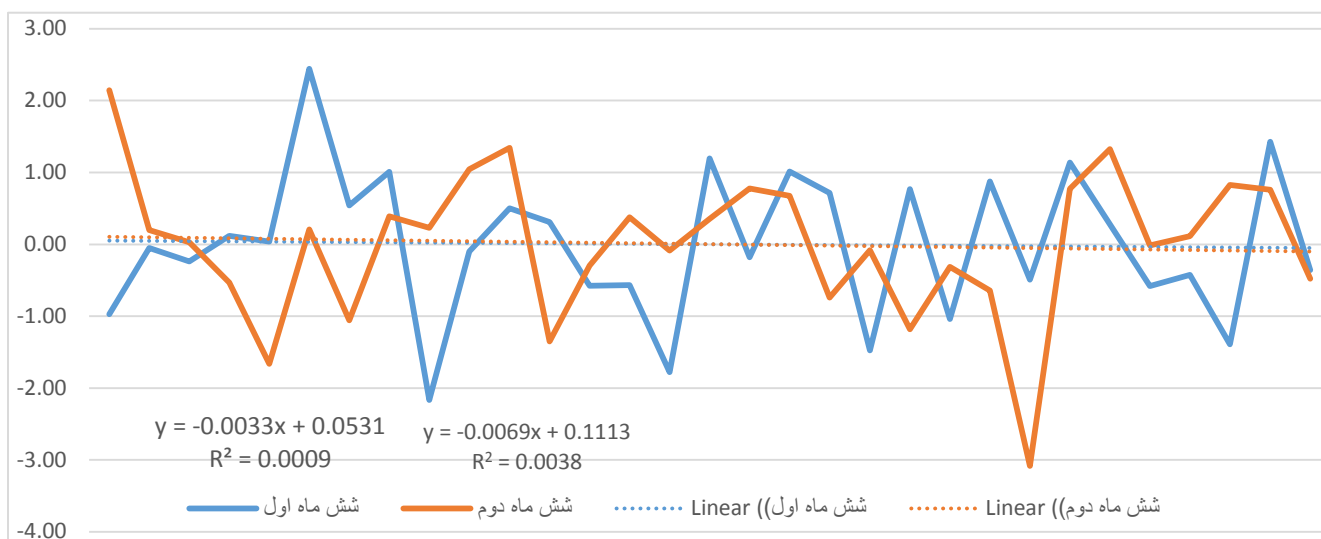
| تعداد طبقات خشکسالی | | | | | | نام ایستگاه |
|---------------------|--------------|---------------|-------|--------------|-------------|-------------|
| خشکسالی بسیار شدید | خشکسالی شدید | خشکسالی متوسط | نرمال | ترسالی متوسط | ترسالی شدید | |
| ۱ | ۲ | ۲ | ۱۹ | ۶ | ۱ | قائم‌شهر |
| ۱ | - | ۲ | ۲۱ | ۶ | ۱ | آمل |

مقادیر شاخص بارش استاندارد در مقیاس زمانی سالانه نشان می‌دهد خشکسالی هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری ۱۳۶۵-۱۳۹۵، افزایشی است بطوریکه در سال ۸۸ مقدار SPI ایستگاه قائم‌شهر به مقدار $-2/14$ و ایستگاه آمل به مقدار $-2/78$ می‌رسد که دارای خشکسالی بسیار شدید می‌باشند. ایستگاه قائم‌شهر خشکسالی‌های بیشتری را نسبت به ایستگاه آمل تجربه کرده است.

در شکل (۳-۴) و (۴-۴) نتایج شاخص SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه برای ایستگاه‌های قائم‌شهر و آمل ارائه شده است.



شکل (۳-۴) نمودار SPI شش ماهه ایستگاه قائم‌شهر در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

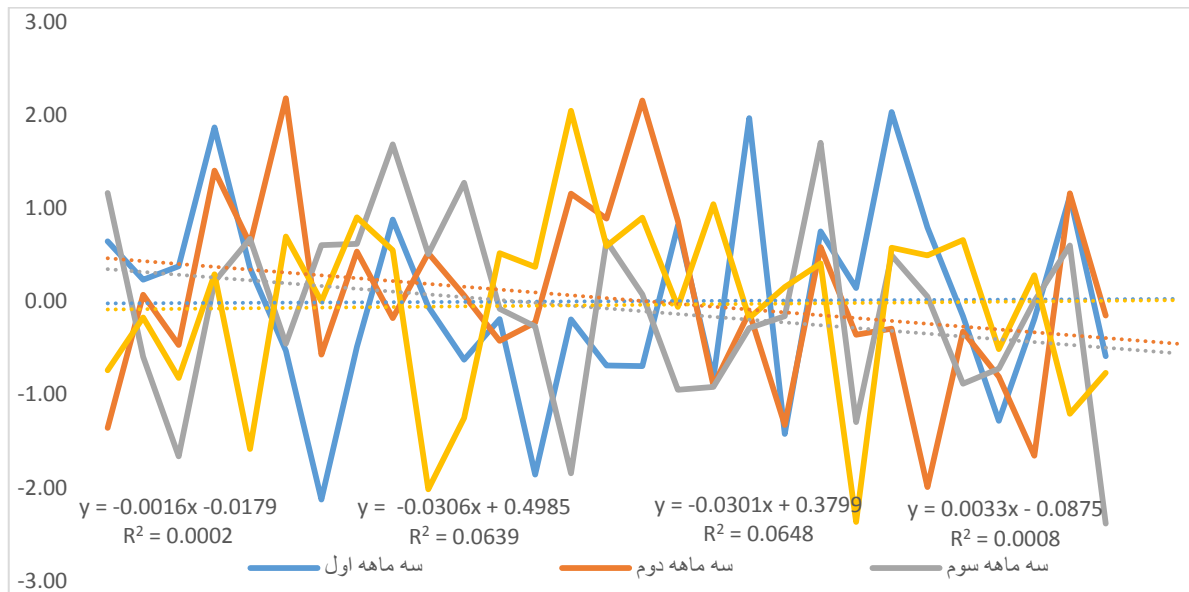


شکل (۴-۴) نمودار SPI شش ماهه ایستگاه آمل در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

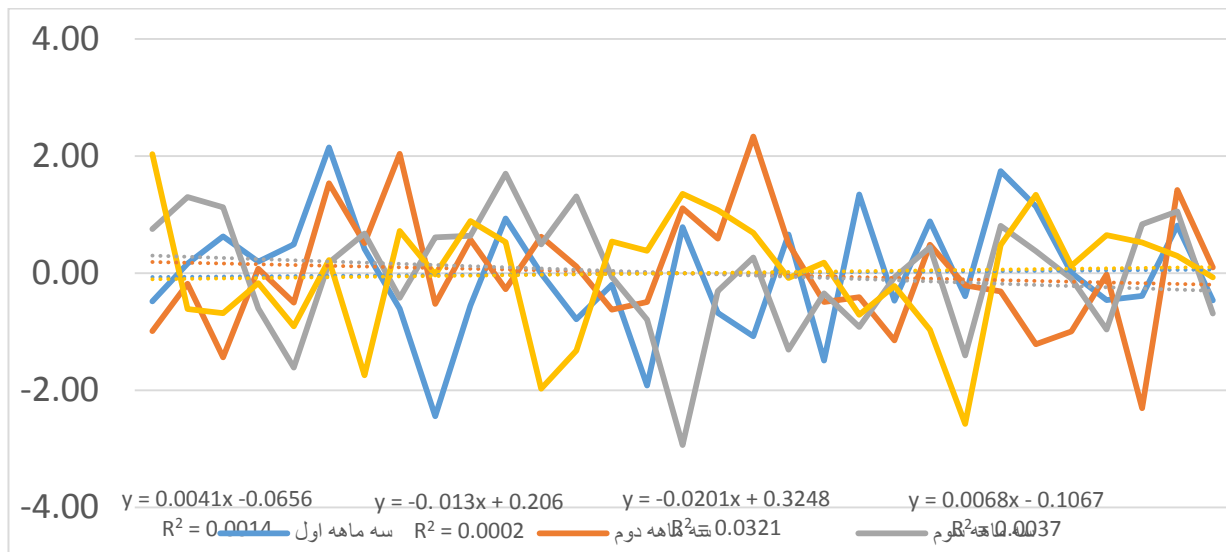
همانطور که از شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) مشخص می‌باشد، در هر دو ایستگاه قائم‌شهر و آمل مقدار SPI در مقیاس ۶ ماهه در بازه زمانی ۶۵ تا ۹۵ روند کاهشی دارد. در ایستگاه آمل روند تغییرات در ۶ ماهه اول و دوم

سال بسیار ناچیز می‌باشد ولی این روند در ایستگاه قائمشهر در شش ماهه دوم سال با شیب تندتری، کاهش می‌یابد.

در شکل (۴-۵) و (۴-۶)، نمودار SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای ایستگاه‌های قائمشهر و آمل نشان داده شده است. همچنین در جدول (۴-۴) مقدار SPI در مقیاس ۳ ماهه برای دو ایستگاه محاسبه و ارائه شده است.



شکل (۴-۵) سری زمانی ۳ ماهه شاخص SPI ایستگاه قائمشهر از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵



شکل (۴-۶) سری زمانی ۳ ماهه شاخص SPI ایستگاه آمل از سالهای ۱۳۶۵ لغایت ۱۳۹۵

جدول (۴-۴) میانگین SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای ایستگاه قائم‌شهر و آمل در بازه زمانی ۶۵ تا ۹۵

| نام ایستگاه | بهار | تابستان | پاییز | زمستان |
|-------------|-------|---------|-------|--------|
| قائم شهر | -۰.۰۱ | -۰.۰۶ | ۰.۰۵ | ۰.۰۳ |
| آمل | ۰.۰۱ | -۰.۰۵ | ۰.۱۲ | ۰.۰۵ |

همانطور که در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) و جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود مقدار SPI در فصل تابستان کاهش و در فصل پاییز افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد منطقه در فصل تابستان خشکسالی شدیدتری را نسبت به سایر فصول تجربه کرده است.

۳-۴- بررسی و تحلیل تراز آب چاه‌های پیژومتری و ترسیم نقشه‌های

هم‌تراز آب زیرزمینی

جهت ترسیم نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه از نرم افزار GIS استفاده شده است. ابتدا داده‌های چاه‌های پیژومتری که در نرم‌افزار Excel تهیه و محاسبه شده است را وارد محیط GIS کرده سپس گزینه Interpolation را انتخاب و بین داده‌ها درون‌یابی صورت می‌گیرد. با روش‌های مختلفی می‌توان عملیات درون‌یابی را انجام داد که در این تحقیق از روش IDW استفاده شده است. در دشت‌های منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۱ عدد چاه پیژومتری وجود دارد که مشخصات آنها در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

جدول (۴-۵) مشخصات چاه‌های پیزومتری در طول دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

| محدوده | خشت سر | بیرجنده | حسین آباد | بیشه کلا | اسکنده | نوکلا | بالامیرده | افراسرا | سرخرود | درویش خیل | مرزنگو |
|--------|---------|---------|-----------|----------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| □□□□ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ |
| □□ □ | ۶۰۷۴۱۵ | ۶۰۷۶۲۸ | ۶۱۴۱۱۰ | ۶۲۱۲۹۹ | ۶۲۱۴۲۰ | ۶۲۲۳۰۹ | ۶۲۵۸۴۹ | ۶۲۸۱۹۶ | ۶۲۹۶۷۲ | ۶۲۹۹۳۶ | ۶۳۱۹۸۶ |
| □□ □ | ۴۰۵۲۵۰۶ | ۴۰۴۷۸۱۱ | ۴۰۴۲۰۵۶ | ۴۰۵۵۶۹۸ | ۴۰۵۰۷۱۷ | ۴۰۴۳۵۶۴ | ۴۰۴۸۲۲۵ | ۴۰۵۴۵۲۳ | ۴۰۵۹۶۰۹ | ۴۰۳۸۰۷۲ | ۴۰۵۰۹۶۴ |
| □□ □□ | ۱۲ | ۱۰ | ۶ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ |

