

بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۱ با آزمون من-کندال (مطالعه موردی؛ دشت فیروزآباد، استان فارس، ایران)

حجت دلاور^۱، قربان وهازاده کبریا^{۲*}، جمشید قربانی^۳ و محمدرضا اشرفی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲ و ۳- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- کارشناس سازمان آب منطقه‌ای استان فارس

نویسنده مسئول: gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir *

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۸

دریافت: ۹۹/۱۱/۱۱

چکیده

آب‌زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از منابع مهم برای مصارف مختلف محسوب شده که به دلایلی دچار تغییرات کمی و کیفی می‌شود. یکی از این مناطق دشت فیروزآباد در غرب استان فارس است که آب زیرزمینی آن، منبع اصلی آب شرب و کشاورزی می‌باشد. در این مقاله تغییرات کمی سطح آب زیرزمینی دشت فیروزآباد که یکی از قطب‌های کشاورزی ایران است، با آزمون من-کندال بررسی گردید. نتایج نشان داد که با توجه به هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت فیروزآباد در دوره آماری ۹۰-۱۳۷۱ در شرق و غرب رودخانه، روند کلی تغییرات سطح ایستابی دارای افت مستمر و قابل توجه بوده، بطوریکه در شرق دشت بیش از ۲۱ متر و در غرب ۲۰/۸۳ متر سطح تراز آب زیرزمینی افت کرده است. البته به علت بارندگی زیاد (۶۷۸ میلی‌متر) در سال ۱۳۸۳، نقشه تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی سال ۸۵-۸۰ آبخوان، افت کمتری را نشان می‌دهد. تغییرات هیدروگراف واحد دشت فیروزآباد برای دوره ۹۰-۸۵ نیز به شدت افت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد، به طوری که در کلیه نقاط افت سطح آبخوان دیده می‌شود. بیلان آب زیرزمینی آبخوان این دشت در دوره آماری مبین آن است که تغییرات حجم ذخیره آبخوان به بدلیل برداشت اضافی در طول دوره آماری به مقدار ۱۷/۵ میلیون مترمکعب منفی بوده و عامل اصلی افت سطح ایستابی است. این میزان تخلیه عمدتاً از چاه‌های بهره‌برداری تأمین گردید. با توجه به نقش سازندهای سخت زمین‌شناسی طرف در تغذیه آبخوان دشت فیروزآباد استفاده از این منبع برای جبران کمبود آب در آینده مقدور نیست. بنابراین باید سایر منابع آبی منطقه از جمله انتقال آب از سدهای تنگاب و هایقر بررسی گردد. بطور کلی در حاشیه ارتفاعات عمق سطح آب بیش‌تر و به سمت مرکز دشت کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دشت فیروزآباد، سطح آب زیرزمینی، آزمون من-کندال، هیدروگراف واحد

پیشگفتار

(قنبری، ۱۳۹۹) و یکی از ارزشمندترین منابعی است که سلامتی انسان، توسعه اقتصادی و اجتماعی عملکرد اکوسیستم‌ها را تضمین می‌کند (اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۹۷). از طرفی کشور ما بخاطر قرار گرفتن در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی که در ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی واقع شده است، از شرایط آب و هوایی برخوردار است که جزء مناطق کم باران جهان بشمار می‌رود (احراری رودی، ۱۳۹۷). به همین دلیل امروزه بیش‌تر نیاز آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور ایران به دلیل عدم وجود آب‌های سطحی مستمر و مناسب، از منابع آب زیرزمینی و از طریق چاه‌های حفر شده تأمین می‌گردد (امیدوار و بهزادی کریمی، ۱۳۹۶). در واقع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان در جهان

آب همواره به عنوان یک رکن اصلی توسعه مطرح و برای تحولات اقتصادی و اجتماعی ضروری بوده است (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). رشد سریع جمعیت و توسعه روزافزون فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و صنعتی در سال‌های اخیر سبب شده است تا میزان بهره‌برداری از منابع آب بویژه آب زیرزمینی افزایش پیدا کند (اکبری‌اریمی، ۱۳۹۸). منابع آب زیرزمینی هم بزرگ‌ترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند و می‌تواند نیاز انسان‌ها را به آب برطرف کند (انصاری و فتوحی، ۱۳۹۶). به طور دقیق‌تر آب زیرزمینی دومین منبع آب شیرین موجود در جهان است که حدود یک سوم جمعیت جهان به آن وابسته بوده

مقابل ناچیز بودن مقدار بارندگی سالیانه و در نتیجه عدم وجود جریان‌ات آب سطحی، موجب شده که امروزه نیز بخش مهمی از آب مورد نیاز بشر در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی تامین گردد (شعبانی، ۱۳۸۷). تغییر کمیت آب‌های زیرزمینی خطری بزرگ برای توسعه کشاورزی در اقلیم‌های حساس می‌باشد (شعبانی، ۱۳۸۷)، به طوری که می‌توان گفت یکی از آسیب‌پذیرترین جوامع در مواجهه با پدیده خشکسالی جوامع روستایی و کشاورزان می‌باشند (قانقرمه و همکاران، ۱۳۹۶).

در همین راستا الگوی مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی در دلتای رودخانه پرل چین با روش من-کندال شناسایی شد و نتایج نشان داد که در قسمت بالای دلتا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی کاهشی و در قسمت‌های میانی و پایینی آن افزایشی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین تأثیر خشکسالی بر آب زیرزمینی در منطقه شمال غرب بنگلادش با روش تحلیل هیدروگراف سطح آب زیرزمینی و سری زمانی بارندگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش سطح آب زیرزمینی در ۴۲ درصد از این منطقه هر ساله اتفاق می‌افتد و افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد (شهید و هازاریکا، ۲۰۰۹). روند تغییر سطح آب زیرزمینی در ایالت اوریسا هند در ۱۰۰۲ چاه در طول سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ بررسی شد. برای فهم مکانیسم اثر خشکسالی ابتدا با استفاده از روش آمار ناپارامتری من-کندال تغییرات سطح آب زیرزمینی در دوره مورد نظر به دست آمد. سپس با استفاده از آزمون همگنی روند تأثیر استفاده انسان و خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی بررسی شد. نتایج نشان داد که به علت کمبود بارندگی در سال‌های خشک و بالا بودن دما و فشار استفاده انسان و جبران نشدن آن در سال‌های مرطوب سطح آب رو به پایین بوده است (پاندا و همکاران، ۲۰۰۷). رفتار نوسانات تراز آب زیرزمینی در مناطق مسکونی کویت و حومه با توجه به اطلاعات ۶ حلقه چاه پیرومتری مطالعه گردید. الگوی تناوبی نوسانات آب زیرزمینی، به میانگین ماهانه درجه حرارت هوا و بارش ارتباط داده شد. نتایج نشان داد که تراز آب زیرزمینی دارای رفتار فصلی است. افزون بر این، تراز آب زیرزمینی با درجه حرارت همبستگی منفی و با بارش همبستگی مثبت دارد (المدیج و ال‌روویا، ۲۰۰۶). برداشت بی‌رویه از سفره

