



دانشگاه کردی و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۷۵-۹۳

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.16103.3144

اثر احداث سد مخزنی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی سد مخزنی شهرچای، دشت ارومیه، ایران)

*اسفندیار عباس نوین‌پور^۱، مهسا محمد حسین‌زاده^۲ و حسین رضایی^۳

^۱استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ^۲دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه،

^۳استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱

چکیده

سابقه و هدف: بارزترین اثر سدها، تغییر رژیم هیدرولوژیکی مناطق پایین‌دست خود است که از جمله این تغییرات می‌توان به تامین دبی پایه دائمی و تغییر در سطح آبخوان پایین‌دست اشاره نمود. ارزیابی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی یک مسأله مهم در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها بوده است. با توجه به عملکرد متنوع عوامل مؤثر در بیلان و هیدروژئولوژیکی در حوضه آبریز دشت شهرچای نیاز به بررسی روندیابی بوده که امری پیچیده است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان شهرچای قبل و بعد از احداث سد مخزنی با استفاده از روش‌های ناپارامتری من‌کنندال، تخمینگر شیب سن، پتی، بویشنند و استفاده از نرم‌افزار MODFLOW می‌باشد.

مواد و روش‌ها: روش‌شناسی این پژوهش مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و آماری بود. در این پژوهش جهت بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی از آمار ۱۵ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۶)، ۱۰ پیژومتر در آبخوان شهرچای استفاده شده است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در تمامی پیژومترها به صورت سالانه و در ماه‌های حداقل و حداکثر سطح آب زیرزمینی آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل آب زیرزمینی آبخوان با استفاده از MODFLOW تهیه شده است. جهت بررسی تغییرات شیب آب زیرزمینی در درازمدت روش کریجینگ در Arc GIS 10.5 مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: پژوهش‌ها نشان می‌دهد که روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در ۸۰ درصد پیژومترها منفی بوده و نقطه شکست در سری زمانی در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ اتفاق افتاده است. در پیژومترهای نزدیک به سد شهرچای معمولاً سال پرش ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ می‌باشد و در پیژومترهای دورتر و در انتهای حوزه آبریز و با فاصله زیاد با رودخانه معمولاً سال پرش بعد از ۱۳۸۷ و ۸۹ یا ۹۰ می‌باشد. از نرم‌افزار MODFLOW با استفاده از اطلاعات چاه‌های پیژومتری و سایر

* مسئول مکاتبه: e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir

مطالعات جهت پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی در شرایط قبل از احداث سد واسنجی و پیش‌بینی انجام گردید. از داده‌های خردادماه سال ۱۳۸۱ جهت تهیه مدل در حالت پایدار استفاده شد و برای سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ سطح آب زیرزمینی با خطای کم‌تری پیش‌بینی شد. با ادامه محاسبات، سطح آب زیرزمینی مشاهداتی تا سال ۱۳۹۶ کم‌تر از پیش‌بینی می‌باشد. همچنین بررسی تغییرات خطوط تراز در ۱۵ سال نشان‌دهنده کاهش شیب کلی حوزه به دلیل عدم تغذیه در اثر احداث سد می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده اثر کاهش سطح آب زیرزمینی ناشی از احداث سد بوده یکی از دلایل آن ذخیره آب در سد در زمان سیلابی می‌باشد. نحوه استفاده از آب ذخیره شده در شرایط فصل زراعی بوده که مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرد در صورتی که قبل از احداث سد سیلاب در آبخوان پخش شده و باعث افزایش سطح ایستابی شده که احداث سد باعث عدم شرایط تغذیه شده است.

واژه‌های کلیدی: تراز آب زیرزمینی، روش‌های روندیابی، سد، MODFLOW

مقدمه

مدل وسیله‌ای جهت ارائه یک بیان تفهیمی یا ترسیمی از سیستم‌های فیزیکی با استفاده از معادلات ریاضی می‌باشد. اگر به‌نحو مطلوبی تنظیم و ساخته شده باشد می‌تواند وسیله‌ای قابل قبول جهت پیش‌بینی لازم به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از منابع آب در نظر گرفته شود (۹). مدل آب زیرزمینی در واقع فرم ساده‌شده‌ای از یک سیستم واقعی آب‌های زیرزمینی است که به‌طور تقریبی همبستگی بین عمل و عکس‌العمل‌های هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارائه می‌دهد (۳). میلر (۲۰۰۰)، از مدل عددی MODFLOW برای شبیه‌سازی یک آبخوان ماسه‌ای-گراولی در منطقه کرتلند نیویورک استفاده کرد. هدف از شبیه‌سازی آبخوان مذکور محاسبه بار هیدرولیکی در شرایط ماندگار و تهیه بیلان آب بوده است (۱۹). سحاب بهشتی (۲۰۰۶) با مطالعه هیدروژئولوژی دشت ملاین و ارائه مدل عددی MODFLOW نشان داد که تراز سطح آب زیرزمینی در طی مدت ۱۱ سال، ۱۴/۲ متر افت داشته، بنابراین کنترل برداشت از سفره از مهم‌ترین مسائلی است که باید مورد توجه باشد

(۲۷). نصیری و دادمهر (۲۰۰۶)، برای سنجش تأثیر نفوذ آب از طریق شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد بر منابع آب زیرزمینی دشت مهاباد، از مدل کامپیوتری MODFLOW استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط کشاورزی و آبیاری جاری در سطح شبکه، مشکل شوری و ماندابی در نقاطی وجود دارد (۲۳). سانیدی و چاندان (۲۰۱۹) در پژوهشی به مدل‌سازی سه‌بعدی ارزیابی تغییرات آلودگی آرسنیک برای زمین‌های چندلایه‌ای از مدل MODFLOW استفاده کردند. نتایج MODFLOW نشان داد که توزیع آرسنیک آلوده به‌طور مستقیم توسط هیدرواستراتوگرافی پیچیده لایه‌ها و آب سطحی و به‌طور غیرمستقیم توسط تغییر در شرایط هواشناسی کنترل می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای به‌دست آوردن و به حداقل رساندن آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک یا مناطق آلوده، راه‌حل مدل‌سازی عددی یک ابزار فنی مناسب در تصمیم‌گیری مؤثر است (۲۸). قاسم و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل GMS به بررسی مدیریت منابع آب زیرزمینی در منطقه المنصوره در حوضه

ساعت‌ساز و همکاران (۲۰۱۱)، به مدل‌سازی آبخوان با رامهرمز با MODFLOW پرداختند. پس از تأیید، مدل به‌عنوان ابزار مدیریتی برای ارزیابی چهار گزینه مدیریت استفاده شد. همراز و همکاران (۲۰۱۶)، به تحلیل عدم قطعیت پارامتری مدل MODFLOW توسط روش GLUE در دشت بیرجند واقع در خراسان جنوبی پرداختند. آن‌ها از مدل MODFLOW کدنویسی‌شده در Matlab برای شبیه‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی دشت، استفاده کردند نتایج مؤکد کارایی مؤثر روش GLUE و همچنین تابع درست‌نمایی استفاده‌شده، میانگین مجذور مربعات خطای وزن‌دهی‌شده، در برآورد عدم قطعیت پارامتری در مدل شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی می‌باشد (۱۴). پارسا صدر و همکاران (۲۰۱۶)، به شبیه‌سازی عددی آبخوان دشت روداب سبزوار و بررسی اثرات احداث سد روداب بر آبخوان دشت روداب سبزوار، واقع در پایین‌دست سد پرداختند. با استفاده از کد مادفلو در محیط نرم‌افزار GMS در صورت وجود و نبود سد روداب شبیه‌سازی‌شده است. نتایج مدل نشان داد منحنی‌های تراز سطح ایستابی ارائه‌شده توسط مدل آبخوان، قبل و بعد از احداث سد روداب با توجه به اختلاف اندک بیلان آب زیرزمینی آبخوان در قبل و بعد از احداث سد و به‌علت تأثیرپذیری کم در اثر تغذیه سطحی تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. (۲۵). انصاری‌فر و همکاران (۲۰۱۷)، به برآورد نوسانات ماهانه تبادل جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی GMS در منطقه ساحلی بندرگز پرداختند. نتایج نشان داد دامنه تغییرات جریان خروجی آب زیرزمینی از آبخوان ساحلی نسبت به تغییرات تراز سطح آب دریا به مراتب بیشتر است. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ایجاد یک گرا دیان هیدرولیکی تحت تأثیر تغییرات نسبتاً محدود تراز سطح آب دریا، می‌تواند تأثیر کاملاً معناداری بر تغییرات جریان