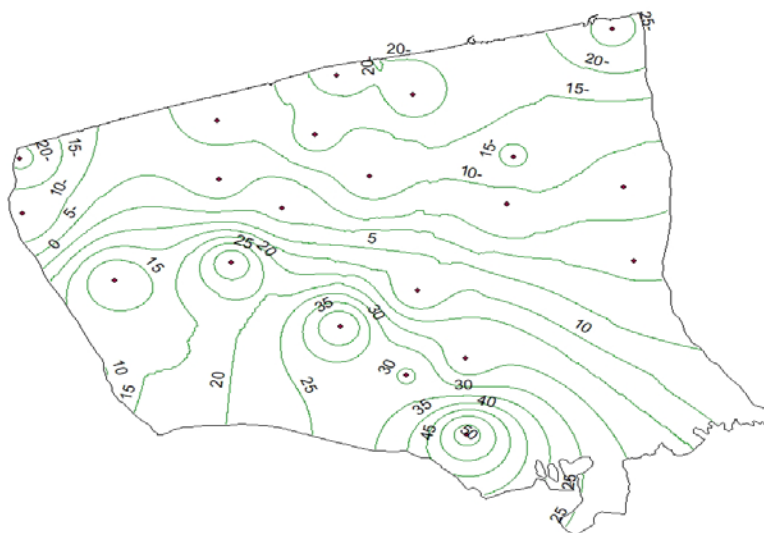
| محدوده | خدیو | بنه کنار | شریعت کلا | احمدچاله پی | فک چال | تلیکران | رزکنار | مخزن امیرکلا | قاضی محله | آب وفاضلاب |
|--------|---------|----------|-----------|-------------|---------|---------|---------|--------------|-----------|------------|
| □□□□ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ | ۱۵۰۱ |
| □□ □ | ۶۳۴۶۱۲ | ۶۳۵۰۵۷ | ۶۳۵۳۵۱ | ۶۳۸۱۷۷۰ | ۶۳۸۸۳۵ | ۶۴۱۶۶۷ | ۶۴۲۰۹۶ | ۶۴۹۰۷۴ | ۶۴۹۸۲۲ | ۶۵۰۵۸۲ |
| □□ □ | ۴۰۳۳۹۲۰ | ۴۰۵۸۰۰۲ | ۴۰۴۱۲۱۱ | ۴۰۳۵۳۷۴ | ۴۰۲۸۸۵۱ | ۴۰۴۸۶۱۳ | ۴۰۵۲۵۹۹ | ۴۰۶۳۵۶۰ | ۴۰۵۰۰۴۶ | ۴۰۴۳۷۲۲ |
| □□ □□ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۸ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ |

۱-۳-۴- ترسیم نقشه‌های هم‌تراز سالانه

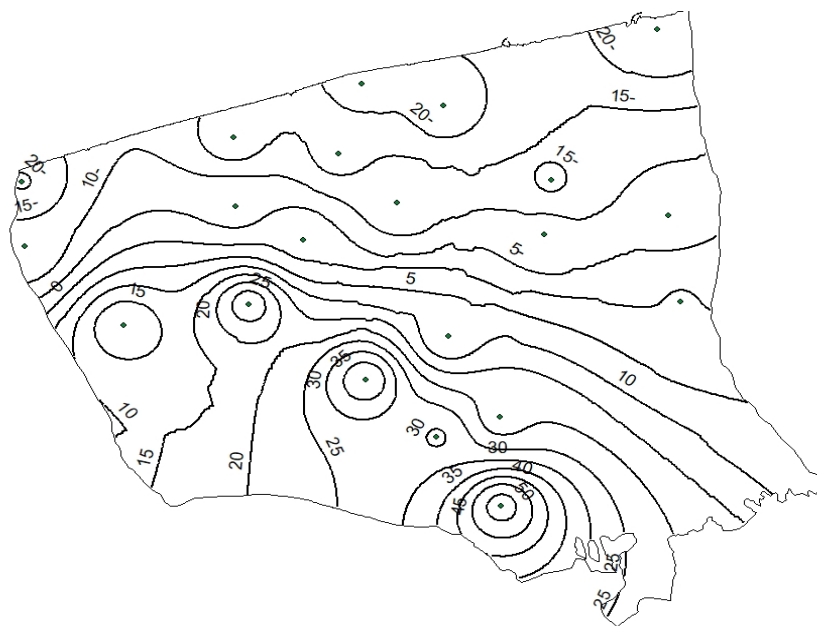
در ترسیم نقشه‌های هم‌تراز سالانه، از داده‌های چاه‌های پیزومتری بصورت سالانه میانگین‌گیری شد. نقشه‌های هم‌تراز برای سالهای ۶۵ تا ۹۵ ترسیم شده است. بدلیل تعداد زیاد سال‌های آماری، نقشه سال‌های ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ در این تحقیق آورده شده است. در شکل‌های (۴-۷) تا (۴-۱۰) نقشه‌های هم‌تراز سالانه و در جدول (۴-۶) میانگین داده‌های سالانه چاه‌های پیزومتری و تفاضل تراز آب سالهای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ نسبت به سال ۶۵ ارائه شده است.

جدول (۴-۶) اطلاعات سالانه چاه‌های پیزومتری

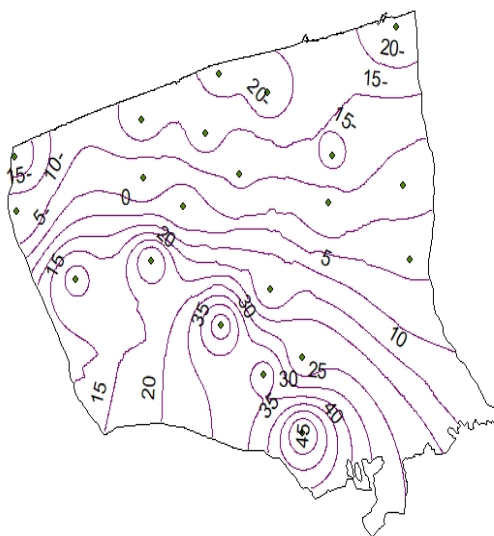
| □ □ □ □ □ | □ □ □ □ | □ □ □ □ | □ ۶۵ | □ ۷۵ | □ ۸۵ | □ ۹۵ | □ ۷۵-۶۵ | □ ۸۵-۶۵ | □ ۹۵-۶۵ |
|------------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| خشت سر | ۶۰۷۴۱۵ | ۴۰۵۲۵۰۶ | -۲۰.۸۶ | -۲۰.۳ | -۲۳.۸ | -۲۴.۵ | ۰.۵۶ | -۲.۹۴ | -۳.۶۴ |
| بیرجنده | ۶۰۷۶۲۸ | ۴۰۴۷۸۱۱ | -۱۴.۰۲ | -۱۴.۷ | -۱۴.۱ | -۱۳.۸ | -۰.۶۸ | -۰.۰۸ | -۰.۲۲ |
| حسین آباد | ۶۱۴۱۱۰ | ۴۰۴۲۰۵۶ | ۱۸.۸۹ | ۱۸.۹ | ۱۶.۷ | ۱۶.۶ | ۰.۰۱ | -۲.۱۹ | -۲.۲۹ |
| بیشه کلا | ۶۲۱۲۹۹ | ۴۰۵۵۶۹۸ | -۱۲.۶۹ | -۱۹ | -۱۹.۲ | -۱۸.۹ | -۶.۳۱ | -۶.۵۱ | -۶.۲۱ |
| اسکنده | ۶۲۱۴۲۰ | ۴۰۵۰۷۱۷ | -۸.۱۶ | -۷.۳ | -۸.۹ | -۹ | ۰.۸۶ | -۰.۷۴ | -۰.۸۴ |
| نوکلا | ۶۲۲۳۰۹ | ۴۰۴۳۵۶۴ | ۲۸.۶۶ | ۲۸ | ۲۴.۶ | ۲۵.۶ | -۰.۶۶ | -۴.۰۶ | -۳.۰۶ |
| بالا میرده | ۶۲۵۸۴۹ | ۴۰۴۸۲۲۵ | -۰.۸۱ | -۱.۶ | -۳.۱ | -۳.۶ | -۰.۷۹ | -۲.۲۹ | -۲.۷۹ |
| افراسرا | ۶۲۸۱۹۶ | ۴۰۵۴۵۲۳ | -۱۷.۲۷ | -۱۷.۴ | -۱۸ | -۱۷ | -۰.۱۳ | -۰.۷۳ | ۰.۲۷ |
| سرخورد | ۶۲۹۶۷۲ | ۴۰۵۹۶۰۹ | -۲۳.۰۸ | -۲۴.۴ | -۲۳.۶ | -۲۲.۷ | -۱.۳۲ | -۰.۵۲ | -۰.۳۸ |
| درویش خیل | ۶۲۹۹۳۶ | ۴۰۳۸۰۷۲ | ۳۹.۵۹ | ۳۹.۱ | ۳۷.۵ | ۳۸ | -۰.۴۹ | -۲.۰۹ | -۱.۵۹ |
| مرزنگو | ۶۳۱۹۸۶ | ۴۰۵۰۹۶۴ | -۱۲.۸ | -۱۴.۳ | -۱۰.۴ | -۱۰.۸ | -۱.۵ | ۲.۴ | ۲ |
| خدیدو | ۶۳۴۶۱۲ | ۴۰۳۳۹۲۰ | ۳۰.۴۱ | ۳۰.۴ | ۳۱.۸ | ۳۲ | -۰.۰۱ | ۱.۳۹ | ۱.۵۹ |
| بنه کنار | ۶۳۵۰۵۷ | ۴۰۵۸۰۰۲ | -۲۲.۷۵ | -۲۳.۶ | -۲۳.۵ | -۲۳.۲ | -۰.۸۵ | -۰.۷۵ | -۰.۴۵ |
| شریعت کلا | ۶۳۵۳۵۱ | ۴۰۴۱۲۱۱ | ۶.۰۶ | ۵.۹ | ۵.۹ | ۵.۹ | -۰.۱۶ | -۰.۱۶ | -۰.۱۶ |
| احمدچاله پ | ۶۳۸۷۷۰ | ۴۰۳۵۳۷۴ | ۱۷.۴۴ | ۱۷.۹ | ۱۶.۸ | ۱۶.۸ | ۰.۴۶ | -۰.۶۴ | -۰.۶۴ |
| فک چال | ۶۳۸۸۳۵ | ۴۰۲۸۸۵۱ | ۵۱.۸۸ | ۵۲.۱ | ۴۹.۴ | ۴۹.۸ | ۰.۲۲ | -۲.۴۸ | -۲.۰۸ |
| تلیکران | ۶۴۱۶۶۷ | ۴۰۴۸۶۱۳ | -۸.۳۸ | -۸ | -۸.۴ | -۷.۷ | ۰.۳۸ | -۰.۰۲ | ۰.۶۸ |
| رزکنار | ۶۴۲۰۹۶ | ۴۰۵۲۵۹۹ | -۱۵.۶ | -۱۵.۷ | -۱۶.۳ | -۱۶.۳ | -۰.۱ | -۰.۷ | -۰.۷ |
| قاضی محله | ۶۴۹۰۴۷ | ۴۰۶۳۵۶۰ | -۲۶.۰۲ | -۲۵ | -۲۴.۷ | -۲۵.۱ | ۱.۰۲ | ۱.۳۲ | ۰.۹۲ |
| مخزن امیرک | ۶۴۹۸۲۲ | ۴۰۵۰۰۴۹ | -۸.۹۹ | -۸ | -۹ | -۸.۴ | ۰.۹۹ | -۰.۰۱ | ۰.۵۹ |
| آب وفاضلار | ۶۵۰۵۸۲ | ۴۰۴۳۷۲۲ | -۰.۱۲ | ۰.۱۷ | -۰.۱ | -۰.۳ | ۰.۲۹ | ۰.۰۲ | -۰.۱۸ |



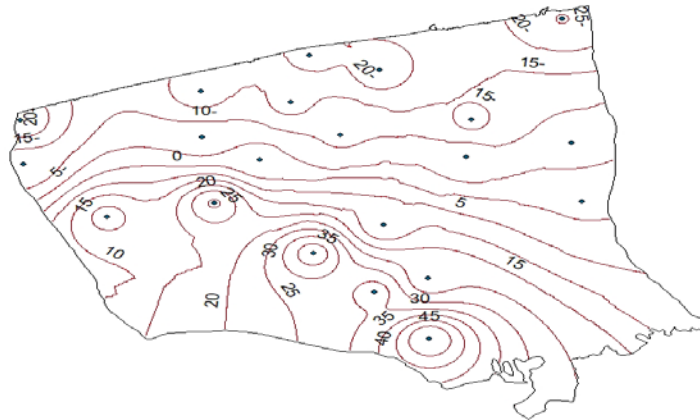
شکل (۴-۷) نقشه هم‌تراز سال ۶۵



شکل (۴-۸) نقشه هم‌تراز سال ۷۵



شکل (۴-۹) نقشه هم‌تراز سال ۸۵



شکل (۴-۱۰) نقشه هم‌تراز سال ۹۵

همانطور که از نقشه‌های فوق مشخص می‌باشد، چنانچه سال ۱۳۶۵ را به عنوان سال مبنا قرار دهیم، با گذشت زمان، سطح آب زیرزمینی نزول کرده و در واقع یک روند منفی دارد. بر اساس این روند بطور متوسط سطح ایستابی دشت در سال ۷۵ حدود ۴۰ سانتی‌متر، در سال ۸۵، یک متر و در سال ۹۵ حدود ۹۰ سانتی متر افت داشته است. در تعدادی از چاههای منطقه، از جمله خشت‌سر، بیشه‌کلا، درویش‌خیل، نوکلا، بالامیرده و فک-چال کاهش چشمگیر تراز آب را شاهد هستیم بطوریکه در بیشه‌کلا، ارتفاع سطح آب ۶/۵۱ متر افت داشته است.