است که بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد. در حال حاضر برداشت آب از منابع زیرزمینی کشور ایران بالغ بر ۹۷ میلیارد متر مکعب بوده که ۷۹ درصد آن در کشاورزی مصرف می‌شود (آروین و همکاران، ۱۳۹۵). از سویی دیگر یکی از زمینه‌هایی که خشکسالی در آن تأثیر اساسی می‌گذارد منابع آب سطحی و زیرزمینی هر کشوری است و کشور ما به علت واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، از نظر منابع آب در وضعیتی نامطلوب نسبت به متوسط دنیا قرار دارد (جندقی و همکاران، ۱۳۹۹).

افت شدید سطح آب زیرزمینی و کاهش ذخیره آبخوان منجر به اثرات زیان‌بار متعددی از جمله کاهش آبدی چاه‌ها، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و همچنین کاهش ذخیره منابع آب سطحی دارای ارتباط هیدرولیکی با آبخوان می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۹۷). در همین راستا افزایش جمعیت و بهره‌برداری روزافزون از منابع آب زیرزمینی، تبعات جبران‌ناپذیری به دنبال دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها پدیده فرونشست زمین است (حجه‌فروش‌نیا و برهانی، ۱۳۹۹؛ آروین و همکاران، ۱۳۹۸). با این وضعیت، حفاظت از منابع آب و بهره‌برداری بهینه از آن به یک مسئله مهم جهانی تبدیل شده است و استفاده پایدار از آب، به ویژه در مناطق خشک، یک امر مهم و حیاتی به شمار می‌رود. در ایران نیز این مسئله با عنایت به دوام خشکسالی‌های اخیر تشدید گردیده است (خرم‌بخت، ۱۳۹۵).

از طرفی افزایش سرانه مصرف آب، توسعه اقتصادی و بهره‌برداری شدید از عواملی است که منجر به ایجاد بحران مصرف آب شده است (وندا و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش بلایای طبیعی مثل خشکسالی و توفان به دلیل ایجاد تغییرات زیست‌محیطی و آب و هوای جهانی، مشکل کمبود آب در سال‌های اخیر را تشدید کرده است (المهدی، ۲۰۰۸). خشکسالی در سال‌های اخیر به یک فاجعه جهانی تبدیل شده است (توچان و همکاران، ۲۰۱۱) و از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی، تشدید شرایط بحرانی در نواحی خشک و نیمه‌خشک بر اساس سناریوهای مختلف است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی بخش وسیعی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود که از ویژگی‌های این مناطق زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق در

دلو در ارتفاعات شمال شرقی و پائین‌ترین نقطه ارتفاعی ۱۱۳۵ متر در جنوب شرق و محل خروجی حوضه واقع شده‌اند. مهم‌ترین رودخانه‌ای که در این محدوده جریان دارد، رودخانه دائمی فیروزآباد است که در تابستان حجم آب آن کم می‌شود. طول آبراهه اصلی در این محدوده ۵۴/۷ کیلومتر و نوع آبراهه‌ها از نوع دندریتی است (شکل ۱). (شرکت سهامی آب منطه ای فارس، ۱۳۹۴).

داده‌های پژوهش

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی

از دیدگاه هیدروژئولوژی سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه سازندهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم نمود. سازندهای گروه بنگستان و آسماری - چهارم جزء سازندهای نفوذپذیر بوده که در تشکیل سفره‌های آب کارستی و تغذیه دشت موثر می‌باشند. بقیه سازندها به علت ترکیب غالب رسی، نفوذناپذیر بوده و معمولاً سنگ کف سفره‌های آبرفتی را تشکیل می‌دهند (پولادیان، ۱۳۸۵). بطور کلی در برخی مناطق زاگرس سازند آهکی آسماری بیش‌ترین پتانسیل تشکیل آبخوان را دارد و از لحاظ هیدروشیمی و هیدرولوژیکی مطلوب‌ترین گزینه برای برداشت آب است (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

آب‌های زیرزمینی

وسعت سفره آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی با توجه به موقعیت قرارگیری منابع آب زیرزمینی در دشت ۱۸۸ کیلومتر مربع برآورد گردیده است. در آبخوان فیروزآباد تعداد ۳۳ حلقه چاه مشاهده‌ای حفر گردیده است که با توجه به وسعت سفره آبخوان تراکم آن‌ها ۵/۷ عدد در هر ۲۳ کیلومترمربع محاسبه گردیده است؛ و یا هر ۴ چاه مشاهده‌ای تقریباً در ۲۳ کیلومترمربع متراکم شده است. حداقل عمق سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای ۱/۱ متر و حداکثر ۷۷/۹ متر است. تاریخ شروع لندازه‌گیری این چاه‌ها سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ می‌باشد. در تهیه بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت فیروزآباد از آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری دوره مورد مطالعه و آمار منابع و مصارف آب زیرزمینی استفاده گردید و کلیه مولفه‌های ورودی و خروجی به آبخوان در جدول یک ارائه شده است (دلاور، ۱۳۹۴).

آب زیرزمینی دشت، پیامدهایی همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین، از بین رفتن اکوسیستم منطقه و خشک شدن باغات و ... را نیز به دنبال دارد (عباس‌نژاد و شاه‌دشت، ۱۳۹۲).

