هیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۹
Hydrogeology, Volume 5, No. 1, Summer 2020

بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با رودخانه و تحلیل ضریب جریان روزانه آن

بهزاد سعیدی رضوی[۱]، علیرضا عرب*[۲]

۱- استادیار پژوهشی، گروه پژوهشی ساختمانی و معدنی پژوهشگاه استاندارد کرج- ایران

۲- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان

* نویسنده مسئول: alirezaarab_1346@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

چکیده

در سال‌های اخیر لزوم مدیریت یکپارچه منابع آب باعث شده تا بررسی برهمکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی اهمیت زیادی پیدا کند. هم‌اکنون مراکز تحقیقاتی زیادی در سرتاسر دنیا بر شناسایی مکانیزم‌ها و پیامدهای برهمکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی متمرکز شده‌اند. روش‌های مختلف صحرایی و مدل سازی نیز همگام با این تلاش‌ها توسعه پیدا کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین انواع تبادلات آبی در حوزه‌های آبریز مناطق خشک و نیمه خشک، بین رودخانه‌ها (به عنوان معمول‌ترین منابع آب سطحی) و آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد. این تبادلات آبی کمیت و کیفیت منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه، با بررسی ضریب جریان روزانه، ارتباط بین تغییرات ضریب جریان رودخانه و سطح آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه برآورد گردیده است. در این ارتباط داده‌های روزانه تراز آب زیرزمینی، بارش، و جریان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج قابل قبولی بین ضریب جریان رودخانه و سطح تراز ایستابی را در مقیاس روزانه نشان داد. همچنین رابطه‌ی جریان با تراز سطح ایستابی و درنهایت ارتباط جریان با بارش و تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی چند متغیره با همبستگی بالا به دست آمد و با مشتق گرفتن از این روابط تغییرات آن‌ها نسبت به تراز سطح ایستابی به‌صورت عددی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آذرشهرچای، آب زیرزمینی، بارش، سطح ایستابی، ضریب جریان.

مقدمه

پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه علم و تکنولوژی علی رغم اینکه زندگی بشر را به مراتب راحت‌تر نموده اما در برخی موارد و از جمله منابع آب زیرزمینی این پیشرفت‌ها همراه با بی‌مهری بوده است و حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق توسط دستگاه‌های پیشرفته در چند دهه اخیر و برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به خاطر عدم آگاهی اغلب بهره‌برداران از سازوکار آبخوان‌ها، این ماده گران‌بها را با مشکل جدی مواجه کرده است. امروزه مدیریت منابع طبیعی یکی از اصلی‌ترین پیش‌نیازهای توسعه پایدار در هر کشوری به شمار می‌رود و از این میان مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین منبع آب در کشورهای خشک که میزان نزولات جوی آن پایین‌تر از متوسط جهانی است، امری بسیار حساس می‌باشد. افت شدید سطح آب زیرزمینی و کاهش ذخیره آبخوان منجر به اثرات زیست محیطی زیان‌بار متعددی از جمله کاهش آبدهی چاه‌ها، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و همچنین کاهش ذخیره منابع آب سطحی دارای ارتباط هیدرولیکی با آبخوان می‌شود.

رودخانه‌ها بر اساس ارتباط با آب زیرزمینی به سه دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول آبخوان را زهکش، دسته دوم آبخوان را تغذیه

و دسته سوم نیز به هر دو صورت عمل می‌کنند (وینتر و همکاران، ۱۹۹۸). جهت جریان بین رودخانه و آبخوان اغلب دارای روند ثابتی نیست و ممکن است در طول زمان تغییر کند. در بسیاری از نواحی آب زیرزمینی و آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها و...) با آب زیرزمینی ارتباط هیدرولیکی دارند و برداشت از هرکدام از این منابع و یا تغییر کیفیت هر یک می‌تواند بر روی دیگری اثرگذار باشد (جاوید، ۱۳۸۵)، به همین دلیل به‌منظور مدیریت مؤثر منابع آب، درک اصول زیربنایی روابط حاکم بر ارتباط آب زیرزمینی و آب سطحی ضروری و حیاتی است، به‌ویژه در مناطقی که آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند؛ بنابراین شناخت درست و اساسی از چگونگی ارتباط هیدرولیکی منابع آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، مخصوصاً رودخانه‌های دائمی که در بخش کم‌عمق آبخوان جریان دارند از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در مدیریت بهینه و استفاده درست از این منابع می‌تواند مؤثر واقع گردد.

امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی به‌منظور شبیه‌سازی آبخوان و شرایط حاکم بر آن به امری متداول در مبحث آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۱) مطالعات مدل‌سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) صورت گرفت. در پی این اقدام اولین آبخوانی که مدل آن تهیه شد، آبخوان دشت ورامین (جنوب شرقی تهران) بوده است (عطارزاده، ۱۳۶۰). توسلی و چیت‌سازان (۱۳۷۷) با استفاده از مدل عناصر محدود آبخوان دشت مهیار را شبیه‌سازی و مقدار هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه آبخوان را بهینه کردند. سپس با استفاده از مدل ساخته‌شده، شیوه‌های مختلف بهره‌برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و آب انتقالی از زاینده‌رود به دشت مهیار را بررسی نموده و گزینه برتر را انتخاب کردند. کاظمی (۱۳۸۱) با استفاده از مدل شبیه‌سازی آبخوان دشت قوچان- شیروان را با هدف ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریتی بررسی کرد. احمدی افزدی و چیت‌سازان (۱۳۸۱) از مدل تفاضلات محدود Visual Modflow برای مدیریت منابع آب دشت کرمان استفاده کردند. چیت‌سازان و نوذرپور (۱۳۹۴) ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند، چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۴) پیش‌بینی اثر متقابل رودخانه-آبخوان در دشت دوسلوق در استان خوزستان با استفاده از MODFLOW را انجام دادند. هدف از ساخت مدل ریاضی یک آبخوان، شبیه‌سازی شرایط طبیعی جریان آب زیرزمینی با استفاده از روابط ریاضی است. در صورتی که شبیه‌سازی یک آبخوان با موفقیت صورت گیرد می‌توان با دقت مناسبی در مباحث مدیریتی از آن بهره گرفت، آگاهی و درک ارتباط بین آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی باعث افزایش قابلیت مدل‌های تفهیمی و ریاضی و بازسازی صحیح رابطه متقابل و پیچیده منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود. در این ناحیه تنها یک مورد تحقیق در بخش کوچکی از آبخوان انجام شده و شرایط حاکم بر سایر نواحی دشت مورد بررسی قرار نگرفته است. پمپاژ بیش‌ازحد از آبخوان در نزدیک رودخانه می‌تواند، باعث خشک شدن رودخانه شود. برداشت بیش‌ازحد از رودخانه نیز می‌تواند جریان را از آبخوان به داخل رودخانه برقرار کند. طی دوره‌ای که بارش بیش‌ازحد معمول است، در حداکثر موارد آب سطحی مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ همچنین قسمتی ازآن‌جهت افزایش ذخیره آب زیرزمینی و بالا بردن سطح ایستابی به آن تغذیه می شود. برعکس طی دوره خشک، کم‌آبی منابع سطحی با پمپاژ از آب زیرزمینی جبران می‌شود و درنتیجه سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (اصغری‌مقدم، ۱۳۸۹). کاهش بی‌سابقه سطح آب دریاچه ارومیه در چند سال اخیر را می‌توان ناشی از عوامل مختلفی از قبیل خشکسالی‌های پی‌درپی (تغییر شرایط اقلیمی و کاهش نزولات جوی)، سدسازی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب حوضه، افزایش دما و تبخیر از سطح دریاچه، پایین بودن راندمان آب آبیاری در کشاورزی و کاهش مقدار جریان ورودی (مجموع جریانات سطحی و بارندگی) بر سطح دریاچه نسبت به جریانات خروجی از آن یعنی تبخیر از سطح دانست. عوامل بارش،