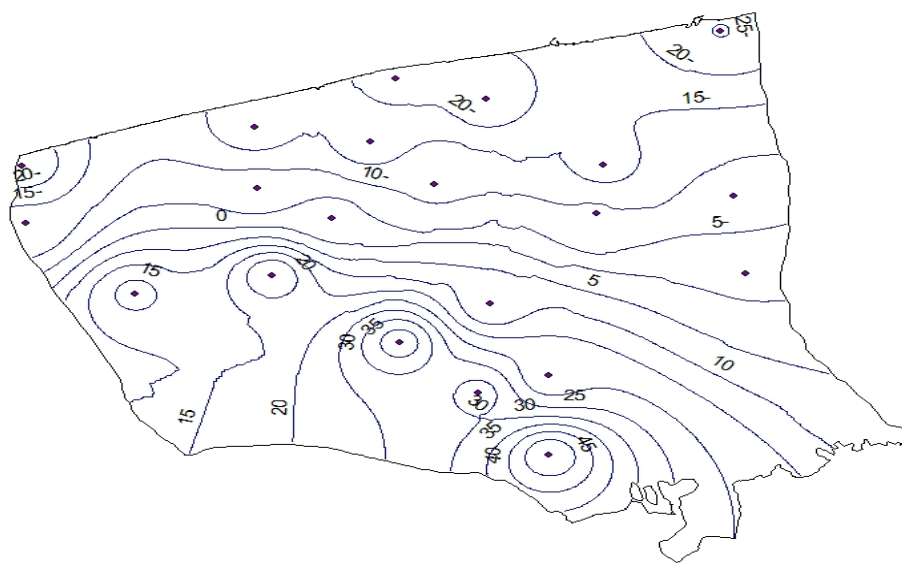
۲-۳-۴- ترسیم نقشه‌های هم‌تراز فصلی

جهت ترسیم نقشه‌ها از داده‌های چاههای پیزومتری در مقیاس فصلی، میانگین‌گیری شد. داده‌ها را وارد محیط GIS کرده و با استفاده از روش درون‌یابی IDW، نقشه‌های هم‌تراز فصلی سال‌های ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ و

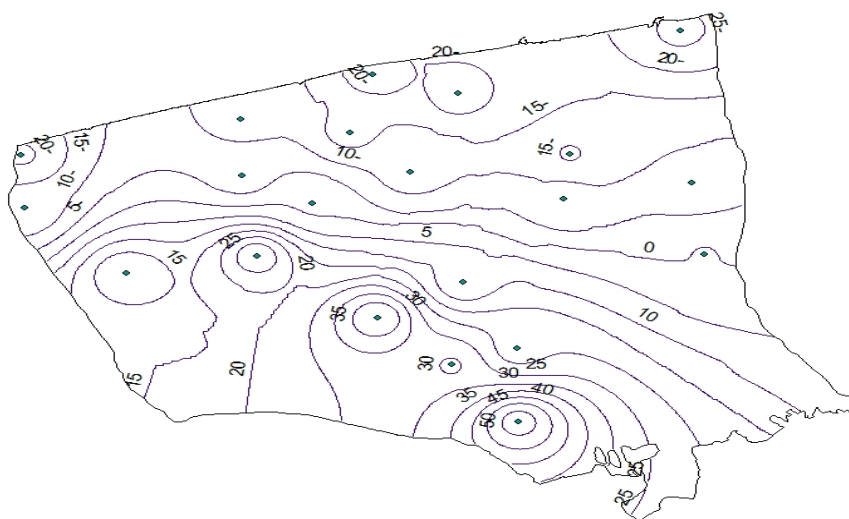
همچنین نقشه‌های فصلی تفاضل سال‌های ۷۵، ۸۵ و ۹۵ نسبت به ۶۵ ترسیم گردید. در شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق تابستان ۱۳۸۵ و پاییز ۱۳۶۵ ارائه و نتایج زیر حاصل شده است. (به دلیل حجم زیاد نقشه‌ها، تعدادی از آنها در این تحقیق آورده شده است).

جدول (۴-۷) داده‌های فصلی چاههای پیژومتری مربوط به سالهای آماری ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۹۵

| چاه | تابستان ۹۵ | پاییز ۹۵ | بهار ۹۵ | زمستان ۸۵ | پاییز ۸۵ | تابستان ۸۵ | بهار ۸۵ | زمستان ۷۵ | پاییز ۷۵ | تابستان ۷۵ | بهار ۷۵ | زمستان ۶۵ | پاییز ۶۵ | تابستان ۶۵ | بهار ۶۵ |
|-----------------|------------|----------|---------|-----------|----------|------------|---------|-----------|----------|------------|---------|-----------|----------|------------|---------|
| خشت سر | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ | -۲۴ |
| بیرجنده | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ | -۱۳ |
| حسین آباد | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ |
| بیشه کلا | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ | -۱۸ |
| اسکنده | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ |
| نوکلا | ۲۴ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۴ | ۲۵ | ۲۴ | ۲۴ | ۲۷ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۸ | ۲۷ | ۲۷ | ۲۸ | ۲۸ |
| بالا میرده | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ | -۳ |
| الفراسرا | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ |
| سرخورد | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ |
| درویش خیل اعلی | ۳۷ | ۳۸ | ۳۹ | ۳۷ | ۳۸ | ۳۷ | ۳۷ | ۳۸ | ۳۹ | ۳۸ | ۳۸ | ۳۹ | ۳۹ | ۳۹ | ۳۹ |
| مرزنگو | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ | -۱ |
| خدیدو | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۱ | ۳۱ | ۳۱ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ | ۳۲ |
| بینه کنار | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ | -۲۳ |
| شریعت کلا | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ |
| احمدجانه بی علی | ۱۷ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۸ | ۱۸ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ |
| فک چال | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ | ۴۹ |
| تلیکوان | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ | -۷ |
| رزکنار | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ | -۱۵ |
| قاضی محله بلیله | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۴ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۴ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ | -۲۵ |
| مخزن امیرکلا | -۷ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ | -۸ |
| آب وفاضلاب پایل | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ | -۰ |



شکل (۴-۱۱) نقشه هم‌تراز تابستان ۱۳۸۵



شکل (۴-۱۲) نقشه هم‌تراز پاییز ۱۳۶۵

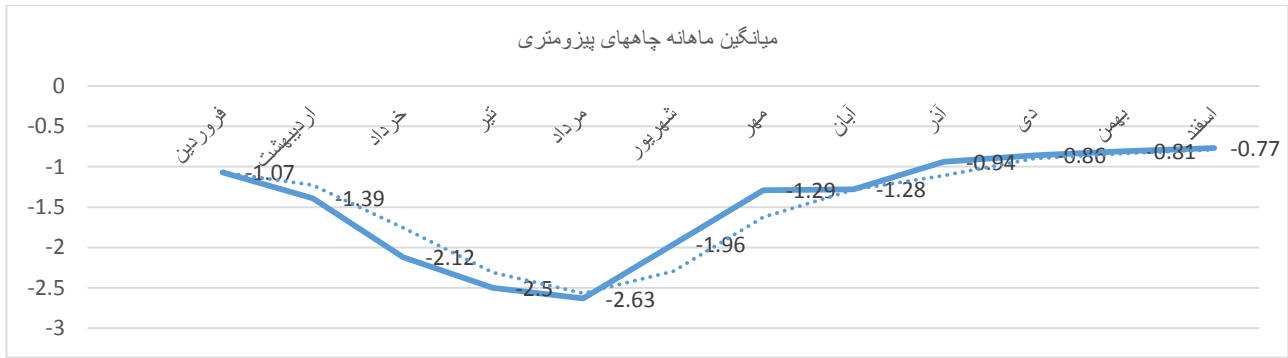
همانطوری که در جدول (۴-۷) و نقشه‌های فوق مشاهده می‌شود از بین سالهای ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ در میانگین فصلی تراز آب مربوط به ۲۱ چاه پیزومتری موجود در منطقه، پایین‌ترین سطح تراز آب مربوط به فصل تابستان می‌باشد. در تابستان ۸۵ بیشترین کاهش و افت سطح آب را شاهد هستیم و ارتفاع آب نسبت به تابستان ۶۵ حدود یک متر افت داشته است. بیشترین ارتفاع تراز آب در بین سال‌های موجود مربوط به پاییز ۶۵ می‌باشد.

۳-۳-۴- ترسیم نقشه‌های هم‌تراز ماهانه

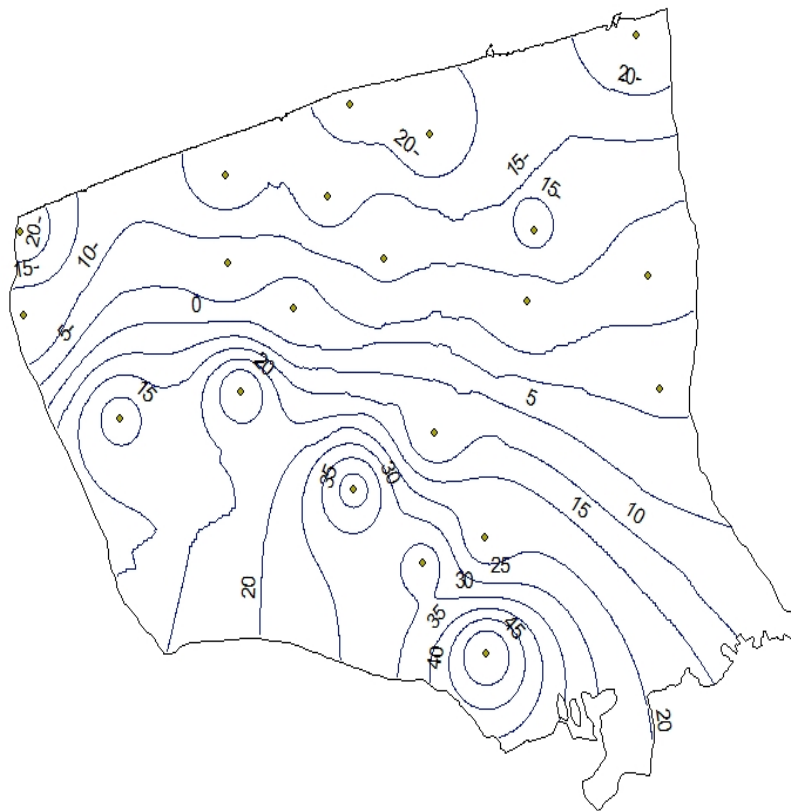
در ترسیم نقشه‌های هم‌تراز ماهانه ابتدا از داده‌های هر چاه پیزومتری بصورت ماهانه میانگین‌گیری شد. از آنجایی که پایین‌ترین تراز آب در دوره آماری ۶۵ تا ۹۵ مربوط به سال ۱۳۸۰ می‌باشد لذا در ترسیم نقشه‌های هم‌تراز ماهانه از سال مذکور استفاده کرده و نقشه‌های ماهانه سال ۱۳۸۰ ترسیم و نتایج زیر حاصل گردید. در جدول (۴-۸) میانگین تراز آب چاههای پیزومتری سال ۱۳۸۰ ارائه شده است.