رودخانه دیالی در شرق عراق پرداختند. مدیریت در آب‌های زیرزمینی بر اساس زمان ظهور سلول‌های خشک در مدل GMS انتخاب شده است. نتایج نشان داد که زمان عملیاتی ۶ ساعت در روز عملیات بهینه‌ای بود که در آن میزان افت سطح آب ۸ متر بعد از سال اول و ۱۵ متر در سال ۲۰م، بدون ظهور خشکی، بوده است. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل حساسیت جهت پاسخ به تخلیه آب‌های زیرزمینی در افزایش یا کاهش هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حساسیت نشان داد که تخلیه آب‌های زیرزمینی پاسخ‌های غیرخطی با محدوده دارای حساسیت کمی بوده است (۲۶). صبحی و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی و پیش‌بینی تأثیر توسعه آینده جنوب کانال النباریه بر جریان و سطح آب‌های زیرزمینی پرداختند. مدل MODFLOW نشان داد که حدود ۲۸ میلیون مترمکعب در روز آب سطحی به آب‌های زیرزمینی از کانال و آب آبیاری نفوذ می‌کند. حدود همان مقدار از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های تولیدی، تخلیه‌های باز و از طریق برخی کانال‌ها تخلیه می‌شود. سه سناریو توسعه به‌منظور پیش‌بینی تأثیر افزایش شارژ آبی، ساخت کانال جدید و تخلیه باز جدید و همچنین افزایش پمپاژ در سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، شبیه‌سازی گردیده است (۲۲). چیت‌سازان و همکاران (۲۰۱۵)، به شبیه‌سازی آبخوان دشت گتوند با استفاده از کد MODFLOW در نرم‌افزار GMS، پرداختند. هدف آن‌ها ارزیابی پروژه شستشوی مصنوعی آید سریشه واقع در شمال گتوند بوده است. نتایج نشان داد که شستشوی مصنوعی در قسمت‌های غربی پروژه مؤثر بوده است. آن‌ها نشان دادند پروژه تأثیر مثبتی بر آبخوان دارد، اما به دلیل گسترش فصلی آب و سیلاب، رسوب و خشک‌سالی در سال‌های گذشته، اثر آن کافی نیست (۱۰).

ندارد (۳۰). سری‌های بلندمدت بارش، روزهای بارانی و دما را با روش‌های من‌کنندال و شیب سن در کشور هند کجاین و کامار (۲۰۱۲) مورد پژوهش قرار گرفت که نشان داده‌اند که روند معناداری در سری‌ها وجود ندارد (۱۶). ابارشی و همکاران (۲۰۱۳)، روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت زرین‌گل با استفاده از آزمون ناپارامتریک من‌کنندال اصلاح‌شده و تخمین‌گر شیب سن را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در این دشت کاهش یافته است (۱). اثر نوسانات اقلیمی و برداشت آب بر نوسان سطح تراز آب زیرزمینی دشت دامنه توسط آروین و همکاران (۲۰۱۶) از آزمون من‌کنندال نشان داده‌اند که با کاهش بارش از سال ۱۳۷۰ الی ۱۳۸۰ روند نزولی سطح ایستابی با یک سال تأخیر با شدت بیش‌تری رخ داده است (۵). چوبین و همکاران (۲۰۱۳)، مطالعاتی در بررسی روند تغییرات زمانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در یک زیست‌بوم خشک (آبخوان دشت آسپاس) انجام دادند. نتایج حاصل از آزمون من‌کنندال از نزولی بودن ۸۳ درصد پیژومترها منطقه است و نتایج بررسی شیب روند از افت ۷۳/۵ سانتی‌متری سالانه سطح آب زیرزمینی دشت را نشان داده‌اند (۱۱). گبیرلا و جئوفری (۲۰۱۸)، به تجزیه و تحلیل روند سطح آب زیرزمینی توسط مدل ARIMA در سال‌های اخیر در حوضه رودخانه سفید ولتا غنا پرداختند. آن‌ها از روش‌های غیرپارامتریک برای مطالعه روند بارش باران، دما و سطح آب زیرزمینی از سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ با استفاده از آزمون من‌کنندال، برآورد شیب سن و مدل‌های ARIMA در منطقه شرقی غنا پرداختند که نتایج نشان داد تغییرات فصلی بارش و دما بدون روند وجود دارد (۲). امانزه و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی تغییرات، تجزیه و تحلیل روند زمانی بارندگی و درجه حرارت در شمال مرکزی اتیوپی در زیرحوضه Woleka پرداختند. آزمون من‌کنندال برای تشخیص

خروجی آب زیرزمینی از آبخوان ساحلی بندرگز به خلیج گرگان داشته باشد (۶).

امروزه روش‌های آماری مختلفی برای بررسی روند در سری‌های زمانی وجود دارد که می‌توان به آزمون T، آنالیز رگرسیون، ضریب همبستگی پیرسون، روش اسپیرمن، والد-ولفوتیز و آزمون من‌کنندال (MK) اشاره کرد (۲۴). از بین آزمون‌های ناپارامتریک، آزمون من‌کنندال بهترین روش برای بررسی یکنواختی در سری داده‌ها می‌باشد (۲۹) از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن آن در سری‌های زمانی فاقد توزیع آماری اشاره نمود. از جمله کاربردهای روش‌های ناپارامتریک می‌توان به مطالعه، میرعباسی و دین‌پژوه (۲۰۱۰) اشاره نمود که در آن روند جریان رودخانه‌های شمال کشور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر روند نزولی در مقیاس سالانه در رودخانه‌های شمال کشور بوده است (۲۰). فتحیان و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه سری‌های زمانی فصلی و سالانه دما، بارش و جریان در ۹۵ پیژومتر حوضه دریاچه ارومیه با روش‌های ناپارامتریک من‌کنندال، اسپیرمن و آزمون شیب سن پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که روند افزایش معنی‌دار دما در سراسر حوضه و کاهش کلی در جریان‌های حوضه است (۱۳). فانگ فانگ و همکاران (۲۰۰۷)، روند درازمدت و تغییرات ناگهانی در حوضه بالادست رودخانه زرد مطالعه نموده‌اند. نتایج بررسی داده‌های ۲۳ پیژومتر در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ نشان داده که در همه روش‌ها وقوع یک جهش در متغیرهای دما، بارش، تابش و تبخیر از تشت در طی چهار دهه اخیر قابل تأیید است (۱۲). ژئی و همکاران، (۲۰۰۲)، به بررسی روند بلندمدت سری‌های زمانی بارش و دما در ژاپن پرداختند. بررسی‌های صورت گرفته با روش‌های پارامتری و ناپارامتریک در تشخیص جهش در روند نشان داد که هر چند دمای سالانه دارای روند افزایشی است اما در داده‌های بارش روند معنی‌داری وجود

رودخانه شهرچای، در استان آذربایجان غربی از ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه (واقع در محدوده مطالعاتی سیلوانا- موانا) سرچشمه گرفته و پس از عبور از شهر ارومیه، به دریاچه ارومیه تخلیه می‌گردد. سد مخزنی شهرچای در شمال غرب ایران، در استان آذربایجان غربی و بر روی رودخانه شهرچای در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب غربی شهرستان ارومیه واقع گردیده است. ذخیره و تنظیم آب رودخانه شهرچای به منظور تأمین آب کشاورزی به میزان سالیانه حداکثر ۱۳۲ میلیون مترمکعب جهت ۱۲۵۰۰ هکتار اراضی کشاورزی پائین دست و تأمین تضمین شده آب شرب و صنعت شهر ارومیه ۶۷ میلیون مترمکعب در سال از اهداف طراحی این سد می‌باشد. سد شهرچای از سال ۱۳۸۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در پایین دست سد شهرچای تعداد ۱۰ پیزومتر که دارای آمار ۱۵ ساله هستند جهت بررسی نوسانات منابع آب زیرزمینی دشت استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات پیزومترها و در شکل ۱ موقعیت مکانی پیزومترها در حوضه آبریز شهرچای و محل احداث سد را نشان داده است.