دما و تبخیر به خصوصیات هواشناسی منطقه بستگی دارد؛ مسئله‌ی موردمطالعه کاهش جریانات سطحی، ورودی به دریاچه ارومیه است. مفهوم ضریب جریان برای اولین بار در قرن بیستم مطرح‌شده است. درواقع ضریب جریان بخشی از بارندگی است که به‌طور مستقیم به رواناب تبدیل می‌شود (شرمن، ۱۹۳۲). در حال حاضر نیز به‌منظور طرح و محاسبات مهندسی و به‌عنوان پارامتری برای نشان دادن میزان رواناب تولیدی در حوضه‌های آبریز استفاده می‌شود. به‌طورکلی افزایش یا کاهش این ضریب تحت تأثیر هر شرایطی بسیار مهم و قابل‌توجه است. افزایش ضریب جریان به علت کاهش پوشش گیاهی، افزایش بارش، افزایش سطح آب زیرزمینی و غیره رخ می‌دهد. افزایش ضریب جریان موجب افزایش جریان رودخانه، سیل، خسارات می‌شود و کاهش آن، سبب کاهش جریان می‌شود. اغلب روش‌های مورداستفاده در برآورد سیلاب در حوضه‌های کوچک روش منطقی (RM[59]) و روش سازمان حفاظت خاک آمریکا روش (SCS[60]) است (لینسلی، ۱۹۸۲) و (چاو، ۱۹۸۱ و ۱۹۸۸). پارامترهای اصلی برای روش منطقی، ضریب جریان (CR) و برای روش(SCS)، شماره منحنی است. این روش‌ها در طراحی و تخمین دبی سیل در شرایطی که فقط داده‌های بارش موجود است، استفاده می‌شود (شن، ۲۰۰۸) ضریب رواناب، شاخص ساده منعکس‌کننده ارتباط بارش رواناب است؛ که ممکن است یک شاخص جامع برای توصیف محیط‌زیست، از چرخه آب منطقه‌ای باشد (لیکون، ۲۰۰۷). ضریب جریان تابعی از جریان رودخانه است و درک ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه‌ها و سفره‌های آب آبرفتی یک نیاز برای منابع آب در دسترس، در مدیریت منابع سطحی و زیرزمینی است (وینتر و همکاران، ۱۹۹۸). طرح‌های توسعه منابع آب و کشاورزی در کنار اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی، منجر به تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و کاهش آب‌های سطحی پایین‌دست می‌شود. این امر به‌نوبه خود موجب اثرات منفی در اکوسیستم رودخانه شده و بقای موجودات زنده را به خطر می‌اندازد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹). از عوامل اصلی بحران دریاچه ارومیه، کاهش سهم جریان ورودی از رودخانه‌ها در چند دهه گذشته در اثر مصارف زیاد آب در بخش کشاورزی بوده است (احمدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). سراج رضایی (۱۳۸۷) با بررسی تبادل آبی رودخانه و آبخوان برای دشت آذرشهر وضعیت رودخانه را ازلحاظ درون‌ریز و برون‌ریز بودن بررسی کرد. نتایج مطالعه او حاکی از این بود که در قسمت‌های مرتفع دشت رودخانه قلعه‌چای غالباً برون‌ریز بوده و در مرکز دشت حالت درون‌ریز دارد. حالت برون‌ریز رودخانه در نقاط مرتفع دشت ثابت نبوده و در طی سال‌های ۸۲-۸۴ تغییر حالت داشته است (درون‌ریز به معنی نشت از رودخانه به سفره و برون‌ریز به معنی نشت از آب زیرزمینی به رودخانه است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی رابطه بارش و رواناب در حوضه آبریز سد برنجستانک و نیز برآورد ضریب رواناب حوضه که ۶۵ درصد بود، نشان دادند که همبستگی خوبی بین بارش و رواناب ماهانه در حوضه وجود داشته و بهترین رابطه برازش داده‌شده بین بارش و رواناب از نوع خطی است. باقری (۱۳۹۰) روابط بارش- رواناب و ضریب رواناب را در حوضه آبریز نیشابور بررسی کرد. او با تعریف سه سناریوی متفاوت در مقیاس‌های زمانی مختلف برای هرکدام از پدیده‌های بارش و رواناب و ضریب رواناب حوضه به‌صورت مجزا، ارتباط رگرسیونی این پدیده‌ها را با عوامل جغرافیایی و توپوگرافی حوضه پیش‌بینی کرد و درنهایت به این نتیجه رسید که سناریوی با در نظر گرفتن بیش‌ترین تعداد عوامل، ارتباط قوی‌تری را نشان می‌دهد. فرخ نیا و مرید (۱۳۹۳) با بررسی تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه به این نتیجه رسیدند که تغییرات روند بارش و دما بر جریان حوضه تأثیر دارند طوری که کاهش بارش و افزایش دما در اکثر ایستگاه‌ها باعث کاهش جریان رودخانه شدند. پرهمت و همکاران (۱۳۹۳) رابطه ضریب رواناب و شدت بارش را در اراضی مرتعی بررسی کردند. قنواتی و ندافیون (۱۳۹۶) پتانسیل سیلاب