جدول (۴-۸) مقادیر متوسط ماهانه چاههای پیزومتری سال ۱۳۸۰

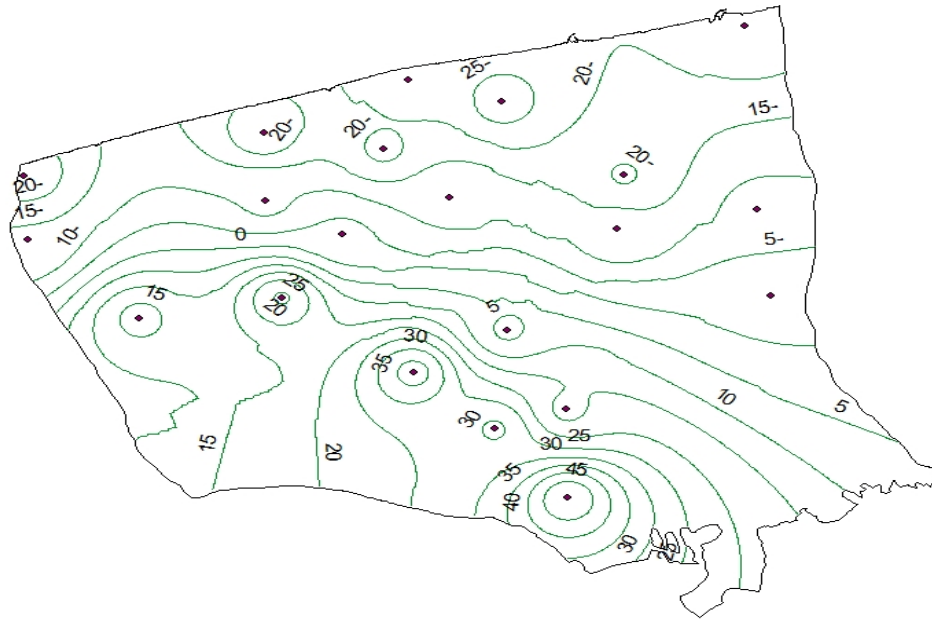
| ماه | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند |
|--------------------------------|---------|----------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| میانگین ماهانه چاههای پیزومتری | -۱.۰۷ | -۱.۳۹ | -۲.۱۲ | -۲.۵ | -۲.۶۳ | -۱.۹۶ | -۱.۲۹ | -۱.۲۸ | -۰.۹۴ | -۰.۸۶ | -۰.۸۱ | -۰.۷۷ |



شکل (۴-۱۳) نمودار میانگین ماهانه سال ۱۳۸۰



شکل (۴-۱۴) نقشه هم‌تراز فروردین ۱۳۸۰



شکل (۴-۱۵) نقشه هم‌تراز مرداد ۱۳۸۰

همانطوری که در جداول و نقشه‌های فوق مشاهده می‌شود در پنج ماه نخست سال ۱۳۸۰ کاهش شدید تراز آب چاههای پیزومتری را شاهد هستیم که این کاهش از فروردین شروع و تا پایان مرداد ادامه دارد. بیشترین کاهش مربوط به ماه مرداد می‌باشد که نسبت به فروردین حدود $1/5$ متر افت داشته است. از شهریور ماه تا انتهای اسفند، تراز سطح آب روند افزایشی دارد بطوریکه در اسفند ماه بالاترین تراز آب را در چاههای پیزومتری شاهد هستیم.

۴-۴- چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۶۵۳ حلقه چاه (کم‌عمق، عمیق، آرتزین) وجود دارد که توسط سازمان نقشه- برداری کشور برداشت و ثبت گردیده است. مصرف چاه‌های مورد نظر در بخش کشاورزی شامل کشت برنج، مرکبات، گل و گیاه و... می باشد. بیشترین حجم برداشت از چاه‌ها، مربوط به کشت برنج می‌باشد که در فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد. مدت زمان کاشت تا برداشت برنج پنج ماه می‌باشد و از فروردین ماه شروع شده و تا پایان مرداد ماه ادامه دارد. در فصل تابستان همزمان با کاهش بارندگی، برداشت بی رویه از آب‌های زیرزمینی را در منطقه شاهد هستیم، لذا می‌توان نتیجه گرفت یکی از عوامل تأثیرگذار کاهش سطح آب چاه‌های پیژومتری منطقه، مربوط به برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی می‌باشد.

۴-۵- نتایج ارتباط SPI و تراز آب زیرزمینی

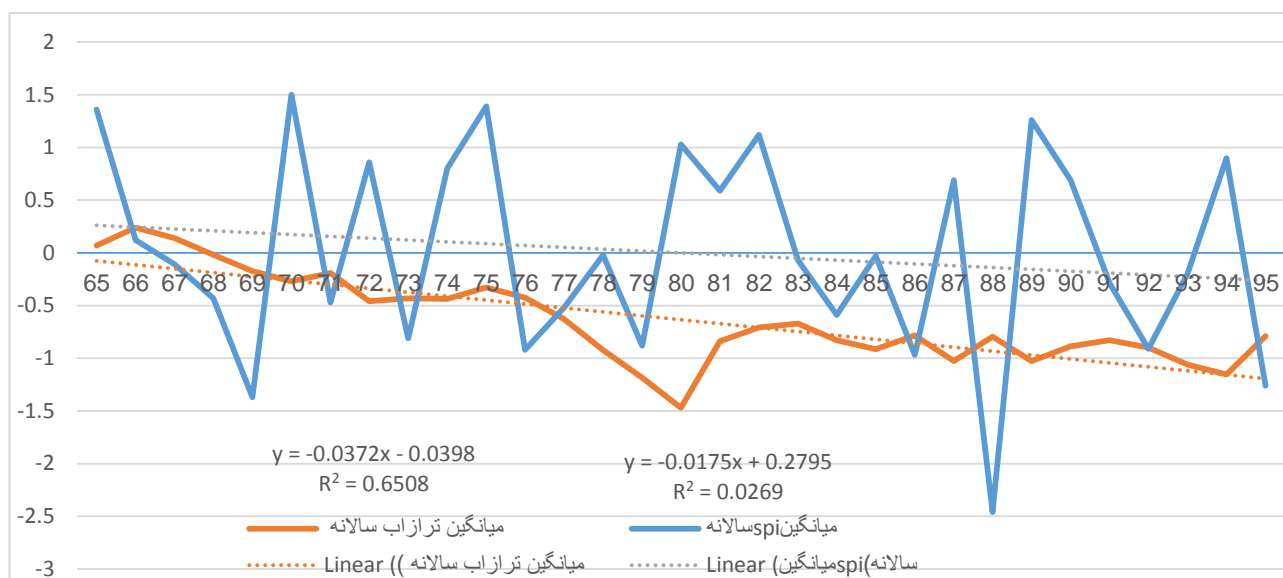
در بحث رابطه خشکسالی و آب زیرزمینی، نمودارهای شاخص SPI در بازه زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه مربوط به ایستگاه‌های قائم‌شهر و آمل و همچنین نقشه‌های تراز آب زیرزمینی ۲۱ مورد چاه‌های پیژومتری در دوره زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ ترسیم گردید.

جهت بررسی ارتباط SPI و تراز آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۲ ماهه، ابتدا از SPI دو ایستگاه قائم‌شهر و آمل و ۲۱ مورد تراز آب مربوط به چاه‌های پیژومتری بصورت سالانه میانگین‌گیری شد و سپس نمودار آن ترسیم گردید. در ادامه به تحلیل نتایج ارتباط بین SPI و تراز آب زیرزمینی پرداخته می‌شود. در جدول (۴-۹) میانگین سالانه SPI و تراز آب زیرزمینی ایستگاه قائم‌شهر و آمل ارائه شده است.

جدول (۴-۹) میانگین سالانه SPI و تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۳۱ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵) ایستگاه قائم شهر و آمل

| سال | ۶۵ | ۶۶ | ۶۷ | ۶۸ | ۶۹ | ۷۰ | ۷۱ | ۷۲ | ۷۳ | ۷۴ | ۷۵ | ۷۶ | ۷۷ | ۷۸ | ۷۹ | ۸۰ |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| میانگین سالانه تراز آب | ۰.۰۷ | ۰.۲۴ | ۰.۱۴ | -۰.۰۲ | -۰.۱۷ | -۰.۲۷ | -۰.۱۹ | -۰.۴۶ | -۰.۴۳ | -۰.۴۴ | -۰.۳۳ | -۰.۴۳ | -۰.۶۳ | -۰.۹۲ | -۱.۱۹ | -۱.۴۷ |
| میانگین سالانه SPI | ۱.۳۶ | ۰.۱۲ | -۰.۱۱ | -۰.۴۳ | -۱.۳۷ | ۱.۵ | -۰.۴۷ | ۰.۸۶ | -۰.۸۱ | ۰.۸ | ۱.۳۹ | -۰.۹۲ | -۰.۵۲ | -۰.۰۲ | -۰.۸۸ | ۱.۰۳ |

| سال | ۸۱ | ۸۲ | ۸۳ | ۸۴ | ۸۵ | ۸۶ | ۸۷ | ۸۸ | ۸۹ | ۹۰ | ۹۱ | ۹۲ | ۹۳ | ۹۴ | ۹۵ |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| میانگین سالانه تراز آب | -۰.۸۴ | -۰.۷۱ | -۰.۶۷ | -۰.۸۳ | -۰.۹۲ | -۰.۷۸ | -۱.۰۳ | -۰.۸ | -۱.۰۳ | -۰.۸۹ | -۰.۸۳ | -۰.۹ | -۱.۰۶ | -۱.۱۶ | -۰.۷۹ |
| میانگین سالانه SPI | ۰.۵۹ | ۱.۱۲ | -۰.۰۷ | -۰.۵۹ | -۰.۰۳ | -۰.۹۷ | ۰.۶۹ | -۲.۴۶ | ۱.۲۶ | ۰.۶۹ | -۰.۲۹ | -۰.۹۱ | -۰.۲ | ۰.۹ | -۱.۲۶ |



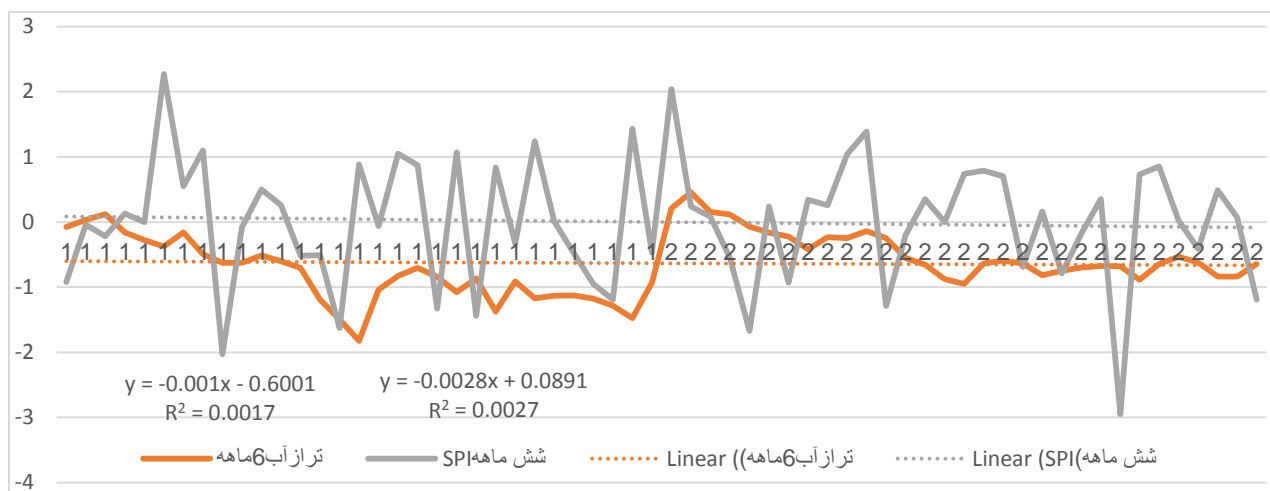
شکل (۴-۱۶) نمودار سالانه شاخص SPI و تراز آب زیرزمینی (۱۳۶۵-۱۳۹۵) ایستگاه قائم شهر و آمل

همانطوری که در شکل (۴-۱۶) مشخص می‌باشد روند تغییرات SPI و تراز آب بصورت نزولی می‌باشد. بین SPI و تراز آب زیر زمینی رابطه مستقیمی وجود دارد و با کاهش SPI منطقه، تراز آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد ولی این امر با تأخیر زمانی همراه می‌باشد. چنانچه در بررسی سالانه تراز آب و SPI مشاهده می‌شود در سال

۱۳۸۰ مقدار بارندگی منطقه روند افزایشی داشته است ولی تراز آب زیر زمینی در این سال بطور چشمگیری کاهش داشته است و تأثیر بارندگی در تراز آب زیر زمینی را در سال بعد شاهد هستیم. از جدول (۴-۱۶) می توان نتیجه گرفت تأثیر بارندگی بر تراز آب زیر زمینی با تأخیر زمانی همراه می باشد.