روند سری زمانی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین تغییرات سالانه بارندگی و شاخص شدت خشک سالی پالمر نشان دهنده روند افزایش تعداد سال‌های خشک سالی است (۷).

مواد و روش‌ها

هدف در این پژوهش بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی پیزومترها آبخوان شهرچای قبل و بعد از احداث سد مخزنی بوده است.

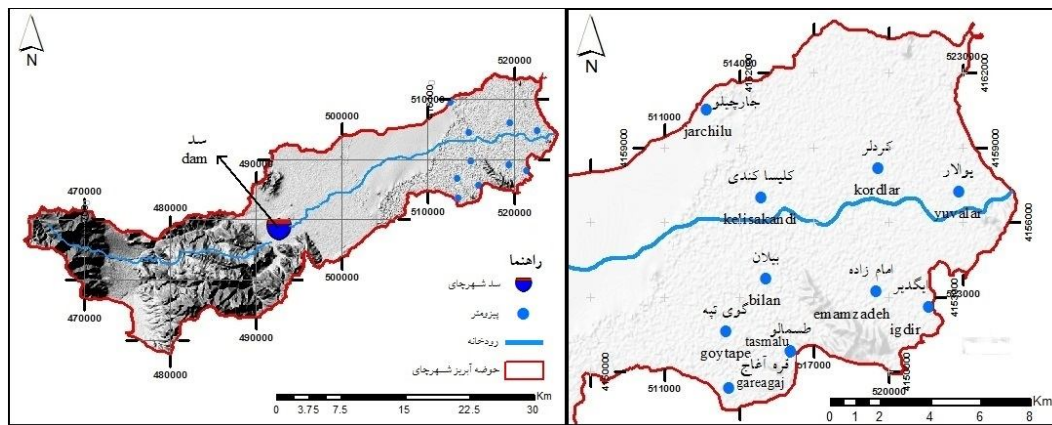
حوضه آبریز شهرچای در استان آذربایجان غربی و در حاشیه غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز روضه‌چای، از غرب به مرز ایران و ترکیه، از جنوب به حوضه آبریز باراندوزچای و از شرق به دریاچه ارومیه محدود می‌شود.

وسعت حوضه آبریز شهرچای ۷۵۳ کیلومترمربع می‌باشد. از نظر مختصات جغرافیایی بین طول‌های ۱۷'، ۴۴° تا ۳۴'، ۴۴° شرقی و عرض‌های ۲۰'، ۳۷° تا ۳۷'، ۳۷° شمالی قرار گرفته است. متوسط ارتفاع دشت ارومیه ۱۳۰۰ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع محدوده مطالعاتی ارومیه در دشت‌ها ۱۹۳۰ و حداکثر آن در ارتفاعات ۲۶۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

جدول ۱- موقعیت مکانی پیزومترها در حوضه آبریز شهرچای.

Table 1. Location of Urmia plain piezometric wells.

نام پیزومتر Station name	مختصات x utm_x	مختصات y utm_y	نام پیزومتر Station name	مختصات x utm_x	مختصات y utm_y
طسمالو Tasmalu	45°10' 53"	37°30' 16"	جارچیلو Jarchilu	45° 8' 29"	37°35' 43"
امام زاده Emanzadeh	45°13' 14"	37°31' 32"	قره‌آغاج Gareagaj	45° 8' 50"	37°29' 07"
کردلر Kurdlar	45°13' 18"	37°34' 13"	گوی تپه Goy tape	45° 9' 7"	37°30' 41"
ایگدیر Igdir	45°14' 50"	37°31' 11"	کلیساکندی Kelisakandi	45° 10' 6"	37°33' 35"
یووالار Youvalar	45°15' 30"	37°33' 42"	بیان Bilan	45°10' 14"	37°31' 50"



شکل ۱- موقعیت پیزومترهای آبخوان شهرچای رودخانه و سد.

Figure 1. Location of the piezometric wells and river dam.

آزمون من‌کنندال یکی از آزمون‌های ناپارامتریک جهت بررسی روند یکنواختی داده‌ها در تحلیل‌های سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی می‌باشد. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کنندال (۱۹۷۵)، تکمیل گردیده است (۱۵) روش من‌کنندال به‌طور متداول و گستره در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود (۱۶). فرض صفر در این آزمون نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری داده‌ها است و فرض یک به معنای وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در این پژوهش از روش محاسباتی آزمون من‌کنندال به کمک نرم‌افزار xlstate انجام گردیده است. که از رابطه ۱ آماره S تعیین می‌گردد (۱۷).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

می‌باشد. تابع علامت به‌شرح زیر قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

زیر مقادیر واریانس و Z قابل محاسبه می‌باشد:

علاوه بر روندیابی تغییرات سفره آب زیرزمینی، روندیابی بارش و حجم آورد رودخانه شهرچای نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته شده است. جهت بررسی تغییرات بارش در منطقه از داده‌های ایستگاه بارن‌سنجی بند واقع در حوزه و همچنین جهت بررسی تغییرات حجم آورد رودخانه نیز از داده‌های ایستگاه هیدرومتری بند استفاده شده است. جهت پیش‌بینی روند تغییرات و مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی نیز از نرم‌افزار MODFLOW استفاده شده و نتایج سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده با نتایج مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته شده است.

که در آن، X_i و X_j مقادیر مرتب شده و n تعداد مشاهدات در داده‌های اندازه‌گیری هر عامل

برای محاسبه مقادیر استاندارد شده آماره S نیاز به محاسبه واریانس بوده که از رابطه‌های

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad n > 10 \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad n \leq 10 \quad (4)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

روش تخمینگر سن (۱۹۶۸) مانند روش من کندال بر اساس تحلیل اختلاف بین مشاهده‌ها در یک سری زمانی بوده که از مزایای این روش می‌توان به کاربرد این روش در سری‌های زمانی که تابع هیچ توزیع خاصی نباشند استفاده می‌گردد (۱۲). در این روش شیب هندسی بین داده‌ها محاسبه می‌گردد و سپس میانه سری شیب‌ها از رابطه ۶ تعیین می‌گردد.

$$\beta = \text{median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (6)$$

در این روش آماره S در سری زمانی با استفاده از رابطه ۱ به محاسبه می‌گردد. آماره k با استفاده از رابطه ۷ تعیین و جهت محاسبه آماره p استفاده شده است.

بیشترین مقادیر S را انتخاب و برابر با k قرار داده می‌شود و از رابطه زیر مقدار p تعیین می‌گردد.

$$k = \max_i [S] \quad (7)$$

$$p = 2.e^{-\frac{6k^2}{n^3+n^2}} \quad (8)$$

که در آن، t در رابطه‌های ۳ و ۴ فراوانی داده‌ها را نشان می‌دهد که اگر مقدار Z بزرگتر از ۱/۹۶ + و یا کوچکتر از ۱/۹۶- باشد، داده‌ها دارای روند بوده و فرض صفر رد می‌شود در غیر این صورت داده‌ها بدون روند می‌باشند (۴).

که در آن، β تخمین شیب خط روند و X_i, X_j مقادیر متوالی مشاهداتی j ام و i ام می‌باشند که مقادیر منفی β روند نزولی و مقادیر مثبت آن روند صعودی را در سری نشان می‌دهد.

روش دیگر محاسبه روند در داده‌ها آزمون پتی بوده که جهت تشخیص نقطه تغییر شکست در سری زمانی می‌باشد.