[59] Rational Method

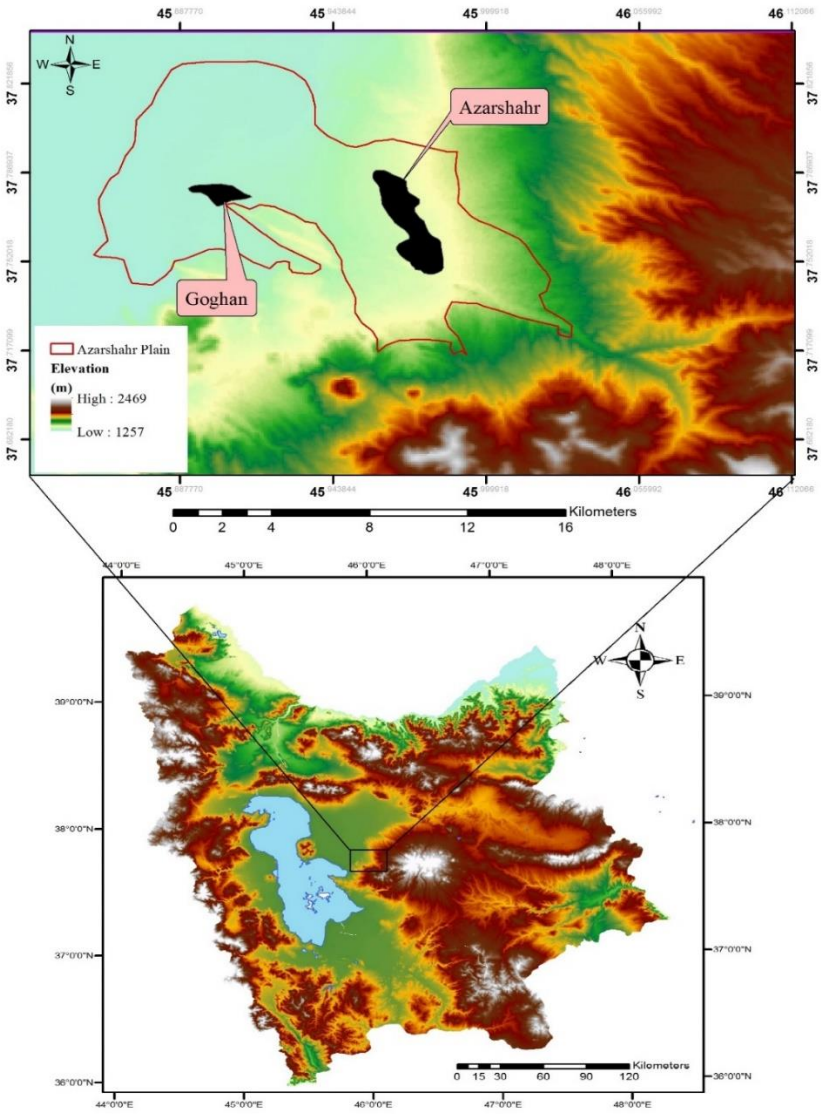
[60] The Soil Conservation Service

حوضه را با استفاده از روش بارش-رواناب SCS برای حوضه‌ی آبریز تهران بررسی کردند. نتایج نشان داد در قسمت جنوبی حوضه با توجه به از بین رفتن پوشش گیاهی، گسترش شهر از جنوب، تغییر کاربری زمین و شکل حوضه که به صورت کشیده است، احتمال رخداد سیلاب بیشتر از سایر نقاط حوضه است. پیفستر (۲۰۰۲) تغذیه آب زیرزمینی را با استفاده از معادله بیلان و داده‌های بارش، رواناب رودخانه و سطح آب زیرزمینی بررسی نموده و رابطه رگرسیونی بین تعادل آبی و ضریب رواناب رودخانه آلزیتی در طی بارش‌های زمستانه به‌دست‌آمده که همبستگی ۷۵/. برای حالت اشباع حوضه مشاهده شد. همچنین برای رویدادهای بارشی که میزان تبادل آبی ۱۸۰ میلی‌متر (بیشتر) را دارا بودند، رابطه خطی بین بارش نهایی و جریان نهایی در رودخانه آلزیتی به دست آمد و همبستگی آن‌ها ۹۹/ نتیجه شد. کینوشیتا (۲۰۰۳) با استفاده از داده‌های ۵۰ سال پیش کشور ژاپن، ضریب رواناب را پیش‌بینی و مورد بحث قرارداد. او مقادیر ضریب رواناب را تابعی از شدت بارش معرفی نموده و لحاظ کردن داده‌های جدید را برای پیش‌بینی دقیق‌تر پیشنهاد داد. ولپوری (۲۰۱۳) با بررسی روند درازمدت بارندگی و رواناب و ضریب رواناب در بخش مهمی از آبخیز شهری در ایالات‌متحده آمریکا را با استفاده از آزمون فصلی من- کندال برای پیش‌بینی‌های ماهانه در ۲۱ مرکز شهری در ایالت متحده آمریکا بررسی نمود. نتایج مطالعه‌ی او حاکی از آن بود که تنها ۵ مرکز شهری دارای روند صعودی در بارش، ۱۲ مرکز شهری دارای روند صعودی در ضریب رواناب بودند. با تجزیه و تحلیل‌های انجام‌شده در اغلب آبخیزهای شهری تأثیر انسان روی رواناب مشاهده شد. به‌منظور جلوگیری از اتلاف سرمایه و مدیریت بهینه سدها و مخازن آب ازلحاظ کاهش جریان ورودی به آن‌ها و همچنین افزایش سطح تراز مخازن، بررسی ارتباط ضریب جریان رودخانه و سطح تراز آب زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارا در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح مخازن مورداستفاده قرار گیرد و نتایج می‌تواند به‌عنوان یک روش راهبردی، در نجات مخازن و دریاچه‌ها (به‌خصوص دریاچه ارومیه) و احیای آن مورداستفاده قرار گیرد(عصری و همکاران، ۱۳۹۷). مدیریت مناسب آبخوان دشت آذرشهر با توجه به تهدید منابع آبی در اثر کشاورزی شدید و وجود چاه بهره‌برداری زیاد از آب‌های زیرزمینی در منطقه، امری کاملاً لازم و بدیهی می‌باشد. متأسفانه بهره‌برداری بی‌رویه از یک‌سو و افزایش آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی دشت آذرشهر از سوی دیگر، باعث نگرانی‌هایی در خصوص منابع آب این منطقه شده است. در این مطالعه تغییرات جریان رودخانه آذرشهرچای به‌وسیله پارامتر ضریب جریان روزانه مطالعه و اثر متقابل جریان رودخانه و تراز آب‌های زیرزمینی بررسی‌شده است.

مواد و روش‌ها:

معرفی منطقه مورد مطالعه:

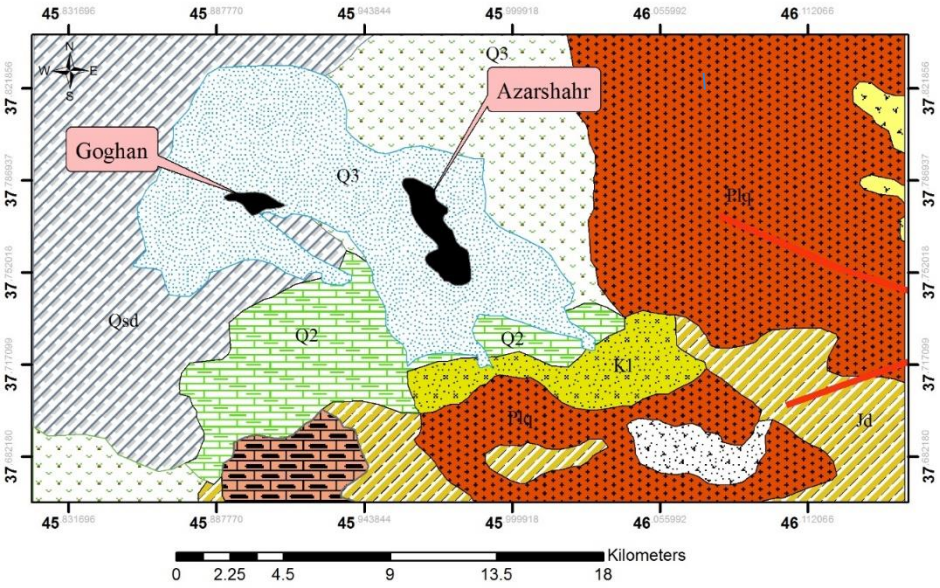
دشت آذرشهر در استان آذربایجان شرقی واقع در شمال غربی ایران، در ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۸۵ دقیقه طول شرقی با وسعت ۱۳۰ کیلومترمربع در ۴۰ کیلومتری تبریز واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۰ متر می‌باشد. این شهرستان از سمت شمال و شرق با شهرستان اسکو، از سمت غرب با دریاچه ارومیه و از سمت جنوب با شهرستان عجب‌شیر هم‌مرز است. وسعت کل محدوده مطالعاتی آذرشهر برابر ۴۵۷ کیلومتر مربع است که حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع آن را دشت آذرشهر تشکیل می‌دهد. ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقاط محدوده به ترتیب برابر با ۳۷۰۰ متر و ۱۲۸۲ متر از سطح دریا می‌باشد. مهم‌ترین رودخانه منطقه، آذرشهرچای می‌باشد که دارای روند عمومی جنوب شرقی- شمال غربی بوده و آب‌های سطحی منطقه را زهکشی می‌کند. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه.