سطح آب زیر زمینی منطقه، چند دوره کاهش چشمگیری داشته است که مهمترین آن از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۰ می باشد که مقدار یک متر افت داشته است.

در بررسی ارتباط بین SPI و تراز آب در بازه زمانی ۶ ماهه، از SPI دو منطقه قائم شهر و آمل و تراز آب چاههای پیژومتری بصورت شش ماهه میانگین گیری شد. در شکل (۴-۱۷) نمودار شاخص SPI و تراز آب زیرزمینی در مقیاس ۶ ماهه در بازه زمانی ۶۵ تا ۹۵ ارائه شده است.



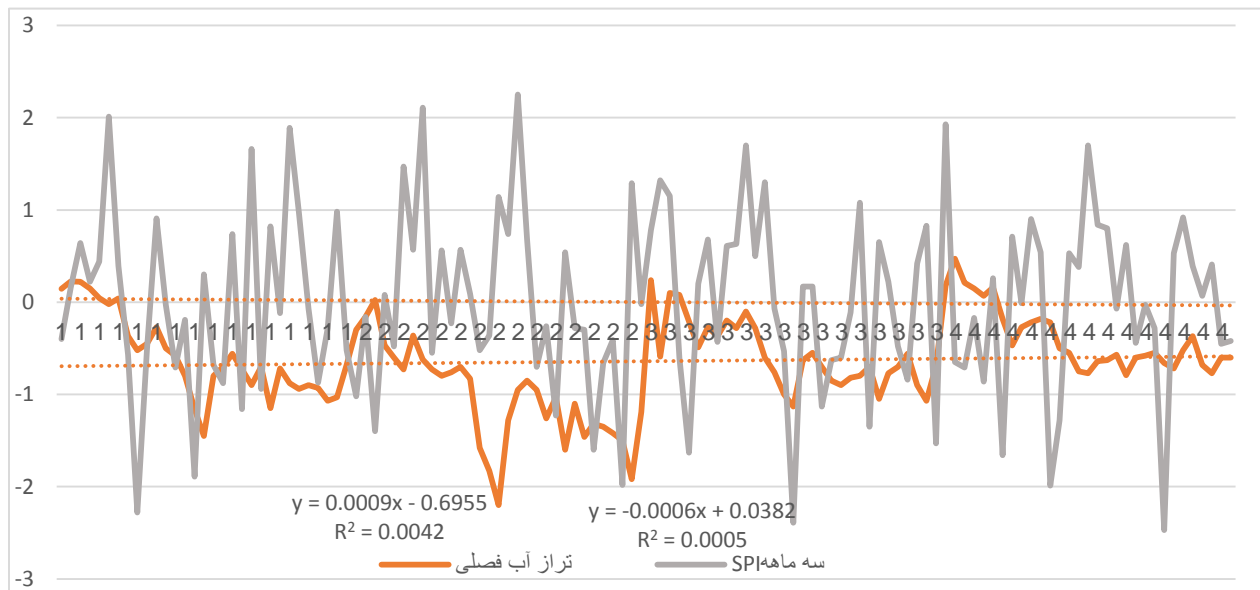
شکل (۴-۱۷) نمودار شاخص SPI و تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۳۱ ساله (۶۵-۹۵) در مقیاس زمانی ۶ ماهه

ایستگاه قائم شهر و آمل

در ارتباط SPI و تراز آب در بازه زمانی ۶ ماهه، نتیجه گیری می شود که روند تغییرات SPI و تراز آب زیرزمینی در شش ماه اول و دوم سال بصورت نزولی می باشد بطوریکه روند کاهش سطح تراز آب چاههای پیژومتری در شش

ماه اول چشمگیرتر بوده است. در شش ماه اول همواره با کاهش سطح آب روبرو هستیم در صورتی که در شش ماه دوم ابتدا شاهد افزایش سپس در مقطعی سطح آب کاهش و در مابقی سالها سطح آب دارای نوسانات افزایش و کاهش شدید نبوده و تقریباً به سطح ثابتی می رسد.

جهت ترسیم نمودار شاخص SPI و تراز آب در مقیاس زمانی ۳ ماهه، از شاخص SPI دو ایستگاه و تراز آب چاههای پیرومتری بصورت فصلی میانگین گیری و نتایج زیر حاصل گردید.



شکل (۴-۱۸) نمودار شاخص SPI و تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۳۱ ساله در مقیاس زمانی ۳ ماهه ایستگاه

قائم شهر و آمل

در سه ماه دوم سال (فصل تابستان) کاهش مقدار بارندگی و در پی آن کاهش تراز سطح آب را نسبت به سایر فصول شاهد هستیم. هر چند روند تغییرات SPI در بازه زمانی ۳۱ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۵) بصورت نزولی می باشد ولی شیب تغییرات بسیار ناچیز است با این وجود، ارتفاع سطح آب در فصل تابستان نسبت به سایر فصول

کاهش چشمگیری داشته است و حدود ۰/۵ متر پایین تر رفته است که غیر از بارندگی، عوامل دیگری می‌تواند در این کاهش سطح دخالت داشته باشند. همچنین همانطوری که در شکل (۴-۱۸) مشخص می‌باشد تأثیرات بارندگی بر روی تراز آب زیرزمینی بصورت همزمان نمی‌باشد و در مواقعی که شاهد افزایش بارندگی هستیم، این افزایش، تأثیر زیادی در ارتفاع سطح آب در همان مقطع زمانی ندارد که می‌توان نتیجه گرفت تأثیر بارندگی بر تراز سطح آب زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه می‌باشد.

۴-۶- ضریب همبستگی بین بارش و ارتفاع سطح آب چاههای پیزومتری

علاوه بر ارائه نمودار در رابطه خشکسالی و آب زیرزمینی مطابق آنچه اشاره گردید، به منظور کمی کردن ارتباط بارش‌ها و نوسان سطح آب زیرزمینی دشت، ضریب همبستگی پیرسون در مقیاس سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۴-۱۰) ضرایب همبستگی میان SPI، ۱۲ ماهه دو ایستگاه و سطح آب زیرزمینی سالانه چاههای پیزومتری با یک و دو سال تأخیر نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۰) ضرایب همبستگی بین بارش و سطح آب زیرزمینی در مقیاس سالانه

| ضریب همبستگی | شرایط کنونی | با یکسال تأخیر | با دوسال تأخیر |
|--------------|-------------|----------------|----------------|
| پیرسون | ۰.۱۹ | ۰.۳۳ | ۰.۱۴ |

همانطوری که در جدول (۴-۱۰) مشاهده می‌شود با تأخیر زمانی یک‌سال، مقدار همبستگی از ۰,۱۹ به ۰,۳۳ رسیده است. این ضرایب نشان می‌دهند که بارش یکسال قبل بالاترین همبستگی را با سطح آب زیرزمینی دارا می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی بین شاخص SPI و تراز آب در مقیاس فصلی با تأخیر ۱، ۲ و ۳ فصل مورد بررسی قرار گرفت که در هیچ موردی معنی‌دار نبوده است.

این ضرایب همبستگی ضمن آنکه ارتباط مستقیم بارش و سطح آب را نشان می‌دهد، ولی در مورد ارتباط همزمان بارش و سطح آب زیرزمینی از اطمینان پایینی برخوردار است. ضعف ضریب همبستگی همزمان بین بارش و سطح آب عمدتاً به دو دلیل است: اول اینکه نفوذ آب ناشی بارش و ذوب برف‌ها به عمق زمین و رسیدن در سطح آب‌های زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه است. دوم اینکه هم مقدار بارش و هم مقدار برداشت از آب زیرزمینی آهنگ منظمی ندارد.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادہ

۱-۵- خلاصه و نتیجه گیری

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که هر ساله خسارت زیادی را باعث می‌شود. بنابراین همواره باید تلاش کرد تا با ارائه راه کارهایی مناسب با آن مقابله کرد و آثار آن را به حداقل ممکن رساند. در سال‌های اخیر برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آنها بیشتر است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده است. با این کار سطح آبهای زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. در این پژوهش، با استفاده از شاخص SPI، شرایط بلند مدت خشکسالی بررسی شد و ارتباط بین SPI و تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شده است:

- ۱- ایستگاه قائم‌شهر ۵ سال و ایستگاه آمل ۳ سال با خشکسالی مواجه بوده‌اند که مهمترین آنها خشکسالی سال ۱۳۸۸ بوده که جزء خشکسالی‌های بسیار شدید می‌باشد.
- ۲- مقادیر شاخص بارش استاندارد نشان می‌دهد خشکسالی هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری ۶۵-۹۵ روند افزایشی دارد و خط روند خشکسالی در ایستگاه قائم‌شهر دارای شیب تندتری نسبت به ایستگاه آمل می‌باشد.
- ۳- بین SPI و تراز آب زیرزمینی منطقه رابطه مستقیمی وجود دارد و با کاهش SPI، تراز آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد ولی این امر با تأخیر زمانی همراه می‌باشد.
- ۴- سطح آب زیرزمینی منطقه در بازه زمانی (۶۵-۹۵) بطور متوسط حدود ۸۰ سانتی‌متر افت داشته است.
- ۵- در سال ۱۳۸۰ کاهش شدید تراز آب را در چاههای پیژومتری منطقه شاهد هستیم که این کاهش از فروردین تا مرداد ادامه دارد که در مرداد ماه به پایین‌ترین سطح در طول دوره آماری می‌رسد.
- ۶- ضریب همبستگی بین بارش و سطح آب زیرزمینی با یکسال تأخیر معنی‌دار بوده است.

۲-۵- پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و تحلیل صورت گرفته، پیشنهادات زیر مدنظر قرار گرفته است:

- ۱- روند تأثیر خشکسالی هیدرولوژیک روی آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد.
- ۲- روند تأثیر خشکسالی در سالهای آتی با ترکیب تغییر اقلیم و افت آب زیرزمینی بررسی شود.