می‌کنند (۲۱). روش بویشتند براساس جمع جزء سری اصلاح شده S_k^* بوده که نحوه محاسبه در روابط زیر اشاره شده است.

$$s_0^* = 0; s_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \mu) \\ , k=1,2,3,\dots,t, s_k^{**} = s_k^*/\theta \\ Q = \max|s_k^*|, 1 \leq k < t$$

MODFLOW در GMS10 بررسی شده است. کد MODFLOW از تحقیقات سازمان USGS (سازمان تحقیقات زمین‌شناسی امریکا سال ۱۹۸۴) می‌باشد. معادله حاکم بر جریان در محیط متخلخل اشباع در شرایط ناپایدار و محیط غیرهمسان را نشان می‌دهد:

$$k_{xx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_{yy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_{zz} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9)$$

نتایج آزمون من‌کندال برای ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ در جدول ۲ ارائه گردیده است. پیزومتر جارچیلو روند صعودی داشته و با روند بقیه پیزومترها متفاوت می‌باشد که در انتهای شمال‌غربی دشت قرار داشته و با بقیه پیزومترها هیچ تشابهی از نقطه‌نظر روند ملاحظه نمی‌شود و بدون تأثیر از این حوضه آبریز بوده است. پیزومتر قره‌آغاج نیز که در جنوب‌غربی آبخوان واقع شده است فاقد روند معنادار در آزمون من‌کندال می‌باشد. سری زمانی در پیزومترها در ماه‌های مختلف توسط آزمون من‌کندال انجام گردید که ۷۸ سری زمانی روند نزولی، ۱۲ سری زمانی دارای روند صعودی و ۳۰ سری فاقد روند معنادار می‌باشد. (۱۰) پیزومتر در ۱۲ ماه از سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۱. در دو پیزومتر یوالار و کردلر در نیمه دوم سال روند صعودی سطح آب زیرزمینی همسو با روند بارش با تأخیر حداکثر یک‌ماهه بوده است که آرایش استقرار پیزومترها در انتهای پایین دست بوده و

مقادیر p کم‌تر از ۰/۰۵ معنی‌دار و بیانگر نقطه شکست در سری داده‌ها بوده را نشان می‌دهد.

در صورتی که سری داده‌ها از توزیع‌های آماری پیروی نکند از روش آزمون بویشتند (۱۹۸۲) استفاده

که در آن، x_i مقادیر سری زمانی، μ میانگین حسابی سری زمانی، θ انحراف معیار و k نقطه تغییر است. از روش‌های مختلف روندیابی در بررسی عواملی مانند سطح ایستابی پیزومترها، حجم جریان سالانه در رودخانه و مقادیر بارش مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. هیدروگراف سطح ایستابی دشت ارومیه در طول دوره آماری (۱۳۹۶-۱۳۸۱) با استفاده از کد

که در آن، K_{xx}, k_{yy}, k_{zz} هدایت هیدرولیکی در جهات مختلف، W جریان ورودی به سیستم (L/t) ، h بار هیدرولیکی (L) ، S_s ذخیره ویژه (بدون بعد) و t زمان بوده و از روش تفاضلات محدود برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند (۱۸). اولین گام در مدل‌سازی توصیف مدل مفهومی شامل مشخص کردن مرز آبخوان، توپوگرافی سطح زمین و سنگ کف، وارد کردن عوامل بیلان مانند رودخانه، زهکش، منابع تخلیه‌کننده و تغذیه‌کننده آبخوان و مرزهای ورودی و خروجی در چهارچوب هیدروژئولوژیک می‌باشد. (۸).

نتایج و بحث

از آزمون‌های ناپارامتریک من‌کندال، تخمین‌گر شیب سن، آزمون پتی، آزمون بویشتند و همچنین استفاده از نرم‌افزار MODFLOW جهت بررسی تغییرات روند منابع آب زیرزمینی آبخوان شهرچای ناشی از احداث سد شهرچای استفاده شده است.

زیرزمینی منطقه می‌باشد. همه نتایج تغییرات در سایر پیژومترها مشابه روش من‌کندال به دست آمده است.

آزمون پتی و بوشند برای تعیین نقطه شکست در سری زمانی مورد استفاده قرار گرفته شده که نتایج آزمون‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این که در آبخوان شهرچای ماه حداکثر سطح آب زیرزمینی خردادماه و حداقل سطح آب زیرزمینی بعد از بهره‌برداری در فصل زراعی در شهریورماه اتفاق می‌افتد از این دو ماه جهت بررسی سطح آب زیرزمینی و بررسی روند تغییرات مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که ۱۲ سری زمانی دارای نقطه شکست نزولی در سال ۸۶ و ۸۷ می‌باشند که نتایج آزمون بوشند نیز این ۱۲ سری را مورد تأیید قرار داده است. سری زمانی بارش در ایستگاه بند در شکل ۲ نمایش داده شده که فاقد نقطه شکست است همانند آزمون من‌کندال که سری را فاقد روند معنادار نشان داده است و بنابراین سری زمانی حجم آورد رودخانه شهرچای (شکل ۳)، از وجود یک نقطه شکست طبق آزمون پتی در سال ۷۶-۷۵ بوده که دلیل کاهش حجم آورد را می‌توان شروع عملیات احداث سد جهت آماده شدن محل سد و استفاده از روش‌های مختلف انحراف آب دانست. دلایل کاهش سطح آب زیرزمینی زمان بهره‌برداری سد ۸۶-۸۵ به دلیل این که در زمان نیاز آبی فقط رهاسازی می‌شود و فرصتی برای نفوذ در سفره آب زیرزمینی و یا تداوم جریان در رودخانه که محل مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد وجود ندارد.

نتیجه کلی از آزمون پتی و بوشند این که، در پیژومترهای نزدیک به سد شهرچای معمولاً سال پرش ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ می‌باشد و در پیژومترهای دورتر و در انتهای حوزه آبریز و با فاصله زیاد با رودخانه معمولاً سال پرش بعد از ۱۳۸۷ و ۸۹ یا ۹۰ می‌باشد که این بیانگر اثر کاهش سطح پیژومتری آب زیرزمینی ناشی از احداث سد در منطقه می‌باشد که در فاصله‌های متفاوت از سد عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد.

ناشی از انتقال هرز آب‌های شهری و بارندگی به خروجی حوزه می‌باشد و در اکثر پیژومترها در ماه‌های نیمه دوم سال روند نزولی محاسبه شده است که اکثر اراضی اطراف پیژومترها از نوع کاربری کشاورزی می‌باشد.

بیشترین روند کاهش سطح ایستابی در پیژومترهای ایگدیر، امامزاده، طسمالو، بیلان، کلیسا کندی و ایگدیر با روند کاهشی معنادار در سطح اعتماد ۹۹٪ می‌باشد که از نقطه‌نظر موقعیت استقرار پیژومترها جزء مناطق پرمصرف آب زیرزمینی می‌باشد. از نظر تغییرات زمانی بیشترین تغییر در ماه خرداد با $Z = -2/55$ و از نظر تغییرات مکانی نیز منطقه ایگدیر که در انتهای حوزه آبریز شهرچای می‌باشد با $Z = -4/01$ شدیدترین افت در طول دوره ۱۵ ساله در روش من‌کندال محاسبه گردیده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که روند بارش در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد دارای روند کاهشی بوده و در بقیه ماه‌های سال افزایشی یا بدون روند می‌باشد در صورتی که Zg (میانگین روند مکانی داده‌ها) در همه ماه‌های سال از نظر مکانی دارای روند نزولی می‌باشد. نتیجه کلی که روند آبخوان دشت شهرچای در دوره ۱۵ ساله در حال کاهش می‌باشد و دلایل کاهش نیز سطح برداشت با مقادیر تغذیه همخوانی ندارد که باعث کاهش شده است.

نتایج روش شیب سن در پیژومترهای مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه گردیده است. سطح آب زیرزمینی در منطقه جارچیلو دارای روند صعودی ولی در بقیه پیژومترها سری زمانی ماهانه دارای شیب منفی محاسبه گردیده است؛ که در واقع کاهش سطح آب زیرزمینی در دشت را نشان می‌دهد. شدیدترین شیب افت در ماه‌های تیر و مرداد در پیژومتر بیلان که یک منطقه کاملاً کشاورزی و عدم دسترسی آب‌های سطحی در آن منطقه قاعداً مشهود می‌باشد و مجدداً پیژومتر منطقه جارچیلو دارای روند صعودی که مشابه نتایج روش من‌کندال بوده است را نشان می‌دهد که دلیلی بر عدم انطباق پیژومتر فوق با سطح سفره آب

جدول ۲- نتایج مقادیر آماره Z سطح آب زیرزمینی در پیژومترها و بارش به روش آزمون من کندال.