منطقه آذرشهر دارای سازندهای مختلفی است می‌باشد. قدیمی‌ترین تشکیلاتی که در محدوده این دشت دیده می‌شود، متعلق به ژوراسیک بوده که در جنوب غربی دشت آذرشهر رخنمون دارد و شامل تمامی تشکیلاتی که در دوره ژوراسیک در البرز شناسایی و نام‌گذاری شده می‌شود. تشکیلات سازند مراغه با تناوبی از پیروکلاستیک‌ها و خاکسترهای آتش‌فشانی سهند در شرق منطقه آذرشهر گسترش زیادی دارند. تشکیلات شمشک متشکل از تناوبی از ماسه‌سنگ و شیل به رنگ سبز تا تیره حاوی لایه‌های زغال بوده و در قسمت‌هایی از آن لایه‌هایی از سنگ کربناته مشاهده می‌شود. ضخامت این رسوبات بیش از ۶۰۰ متر می‌باشد. تشکیلات دلیچای در این منطقه شامل تناوبی از آهک مارنی و شیل‌های مارنی به رنگ خاکستری روشن تا سبز متمایل به خاکستری بوده که در آن آمونیت‌های کالدونین دیده می‌شود. این تشکیلات به‌طور هم‌شیب روی تشکیلات شمشک قرار گرفته و تبدیل ماسه‌سنگ‌ها به آهک‌های شمشک تدریجی می‌باشد. تشکیلات لار متشکل از آهک‌ها و دولومیت‌های خاکستری روشن، متراکم و ضخیم لایه است. رسوبات کرتاسه در جنوب منطقه در مجاورت منطقه در مجاورت دریاچه ارومیه رخنمون

داشته و اغلب شیب آن‌ها به سمت دریاچه می‌باشد و احتمالاً سنگ کف آن را تشکیل می‌دهد. سکانس رسوبی کرتاسه با پیش روی دریا در کرتاسه تحتانی و در نتیجه رسوب کنگلومرا قاعده‌ای شروع شده و سپس با عمیق شدن دریا، آهک رسوب می‌نماید و سرانجام با عقب‌نشینی دریا این سکانس به مارن و سیلتستون خاتمه می‌یابد. از لحاظ وضعیت زمین‌شناسی همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، بخش اعظمی از مساحت منطقه آذرشهر در بخش غربی مربوط به رسوبات آبرفتی دوره کواترنر هستند. در برخی قسمت‌های دشت آذرشهر مجموعه رسوبات آهک و مارن- ژیپس دیده می‌شود که مربوط به دوره کرتاسه و مجموعه سنگ‌های پیروکلاستیک و رس‌سنگ‌ها مربوط به دوره پلیوسن می‌باشند.



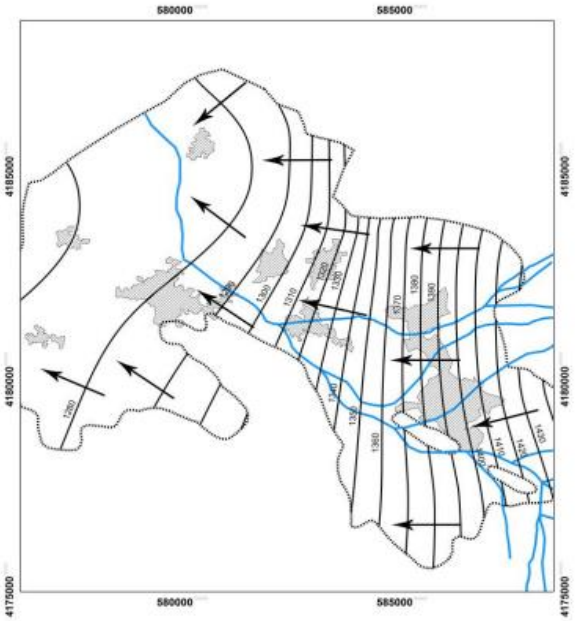
شکل۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

دشت آذرشهر از نظر تقسیمات طبیعی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد و این حوزه دارای اقلیم سرد و آب و هوای نیمه خشک می‌باشد و به دلیل شرکت جریان‌های سرد با منشأ قطبی و تنوع ارتفاعاتی همچون سهند، آب و هوای منطقه عمدتاً سرد و خنک می‌باشد. بیشترین مقدار بارش منطقه آذرشهر در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آذر می‌باشد. بر اساس اطلاعات هواشناسی موجود، متوسط سالانه بارندگی منطقه در طول دوره آماری ۳۰ ساله ۲۳۰/۲ میلی‌متر و متوسط سالانه تبخیر برابر ۱۵۶۵ میلی‌متر بوده است. متوسط رطوبت نسبی در منطقه طی یک دوره ۲۵ ساله در ایستگاه آذرشهر که تا سال ۱۳۹۶ محاسبه شده است، بین ۲۴ % در مرداد ماه تا ۷۵ % در آذرماه متغیر است، حداکثر رطوبت نسبی با ۸۸ % در دی ماه و کمترین رطوبت نسبی با ۳۲ % در مرداد ماه به ثبت رسیده است که در مجموع ۶ ماه از سال به‌طور متوسط دارای رطوبت نسبی بیش از ۶۰ %

می‌باشد و بالا بودن آن در سطح منطقه عمدتاً به دلیل نفوذ جریان‌های سرد و مرطوب به منطقه و بخارات ناشی از سطح دریاچه ارومیه می‌باشد و میزان خشکی منطقه آذرشهر حدود ۴/۵ ماه است که از اواسط اردیبهشت ماه آغاز و تا اواخر شهریور ادامه دارد.

هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی آذرشهر از دو قسمت ارتفاعات و دشت تشکیل شده است. جنس غالب ارتفاعات این منطقه از سنگ‌های ولکانیکی، سنگ‌های آذرآواری و توف‌های حاصل از آتشفشان سهند می‌باشد. در این منطقه چشمه‌های با دبی متوسط از رسوبات ذکر شده خارج می‌شود. در منطقه مورد مطالعه کنگلومراها در قسمت شمال‌شرقی وجود دارند که دارای تخلخل، نفوذپذیری و تراوایی بالایی هستند. همچنین در قسمت غربی دشت و به سمت دریاچه اورمیه، به علت وجود لایه‌ی نفوذناپذیر رسی و مارنی، هدایت هیدرولیکی منطقه خیلی ضعیف می‌باشد. به منظور بررسی خواص هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت آذرشهر، آمار و اطلاعات مربوط به آب زیرزمینی در منطقه جمع‌آوری گردید. آبخوان دشت آذرشهر را بیشتر رسوبات آبرفتی کواترنری تشکیل داده است که در ادامه، ویژگی‌های دشت مورد بررسی قرار می‌گیرد. آبخوان دشت آذرشهر از نوع سفره آزاد بوده و عمدتاً از رسوبات آبرفتی قدیمی، پادگانه‌های آبرفتی جدید، رسوبات مخروط افکنه‌ای و رودخانه‌ای تشکیل شده است و رسوبات تشکیل دهنده آبخوان بیشتر از جنس ماسه، سیلت و رس می‌باشد که در قسمت ابتدایی دشت از نوع دانه درشت بوده و به سمت انتهای دشت یا به سمت دریاچه اورمیه، رسوبات دانه ریز شده و دارای هدایت هیدرولیکی کمتری می‌باشد. بیشترین ضخامت آبرفت دشت آذرشهر مربوط به بخش میانی و منطقه شهر آذرشهر می‌باشد. داده‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که سازندهای آهک و سنگ‌های ولکانیکی کرتاسه، بخش‌های شمال‌شرق و شرق آبخوان و در محل ورود رودخانه آذرشهرچای به آبخوان دشت آذرشهر را دربر گرفته‌اند. سنگ کف در این ناحیه از آبخوان، بیشتر از رسوبات آذرآواری(توف) و گنگلومرا تشکیل یافته است. همچنین سنگ کف در بخش‌های دیگر آبخوان از جنس رسوبات مارنی و رسی می‌باشد. ته‌نشست‌های ریز دریاچه‌ای از شوره‌زارها به سمت دریاچه اورمیه، سنگ کف آبخوان ر ا تشکیل می‌دهد. جهت جریان کلی آب زیرزمینی در دشت آذرشهر از شمال‌شرق، شرق، جنوب و جنوب‌شرق به سمت غرب منطقه می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- جهت جریان آب زیرزمینی دشت آذرشهر