روند تغییرات تراز آب زیرزمینی ۳۱ ایستگاه پیژومتری در دشت ارومیه در مقیاس ماهانه و سالانه بررسی گردید. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی بوده و بررسی شیب خط روند مبین این است که در دهه اخیر به طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت ارومیه حدود ۱۹/۹ سانتی‌متر در حال کاهش است. همچنین نتایج آزمون همگنی نشان داد که روند عمق آب زیرزمینی در دشت ارومیه در ماه‌های مختلف و در ایستگاه‌های مختلف در سطح احتمال ۰/۵ درصد غیرهمگن است (بهمنش و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای دیگر که در دشت آمل - بابل صورت گرفت، تغییرات کمی و کیفی سطح آب‌های زیرزمینی در فاصله سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۶ مورد مطالعه قرار گرفت که بر اساس این مطالعه سطح آب زیرزمینی افت ناچیزی داشته است (افضلی و شاه‌دشت، ۱۳۹۳). همچنین در تحقیقی با موضوع تاثیر بهره‌برداری شدید در افت و نشست زمین در دشت درمیان خراسان جنوبی نتیجه گرفته شد که رشد سریع جمعیت و توسعه کشاورزی و خشکسالی در دهه‌های اخیر سبب برداشت زیاد از آبخوان زیرزمینی گردیده و این فشار باعث افت شدید آب‌های زیرزمینی شده است (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۰). این مطالعه با هدف بررسی تغییرات کمی سطح آب زیرزمینی در شهرستان فیروزآباد که جزء مناطق نیمه‌خشک و یکی از قطب‌های کشاورزی ایران می‌باشد کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

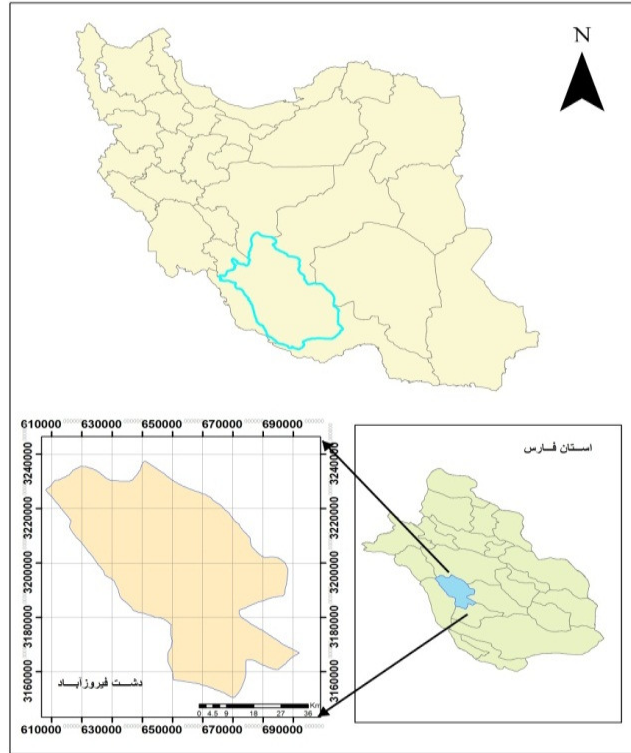
مواد و روش

محدوده مورد مطالعه

شهرستان فیروزآباد در موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. محدوده مطالعاتی دارای مساحتی بالغ بر ۷۲۳ کیلومتر مربع بوده و جزء زیر حوضه رودخانه فیروزآباد می‌باشد. بلندترین نقطه ارتفاعی محدوده ۲۸۸۱ متر در کوه

کمی مشاهده‌ای شامل ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی چاه‌های پیزومتری و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری است (جدول ۲).

اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از ۳۳ چاه مشاهده‌ای دشت فیروزآباد در بازه سال‌های ۱۳۷۱-۱۳۹۰ از منابع کتابخانه‌ای و سازمان آب منطقه‌ای استان فارس اخذ گردیده و با پیمایش میدانی کنترل گردید. این داده‌های



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

جدول ۱. بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت فیروزآباد (احجام متر مکعب درسال)

تغییرات ذخیره	تخلیه				تغذیه						وسعت محدوده بیلان (km ²)	
	جمع تخلیه	خروجی زیر زمینی	تبخیر	زهکشی	جمع تغذیه	نفوذ آب شرب وصنعت	نفوذ آب زراعی	نفوذ جریان سطحی	نفوذ از بارندگی	جریان ورودی		
-۱۷/۵	۱۹۶/۸	۰	۰	۲/۸	۱۹۴	۱۷۹/۳	۳/۶	۵۶/۱	۱/۰۱	۲۷/۰۱	۵۲/۹۰	۲۳۰

جدول ۲. مشخصات ایستگاه هیدرومتری محدوده مطالعاتی فیروزآباد

نوع ایستگاه	تاریخ تاسیس	مختصات جغرافیایی			رودخانه - ایستگاه
		ارتفاع (m)	عرض دقیقه - درجه	طول دقیقه - درجه	
باران سنج ذخیره‌ایی	۱۳۴۴	۱۴۸۰	۲۸-۵۵	۵۲-۳۲	تنگاب
باران سنج معمولی	۱۳۵۶	۱۱۶۰	۲۸-۴۱	۵۲-۴۰	تنگ عربها
*****	۱۳۵۱	۱۳۸۰	۲۸-۵۰	۵۲-۳۵	کاخ اردشیر
*****	۱۳۵۲	۱۵۹۰	۲۸-۵۴	۵۲-۲۲	خرقه

روش پژوهش

به منظور انجام این پژوهش، ۳۳ چاه مشاهده‌ای در شرق و غرب دشت فیروزآباد در فصل بهار و در طی دوره ۲۰ ساله ۱۳۹۱-۱۳۷۱ مورد بررسی قرار گرفت (سازمان آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۹۰). علت استفاده این دوره زمانی فقط کامل بودن آمار موجود می‌باشد. آمار قبل از سال آبی ۱۳۷۱ به دلیل ناقص بودن نمی‌توانست در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و کنترل کیفی و صحرایی آن‌ها و مرتب‌سازی آمار، آزمون من-کندال روی داده‌ها صورت گرفت. این آزمون از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک به شمار می‌رود و می‌تواند در جهت تحلیل روند سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گیرد. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی اشاره کرد که از توضیح آماری خاصی پیروی نمی‌کند. آماره من-کندال روندها را نشان می‌دهد. اگر این مقدار کوچک‌تر از $\pm 1/96$ شود، بطور کلی سری دارای روند نیست و اگر آماره من-کندال بین $1/96$ و $2/54$ باشد معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد است و در حالات بزرگ‌تر از مثبت و منفی $2/54$ در سطح ۹۹ درصد نیز معنی‌دار می‌باشد. در صورتی که این مقدار منفی باشد روند نزولی و اگر مثبت باشد روند صعودی است. برای عوامل کمی از آمار ۳۳ چاه مشاهده‌ای در دشت فیروزآباد که دارای دوره آماری (۱۳۹۱-۱۳۷۱) بودند استفاده شد. برای کلیه چاه‌های مورد مطالعه در شرق و غرب رودخانه معنی‌داری در سطوح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت. برآورد شیب خط روند در نرم‌افزار Minitab انجام شده است. علاوه بر استفاده از آزمون من-کندال آزمون سن (Sen) در این پژوهش به کار گرفته شد. این آزمون ناپارامتریک مانند من-کندال شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی را برآورد می‌کند. معادله آن به شرح زیر است.