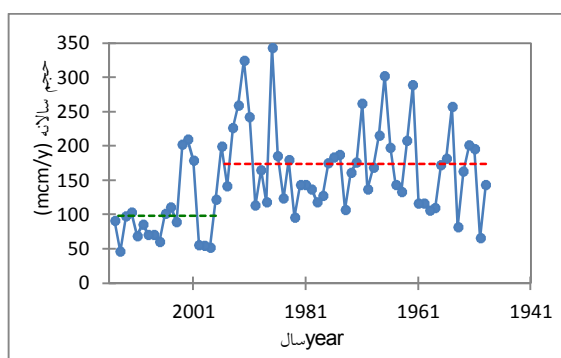
Table 2. Results of test statistics z in water table piezometric wells and rainfall whit mann kendall test.

بارش Rain	Zg	کردلر Kurdlar	کلیسا کندی Kelisa kandi	گوی تپه Goytape	چارچیلو Iarchilu	تاسمالو Tasmalu	قرو آغاج Garegaj	ایگدیر Igdır	امامزاده Emamzadeh	بیلان Bilan	یولار Youvalar	پیژومتر Station
0.5	-1.4	1.3	-1.8 ¹	-2.4 ¹	3 ²	-3.8 ³	0.2	-4.5 ³	-3.7 ³	-2.5 ¹	-0.2	مهر October
0	-1.3	1	-1.6	-2.2 ¹	2.5 ¹	-3.5 ³	-0.2	-4.2 ³	-3.1 ²	-2.4 ¹	0.5	آبان November
0.5	-1.2	0.5	-1.6	-2.3 ¹	3.2 ²	-3.3 ²	0	-4 ³	-2.6 ¹	-2.3 ¹	0.1	آذر December
0.1	-1.2	0.4	-1.9 ¹	-2.4 ¹	4 ³	-2.7 ²	0	-3.8 ³	-3.7 ²	-2.5 ¹	-0.3	دی January
-0.7	-1.4	0	-2.2 ¹	-2.7 ²	3.5 ³	-3.1 ²	-0.1	-3.8 ³	-3.2 ²	-2.8 ²	0	بهمن February
0	-1.3	0	-2.1 ¹	-2.7 ²	3.7 ³	-2.8 ²	0.2	-4.1 ³	-2.7 ²	-2.8 ²	-0.1	اسفند March
0	-1.7	-0.6	-2.8 ²	-2.5 ¹	3.7 ³	-3 ²	0	-3.7 ³	-3.3 ²	-3.2 ²	-1.2	فروردین April
-0.3	-2.2	-2.6 ¹	-3.4 ³	-3.1 ²	3.5 ³	-3.1 ²	-0.3	-3.5 ³	-3.4 ³	-3.4 ³	-2.6 ¹	اردیبهشت May
-0.2	-2.5	-2.2 ¹	-3.7 ³	-3.3 ²	2.5 ¹	-3.8 ³	-0.9	-3.9 ³	-3.7 ³	-3.7 ³	-2.9 ²	خرداد June
-1.0	-2.5	-2 ¹	-3.6 ³	-3.3 ²	2.5 ¹	-3.9 ³	-0.6	-4.1 ³	-4.2 ³	-3.8 ³	-2.6 ¹	تیر July
-0.7	-2.4	-0.2	-3.6 ³	-3.5 ³	2.6 ¹	-4 ³	-0.4	-4.3 ³	-4.3 ³	-3.8 ³	-2.5 ¹	مرداد August
0.7	-2.2	0.7	-3.4 ³	-3.4 ³	2.5 ¹	-4.2 ³	-0.3	-4.6 ³	-4.1 ³	-3.7 ³	-1.4	شهریور September

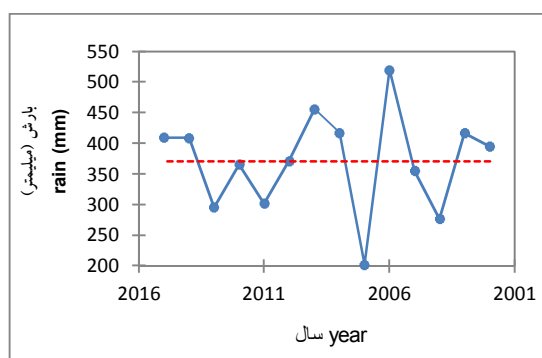
Zk: average of timeseries data, zgr: average of placement data. ¹90%level confidence, ²95%level confidence, ³99%level confidence. /۹۰٪ سطح معنی داری /۹۵٪ سطح معنی داری /۹۹٪ سطح معنی داری /۹۰٪ سطح معنی داری /۹۵٪ سطح معنی داری /۹۹٪ سطح معنی داری می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آزمون روند شیب سن در سطح آب زیرزمینی پیزومترها و بارش منطقه مورد مطالعه.
 Table 3. Results of Sen's estimator in groundwater piezometric wells and rainfall.

بارش Rain	کردلر Kurdlar	کلیسا کندی Kelisa kandi	گوی تپه Goy tape	جارجیلو Jjarehilo	تسمالو Tasmalu	قراغاج Gareagaj	ایگدیر Iigdir	امامزاده Emam zadeh	بیان Bilan	یولار Youvalar	پیزومتر Station
0.3	0.04	-0.23	-0.34	0.17	-0.29	0.02	-0.1	-0.2	-0.35	-0.01	مهر October
0	0.02	-0.19	-0.27	0.16	-0.23	-0.02	-0.1	-0.17	-0.28	0.02	آبان November
0.75	0.03	-0.19	-0.3	0.19	-0.23	0.01	-0.1	-0.15	-0.27	0	آذر December
0.25	0.02	-0.19	-0.29	0.17	-0.25	0	-0.1	-0.14	-0.27	-0.01	دی January
-0.69	-0.02	-0.2	-0.28	0.16	-0.27	-0.02	-0.1	-0.15	-0.28	0	بهمن February
0.13	0	-0.2	-0.29	0.14	-0.25	0.03	-0.2	-0.13	-0.3	-0.01	اسفند March
-0.06	-0.02	-0.26	-0.34	0.11	-0.24	0.02	-0.2	-0.17	-0.32	-0.05	فروردین April
-0.32	-0.07	-0.31	-0.4	0.09	-0.27	-0.01	-0.1	-0.21	-0.4	-0.04	اردیبهشت May
-0.95	-0.05	-0.42	-0.49	0.06	-0.33	-0.04	-0.1	-0.25	-0.57	-0.06	خرداد June
-0.21	-0.05	-0.39	-0.58	0.09	-0.36	-0.02	-0.1	-0.31	-0.61	-0.08	تیر July
0	-0.01	-0.39	-0.61	0.14	-0.37	-0.01	-0.1	-0.32	-0.62	-0.07	مرداد August
0.23	0.03	-0.34	-0.55	0.17	-0.36	-0.02	-0.1	-0.26	-0.55	-0.06	شهریور September



شکل ۳- آزمون پتی حجم جریان سالانه در ایستگاه بند.
Figure 3. Pettit Test the annual discharge in band.



شکل ۲- آزمون پتی بارش در ایستگاه بند.
Figure 2. Pettit Test in rainfall in band.

جدول ۴- نتایج آزمون پتی و بوشند در خردادماه پیزومترهای حوزه.

Table 4. Pettitt and Buishand Range test results in khordad of piezometric wells.