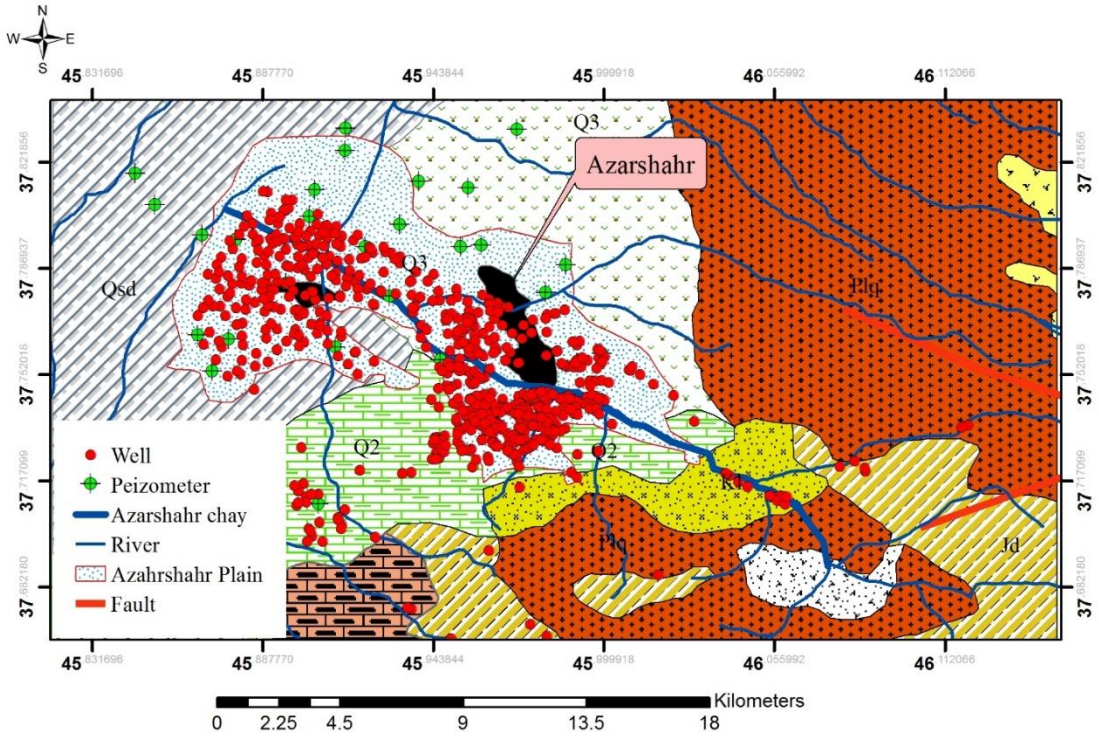
تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی متأثر از خصوصیات اقلیمی منطقه و تکرار دوره‌های تر و خشک در طول سال‌ها بوده و بر اساس بررسی هیدروگراف‌های چاه‌های مشاهده‌ای، سطح آب زیرزمینی دارای نوسانات نسبتاً منظم سالیانه است. در دشت آذرشهر تعداد ۱۳ پیزومتر برای اندازه‌گیری سطح آب وجود دارد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که ماکزیمم سطح آب زیرزمینی در اردیبهشت ماه بوده و حداقل آن مربوط به آبان ماه می‌باشد. حداکثر عمق سطح ایستابی ۲۹ متر می‌باشد و حداقل عمق برخورد به آب ۴ متر می‌باشد و متوسط عمق سطح ایستابی ۱۶ متر می‌باشد که نسبت به سال‌های اخیر، این عمق بیشتر شده است. برای محاسبه قابلیت انتقال آبخوان دشت آذرشهر از نتایج ۲۷حلقه چاه پمپاژ که توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی انجام گرفته است استفاده شد. بر اساس نقشه‌های هم ضخامت رسوبات آبرفتی، لاگ‌های حفاری و داده‌های ژئوفیزیکی، در قسمت‌های بالایی دشت، ذرات تشکیل دهنده سفره دانه درشت بوده و قابلیت انتقال دشت نیز در این مناطق بالا می‌باشد و هر چه به سمت مرکز دشت و نواحی خروجی و به سمت دریاچه اورمیه نزدیک می‌شویم رسوبات دانه‌ریزتر شده و قابلیت انتقال نیز کاهش می‌یابد. همچنین بالا بودن مقدار قابلیت انتقال در قسمت مرکزی و بخصوص در منطقه شهری آذرشهر به دلیل بالا بودن ضخامت رسوبات آبرفتی در این قسمت می‌باشد.

بررسی ارتباط سطح ایستابی با ضریب جریان روزانه

برآورد میزان ضریب جریان، که متأثر از عوامل مورفومتری، زمین‌شناسی و هیدرواقلیمی است، همواره یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده و اطلاع از میزان آن، نقش به سزایی در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب دارد(عصری و همکاران، ۱۳۹۷). ضریب جریان روزانه همان‌طور که در رابطه ۱ نشان داده‌شده است، نسبت رواناب به بارش روزانه تعریف‌شده است. در این مطالعه، ابتدا این نسبت برای تمامی روزهای سال که بارندگی روی‌داده در طول دوره آماری ۱۰ ساله ضریب جریان محاسبه شد در تعیین ضریب جریان روزانه، جریان پایه یا دبی روز ماقبل بارش از دبی روز بارندگی کسر گردید تا دبی مربوط به بارش حاصل گردید تا از تداخل ذخایر قبلی جلوگیری شود.

$$FC(D) = \frac{R(mm)}{P(mm)} \qquad (۱)$$

در بررسی ضریب جریان روزانه و ارتباط آن با تراز سطح ایستابی، دو عامل ازجمله وجود داده‌های صفر در بارش و جریان و مشکل دوم عدم برداشت روزانه تراز سطح ایستابی باعث می‌شود ارتباط رگرسیونی قوی بین ضریب جریان روزانه و تراز سطح ایستابی وجود نداشته باشد(عصری و همکاران، ۱۳۹۷)؛ بنابراین با کد نویسی در محیط فورتون ابتدا داده‌های بارش رواناب صفر را حذف، سپس برای روزهایی از ماه که بارش و جریان وجود دارد و تراز سطح ایستابی در آن روز برداشت‌شده است، داده‌های همزمان بارش– جریان و تراز سطح ایستابی انتخاب شد. جهت آگاهی از نوسانات آب زیرزمینی، از داده‌های چاه‌های پیزومتریک دشت آذرشهر استفاده شد. به‌منظور تدقیق معادلات استخراجی اندرکنش آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی بهتر است از چاه-های پیزومتریک نزدیک به رودخانه استفاده شود. به این منظور با استفاده از نرم‌افزار GIS چاه‌های که در فاصله ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از رودخانه بودند تعیین و موقعیت آن‌ها در شکل ۴ آورده شد. در منطقه آذرشهر حدود ۳۱ پیزومتر برای اندازه‌گیری سطح آب وجود دارد. همچنین تعداد چاه‌های بهره‌برداری از این منطقه در حدود ۷۲۰ چاه می‌باشد که موقعیت آن‌ها در شکل ۴ آورده شده است.



شکل۴- نقشه منابع آب و شبکه زهکشی محدوده مطالعاتی

ارتباط رگرسیونی و تشکیل معادلات دیفرانسیلی بین جریان رودخانه و تراز سطح ایستابی بسیار ارزشمند است. ابتدا با استفاده از نمودار پراکنش داده‌ها، نوع تابع رگرسیونی (به لحاظ خطی و غیرخطی بودن) مشخص و روی‌داده‌ها برازش داده شد. سپس ارتباط جریان رودخانه با تراز سطح ایستابی هر یک از پیزومترهای مجاور ایستگاه‌های هیدرومتری استخراج گشت. با دیفرانسیل‌گیری از معادله فوق، نرخ کاهش جریان به ازای کاهش تراز سطح ایستابی تعیین‌شده و تخمین زده می‌شود که به ازای یک متر کاهش در تراز سطح ایستابی، دبی رودخانه چقدر کاهش‌یافته است؛ بنابراین، با رابطه نیمه لگاریتمی زیر برای ارتباط ضریب جریان با تراز سطح ایستابی در نظر گرفته شد. در این روابط CF(D) ضریب جریان روزانه، Y سطح ایستابی، a و b ضرایب ثابت می‌باشند(عصری و همکاران، ۱۳۹۷).

$$CF(D) = b + a\ln Y \qquad (۲)$$

$$\frac{\mathrm{dCF(D)}}{\mathrm{dY}} = a \times \frac{1}{\mathrm{Y}} \qquad (۳)$$

به همین ترتیب رابطه‌ی زیر بین جریان و تراز سطح ایستابی در نظر گرفته‌شده است.

$$Y = b + a\ln Q \qquad (۴)$$

$$\frac{\mathrm{dY}}{\mathrm{dQ}} = a \times \frac{1}{\mathrm{Q}} \qquad (۵)$$

در معادله فوق، Y تراز سطح ایستابی (متر) و Q جریان رودخانه (مترمکعب بر ثانیه)، همچنین a و b ضرایب این معادلات می باشند.