$$f(t)=Qt+B$$

Q شیب خط روند و B مقدار ثابت است. جهت محاسبه شیب خط روند ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهداتی با استفاده از معادله مربوطه محاسبه گردد. سپس جهت تعمیم ارزش‌های اندازه‌گیری شده به سطح منطقه از روش میان‌یابی اسپلاین^۱ استفاده گردید و هیدروگراف تراز آب آبخوان و نقشه‌های هم‌پتانسیل در پایه

زمانی بیست ساله ۱۳۹۱-۱۳۷۱ در محیط نرم‌افزاری Excel ترسیم شدند. در میان‌یابی با روش Spline ارزش یاخته‌ها بر اساس یک تابع ریاضی که میزان خمیدگی و انحناء کلی سطح را به حداقل می‌رساند محاسبه می‌گردد و یک سطح نرم و یکنواخت را ایجاد می‌نماید که دقیقاً از نظر ارزش از بین نقاط ورودی عبور می‌کند. در صورت استفاده از روش میان‌یابی اسپلاین (Spline) و در حالت منظم یک سطح یکنواخت و کم شیب ایجاد می‌شود و در حالت کششی، سطحی بر اساس ویژگی‌های یک پدیده، مدل‌سازی ایجاد می‌شود.

هدف از ترسیم هیدروگراف آبخوان، به دست آوردن دید کلی از روند تغییرات سطح آب زیرزمینی است. بدلیل اینکه ۳۳ چاه مشاهده‌ای نمی‌توانند تمامی سطح آبخوان را پوشش دهند، با میان‌یابی اسپلاین در محیط GIS نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی و هم‌افت رسم گردید. در میان‌یابی با روش اسپلاین ارزش یاخته‌ها بر اساس یک تابع ریاضی که میزان خمیدگی و انحناء کلی سطح را به حداقل می‌رساند محاسبه می‌گردد و یک سطح نرم و یکنواخت را ایجاد می‌نماید که دقیقاً از نظر ارزش از بین نقاط ورودی عبور می‌کند. در هنگام استفاده از این روش، یک تابع ریاضی بر تعداد نقاط مشخص شده ورودی در حالی برآزش داده می‌شود که سطح ایجاد شده از آن در بین نقاط نمونه‌برداری شده ورودی عبور نماید. این روش را برای میان‌یابی سطوحی که نحوه تغییرات پدیده در طبیعت به آرامی و ملایمت انجام می‌شود می‌توان به کار برد. از آنجایی که منطقه مورد نظر دارای این ویژگی می‌باشد از این روش در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) سود جسته شد.

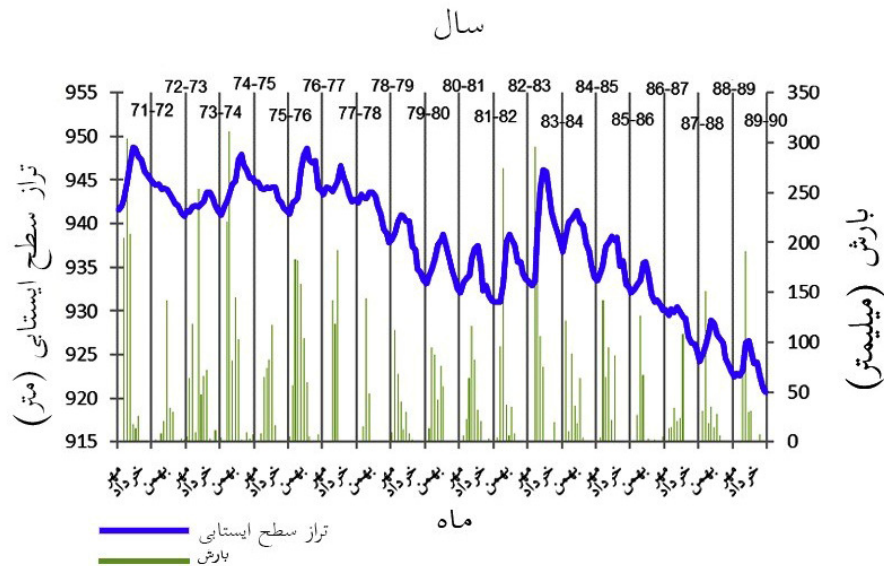
نتایج

روند کلی هیدروگراف دشت فیروزآباد به صورت یک شیب شدیداً نزولی است که با توجه به مشخص بودن میزان بارندگی در سال‌های آبی و ارتباط هیدروگراف با بارندگی به وضوح نقش بارندگی در این تغییرات مشخص است. به عنوان نمونه دلیل افزایش سطح تراز هیدروگراف در سال ۱۳۸۳ بارندگی ۶۷۸ میلی‌متری در این سال بوده و خود شاهدهی بر نقش بارندگی و خشکسالی بر تراز سطح آب زیرزمینی است. (شکل‌های ۲ و ۳). اما عامل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی در این دشت آبرفتی برداشت بی‌رویه

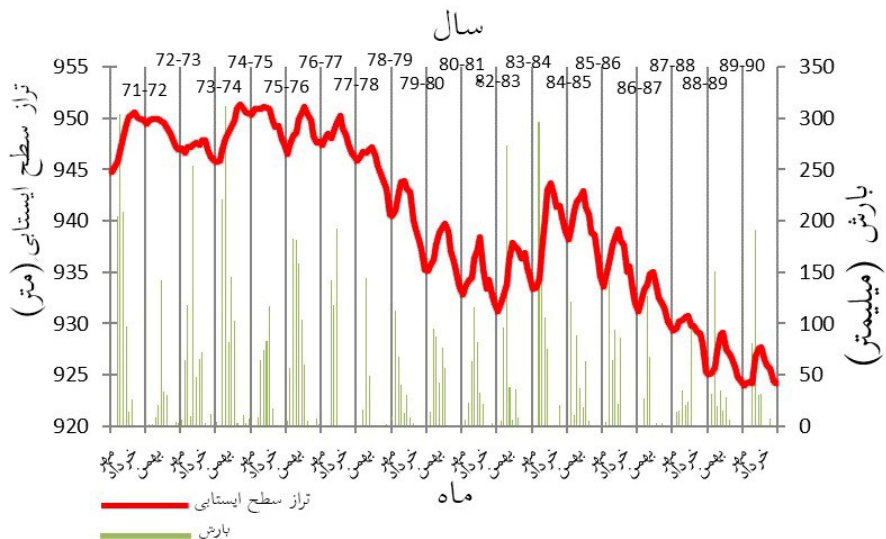
^۱ Spline

غرب دشت فیروزآباد توضیحات ذکر شده برای هر دو بخش صادق است. با توجه به رسم هیدروگراف واحد دشت فیروزآباد در شرق و غرب دشت روند کلی تراز سطح ایستایی کاهشی بوده و افت شدید در بین سال‌های آماری دیده می‌شود.