پوستہ

جدول (پ-۱) داده‌های فصلی چاههای پیژومتری سالهای ۷۵، ۸۵ و ۹۵ نسبت به سال ۶۵

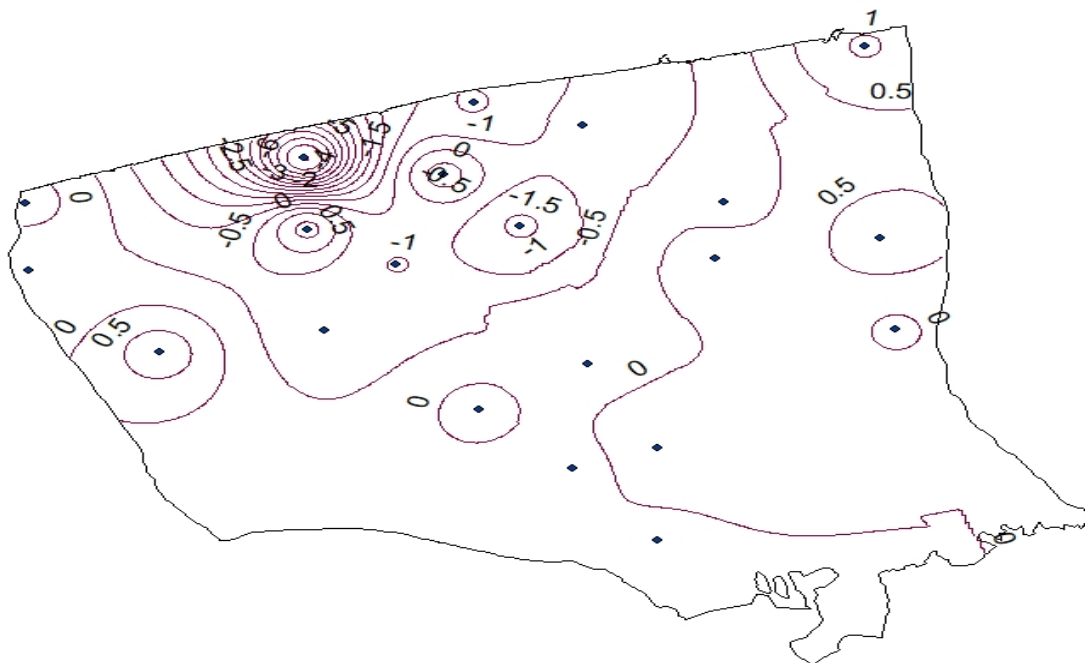
| نام چاه | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ | ۶۵-۶۵ |
|-------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| خشت سر | ۶۰۷۴۱۵ | ۴۰۵۲۵۰۶ | ۰.۱۹ | ۰.۵۰ | ۰.۵۲ | ۰.۴۱ | -۰.۳۲ | -۲.۵۹ | -۳.۷۷ | -۳.۱۲ | -۴.۰۶ | -۳.۳۹ | -۴.۰۱ | -۳.۶۴ |
| بیرجنده | ۶۰۷۶۲۸ | ۴۰۴۷۸۱۱ | -۰.۴۴ | -۱.۲۴ | -۰.۶۵ | -۰.۴۴ | -۱.۲۹ | -۰.۳۶ | -۰.۰۱ | ۰.۰۵ | -۰.۰۷ | -۰.۱۱ | ۰.۴۶ | ۰.۶۴ |
| حسین آباد | ۶۱۴۱۱۰ | ۴۰۴۲۰۵۶ | ۰.۷۳ | ۰.۰۴ | -۰.۳۳ | -۰.۳۳ | ۰.۶۵ | -۲.۲۹ | -۲.۵۶ | -۲.۳۸ | -۱.۶۶ | -۲.۳۶ | -۲.۶۹ | -۲.۶۲ |
| بیشه کلا | ۶۲۱۲۹۹ | ۴۰۵۵۶۹۸ | -۶.۵۳ | -۶.۶۲ | -۶.۰۷ | -۶.۲۱ | -۶.۹۱ | -۶.۸۷ | -۶.۶۹ | -۶.۰۸ | -۶.۲۵ | -۶.۷۵ | -۶.۲۲ | -۵.۸۲ |
| اسکنده | ۶۲۱۴۲۰ | ۴۰۵۰۷۱۷ | ۰.۶۳ | ۰.۸۳ | ۰.۸۴ | ۱.۰۰ | ۰.۵۴ | -۱.۰۵ | -۰.۷۷ | -۰.۳۶ | -۰.۸۱ | -۱.۵۴ | -۰.۸۴ | -۰.۱۰ |
| نوکلا | ۶۲۲۳۰۹ | ۴۰۴۳۵۶۴ | -۰.۸۱ | -۱.۰۶ | -۰.۴۶ | ۰.۱۱ | -۱.۰۹ | -۴.۴۴ | -۳.۷۰ | -۳.۲۱ | -۱.۹۰ | -۳.۸۶ | -۳.۶۱ | -۲.۸۰ |
| بالا میرده | ۶۲۵۸۴۹ | ۴۰۴۸۲۲۵ | -۱.۰۱ | -۱.۰۵ | -۰.۵۷ | -۰.۶۱ | -۱.۵۵ | -۲.۴۳ | -۲.۳۶ | -۱.۸۴ | -۲.۲۷ | -۲.۸۳ | -۳.۵۰ | -۲.۶۲ |
| افراسرا | ۶۲۸۱۹۶ | ۴۰۵۴۵۲۳ | ۰.۲۰ | -۰.۹۷ | ۰.۴۶ | -۰.۲۵ | -۱.۷۸ | -۱.۳۳ | -۰.۸۳ | -۰.۴۵ | -۰.۰۴ | -۰.۶۸ | ۰.۵۳ | ۰.۹۰ |
| سرخورد | ۶۲۹۶۷۲ | ۴۰۵۹۶۰۹ | -۱.۵۴ | -۱.۳۰ | -۱.۲۴ | -۱.۴۳ | -۱.۹۹ | -۰.۳۱ | -۰.۶۷ | -۰.۴۴ | ۰.۵۵ | ۰.۱۶ | ۰.۵۴ | ۰.۲۸ |
| درویش خیل | ۶۲۹۹۳۶ | ۴۰۳۸۰۷۲ | ۰.۰۹ | -۰.۵۹ | -۰.۹۵ | -۰.۶۵ | ۰.۲۱ | -۲.۰۸ | -۲.۳۱ | -۲.۲۱ | -۱.۸۱ | -۰.۸۸ | -۲.۱۰ | -۲.۱۳ |
| مرزنگو | ۶۳۱۹۸۶ | ۴۰۵۰۹۶۴ | -۱.۵۸ | -۱.۳۲ | -۱.۷۱ | -۱.۶۷ | -۲.۰۷ | ۲.۴۶ | ۲.۲۱ | ۲.۴۰ | ۲.۰۹ | ۲.۱۱ | ۱.۴۶ | ۲.۳۳ |
| خدیدو | ۶۳۴۶۱۲ | ۴۰۳۳۹۲۰ | -۰.۲۰ | ۰.۱۹ | -۰.۱۷ | ۰.۱۵ | -۰.۴۸ | ۱.۶۷ | ۱.۲۵ | ۱.۸۷ | ۱.۲۸ | ۱.۷۶ | ۱.۵۶ | ۱.۹۲ |
| بنه کنار | ۶۳۵۰۵۷ | ۴۰۵۸۰۰۲ | -۰.۹۵ | -۰.۶۸ | -۰.۹۹ | -۰.۹۴ | -۱.۰۲ | -۰.۴۶ | -۱.۱۹ | -۰.۸۲ | -۰.۳۹ | -۰.۴۵ | -۰.۸۳ | -۰.۴۹ |
| شریعت کلا | ۶۳۵۳۵۱ | ۴۰۴۱۲۱۱ | -۰.۰۹ | -۰.۰۷ | -۰.۲۳ | ۰.۰۳ | -۰.۵۲ | ۰.۰۹ | -۰.۲۱ | -۰.۰۸ | -۰.۲۴ | -۰.۶۰ | -۰.۱۵ | ۰.۰۱ |
| احمدچاله پی | ۶۳۸۱۷۰ | ۴۰۳۵۳۷۴ | ۰.۴۷ | ۰.۴۹ | ۰.۴۴ | ۰.۴۷ | ۰.۱۷ | ۰.۶۵ | ۰.۲۹ | -۰.۶۲ | -۰.۴۸ | -۰.۸۱ | -۰.۹۴ | -۰.۴۴ |
| فک چال | ۶۳۸۸۳۵ | ۴۰۲۸۸۵۱ | -۰.۰۷ | ۰.۹۹ | ۰.۰۷ | ۰.۰۶ | -۱.۱۴ | -۱.۱۸ | -۳.۰۶ | -۲.۱۹ | -۲.۵۶ | -۰.۴۰ | -۲.۶۱ | -۲.۵۹ |
| تلیکران | ۶۴۱۶۶۷ | ۴۰۴۸۶۱۳ | ۰.۳۳ | ۰.۶۴ | ۰.۴۹ | ۰.۰۳ | -۰.۷۵ | -۰.۰۱ | -۰.۷۳ | ۰.۰۹ | ۰.۶۱ | ۰.۴۲ | ۱.۴۴ | ۰.۳۲ |
| رزکنار | ۶۴۲۰۹۶ | ۴۰۵۲۵۹۹ | -۰.۱۵ | -۰.۲۹ | ۰.۰۱ | -۰.۲۳ | -۰.۹۶ | -۱.۱۱ | -۰.۸۷ | -۰.۲۲ | -۰.۵۴ | -۱.۳۴ | -۰.۳۹ | -۰.۷۰ |
| قاضی محله | ۶۴۹۰۴۷ | ۴۰۶۳۵۶۰ | ۱.۰۳ | ۰.۹۹ | ۰.۹۴ | ۰.۸۲ | ۱.۰۶ | ۰.۸۶ | ۱.۳۱ | ۱.۵۸ | ۱.۰۸ | ۰.۵۳ | ۰.۹۴ | ۰.۸۷ |
| مخزن امیرکا | ۶۴۹۸۲۲ | ۴۰۵۰۰۴۹ | ۰.۸۸ | ۰.۴۸ | ۱.۲۰ | ۱.۰۷ | -۰.۱۳ | ۰.۱۶ | -۰.۲۸ | ۰.۰۲ | ۰.۳۷ | ۰.۲۶ | ۱.۰۶ | ۰.۴۸ |
| آب وفاضلاب | ۶۵۰۵۸۲ | ۴۰۴۳۷۲۲ | -۰.۰۳ | ۰.۱۲ | ۰.۳۹ | ۰.۶۷ | -۰.۲۱ | ۰.۱۶ | -۰.۲۱ | ۰.۱۲ | -۰.۱۸ | ۰.۱۱ | -۰.۳۳ | -۰.۲۸ |

جدول (پ-۲) داده‌های سالانه چاههای پیژومتری در دوره آماری ۷۸ تا ۸۲

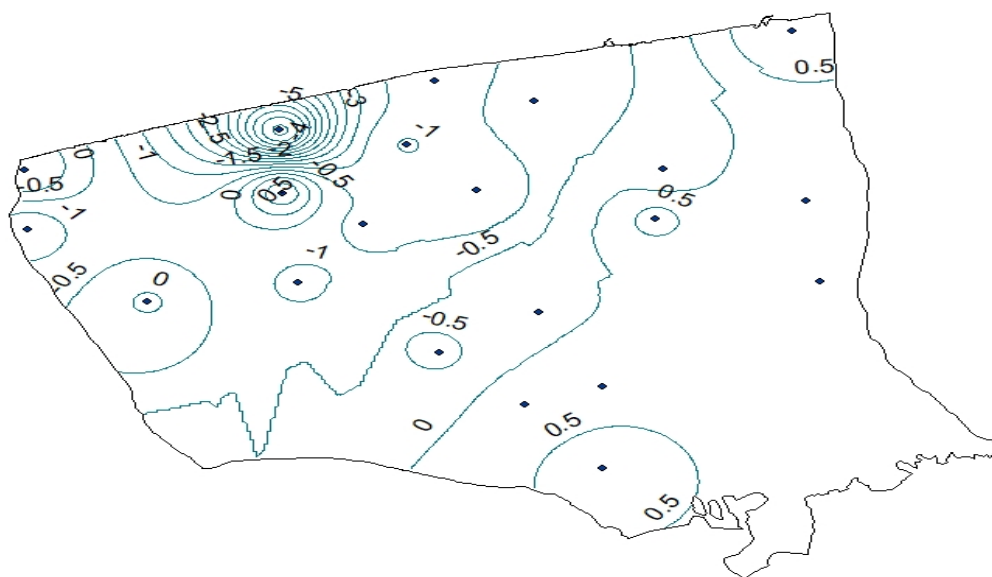
| | □ □ □ □ □ | □ □ □ □ | □ □ □ □ | □ □ □ □ | سال ۷۸ | سال ۷۹ | سال ۸۰ | سال ۸۱ | سال ۸۲ |
|------------------|-----------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| خشت سر | ۱۵۰۱ | ۶۰۷۴۱۵ | ۴۰۵۲۵۰۶ | | -۲۳.۶ | -۲۳.۵ | -۲۳.۵ | -۲۳.۴ | -۲۳.۵ |
| بیرجنده | ۱۵۰۱ | ۶۰۷۶۲۸ | ۴۰۴۷۸۱۱ | | -۱۴.۵ | -۱۴.۲ | -۱۴.۲ | -۱۴.۱ | -۱۴.۱ |
| حسین آباد | ۱۵۰۱ | ۶۱۴۱۱۰ | ۴۰۴۲۰۵۶ | | ۱۷.۸ | ۱۶.۸ | ۱۶.۸ | ۱۶.۷ | ۱۶.۸ |
| بیشه کلا | ۱۵۰۱ | ۶۲۱۲۹۹ | ۴۰۵۵۶۹۸ | | -۱۹.۶ | -۲۰.۶ | -۲۱ | -۱۹.۹ | -۱۹.۲ |
| اسکنده | ۱۵۰۱ | ۶۲۱۴۲۰ | ۴۰۵۰۷۱۷ | | -۸.۴ | -۹.۱ | -۹.۶ | -۹.۱ | -۹ |
| نوکلا | ۱۵۰۱ | ۶۲۲۳۰۹ | ۴۰۴۳۵۶۴ | | ۲۵.۸ | ۲۵ | ۲۵ | ۲۵.۵ | ۲۵.۴ |
| بالا میرده | ۱۵۰۱ | ۶۲۵۸۴۹ | ۴۰۴۸۲۲۵ | | -۲.۴ | -۲.۶ | -۳.۱ | -۲.۸ | -۲.۷ |
| افراسرا | ۱۵۰۱ | ۶۲۸۱۹۶ | ۴۰۵۴۵۲۳ | | -۱۸.۳ | -۱۸.۷ | -۱۸.۹ | -۱۷.۸ | -۱۷.۷ |
| سرخرود | ۱۵۰۱ | ۶۲۹۶۷۲ | ۴۰۵۹۶۰۹ | | -۲۴.۷ | -۲۴ | -۲۴.۱ | -۲۳.۸ | -۲۳.۸ |
| درویش خیل آمل | ۱۵۰۱ | ۶۲۹۹۳۶ | ۴۰۳۸۰۷۲ | | ۳۷.۸ | ۳۷.۴ | ۳۷.۱ | ۳۸ | ۳۸ |
| مرزنگو | ۱۵۰۱ | ۶۳۱۹۸۶ | ۴۰۵۰۹۶۴ | | -۱۲.۴ | -۱۰.۵ | -۱۰.۷ | -۱۰.۴ | -۱۰.۴ |
| خدیبو | ۱۵۰۱ | ۶۳۴۶۱۲ | ۴۰۳۳۹۲۰ | | ۳۰.۷ | ۳۱.۵ | ۳۱.۲ | ۳۱.۷ | ۳۱.۸ |
| بنه کنار | ۱۵۰۱ | ۶۳۵۰۵۷ | ۴۰۵۸۰۰۲ | | -۲۴.۲ | -۲۴ | -۲۴.۸ | -۲۳.۲ | -۲۳.۴ |
| شریعت کلا | ۱۵۰۱ | ۶۳۵۳۵۱ | ۴۰۴۱۲۱۱ | | ۵.۸ | ۵.۹ | ۵.۵ | ۵.۹ | ۵.۹ |
| احمدچاله پی علیا | ۱۵۰۱ | ۶۳۸۱۷۰ | ۴۰۳۵۳۷۴ | | ۱۷ | ۱۶.۲ | ۱۶.۴ | ۱۷.۲ | ۱۷.۳ |
| فک چال | ۱۵۰۱ | ۶۳۸۸۳۵ | ۴۰۲۸۸۵۱ | | ۵۲.۳ | ۴۹ | ۴۹.۳ | ۴۹.۶ | ۴۹.۶ |
| تلیکران | ۱۵۰۱ | ۶۴۱۶۶۷ | ۴۰۴۸۶۱۳ | | -۹.۳ | -۱۰.۳ | -۱۰.۵ | -۸.۹ | -۷.۷ |
| رزکنار | ۱۵۰۱ | ۶۴۲۰۹۶ | ۴۰۵۲۵۹۹ | | -۱۷.۱ | -۱۷.۶ | -۱۷.۷ | -۱۶.۴ | -۱۵.۹ |
| قاضی محله بابلسر | ۱۵۰۱ | ۶۴۹۰۴۷ | ۴۰۶۳۵۶۰ | | -۲۴.۹ | -۲۴.۷ | -۲۴.۷ | -۲۴.۶ | -۲۴.۷ |
| مخزن امیرکلا | ۱۵۰۱ | ۶۴۹۸۲۲ | ۴۰۵۰۰۴۹ | | -۸.۷ | -۸.۷ | -۸.۷ | -۸.۳ | -۸ |
| آب وفاضلا ب بابل | ۱۵۰۱ | ۶۵۰۵۸۲ | ۴۰۴۳۷۲۲ | | -۰.۲ | ۰.۰۴ | -۰.۶۵ | -۰.۵ | -۰.۴ |