درنهایت با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش رگرسیون غیرخطی چند متغیره، جریان رودخانه با استفاده از بارش و تراز سطح ایستابی همزمان روزانه پیش‌بینی‌شده و ارتباط آن‌ها به لحاظ هیدرولیکی به‌نوعی شبیه‌سازی شد. معادلات پیش‌فرضی که برای این تحقیق در نظر گرفته شد دو معادله غیرخطی ۶ و ۷ بودند که از بین معادلات متعدد انتخاب شدند و قابلیت خطی شدن با استفاده از لگاریتم گیری را داشتند. این معادلات رگرسیونی برای هر یک از پیزومترهای اطراف ایستگاه هیدرومتری خاصلو استخراج شد.

$$Q = \alpha L^{\beta} R^{\gamma} \qquad (۶)$$

$$Q = \alpha e^{\beta L + \gamma R} \qquad (۷)$$

در معادلات فوق، Q دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه، L اختلاف تراز سطح ایستابی از مقدار حداقل (متر) و R عمق بارش برحسب میلی‌متر است.

نتایج و بحث

رابطه بین سیستم آبخوان آبرفتی و رودخانه تحت تأثیر توزیع مکانی هیدروفاسیس‌ها در مرز رودخانه و آبخوان زیرین قرار دارد. در بررسی‌های مدل‌سازی روابط رودخانه-آبخوان، تأثیرات منطقه‌ای مدیریت منابع آب و استفاده‌های توأم از منابع آب باید مدنظر قرار گیرد. برای مثال صحت برآوردهای جریان ورودی یا خروجی که از اختلاف جریان در ابتدا و انتهای بازه به دست می‌آید، محدود است زیرا تفاوت‌های جریان در مقایسه با جریان کل رودخانه کم است. همچنین ضخامت میانگین منطقه ای رسوبات بستر رودخانه و هدایت‌های هیدرولیکی مورد استفاده در مدل‌های بزرگ مقیاس بر روابط رودخانه آبخوان تأثیر دارند. بررسی اندرکنش ضریب جریان با متوسط تراز سطح ایستابی روزانه برای ایستگاه هیدرومتری خاصلو با استفاده از پیزومترهای مجاورش نشان با افزایش تراز سطح ایستابی ضریب جریان افزایش پیدا می‌کند ولی این افزایش تا حد مشخصی است و از این حد به بعد با افزایش ضریب جریان تراز سطح ایستابی به‌صورت محسوسی تغییر نمی‌کند؛ بنابراین می‌توان جریان رودخانه را با استفاده از تغییرات تراز سطح ایستابی کنترل کرد و اگر در منطقه‌ای همانند حوضه دریاچه ارومیه یا در بالادست سدها که هدف آب‌رسانی به مخزن سد یا دریاچه ارومیه است با استفاده از طرح‌های تغذیه مصنوعی و کاهش برداشت از ذخایر آب زیرزمینی این مشکل را حل کرد(عصری و همکاران، ۱۳۹۷). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بهترین نمودار برازش داده‌شده بر روی‌داده‌ها نمودار لگاریتمی است که همبستگی بالایی را برای کلیه پیزومترها نشان می‌دهد. آزمون معنی‌داری این ارتباط P-value نیز تقریباً عدد صفر را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری این ارتباط در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ است. به‌طور مثال ارتباط بین ضریب جریان روزانه و تراز سطح ایستابی پیزومتر خاصلو به‌صورت رابطه ۸ آورده شد که با اعمال دیفرانسیل‌گیری از رابطه فوق، تغییرات تراز سطح ایستابی به ازای افت ضریب جریان رودخانه حاصل شد.

$$Y = 0.71\ln(CF(D)) + 1311.6 \quad (۸)$$

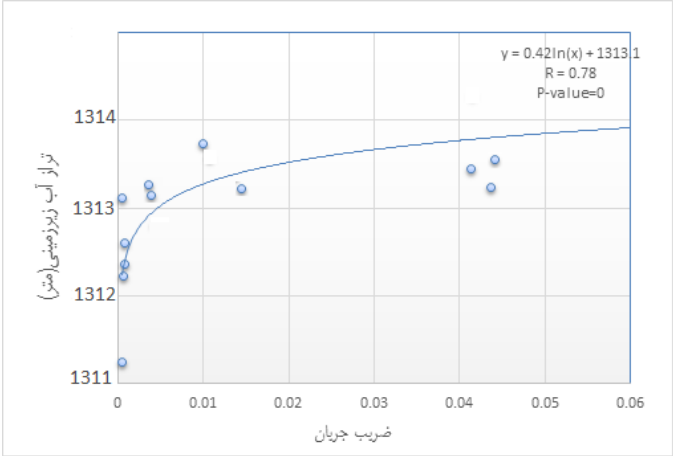
$$\frac{d(CF(d))}{d(y)} = \frac{1}{0.71} \times CF(d) \quad (۹)$$

درنهایت به‌منظور استخراج یک رابطه‌ی کلی برای منطقه با میانگین‌گیری از پارامترهای این چهار رابطه رگرسیونی، رابطه‌ی کلی به‌صورت رابطه ۱۰ برای منطقه حاصل گردید. با دیفرانسیل گیری از این رابطه می‌توان تغییرات تراز سطح ایستابی به ازای تغییرات ضریب جریان رودخانه را مشخص کرد.

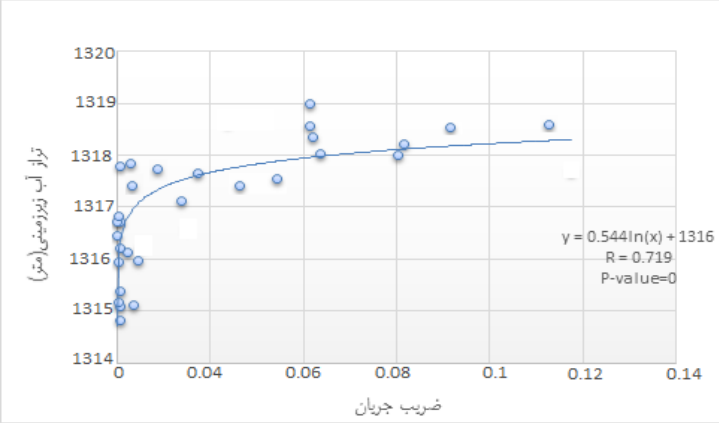
$$Y = 1311.5 + 0.613\ln(CF(D)) \quad (۱۰)$$