از آب‌های زیرزمینی می‌باشد که خود به عنوان یک عامل تشدیدکننده برای خشکسالی عمل می‌کند. بیلان منفی آب حدود ۱۷/۵ میلیون مترمکعب در این دشت مبین نقش بی‌رویه برداشت از چاه‌های بهره‌برداری است. به طور کلی با توجه به شرایط مشابه بارندگی و بهره‌برداری در شرق و



شکل ۲: هیدروگراف واحد غرب دشت و بارندگی ایستگاه اداره آب فیروزآباد



شکل ۳: هیدروگراف واحد شرق دشت و بارندگی ایستگاه اداره آب فیروزآباد

(۶۷۵ میلی‌متر) تقریباً در اکثر نقاط سطح آب زیرزمینی بالا آمده است. این بارندگی حداکثر تاثیر را در این دوره زمانی و در بخش غربی بین ۶/۲ و ۳/۲ متر داشته است. در بخش شرقی هم در این دوره در اکثر نقاط مقدار

نقشه‌های هم‌عمق آبخوان

نقشه‌های هم‌افت آبخوان دشت فیروزآباد در شرق و غرب رودخانه طی دو دوره ۸۵-۸۰ و ۹۰-۸۵ رسم شده است. در دوره آماری ۸۵-۸۰ به دلیل بارندگی سال ۱۳۸۳

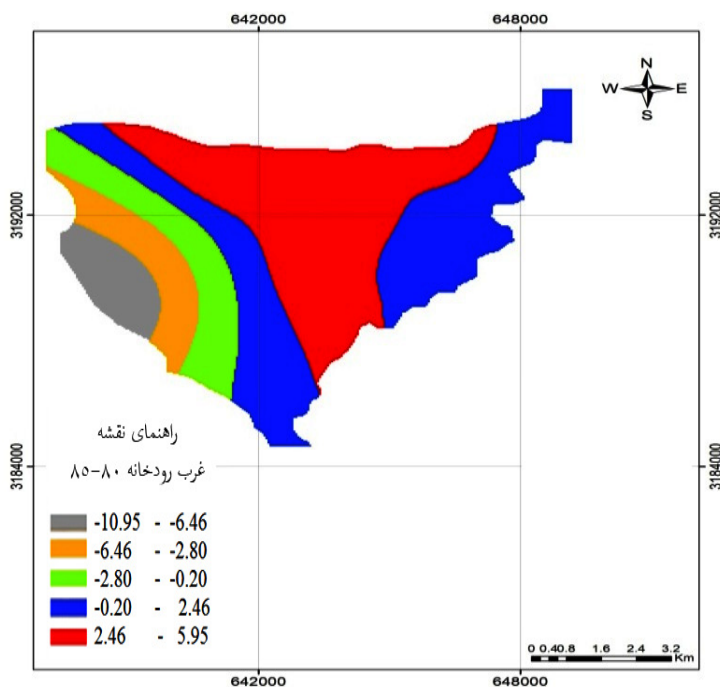
ارتفاعات عمق سطح آب بیش‌تر و به سمت مرکز دشت کاهش می‌یابد.

نتایج آزمون من-کندال برای تغییرات کمی

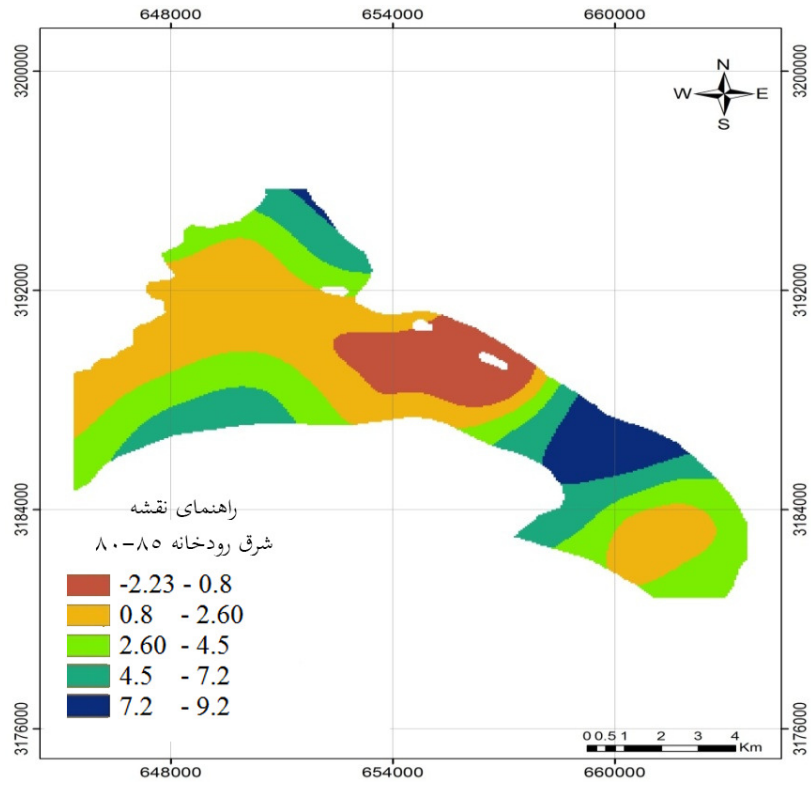
در این بررسی از آمار ۳۳ چاه در دشت فیروزآباد که دارای دوره آماری ۲۰ ساله بودند (۱۳۷۱-۱۳۹۰) استفاده شد. برای کلیه چاه‌های مورد مطالعه در شرق و غرب رودخانه معنی‌داری در سطوح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت. ابتدا از سطح چاه‌ها در کل دشت در ماه اردیبهشت که سطح چاه‌ها در بالاترین حد سالانه است، در طی سال‌های مورد مطالعه میانگین‌گیری صورت گرفت، سپس با استفاده از آزمون من-کندال روند در دو سطح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد بررسی گردید. مقدار آماره من-کندال برای سطح آب در دو طرف رودخانه نشان می‌دهد که در سطح ۹۹ درصد و ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و روند آمار صعودی است و سطح آب به شدت افت نشان می‌دهد. مقدار سن اسلپ (Sen slope) نشان می‌دهد که به طور متوسط در شرق رودخانه سالانه ۱/۳۳ متر و در غرب ۱/۱۸ متر افت سالانه دیده می‌شود که این نتایج تقریباً با نتایج بررسی هیدروگراف‌ها نیز مشابه است (جدول ۳).