نتایج آزمون بوشند در خردادماه Boishend result in June					نتایج آزمون پتی در خردادماه Pettitt result in June					محل station
اختلاف	میانگین بخش دوم Average second part	میانگین بخش اول Average first part	سال پرش در میانگین Change point year	Q	اختلاف	میانگین بخش دوم Average second part	میانگین بخش اول Average first part	سال پرش در میانگین Change point year	k	نام پیزومتر Station name
-5.1	1289.4	1294.5	1386	6.5	-4.6	1289.2	1293.9	1387	52	بیلان Bilan
-4.3	1291.4	1295.7	1387	6	-4.3	1291.4	1295.7	1387	54	گوی تپه goy Tape
-3.3	1293.2	1296.4	1387	6	-3.3	1293.2	1296.5	1387	54	کلیسا کندی Kelisakandi
-3.1	1285.2	1288.3	1387	6.3	-2.8	1285.2	1288	1387	54	طسمالو Tasmalu
-2.1	1281.4	1283.5	1386	5.9	-2	1281.3	1283.3	1387	52	امامزاده Emamzadeh
-1	1292.4	1293.4	1386	5.3	-1	1292.4	1293.4	1386	50	قره‌آغاج Gareagaj
-1	1277	1277.9	1389	5.7	-1	1277	1277.9	1389	52	ایگدیر Igdirdir
-0.6	1285.1	1285.7	1386	5.8	-0.6	1285.1	1285.7	1386	50	کردلر Kurdlar
-0.5	1277.6	1278.1	1390	4.9	-0.5	1277.6	1278.1	1390	46	یووالار Youvalar
1.1	1294.3	1293.2	1387	5.1	1	1294.3	1293.3	1388	50	جارچیلو Jarchilu

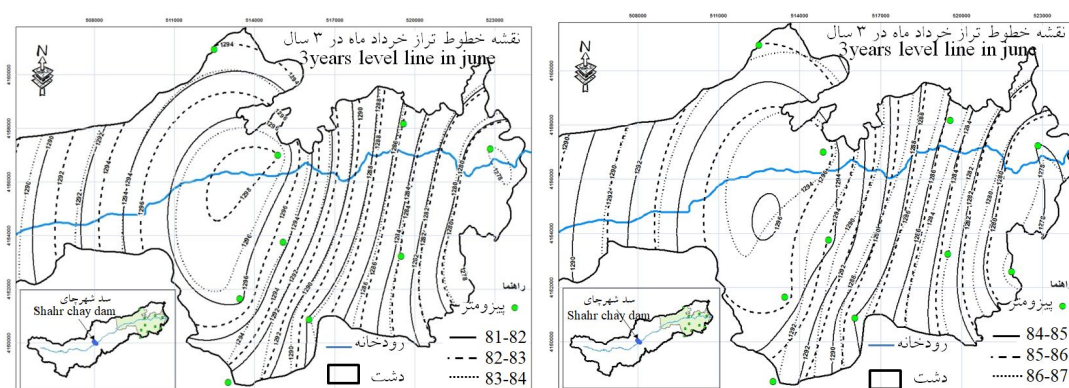
جدول ۵- نتایج آزمون پتی و بوشند در شهر یورماه پیزومترهای حوزه.

Table 5. Pettitt and Buishand Range test results in shahrivar of piezometric wells.

نتایج آزمون بوشند در شهر یورماه Boishend result in June					نتایج آزمون پتی در شهر یورماه Pettitt result in June					محل station
اختلاف	میانگین بخش دوم Average second part	میانگین بخش اول Average first part	سال پرش در میانگین Change point year	Q	اختلاف	میانگین بخش دوم Average second part	میانگین بخش اول Average first part	سال پرش در میانگین Change point year	k	نام پیزومتر Station name
-5.19	1290.3	1295.49	1386	5.8	-5.19	1290.3	1295.49	1386	50	بیلان Bilan
-4.21	1288.7	1292.91	1386	6.1	-4.84	1288.07	1292.91	1386	50	گوی تپه goy Tape
-2.96	1292.81	1295.77	1386	5.53	-2.96	1292.81	1295.77	1386	50	کلیسا کندی Kelisakandi
-2.86	1283.32	1286.18	1387	6.2	-2.86	1283.32	1286.18	1387	54	طسمالو Tasmalu
-2.16	1279.73	1281.89	1386	5.73	-2	1279.65	1281.65	1387	54	امامزاده Emamzadeh
-1.02	1275.85	1276.87	1387	6.09	-0.97	1275.74	1276.71	1389	56	قره آغاج Gareagaj
2.14	1293.46	1291.32	1387	6.47	2.14	1293.46	1291.32	1387	54	ایگدیر Igdir
		1291.01	1386	3.41			1291.01	1386	26	کردلر Kurdlar
		1284.81	1391	2.52			1284.81	1386	8	یووالار Youvalar
		1277.34	1392	3.6			1277.34	1386	26	جارچیلو Jarchilu

شده‌اند. جهت ارائه نتایج بهتر از خطوط تراز منحنی سطح آب زیرزمینی از حداقل و حداکثر تراز سطح آب در حوزه استفاده شده که تغییرات بیشترین و کمترین رقوم تراز سطح آب در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ در جدول ۶ ارائه شده است که می‌توان نتیجه گرفت از ابتدای سال آماری اختلاف ترازهای حداقل ۱/۸۵ متر و اختلاف حداکثر حدوداً به سه متر رسیده است که نشان‌دهنده کاهش شیب کلی حوزه به دلیل عدم تغذیه در اثر احداث سد می‌باشد.

به دلیل این‌که اثر احداث سد در ماه خرداد سال‌های آماری به صورت معنی‌دار از ابتدای حوزه تا انتهای حوزه عکس‌العمل کاهش سطح ایستابی را نشان می‌دهد. بنابراین جهت بررسی روند، منحنی‌های خطوط تراز در ماه خرداد با استفاده از نرم‌افزار GIS در کل سال‌های آماری رسم گردیده است که نتایج در شکل ۴ ارائه شده است؛ این دو شکل نشان‌دهنده کاهش شیب سطح ایستابی آبخوان بوده که در دو شکل تغییرات به صورت واضح نشان داده



شکل ۴- خطوط تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان شهرچای.

Figure 4. Groundwater level lines in Shahrchay basin.

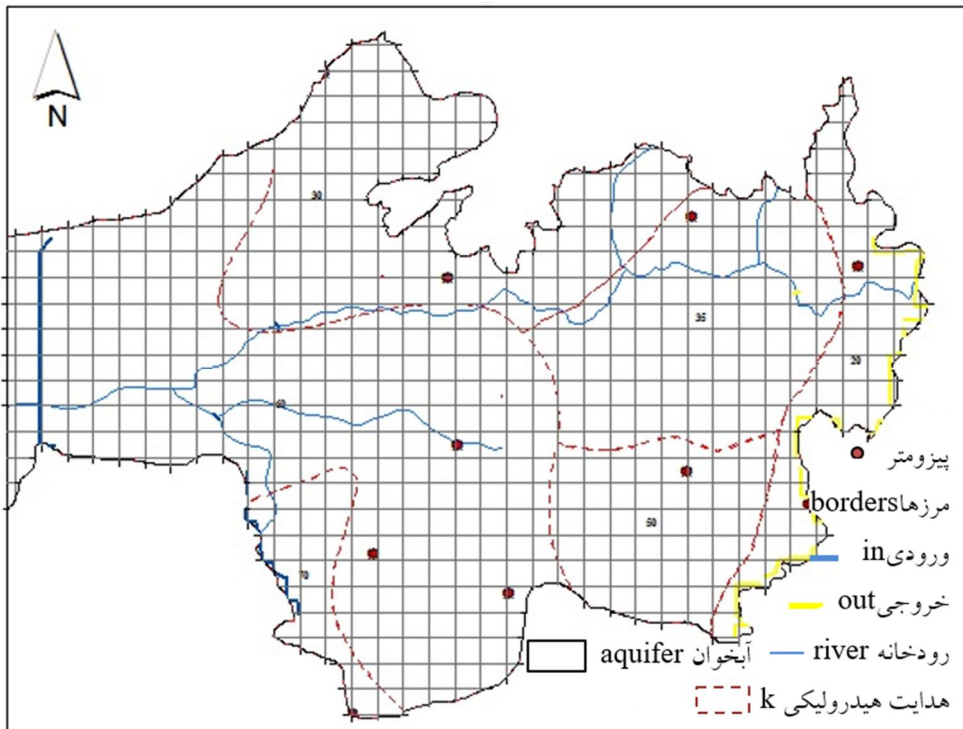
جدول ۶- حداقل و حداکثر تراز آب زیرزمینی در خردادماه حوزه.