$$dY = \frac{0.613}{CF(D)}\, d(CF(dD)) \quad (۱۱)$$

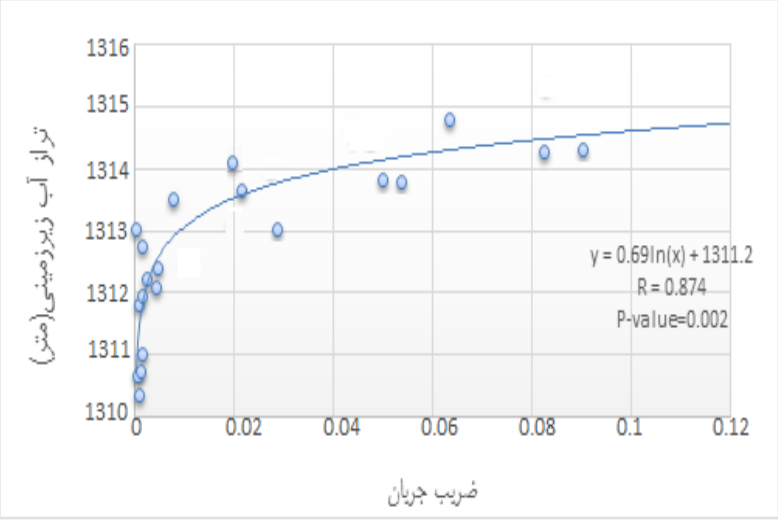
معادله ۱۱ تغییر در تراز سطح ایستابی را به ازای یک‌دهم متر تغییر ضریب جریان نشان داد. طوری‌که اگر ضریب جریان از صفرتا ۰/۰۱ تغییر کند، سطح تراز ایستابی حدود ۴۷ سانتی‌متر افزایش می‌یابد درحالی‌که اگر ضریب جریان از ۰/۰۹ تا ۰/۱ تغییر کند، تراز سطح ایستابی حدود ۷ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. همچنین به‌منظور بررسی تغییرات جریان به ازای تغییرات تراز سطح ایستابی در مقیاس روزانه، از داده‌های جریان و تراز سطح ایستابی استفاده شد، در شکل ۶ ارتباط تراز سطح ایستابی در مقابل دبی آورده شد. معادله کلی ارتباط تراز سطح ایستابی در مقابل دبی به‌صورت معادله ۱۲ استخراج شد. بررسی این ارتباط نشان می‌دهد که به ازای یک متر تغییر در جریان رودخانه در دبی‌های بالا، تراز سطح ایستابی به‌صورت ناچیز تغییر می‌کند، اما به ازای دبی کوچک تراز سطح ایستابی زیاد تغییر می‌کند.



الف)



ب)



ج)

شکل ۵- نمودار ارتباط ضریب جریان روزانه ایستگاه هیدرومتری خاصلو با پیزومترهای مجاور؛ الف) خاصلو، ب) خاصلو راه خورخور، ج) فیروز سالار.

$$Y = 0.651\ln Q + 1312.2 \quad (۱۲)$$

$$dY = \frac{0.651}{Q} \times dQ \quad (۱۳)$$

نتایج رگرسیون غیرخطی چند متغیره برای شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از بارش و تراز سطح ایستابی همزمان روزانه برای پیزومترهای اطراف ایستگاه هیدرومتری خاصلو به‌صورت تک‌به‌تک بررسی‌شده و برای هر دو معادله فرض شده، داده‌های بارش، جریان و اختلاف تراز سطح ایستابی از مقدار حداقلش وارد نرم‌افزار SPSS شد. ضرایب مدل و دقت آن برای هریک از پیزومترهای اطراف ایستگاه هیدرومتری خاصلو استخراج و نتایج برای هر دو معادله پیش‌فرض در جداول ۴ و ۵ آورده شد.

$$Q = 0.00562 \times L^{1.012} R^{0.41} \quad (۱۴)$$

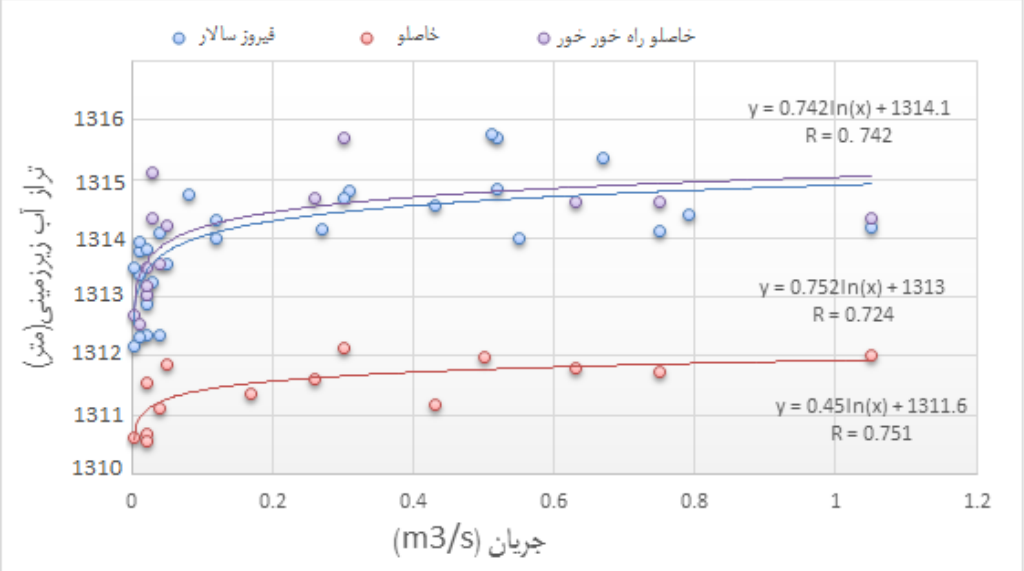
$$\frac{dQ}{dL} = (0.00562 \times 1.02)\, L^{0.012} R^{0.41} = \quad (۱۵)$$
$$(0.00562) L^{0.012} R^{0.41}$$

Q دبی جریان و L اختلاف تراز سطح ایستابی از مقدار حداقلش برحسب متر و R عمق بارش به میلی‌متر است. معادله ۱۵ تغییرات دبی را به ازای یک واحد تغییرات در L نشان می‌دهد و با استفاده از این رابطه می‌توان نتیجه گرفت، اگر تراز از ۱۲۷۹ به ۱۲۸۰ برسد دبی به‌اندازه‌ی ۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه تغییر می‌کند.

$$Q = 0.00871 \times e^{1.2123L + 1.04125R} \quad (۱۶)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial L} = (0.00877 \times 1.2123) \times e^{0.1113L + 1.04125R} = \quad (۱۷)$$
$$(0.0103) \times e^{0.11135L + 1.04125R}$$

معادله ۱۷ تغییرات دبی در واحد تغییرات L را نشان می‌دهد. مقایسه این دو ارتباط نشان می‌دهد که با توجه به همبستگی‌های به‌دست‌آمده از هرکدام از روابط ۱۵ و ۱۶، رابطه‌ی اول به‌صورت $Q = \alpha L^{\beta} R^{\gamma}$ برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.



شکل ۶- نمودار ارتباط جریان روزانه ایستگاه خاصلو با تراز سطح ایستابی کلیه پیزومترهای مجاور.

جدول۱- ضرایب معادلات رگرسیون چند متغیره پیش‌بینی جریان با تراز سطح ایستابی و بارش معادله اول.

$Q = \alpha L^{\beta} R^{\gamma}$				
منطقه	α	β	γ	R
خاصلو سفره ۱	۰/۰۰۳۵۱۱	۰/۵۶۶	۰/۲۵۴	۰/۷۶۸۱
لوله‌سازی	۰/۰۰۳۸۴۳	۰/۷۹۶	۰/۳۱۱	۰/۷۸۸۸
خاصلو راه خور خور	۰/۰۰۵۸۳۲	۰/۹۳۴	۰/۲۱۸	۰/۷۲۲۳
فیروز سالار	۰/۰۰۵۹۷۶	۱/۲۴۶	۰/۶۵۷	۰/۷۹۰
تیمورلو	۰/۰۰۴۹۱۲	۱/۰۳۲۶	۰/۴۱۵	۰/۷۷۱۳

جدول ۲- ضرایب معادلات رگرسیون چند متغیره پیش‌بینی جریان با تراز سطح ایستابی و بارش معادله دوم.