تغییرات سطح ایستابی مثبت بوده و سطح آب بالا آمده، بطوریکه در بخش شرقی دشت به میزان ۱/۱ متر افزایش سطح آب رخ داده است (شکل‌های ۲ و ۳). در دوره آماری ۸۰-۸۵ و در غرب رودخانه دشت فیروزآباد، بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در غربی‌ترین قسمت و کمترین افت در قسمت مرکزی رخ داده است. در همین دوره در بخش شرقی دشت کمترین افت سطح آب در قسمت شمالی و بیشترین افت در قسمت جنوب شرق اتفاق افتاده است (شکل‌های ۴ و ۵).

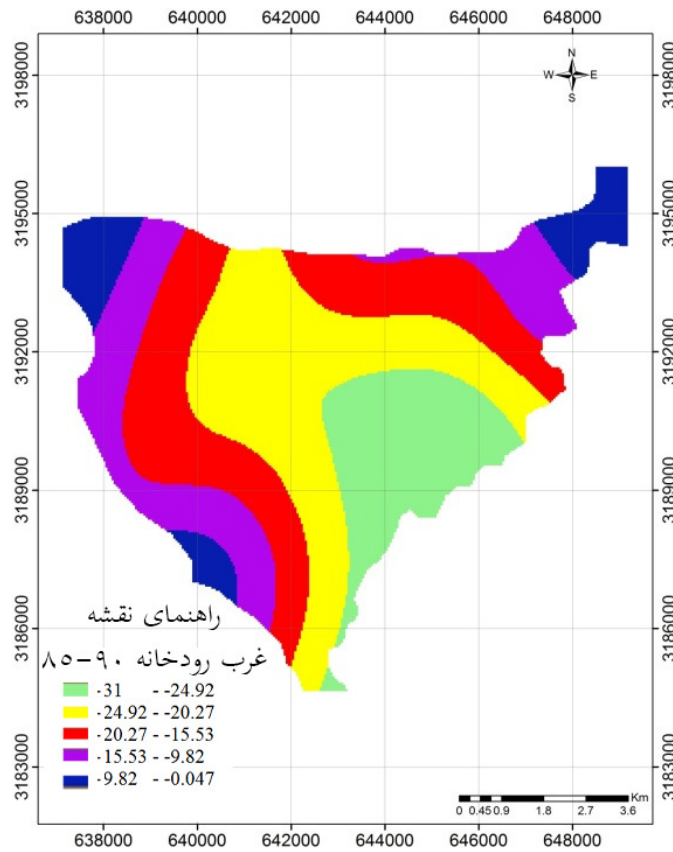
در دوره ۹۰-۸۵ در بخش شرقی در چاه‌ها کاهش شدید سطح آب دیده می‌شود و نقاطی وجود دارد که کاهش سطح به ۳۱/۶ متر می‌رسد. در منطقه مرکزی دشت و کلاً نقاطی که توسعه کشاورزی شدیدتر است افت بیش‌تری دیده می‌شود، به طوری که سطح آب تا ۲۵ متر پایین رفته است. در مناطق مرکزی بخش غربی هم‌افت شدید سطح آبخوان دیده می‌شود و مقدار آن از ۱۴ تا ۲۷ متر تغییر می‌کند (شکل‌های ۶ و ۷). در دوره آماری ۸۵-۹۰ و در غرب رودخانه بیشترین افت سطح آب به قسمت‌های مرکزی و جنوبی و کمترین به شمال غرب و شرق تعلق دارد. در همین دوره برای بخش شرقی رودخانه بیشترین افت سطح آب در جنوب شرق و کمترین در شمال غرب رخ داده است. بطور کلی در حاشیه



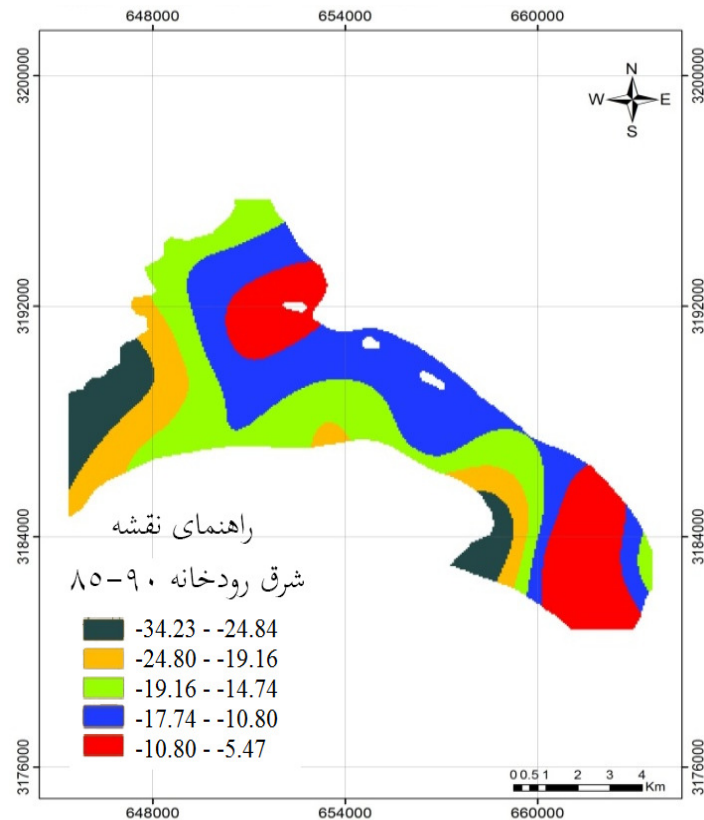
شکل ۴. نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی غرب رودخانه فیروزآباد برای دوره ۸۵-۸۰



شکل ۵. نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی شرق رودخانه فیروزآباد برای دوره ۸۵-۸۰



شکل ۶. نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی غرب رودخانه فیروزآباد برای ۸۵-۹۰



شکل ۷. نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی شرق رودخانه فیروزآباد برای دوره ۹۰-۸۵

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون من-کندال برای سطح ایستابی آب دشت فیروزآباد در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد

محدوده	آماره من کندال	p-value مقدار	سن اسلپ (متر)
شرق رودخانه	**۵/۰۴	۰/۰۰۰	۱/۳۳
غرب رودخانه	**۴/۶	۰/۰۰۰	۱/۱۸

** در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد؛ * در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی وضعیت نوسانات سطح آب زیرزمینی و تعیین دوره‌های صعود و نزول سطح آب زیرزمینی، هیدروگراف واحد دشت فیروزآباد رسم شده و مورد بررسی قرار گرفت. نمودار هیدروگراف واحد آبخوان غرب و شرق رودخانه فیروزآباد برای دوره آماری ۲۰ ساله، علی‌رغم نوساناتی که هیدروگراف‌ها با میزان تغییرات بارندگی در بازه‌های زمانی کوتاه دارند، روند افت تراز آبخوان طی این دوره آماری به طور کلی هم در شرق و هم در غرب به شدت نزولی است. مطابق هیدروگراف تهیه شده در طول دوره آماری در غرب رودخانه، سطح آب حدود ۲۰/۸۹ متر زیرزمینی کاهش یافته که میزان نزول متوسط سالانه ۱/۱۸ متر می‌باشد. حداکثر میزان صعود سطح آب

زیرزمینی در سال ۸۴-۸۳ و حدود ۳/۴ متر تحت تاثیر بارندگی این سال می‌باشد که خود نقش بارندگی را در افزایش سطح آب نشان می‌دهد. در بخش شرقی نیز افت شدید دیده می‌شود که میزان افت در طی دوره آماری در این دشت حدود ۲۱ متر است. مطابق این هیدروگراف بارندگی سال ۸۴-۸۳ به مقدار ۶۷۰ میلی‌متر بیش‌ترین تاثیر را نیز در افزایش سطح آب زیرزمینی این بخش داشته است. بررسی نقشه‌های مکانی تغییرات عمق در دشت فیروزآباد در دوره سال‌های آماری نشان‌دهنده بیش‌ترین کاهش و افت آبخوان در دوره ۹۰-۸۵ در شرق و غرب دشت فیروزآباد و در بخش‌های مرکزی و حواشی رودخانه بوده است.

دامنه، مجلهٔ مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۷، سال ۵، ص ۴۷-۶۷.

اسدزاده، ف، شکیبا، س و کاکلی، م (۱۳۹۶) ارزیابی و تحلیل روند کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عجبشیر برای مصارف کشاورزی. نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، ص ۱۲۴-۱۱۴.

اسماعیلی، ر، و حسین‌زاده، م. م (۱۳۹۷) ارزیابی و تحلیل پارامترهای شیمیایی در شاخص کیفیت آب زیرزمینی (WQI) (مطالعه موردی: جلگه ساحلی شهرستان نور، استان مازندران). فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۱، سال ۱۱، ص ۶۳-۴۹.

افضلی، آ، و شاهدی، ک (۱۳۹۳) بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل- بابل. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۰، سال ۵، ص ۱۵۶-۱۴۴.

اکبری‌اریمی، ح، مومنی، ع. ا، و خراسانی، ا (۱۳۹۸) بررسی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت آب زیرزمینی، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۳، شماره ۲۶، ص ۱۱۰-۹۶.

امیدوار، ک، و بهزادی‌کریمی، ح (۱۳۹۶) تحلیل فضایی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی (مطالعه موردی: دشت آباد طشک- جهان آباد). فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴، سال ۱۰، ص ۴۴-۱۹. امیری، ف، اشرفی‌بیرگانی، م، احمدی، ا، و صارمی‌نژاد، ف (۱۳۹۷) نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۲، شماره ۲۳، ص ۱۲۷-۱۱۴.

انصاری، م، و فتوحی، ص (۱۳۹۶) بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر منابع آب زیرزمینی دشت ممسنی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۳۶، سال ۱۰، ص ۸۷-۷۳.

بهمنش، ج، صمدی، ر، و رضایی، ح (۱۳۹۴) بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارومیه). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۴، سال ۲۲، ص ۶۷-۸۴.

حجه فروش‌نیا، ش، و برهانی، م (۱۳۹۹) بررسی خطر وقوع فروچاله‌ها در آبخوان‌های جنوب استان اصفهان با تاکید بر نقاط کارستی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۸، سال ۱۳، ص ۶۷-۴۷.

جندقی، ن، حشمت‌پور، ع، قره محمودلو، م، و پسند، س (۱۳۹۹) اثر خشک‌سالی بر کیفیت منابع آب‌های سطحی استان گلستان جهت اهداف آبیاری، مطالعه موردی: رودخانه گرگان رود. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۸، سال ۱۳، ص ۸۸-۷۵.

بر اساس نقشه هم‌تراز سطح آب در آبخوان غرب رودخانه فیروزآباد، تراز سطح آب زیرزمینی از مقدار ۹۷۵ متر در ناحیه شمال‌غرب دشت به ۸۷۵ متر در ناحیه جنوبی و خروجی دشت می‌رسد. همچنین در آبخوان شرق رودخانه فیروزآباد تراز سطح آب زیرزمینی از مقدار ۹۵۵ متر در ناحیه شمال دشت (ورودی رودخانه) به ۸۹۰ متر در ناحیه جنوبی و خروجی دشت می‌رسد. جهت جریان در بخش غربی از نواحی شمالی و شمال‌غربی به سمت مرکز و جنوبی است. در بخش شرقی جهت جریان از شرق و شمال‌شرق به سمت مرکز دشت و به سمت نقطه خروجی رودخانه فیروزآباد است. نتایج آزمون من-کندال در مورد سطح آب در شرق و غرب دشت و تغییرات روند آن‌ها در طی دوره آماری نشان داد که هم در شرق و هم در غرب به شدت سطح آب زیرزمینی افت کرده است که می‌توان دلیل آن را خشکسالی‌های اخیر و بهره‌برداری‌های شدید از آبخوان دانست. به طوری که میزان بهره‌برداری از آبخوان دشت فیروز آباد در طول دوره آماری حدود ۱۹۶/۸ میلیون متر مکعب بوده که ۱۷/۵ میلیون متر مکعب کاهش ذخیره داشته است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از داوران محترم و سردبیر و هیات تحریریه مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

احراری‌رودی، م (۱۳۹۷) ارزیابی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی استان سیستان و بلوچستان. نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۲، شماره ۲۳، ص ۱۱۳-۱۰۴.