Table 6. Minimum and maximum groundwater level in June of basin.

سال	Year	حداقل تراز	Min level	حداکثر تراز	max level
1396	2019	1277.5	1277.5	1295.1	1295.1
1395	2018	1277.4	1277.4	1294.1	1294.1
1394	2017	1278.2	1278.2	1296.8	1296.8
1393	2016	1277.9	1277.9	1295.1	1295.1
1392	2015	1277.9	1277.9	1296.5	1296.5
1391	2014	1278.4	1278.4	1296.5	1296.5
1390	2013	1277.9	1277.9	1297.2	1297.2
1276.1	2010	1276.1	1276.1	1294.3	1294.3
1277.1	2009	1277.1	1277.1	1294.4	1294.4
1277.4	2008	1277.4	1277.4	1294.4	1294.4
1277.6	2007	1277.6	1277.6	1294.9	1294.9
1293.8	2006	1293.8	1293.8	1294.4	1294.4
1294.7	2005	1294.7	1294.7	1294.4	1294.4

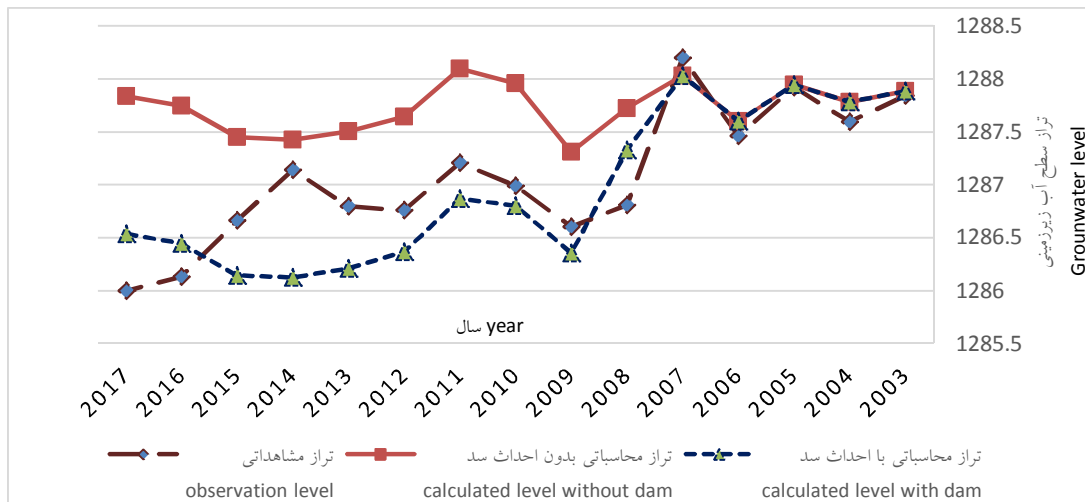
سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ در دو حالت مختلف که شرایط (بدون احداث سد و با لحاظ احداث سد) رودخانه در زمان سیلاب‌ها سطح آب رودخانه بالا (بدون احداث سد سطح آب در زمان بهره‌برداری کشاورزی است مورد بررسی قرار گرفت. که نتایج پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی به‌صورت هیدروگراف در تمامی پیزومترها با هیدروگراف واقعی منطقه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل ۶ رسم شده است. منحنی اول در شرایط افزایش سطح آب در رودخانه در زمان سیلاب و بارش (بدون احداث سد) محاسبه شده است، منحنی دوم افزایش سطح آب در رودخانه در زمان آبیاری و مصرف کشاورزی و یا رهاسازی از سد مشاهده شده است و منحنی سوم تراز محاسباتی به‌دست آمده از شبیه‌سازی نرم‌افزار (با احداث سد) می‌باشد. مقایسه منحنی اول و دوم نشان می‌دهد که در صورت عدم احداث سد سطح آب زیرزمینی در تراز بالاتری باید قرار می‌گرفت.

جهت مدل‌سازی آبخوان شهرچای داده‌های ورودی مدل شامل مرز آبخوان، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ کف، چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌های مشاهده‌ای، لایه هدایت هیدرولیکی و لایه تغذیه سطحی از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به محیط GMS منتقل شدند جهت تهیه مدل مفهومی آبخوان ۵ پوشش شامل: پلیگون مرز آبخوان، پلیگون هدایت هیدرولیکی (حاصل تقسیم ضریب قابلیت انتقال بر ضخامت لایه آبدار)، پلیگون تغذیه سطحی، نقاط چاه‌های بهره‌برداری، نقاط پیزومتری به مدل معرفی شدند. جهت حل معادلات دیفرانسیلی جزئی در مدل گردید. برای مدل آبخوان شهرچای شبکه‌ای با ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ تهیه شد. از تراز پیزومترهای موجود در حوزه در سال ۱۳۸۲ جهت مدل‌سازی آبخوان در حالت پایدار استفاده شده است (شکل ۵). سپس روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومترها با استفاده از مدل تا سال ۱۳۸۵ واسنجی شد. برای



شکل ۵- مشبندی، هدایت هیدرولیکی، مرزهای ورودی و خروجی در مدل MODFLOW.

Figure 5. Grid lines, hydraulic conductivity, input and output general head in MODFLOW.



شکل ۶- هیدروگراف حوزه در ۳ حالت مشاهداتی و شبیه‌سازی شده.

Figure 6. Hydrograph modeled in 3 methods of observational and simulated models.

حداکثر سطح آب زیرزمینی آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تمامی پیزومترها روش من‌کنندال و سن مورد مطالعه قرار گرفت و به‌غیر از پیزومتر جارچیلو در تمامی پیزومترها روند منفی بوده و نشان‌دهنده روند کاهشی تراز سطح آب زیرزمینی است. نتایج

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به بررسی تأثیر احداث سد شهرچای بر روی آبخوان حوزه آبریز شهرچای پرداخته شد. تغییرات سطح آب زیرزمینی در تمامی پیزومترها به‌صورت سالانه و در ماه‌های حداقل و

این بازه زمانی می‌باشد. با توجه به رهاسازی آب از سد در فصول بهره‌برداری نیز همچنان روند افت در آبخوان ادامه داشته است. که این موضوع نشان‌دهنده عدم کافی بودن میزان رهاسازی سد جهت تغذیه آبخوان می‌باشد. از راهکارهای مفید جهت افزایش سطح ایستابی در دشت رهاسازی آهسته از سد در فصول غیربهره‌برداری جهت تغذیه آبخوان و یا ایجاد حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در ورودی آبخوان می‌توان اشاره نمود.

آزمون پتی و بویشنده نشان‌دهنده وجود نقطه شکست در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۶ بوده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی آبخوان نیز تأییدکننده نتایج آزمون‌های ناپارامتریک می‌باشد. به طوری که بعد از سال ۸۶ شاهد افت در پیزومترها با ثابت نگه‌داشتن شرایط هیدرودینامیکی آبخوان در شرایط پایدار هستیم. بررسی شیب سطح آب زیرزمینی نیز نشان‌دهنده افزایش شیب سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳ است که نشان‌دهنده تخلیه بیش‌تر از سفره در