$Q = \alpha e^{\beta L+\gamma R}$				
منطقه	α	β	γ	R
خاصلو سفره ۱	۰/۰۰۳۲۵	۰/۹۳۲	۱/۳۱	۰/۷۱۲۵
لوله‌سازی	۰/۰۰۷۱۱۳	۱/۴۲۶	۱/۰۳۳	۰/۶۹۸۶
خاصلو راه خور خور	۰/۰۳۱۷۱۲	۱/۲۱۱	۰/۷۹۳	۰/۶۱۸۵
فیروز سالار	۰/۰۰۲۸۱۴	۰/۷۱۸	۰/۳۹۱	۰/۷۹۱۳
تیمورلو	۰/۰۰۸۵۳۱	۱/۰۹۲۵	۱/۰۳۱۲	۰/۷۱۰۲

نتیجه‌گیری

افزایش بی‌رویه جمعیت در سه دهه اخیر، محدودیت منابع آب‌های سطحی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و بهره‌برداری بیش‌ازاندازه از آبخوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری ازنظر کمّی و کیفی به منابع آبی کشور ایران شده است. برای جلوگیری از ادامه افت کمّی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به‌عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد. مدیریت منابع آب زیرزمینی مستلزم شناخت کافی از سیستم آبخوان و نیز به‌کارگیری ابزاری است که بتواند عکس‌العمل تنش‌های مختلف کمّی و کیفی وارده به آبخوان را در شرایط فعلی و آینده شبیه سازی کند. در این مطالعه پیش‌بینی جریان با استفاده از دو رابطه‌ی رگرسیونی غیرخطی نشان داد که معادله‌ی اول در پیش بینی قوی‌تر عمل کرده و دقت بیشتری دارد، بنابراین رابطه‌ی اول برای منطقه پیشنهاد شد. بررسی رابطه‌ی رگرسیونی بین ضریب جریان با بارش و تراز سطح ایستابی و درنهایت ارتباط جریان با بارش و تراز سطح ایستابی با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی چند متغیره با همبستگی بالا به دست آمد و با مشتق گرفتن از این رابطه تغییرات آن‌ها نسبت به تراز سطح ایستابی به‌صورت عددی حاصل شد. ضریب جریان روزانه به دلیل اجتناب از مصارف (سطحی و زیرزمینی) اهمیت ویژه‌ای دارد چراکه تا حدودی اثر مصارف و برداشت‌ها از بین می‌رود و می‌توان تأثیر طبیعی کاهش سطح آب زیرزمینی را روی جریان سطحی رودخانه و ضریب جریان مشخص نمود. ازنظر مدیریتی این مسئله برای حوضه آذرشهر که یکی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه است دارای اهمیت ویژه‌ای است؛ استفاده از معادلات مذکور به‌منظور کنترل حجم جریان رودخانه با توجه به اهداف مدیریتی اگر هدف آب‌رسانی به دریاچه و در موارد مشابه به مخازن آب باشد، با کنترل تراز سطح ایستابی، ضریب جریان رودخانه و به‌تبع آن حجم جریان رسیده به منصب رودخانه کنترل شود.

منابع

احمدی‌پور، ظ.، یاسی، م.، ۱۳۹۳، مقایسه روش‌های اکوهیدرولوژیکی–هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه)، مجله هیدرولیک ، سال نهم، شماره۲، ص ۸۲-۶۹.

اصغری مقدم، ا.، ۱۳۸۹، اصول شناخت آب‌های زیرزمینی، انتشارات دانشگاه تبریز، ، ایران، ص ۲۴۰-۲۳۹.

قلیزاده حسین آبادی، ح.، سامانی، ن.، ۱۳۹۱، بررسی تبادل آب‌های سطحی و زیرزمینی توسط آنالیز عددی ناحیه گیرش چاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، ص ۶۷-۶۵.

ابراهیمی، ه.، نصرآزادانی، آ.، معمایی، ن.، و مصطفی‌لو، ج، ۱۳۸۸، بررسی رابطه بارش و رواناب در حوضه آبخیز سد برنجستانک. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲و۳ اردیبهشت ۸۸، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، ص ۱۱۵۰-۱۱۵۸.

باقری. ع.، ۱۳۹۰، بررسی روابط بارش-رواناب و ضریب رواناب در حوضه آبریز نیشابور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، رشته مهندسی آب ، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ص۶-۵.

پرهمت، ر.، ناصری، ح. م.، پرهمت، ج.، و ملایی، ع.، ۱۳۹۲، برآورد ضریب رواناب و نفوذ در منطقه کارستی (مطالعه موردی: حوضه دلیبجک سپیدار، استان کهگیلویه و بویراحمد)، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال نهم، شماره۱، ص ۲۴-۱۲.

سراج رضایی، س.، ۱۳۸۷، تبادل آبی رودخانه و آبخوان مطالعه موردی رودخانه قلعه‌چای و لایه آبدار زیرزمینی دشت عجب‌شیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران، ص۲۰-۱۷.

فرخ‌نیا، آ.، مرید، س.، ۱۳۹۱، ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله آب و فاضلاب، دوره۲۵، شماره ۳، ص۹۷-۸۹.

قنواتی، ع.، ندافیون،ف.، ۱۳۹۵، بررسی پتانسیل سیلاب حوضه آبریز درکه با استفاده از روش بارش – رواناب SCS ، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۴۹، ص ۷۵-۶۵.

عصری، الف.، صالحی‌نیا، ر.، فاخری‌فرد، الف. ۱۳۹۷. ارتباط ضریب جریان با رطوبت سطحی خاک و سطح تراز ایستابی آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: عجب‌شیر). مجله دانش آب و خاک. دوره ۲۸، شماره ۲، صفحه ۷۱-۸۲.

Al-Hasan, A.A.S. and Mattar, Y.E.S., 2014, Mean runoff coefficient estimation for ungauged streams in the Kingdom of Saudi Arabia, Arab J Geosci 7:2019-2029, DOI 1007/s1251710, -013-0892-7.

Chow, V. T., 1981, Open Channel Hydraulics. Mc Graw – Hill Limted, London.

Chow, V., Maidment, D., Mays, L., 1988, Applied hydrology. McGraw- Hill, New York.

Kinoshita, T., 2003, Estimation of the runoff coefficient of rational formula by proposal TC runoff coefficient. http//www.bosai.go.jp/ad/ipn/report/abstract/re33/re3.

Hylke, E., Albert, I. J. M., van,D., Ad D.R., Emanuel, D., Gabriel,F., Rene, O., and Jaap, S., 2017,Global evaluation of runoff from 10 state-of-the-art hydrological models, Hydrol. Earth Syst. Sci. 21:2881–2903.

Linsley RK, 1982, Rainfall–runoff models—an overview. In: Singh VP (ed) Proceedings of the International Symposium on Rainfall– Runoff Relationship. Water Resources Publications, Littleton.

Liqun, CH., Changming, L., Yanping, L., Guoqiang, W., 2007, Impacts of Climatic Factors on Runoff Coefficients in Source Regions of the Huanghe River, Journal of Chinese Geographical Science 17(1):47-55.

Mahmoud, M.H., Mohammad, F.S. ans Alazba, A.A., 2014, Determination of potential runoff coefficient for Al-Baha Region, Saudi Arabia using GIS, Journal of Arab J Geosci 7:2041–2057.

Menció, A., Galán, M., Boix, D. and Mas-Pla, J., 2014, Analysis of stream–aquifer relationships: A comparison between mass balance and Darcy's law approaches, Journal of Hydrology 517:157-172.

Pfister, L, Iffly. J. F., Humbert.J and Hoffmann.L, 2002, The role of groundwater resurgence on runoff coefficients of the Alzette River (Grand-duchy of Luxembourg), ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia, 2002.

Şen, Z., 2008, Wadi Hydrology, Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton.

Sherman, L., 1932, Streamflow from rainfall by unit hydrograph method, Journal of Engineering News Records 108:501-505.

Velpuri, N M., senay, G B., 2013, Analysis of long-term trends (1950–2009) in precipitation, runoff and runoff coefficient in major urban watersheds in the United States, environmental research letters, Environ. Res. Left. 8:24020.

Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. and Alley, W.M., 1998, Ground Water and Surface Water A Single Resource. U.S. Geological Survey Circular, 11-39.

Zhang, Z., Dehoff A.D., Pody R.D. and Balay J.W., 2009, Detection of streamflow change in the Susquehanna River Basin, journal of Water Resources Management 24 (10):1947–1964.