آروین، ع. خ، و هابزاده‌کبری، ق، موسوی، س. ر، و بختیاری‌کیا، م (۱۳۹۸) مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، شماره ۳، سال ۱۰، ص ۳۴-۱۹.

آروین، ع. ع، حبیبیان، ا. ح، و بهارلو، م (۱۳۹۵) اثر نوسانات اقلیمی و برداشت آب بر تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت

- نوروزی، غ. ر.، احمدی‌دستگرد، ع. ق.، رهنما، ج.، و درمیانی، ع (۱۳۹۰) افت سطح آب زیرزمینی و بررسی نشت زمین در دشت درمیان. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، تهران، ۲۲. یوسفی، ع. ح.، نصیری، ب.، کرم‌پور، م. و ملکیان، آ (۱۳۹۷) بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت صحرای باغ). فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۲، سال ۱۱، ص ۹۷-۱۱۲.
- Almedeij, J., AL-Ruwaih, F (2006) Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas. *Hydrology*, 328: 677-684.
- Elmahdi, A (2008) Water banking-landuse approach to improve river productivity and environmental performance. *National Nile Basin Committee*, 1: 94-105.
- Panda, D., Abhishek, M., Jena, S. K., James, B. K., Kumar, A (2007) The influence of drought and anthropogenic effects on ground water levels in Orissa, India. *Hydrology*, 343: 140-153.
- Shahid, S., Hazarika, M. K (2009) Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water Resource Management*, 24(10): 1989-2006.
- Touchan, R., Anchukaitis, K. J., Meko, D. M., Sabir, M., Attalah, S., Aloui, A (2011) Spatiotemporal drought variability in northwestern Africa over the last nine centuries. *Climate Dynamics*, 37(1-2): 237-252.
- Wanda, E., Monjerezi, M., Mwatseteza, J. F., Kazembe, L. N (2011) Hydro-geochemical appraisal of groundwater quality from weathered basement aquifers in Northern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(14-15): 1197-1207.
- Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., Cai, H (2009) Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69(1-2): 35-47.
- خرم‌بخت، ا. ع (۱۳۹۵) واکای کمی تأثیر کیفیت آب زیرزمینی در ارتقاء شاخص توسعه روستایی بر مبنای مدل موریس، مطالعه موردی: شهرستان خنج. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۲، سال ۹، ص ۷۰-۵۷.
- دلاور، ح (۱۳۹۲) بررسی روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب-های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت فیروزآباد، استان فارس). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- رهنما، ه (۱۳۸۸) بررسی روند تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت جوبین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه مازندران، ۱۳۹ ص.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس (۱۳۹۴) مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز رودخانه مند و حوزه‌های بسته هرم، کاریان و خنج منتهی به سال ۸۰-۱۳۸۹. جلد پنجم - ارزیابی منابع آب ضمیمه گزارش شماره ۱۲- گزارش بیلان آب محدوده مطالعاتی فیروز آباد (۲۶۱۲).
- شعبانی، م (۱۳۸۷) تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب، شماره ۱، سال ۱، ص ۵۷-۴۷.
- شمسی‌پور، ع. ا. و حبیبی، ک (۱۳۸۶) ارزیابی اثرات خشکسالی‌ها بر منابع آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی دشت‌های شمال همدان). همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ۱۰.
- عباس‌نژاد، ا. و شاهی‌دشت، ع. ر (۱۳۹۲) بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی. نشریه جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۷، سال ۳، ص ۹۶-۸۵.
- علیزاده، ا (۱۳۸۵) اصول هیدرولوژی کاربردی، جلد ۶، موسسه چاپ و انتشار آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد.
- قانقرمه، ع. ع.، روشن، غ. ر. و نگهبان، س (۱۳۹۶) برنامه مدیریت تطبیقی منابع آبی استان گلستان جهت کاهش ریسک خشکسالی‌های آتی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴، سال ۱۰، ص ۹۵-۱۱۶.
- قنبری، ع. ر (۱۳۹۹) بررسی آسیب‌پذیری دشت خنج - فیشور لارستان با استفاده از مدل دراستیک. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۷، سال ۱۳، ص ۹۵-۱۱۵.
- صادقی، م. م.، ابراهیمی، ب. و پسندی، م (۱۳۹۷) افت شدید سطح آب زیرزمینی و اندرکنش رودخانه-آبخوان (مطالعه موردی: آبخوان نجف‌آباد در حوضه زاینده‌رود). نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۲، سال ۲۲، ص ۱۰۷-۱۲۵.

Investigating of quantitative trend changes in Aquifer water table during 1992 -2011 by Mann-kendall test (Case study: Firoozabad plain, Fars province, Iran)

H. Delavar¹, Gh. Vahabzadeh^{*2}, J. Ghorbani³ and M. R. ashrafi⁴

1- M. S. c. (graduated), of Watershed Management and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2, 3- Assoc. Prof., Dept., of Watershed Management and Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4-Expert of Fars Regional Water Organization

*gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

Received: 2021/1/30 Accepted: 2021/4/6

Abstract

Groundwater in arid and semi-arid areas is one of the important sources for various uses that undergo quantitative changes. One of these areas is Firoozabad plain in the west of Fars province, whose groundwater is the main source of agricultural and drinking water. In this paper, quantitative change in groundwater level of Firoozabad plain, which is one of the agricultural hubs of Iran, were investigated by Mann-Kendall test. The result showed that according to the unit hydrograph of Firoozabad plain in the statistical period of 1992-2011 in the east and west of the river, the general trend of water table changes has a continuous and significant decline, so that in the east of the plain more than 21 Meters and in the west 20.83 meters the groundwater level has dropped. However, due to heavy rainfall (678mm) in 2004, the map of groundwater depth changes in the aquifer in 2001-2006 shows less decline. Changes in the unit hydrograph of Firoozabad plain for the period 2006-2011 show a sharp drop in groundwater level, so that it can be seen in everywhere of aquifer drop. Groundwater balance of the aquifer of this plain in the statistical period indicate that the change in the volume of the aquifer reserve due to additional harvest (discharge) during the statistical period of 17.5 million cubic meters is negative and is the main cause of water table decline. This discharge was mainly provided by exploitation wells. Due to the role of surrounding geological formations in feeding the aquifer of Firoozabad plain, it is not possible to use this resource to compensate for water shortage in the future. Therefore, other water resources in the region, including water transfer from Tangab and Hayqar dams, should be considered. In general, in the margins of the heights, the water source depth decreases more and decreases towards the center of the plain.

Keywords: Firoozabad plain, Groundwater table, Mann-Kendall test, Unit hydrograph.