منابع

1. Abarashi, F., Meftah Halagi, M., and Dehgani, A. 2013. The Process of Changing Groundwater Quality in Zaringol Plain Using Non-parametric Modified Mineralogy and Estimator of Slope. *J. Water Soil Cons. Stud.* 21. 3: 79-100. (In Persian)
2. Abass, G., Geophrey, A., and Dickson, Ad. 2018. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development.* 6: 150-163.
3. Akbarpour, A., Azizi, M., and Shirazi, M. 2002. Managing groundwater exploitation of Mokhtaran plain using a finite difference mathematical model in GMS6.5 environment. The 9th Hydraulic Conference of Iran. https://www.civilica.com/Paper-IHC09-IHC09_111.html (In Persian)
4. Alizadeh, A. 2006. *Applied Hydrology Principles*. Imam Reza University Press (AS), Twentieth Edition, Eighth Edition, 807p. (In Persian)
5. Amogne, A., and Belay, S. 2018. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-bas. *Weather and Climate Extremes.* 19: 29-41.
6. Ansarifar, M., Salarijazi, M., Khalil Ghorbani, K., and Abdol-Reza Kaboli, A. 2018. Estimation of Monthly Oscillations of the Groundwater Exchange in Coastal Area. *J. Eco Hydrol.* 5: 4. 1233-1240. (In Persian)
7. Arvin, A., Halabian, A., and Baharloo, M. 2015. Effect of climatic fluctuations and water withdrawal on changes in groundwater level in plain Damaneh. *J. Natur. Environ.* 5: 7. 47-67. (In Persian)
8. ASTM. 1996. *Standard Guide for Gub-surface Glow and Gransport Godeling*. American Society for Testing and Taterials, Designation D, 5880-90.
9. Brewer, K., Fogle, T., Stieve, A., and Barr, C. 2003. *Uncertainty analysis with site-specific groundwater models: experiences and observations*, US Department of Energy, Oak Ridge, TN.
10. Chitsazan, M., and Movahedian, A. 2015. Evaluation of Artificial Recharge on Groundwater Using MODFLOW Model (Case study: Gotvand Plain-Iran). *J. Geosci. Environ. Prot.* 3: 122-132. (In Persian)
11. Choobin, B., Malekian, A., and Ghareh Chai, H. 1391. Study on the trend of time variation of surface water level in groundwater in a plain. *J. Dry Ecosyst. Engin.* 1: 1: 39-50. (In Persian)
12. Fangfang, Z., Zongxue, X., and Junxiong, H. 2007. Long-term trend and abrupt change for major climate variables in the upper Yellow river basin. *Acta Meteorologica Sinica.* 21: 204-214.
13. Fathian, F., Morid, S., and Kahya, E. 2015. Identification of Trends in Hydrological and Climatic Variables in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology.* 119: 443-464. (In Persian)

14. Hamraz, B., Akbarpour, A., and Pourreza Bilondi, M. 2016. Assessment of parameter uncertainty of MODFLOW model using GLUE method (Case study: Birjand plain). *J. Water Soil Cons.* 22. 6: 61-79. (In Persian)
15. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Measures. 4th Edition. Charles Griffin, London.
16. Kumar, S., and Jain, K. 2012. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. *Current Science.* 102. 1: 37-49.
17. Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., and Wallis, J.R. 1994. Hydroclimatological trends in the continental United States. *J. Clim.* 7: 4. 586-607.
18. McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. 1988. A modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. United States Geological Survey (USGS), Chapter A1.
19. Miller, T.S. 2000. Simulation of Groundwater Flow in an Unconfined Sand and Gravel Aquifer at Marathon, Cortland County, New York. USGS: 1-29.
20. Mirabaisi, R., and Din Pajouh, Y. 2010. Analysis discharge of rivers in northwest of Iran in three decades. *Water Soil J.* 24: 4. 7-8. (In Persian)
21. Mofidi, M., Hamidianpur, M., and Alijani, B. 2013. Determine the start, end, and wind speed of Sistan using the methods of estimating the change point. *Geography Magazine and environmental hazard.* 8: 87-112. (In Persian)
22. Mohamed, M., Nahed, S., El-Arabi, E., Esam El Deen, Y., Basma, H., and Awad, S. 2017. Management of water resources to control groundwater levels in the southern area of the western Nile delta, Egypt, *Water Science.* 31: 2. 137-150.
23. Nasri, B., and Dadmehr, R. 2006. Influence of water penetration through irrigation and drainage network of Mahabad on groundwater of Mahabad plain. Master's degree in irrigation. urmia university. 150p. (In Persian)
24. Nourani, V., Nezamdoost, N., Samadi, Daneshvar, M., and Vousoughi, F. 2015. Wavelet-Based Trend Analysis of Hydrological Processes at Diffrent Timescales, *J. Water Clim. Change.* 6: 3. 414-435. (In Persian)
25. Parsa Sadr, H., Mohammadzadeh, H., and Nassery, H. 2017. Numerical simulating of Sabzevar Roudab aquifer and checking of influences of constructing Sabzevar Roudab dam on it. *J. Water Soil Cons.* 23: 1. 119-135. (In Persian)
26. Qassem, H., Jalut, Nadia L., and Abbas Abdulrahman Mohammad, T. 2018. Management of groundwater resources in the Al-Mansourieh zone in the Diyala River Basin in Eastern Iraq *Groundwater for Sustainable Development.* 6: 79-86.
27. Sahab Beheshti, A. 2006. Hydrology study of Mline plain and its numerical modeling using Madflo code for optimal management of groundwater resources. Master's thesis, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University. 120p. (In Persian)
28. Sandip, S., and Sathe, Chandan Mahant. 2019. Groundwater flow and arsenic contamination transport modeling for a multi aquifer terrain: Assessment and mitigation strategies. *J. Environ. Manage.* 231: 166-181.
29. Yue, S., and Wang, C.Y. 2002. Assessment of the Significance of Sample Serial Correlation by the Bootstrap Test. *Water Resources Management.* 16: 1. 23-35.
30. Zhang, X., Lucie, A., Vincent, L.A., Hogg, W.D., and Niitso, A. 2000. Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century, *Atmosphere-Ocean.* 38: 3. 395-429.



The effect of reservoir dam construction on groundwater fluctuations (Case study: Reservoir Dam ShahreChay, Urmia Plain, IRAN)

***E. Abbas Novinpour¹, M. Mohammad Hoseinzadeh² and H. Rezaie³**

¹Assistant Prof., Dept. of Geology, University of Urmia,

²M.Sc. Student, Dept. of Geology, University of Urmia,

³Professor, Dept. of Water Engineering, University of Urmia

Received: 01.26.2019; Accepted: 05.22.2019

Abstract

Background and Objectives: The most distinguished effect of dams is change in the hydrologic regime of its downstream areas, which can be attributed to permanent supply flow and changes in the level of groundwater. The assessment of groundwater level changes is an important issue in analyzing hydrogeological time series of aquifers. Considering the different performance of effective factors in budget and hydrology in the catchment area of ShahreChay plain, it is necessary to review the trend analysis, which is complicated. Investigating temporal and spatial variations of groundwater levels in planning and managing sustainable water resources in arid and semi-arid regions is very importance. The purpose of this study was to evaluate the changes in trend of groundwater level of the aquifer piezometers in the ShahrChahi before and after the construction of the reservoir with the use of nonparametric methods of Mann-Kendal, the Sen's slope, Pattit, Boishand and comparind with the result of the MODFLOW software.

Materials and Methods: The methodology of this research was based on library, field, and statistical methods. In this study, 10 stations in ShahreChay aquifer were used to study the groundwater level changes from 15 years (1381-1396). Ground water level trend at all stations were evaluated annually and at minimum and maximum water levels of the aquifer. The groundwater model is provided using the Modflow code in the GMS software. In order to investigate the longitudinal groundwater slope changes, the Kriging method was used in GIS 10.5 software.

Results: The researches show that the trend of ground water level changes in the 80% of piezometers was negative and a failure occurred in the time series in 2007-2008. At the stations closer to ShahrChay Dam, it is usually the year of jumping from 2007 to 2008. It is usually the year of jumping after 2007, 2008, or 2009 at far and near the riverside and far off the rivers. In Modflow software, with using piezometric wells and other studies to predict the level of groundwater level in the stable state of the dam calibration and prediction was performed. Data from June 2002 were used to prepare the model in a steady state Modflow software was used to predict the level of groundwater level in the steady state of the dam calibration and prediction. For the years 2003 to 2005, groundwater level was predicted with less error. Continuing calculations, the groundwater level of observation by 2017 is less than predicted. Also, the study of changes in 15 years isopotential lines indicates a decrease in the slope of the basin due to the lack of nutrition due to the construction of the dam

* Corresponding Author; Email: e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir

Conclusion: The results show the effect of reducing the surface water level caused by the dam construction. One of the reasons is the water storage in the dam at flood time. How to use the stored water in the crop season conditions that are directly used before construction the dam the flood distributed in area and causes an increase in the level of ground water that construction dam haven't been caused the recharge in the groundwater.

Keywords: Dam, Groundwater level, Trend analysis Methods, Modflow