جدول (پ-۳) میانگین SPI دوايستگاه و تراز آب فصلی چاههای پیزومتری سالهای ۶۵ تا ۹۵

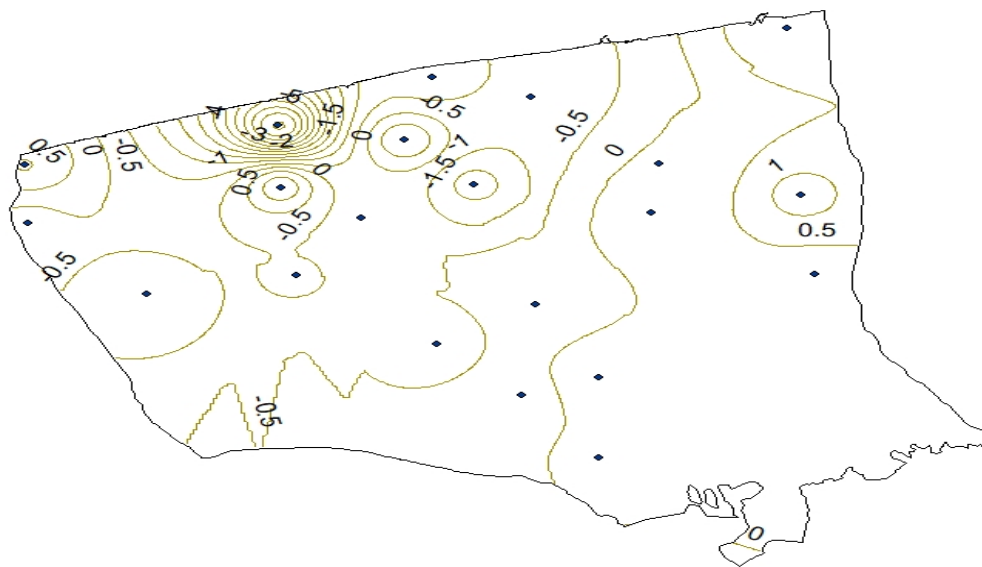
| سال | میانگین فصلی تراز آب | | | | میانگین SPI دوايستگاه | | | |
|-----|----------------------|---------|--------|--------|-----------------------|-------------|-------------|---------------|
| | بهار | تابستان | پايزيز | زمستان | سه ماهه اول | سه ماهه دوم | سه ماهه سوم | سه ماهه چهارم |
| ۶۵ | ۰.۱۴ | -۰.۳ | ۰.۲۶ | ۰.۱۸ | -۰.۴ | -۱.۰۲ | ۰.۷۸ | ۱.۹۳ |
| ۶۶ | ۰.۲۲ | -۰.۱۶ | ۰.۴۴ | ۰.۴۷ | ۰.۱۶ | -۰.۱۶ | ۱.۳۲ | -۰.۶۵ |
| ۶۷ | -۰.۳۲ | ۰.۰۲ | ۰.۱ | ۰.۳۱ | ۰.۶۴ | -۱.۴ | ۱.۱۵ | -۰.۷۱ |
| ۶۸ | ۰.۱۵ | ۰.۴۷ | ۰.۰۸ | ۰.۱۵ | ۰.۲۲ | ۰.۰۸ | -۰.۶ | -۰.۱۷ |
| ۶۹ | ۰.۰۴ | -۰.۶ | -۰.۲۱ | ۰.۰۷ | ۰.۴۴ | -۰.۴۸ | -۱.۶۳ | -۰.۸۶ |
| ۷۰ | -۰.۰۲ | -۰.۷۳ | -۰.۴۹ | ۰.۱۶ | ۲.۰۱ | ۱.۴۷ | ۰.۲ | ۰.۲۶ |
| ۷۱ | ۰.۰۴ | -۰.۳۶ | -۰.۲۷ | -۰.۱۸ | ۰.۳۹ | ۰.۵۷ | ۰.۶۸ | -۱.۶۶ |
| ۷۲ | -۰.۳۷ | -۰.۶۲ | -۰.۳۷ | -۰.۴۷ | -۰.۵۷ | ۲.۱۱ | -۰.۴۳ | ۰.۷۱ |
| ۷۳ | -۰.۵۲ | -۰.۷۳ | -۰.۲ | -۰.۳۷ | -۲.۲۸ | -۰.۵۵ | ۰.۶۱ | -۰.۰۱ |
| ۷۴ | -۰.۴۵ | -۰.۸ | -۰.۲۸ | -۰.۲۲ | -۰.۵۲ | ۰.۵۶ | ۰.۶۳ | ۰.۹ |
| ۷۵ | -۰.۲۷ | -۰.۷۶ | -۰.۱ | -۰.۱۸ | ۰.۹۱ | -۰.۲۳ | ۱.۷ | ۰.۵۴ |
| ۷۶ | -۰.۵ | -۰.۷ | -۰.۲۸ | -۰.۳۲ | -۰.۰۳ | ۰.۵۷ | ۰.۵ | -۱.۹۹ |
| ۷۷ | -۰.۵۸ | -۰.۸۳ | -۰.۶ | -۰.۵ | -۰.۷۱ | ۰.۰۹ | ۱.۳ | -۱.۲۸ |
| ۷۸ | -۰.۸ | -۱.۵۸ | -۰.۷۶ | -۰.۵۵ | -۰.۱۹ | -۰.۵۲ | -۰.۰۷ | ۰.۵۳ |
| ۷۹ | -۱.۱۶ | -۱.۸۳ | -۱ | -۰.۷۵ | -۱.۸۹ | -۰.۳۶ | -۰.۵۳ | ۰.۳۸ |
| ۸۰ | -۱.۴۵ | -۲.۲ | -۱.۱۳ | -۰.۷۷ | ۰.۳ | ۱.۱۴ | -۲.۳۹ | ۱.۷ |
| ۸۱ | -۰.۸ | -۱.۲۸ | -۰.۶۳ | -۰.۶۴ | -۰.۶۸ | ۰.۷۴ | ۰.۱۷ | ۰.۸۴ |
| ۸۲ | -۰.۷ | -۰.۹۵ | -۰.۵۵ | -۰.۶۳ | -۰.۸۸ | ۲.۲۵ | ۰.۱۷ | ۰.۸ |
| ۸۳ | -۰.۵۶ | -۰.۸۵ | -۰.۷ | -۰.۵۷ | ۰.۷۴ | ۰.۶۸ | -۱.۱۳ | -۰.۰۷ |
| ۸۴ | -۰.۷۳ | -۰.۹۵ | -۰.۸۵ | -۰.۷۹ | -۱.۱۶ | -۰.۷ | -۰.۶۳ | ۰.۶۲ |
| ۸۵ | -۰.۹ | -۱.۲۶ | -۰.۹ | -۰.۶ | ۱.۶۶ | -۰.۲۶ | -۰.۶ | -۰.۴۴ |
| ۸۶ | -۰.۷ | -۱.۰۳ | -۰.۸۲ | -۰.۵۸ | -۰.۹۴ | -۱.۲۳ | -۰.۱۱ | -۰.۰۳ |
| ۸۷ | -۱.۱۵ | -۱.۶ | -۰.۸ | -۰.۵۵ | ۰.۸۲ | ۰.۵۴ | ۱.۰۸ | -۰.۲۸ |
| ۸۸ | -۰.۷۲ | -۱.۱ | -۰.۷ | -۰.۶۶ | -۰.۱۲ | -۰.۲۸ | -۱.۳۵ | -۲.۴۷ |
| ۸۹ | -۰.۸۸ | -۱.۴۶ | -۱.۰۵ | -۰.۷۲ | ۱.۸۹ | -۰.۳ | ۰.۶۵ | ۰.۵۳ |
| ۹۰ | -۰.۹۴ | -۱.۳۲ | -۰.۷۷ | -۰.۵۲ | ۰.۹۷ | -۱.۶ | ۰.۲۲ | -۰.۹۲ |
| ۹۱ | -۰.۹ | -۱.۳۵ | -۰.۷ | -۰.۳۷ | -۰.۰۷ | -۰.۶۶ | -۰.۴۸ | ۰.۳۹ |
| ۹۲ | -۰.۹۳ | -۱.۴۲ | -۰.۵۶ | -۰.۶۸ | -۰.۸۷ | -۰.۴۱ | -۰.۸۴ | ۰.۰۷ |
| ۹۳ | -۱.۰۷ | -۱.۵ | -۰.۹ | -۰.۷۷ | -۰.۲۸ | -۱.۹۸ | ۰.۴۲ | -۰.۴۱ |
| ۹۴ | -۱.۰۳ | -۱.۹۲ | -۱.۰۷ | -۰.۶ | ۰.۹۸ | ۱.۲۹ | ۰.۸۳ | -۰.۴۵ |
| ۹۵ | -۰.۶۸ | -۱.۱۹ | -۰.۶۹ | -۰.۶ | -۰.۵۲ | -۰.۰۲ | -۱.۵۳ | -۰.۴۲ |



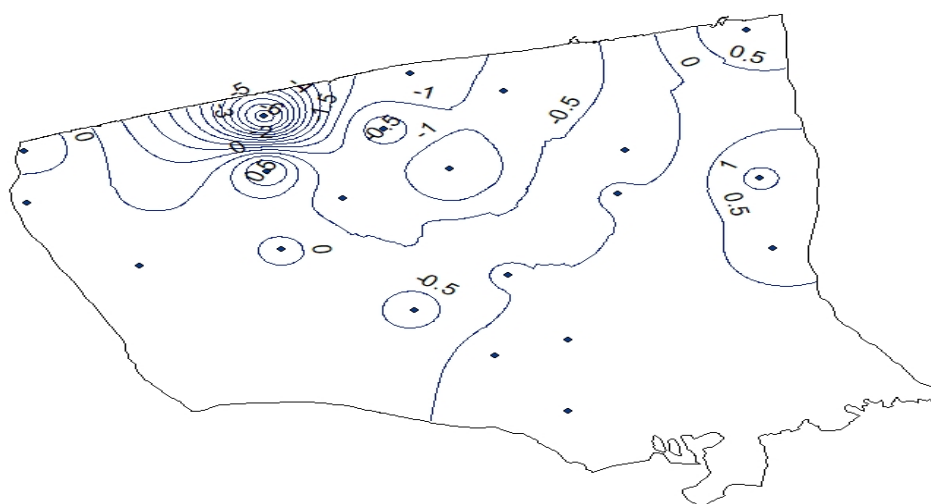
شکل (پ-۱) نقشه هم تراز بهار ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵



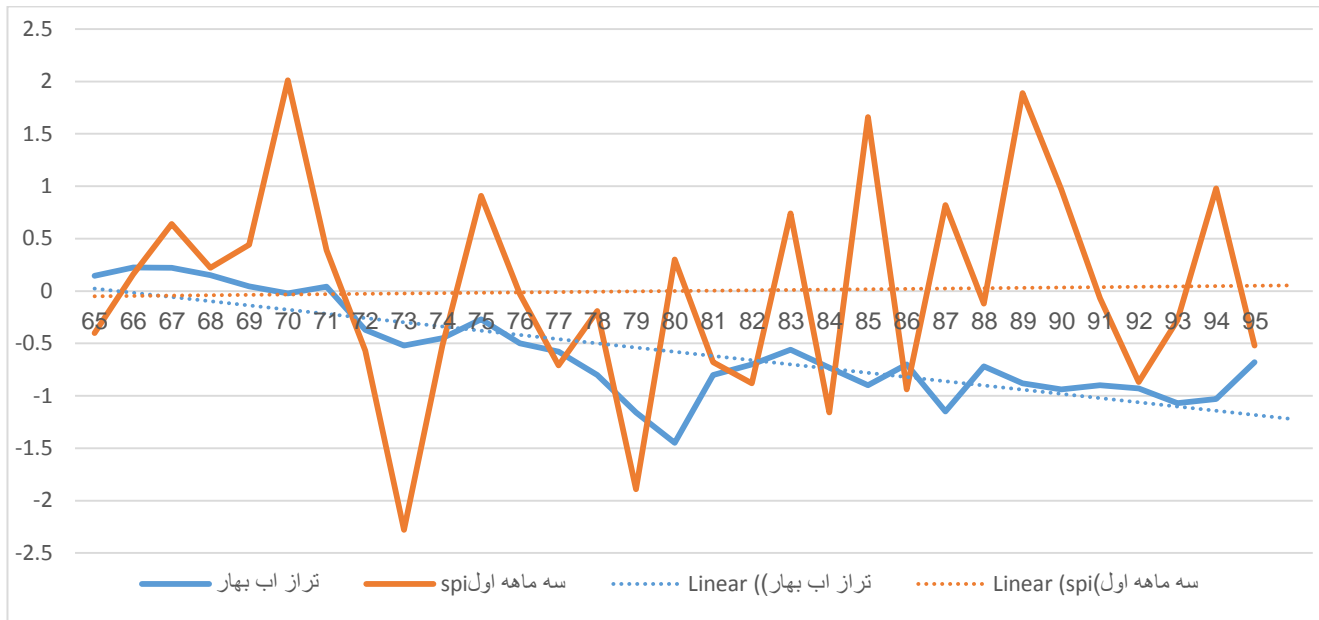
شکل (پ-۲) نقشه هم تراز تابستان ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵



شکل (پ-۳) نقشه هم‌تراز پاییز ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵



شکل (پ-۴) نقشه هم‌تراز زمستان ۱۳۷۵ نسبت به سال ۱۳۶۵



شکل (پ-۵) نمودار میانگین فصلی SPI و تراز آب در فصل بهار ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵

منبع

- ۱-اکرمی م.، ملکی نژاد ح.، واختصاصی م. ر.، (۱۳۹۲) " بررسی تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی و آب-شناختی بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان) " نشریه علوم ومهندسی آبخیزداری ایران، سال هفتم شماره ۲۰: صص ۴۷-۵۴.
- ۲-انگبینی س.، عابدی ا.، و زمانیان م.، (۱۳۸۸) " بررسی شاخص استاندارد شده بارش در برخی از ایستگاههای چهارمحال وبختیاری "، پنجمین همایش ملی علوم ومهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی) گرگان.
- ۳- اعلمی م. ودانشور وثوقی ف. (۱۳۹۰)، " تأثیر خشکسالی برتراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر در دشت اردبیل " نشریه دانش آب وخاک، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰، صص ۱۷۹-۱۶۵
- ۴- بابایی فینی ا.، و علیجانی ب.، (۱۳۹۲) " تحلیل فضایی خشکسالی‌های بلند مدت ایران " پژوهش-های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۳، صص ۱-۱۲
- ۵- حمیدیان پور م.، وعباس نیا م.، (۱۳۹۵) "ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریز مقیاس نمایی خروجی مدل های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱" پژوهش-های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، دوره ۴۸: صص ۱۲۳-۱۰۷.
- ۶- سلیمانی ل. وحقی زاده ع. (۱۳۹۳)، " ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر کاهش آبدهی دریاچه کیو خرم‌آباد " بولتن بین المللی منابع آب، شماره ۳، زمستان ۹۴، صص ۱۰۸-۹۹
- ۷- شمسی پور ع. ا. ومحمدی ح. (۱۳۸۲)، " اثرات خشکسالی در بحران منابع آب زیرزمینی دشت‌های شمال همدان " سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سال دوم، شماره ۷

۸-شکیبا ع، میرباقری ب، و خیری ا، (۱۳۸۹) "خشکسالی و تأثیر آن بر آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه" فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران شماره ۲۵، تابستان ۱۳۸۹.

۹-صادقی نیا ع، حجازی زاده، حمیدیان پور م، و پورسربندان ر، (۱۳۹۲) "برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه Spi و مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی تهران" فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۳۳: صص ۸۱ - ۶۵

۱۰-صیف م، محمدزاده ح، و مساعدی ا، (۱۳۹۱) "ارزیابی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت فسا با استفاده از شاخص‌های بارندگی معیار شده، منابع آب زیرزمینی و قابلیت هدایت الکتریکی معیار شده" مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال پنجم: صص ۵۹-۴۵

۱۱-صمدی ر، و بهمنش ج. (۱۳۹۴)، "بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه" مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۴، صص ۸۴ - ۶۷

۱۲- قنبری ن، و معصوم پور سماکوش ج، "مطالعه سینوپتیکی - آماری خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در سواحل جنوبی دریایی خزر" فصلنامه جغرافیای آزمایش، سال یکم، شماره ۴، (۱۳۸۶)، صص ۸۱-۶۷

۱۳-محمدی م، مرادی ح. ر، و وفاخواه م، (۱۳۹۱) "توزیع مکانی و ارتباط بین خشکسالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در دشت اراک" فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۵: صص ۸۴ - ۷۷

۱۴- ملکی نژاد ح، و سلیمانی مطلق م، (۱۳۹۰) "بررسی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه چغلوندی" مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم: صص ۷۲-۶۱.

۱۵-نوحه‌گر ا. و حیدرزاده م. (۱۳۹۲)، "ارزیابی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت مسافر آباد

هرمزگان" مجله مدیریت بیابان ایران شماره ۱، صص ۶۳-۷۶.

۱۶-ولایتی س، (۱۳۸۹)، "اثرات و پیامدهای بیش از حد آب زیرزمینی دشت مشهد" مجله جغرافیا

وتوسعه ناحیه ای"

۱۷- یزدانی، و شادمانی، ح، "پهنه‌بندی خشکسالی هوا با استفاده از GIS در استان همدان" اولین

کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، اسفند (۱۳۸۷) صص ۲۰-۲۲

18 –correia, F. N., Santos, M. a, Rodrigues, R. R, (1991), “Reliability in Regional Drought Studie, Drought Mitigation in Europe” Vogt JV, Somma F (eds). Kluwer: Dordrecht,. 161- 166

19- H.Stagge J., Kohn I., M.Tallaksen L., and Stahl K., (2015) “Modeling drought impact occurrence bised on meteorological drought indices in Europe” Journal of Hydrology, 530: 37-50.

20- Jain v.K., pandey R. p., Jain M.K., and Byun H., (2015), “Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin” Weather and Climate Extremes, 8; 1-11.

21- Khan, S., Gabriel, H.F.,Rana, T.,(2008), Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig Drainage Syst, 159-177, online at: Springer Science – Business Media B.V.

22- Liu Z., Wang Y.,Shao M., Jia X., and Li X., (2016) “spatiotemporal analysis of multiscalar drought characteristics across the Loess Plateau of china” Journal of hydrology, 534: 281 -299.

23- Mendicino, G., Alfonso, S., Pasquale, v., (2008),” A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, Journal of Hydrology”, 282-302

24- panda, dileep K.,Mishra, A., Jena, S.K., James, B.k., Kumar, A. (2007) “The influence of drought and anthropogenic effects on ground water levels in Orissa”, India. Journal of hydrology: 343, 140- 153.

- 25-Qin Y., Yang D., Lei H., and xu x., (2015) “comparative analysis of drought based on precipitation and soil moisture indices in Haihe basin of North China during the period of 1960-2010” *Journal of Hydrology*, 526:pp 55-67.
- 26-Shah R., Bharadiya N., and Vivek M., (2015) , “drought Index (SPI) Method for Surat district, Gujarat” *Aquatic procedia*, 4: 1243-1249.
- 27-Shahid, sh., and M.K. Hazarika., (2010)” Ground water Drought in the Northwestern District of Bangladesh.” *Water. Resiur*
- 28-Spinoni J., Naumann G., V.Vogt J., and Barbosa p., (2015) “The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012 *Journal of Hydrology: Regional StudieS*, 3: PP 509-524.
- 29- Wang K-Y., Li Q-F., Yang Y., Zeng M., Li P-Ch., And Zhang J-X., (2015) “Analysis of spatio –temporal evolution of droughts in Luanhe River Basin using different drought indices” *water Science end Engineering*, 8,4 : PP 282-290.

Abstract:

Drought is one of the climate phenomena of which is repeatable annually causes a lots of damages, this phenomenon is one of the main characteristics of all the climates. The effects of drought are not limited to dry areas. One of the areas affected by long –term drought conditions is groundwater resources unfortunately, it is less than the other part. The purpose of this research is to investigate drought and its effects on under ground water in a region of Mazandaran. In order to study and study the droughts of the central plains of Mazandaran from the precipitation the rain fall data of Ghaem shahr and Amol station have been used during the 31 year old period (1986-2016) Using the standard rainfall index in 3, 6 and 9 month scale drought characteristics are evaluated. The results of this assessment indicate that the Ghaem shahr and Amol stations have been dry for 5 and 3 years. The most important of these is the 1388 drought is very severe. Also, the drought in the studied area during the statistical period (1986-2016) the trend is increasing. The relationship between SPI and ground water was further examined. The results showed that there is a direct relation between SPI and ground water level, and by decreasing the SPI, the ground water Level also decreases but this is a time lag. In studying and analyzing the water balance of piezometric wells alignment and depth maps are plotted on annual, monthly and monthly scale and its all right the piezo 80 cm wells have negative surface area of (1986-2016) it has fallen by an average.

Key words: Drought, Ground water, Indicator SPI, Groundwater level, Mazandaran



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

MSC Thesis in Water Structures Engineering

**Drought evaluation and its effect on ground water
in Mazandaran plain**

By: Reza Dehiny

Supervisor:

Dr. Zahra Ganji Noroozi

Advisor:

Dr. Mahdi Delghandi

January 2019

