

بررسی برهمکنش رودخانه چهل‌چای و آب زیرزمینی در بخش شرقی دشت گرگان

حسین سلیمانگلی^۱، مجتبی قره‌محمودلو^{۲*}، نادر جندقی^۳، محمد عباسی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

۴- مدیر بخش آبخیزداری و حفاظت خاک، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، گرگان، ایران.

*نویسنده مسئول: m.g.mahmoodlu@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی برهمکنش رودخانه و آب زیرزمینی در بخش شرقی دشت گرگان انجام شد. بدین منظور ابتدا دبی رودخانه چهل‌چای در چهار ایستگاه با فواصل مشخص اندازه‌گیری شد. سپس ارتباط بین نوسانات دبی رودخانه با تراز آب زیرزمینی در چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق اطراف آن با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری بررسی شد. نتایج اندازه‌گیری مستقیم دبی نشان داد که رودخانه در ایستگاه‌های اول، دوم و چهارم آبخوان را تغذیه می‌کند. اما در ایستگاه سوم میزان دبی افزایش می‌یابد که بیانگر آن است که رودخانه در این بخش از مسیر آبخوان را زهکش می‌کند. نتایج بررسی ارتباط بین دبی رودخانه چهل‌چای و سطح آب چاه‌های نیمه‌عمیق براساس آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که در ۷ چاه از ۱۹ چاه نیمه‌عمیق و ۲ چاه از ۵ چاه عمیق، ارتباط معنی‌دار بین تغییرات دبی‌های ماهانه رودخانه با تراز ماهانه آب زیرزمینی وجود دارد و در بقیه چاه‌ها ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. در ابتدای ورود رودخانه به دشت انحنای منحنی‌های تراز آب زیرزمینی در جهت حرکت رودخانه چهل‌چای می‌باشد. اما در ادامه شکل انحنای خطوط تراز آب زیرزمینی تغییر می‌کند و به مرور خلاف جهت حرکت رودخانه چهل‌چای می‌شود که این امر بیانگر آن است که آبخوان رودخانه را تغذیه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، ارتباط هیدرولیکی، خطوط هم‌پتانسیل آب زیرزمینی، دبی رودخانه، رودخانه.

مقدمه

پارامترهای طبیعی نظیر زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و آب و هوا و انسانی شامل پمپاژ از آب زیرزمینی بستگی دارد (Winter et al., 1998). در چرخه هیدرولوژیکی، اثر متقابل آب زیرزمینی و رودخانه یکی از بخش‌های مهم است و این برهمکنش‌ها اشکال مختلفی دارد. (۱) رودخانه آبخوان را زهکشی می‌کند، (۲) رودخانه آبخوان را تغذیه می‌کند، (۳) رودخانه هر دو صورت عمل زهکشی و تغذیه آبخوان را انجام می‌دهد و (۴) ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان وجود ندارد (Winter et al., 1998).

در بسیاری از نواحی بین آب‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها ارتباط هیدرولیکی وجود دارد. جهت جریان بین یک رودخانه و آبخوان اغلب دارای یک روند مشخص و ثابتی نیست و در طول زمان می‌تواند تغییر کند. حتی اگر آب‌های سطحی از آب‌های زیرزمینی با یک زون غیر اشباع جدا شده باشد، نشت از آب‌های سطحی ممکن است آب‌های زیرزمینی را تغذیه کند (جاوید، ۱۳۸۵؛ یوسفی سنگانی و محمد زاده، ۱۳۸۸). علاوه براین، فرآیند برهمکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار پیچیده بوده و نرخ تبادل بین این دو منبع به طیف وسیعی از

ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه با آبخوان دشت وجود دارد و جهت جریان از رودخانه به سمت آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین در فصول تابستان و پاییز میزان نفوذ آب از رودخانه به سفره آب زیرزمینی بیشتر بوده است. اما در طول فصول زمستان و بهار نرخ نفوذ کاهش می‌یابد. در پژوهشی حیدری و همکاران (۱۳۹۸) وضعیت آبخوان دشت صحنه-بیستون و ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی در تمامی پهنه آبخوان دشت مذکور را با استفاده از کد MODFLOW 2000 توسط نرم‌افزار GMS v10 شبیه‌سازی کردند. نتایج به دست آمده از مدل نشان داد که بودجه آبی دشت صحنه-بیستون در سال آبی ۸۸-۸۷ منفی بوده است. مهمترین عامل تغذیه کننده آبخوان تغذیه از رودخانه و پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری به عنوان مهمترین عامل تخلیه کننده آبخوان در سال آبی ۸۸-۸۷ بوده است. نتایج مدل نشان داد که رودخانه گاماسیاب آبخوان دشت صحنه-بیستون را در دو ناحیه تغذیه و در سایر نواحی آبخوان را تخلیه می‌کند. (Cai et al., 2020) ارتباط بین آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی را در دشت اینچوان در چین را با ساخت مدل‌های هیدروژئولوژیکی دو بعدی و با استفاده از برداشت‌های میدانی، داده‌های هیدروژئوشیمی، آنالیز ایزوتوپی و شبیه‌سازی عددی بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تعاملات متقابل مکرری بین آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی وجود دارد و این تعاملات متأثر از ساختار زمین‌شناسی می‌باشند. به‌طوری‌که در حوضه گسل خورده کوهستان، نواحی دره رودخانه و همچنین نواحی دشت، رسوبات سست با ضخامت بالایی انباشته شده‌اند که منطقه اصلی تغذیه آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. سعیدی رضوی و عرب (۱۳۹۹) در پژوهشی ارتباط بین تغییرات ضریب جریان رودخانه و نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آذرشهر که یکی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه است، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی بررسی کردند. این مدل‌ها همبستگی بالایی بین جریان با تراز سطح آب زیرزمینی و همچنین بین جریان بارش و تراز آب زیرزمینی را نشان دادند. در نهایت با مشتق گرفتن از این روابط تغییرات آن‌ها نسبت به تراز سطح ایستایی به‌صورت عددی بدست آمد. در تحقیقی دیگر کامکار و همکاران (۱۴۰۰) برای برآورد میزان تغذیه و تبادل جریان بین

در بسیاری از مناطقی که آب‌های سطحی (نظیر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها و ...) با آب‌های زیرزمینی دارای ارتباط هیدرولیکی هستند برداشت از هرکدام از این منابع و یا تغییر در کیفیت هر یک از منابع مذکور می‌تواند بر روی دیگری تاثیرگذار باشد. از مهمترین این اثرات منفی می‌توان به افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش ذخیره آبخوان‌ها اشاره داشت که منجر به بروز اثرات زیست‌محیطی زیان‌بار متعددی از جمله، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و همچنین کاهش ذخیره منابع آب سطحی می‌شود که دارای ارتباط هیدرولیکی با آبخوان هستند.

امروزه پژوهش‌های زیادی در سرتاسر دنیا برای شناسایی فرآیندها و پیامدهای برهمکنش رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی متمرکز شده‌اند. از این‌رو تکنیک‌های مختلف صحرایی (نظیر اندازه‌گیری مستقیم دبی، نش‌سنج‌ها، مینی پیزومتر و ...) و روش‌های متفاوت مدل‌سازی همگام با این تلاش‌ها توسعه یافته‌است (فاریابی و چیت‌سازان، ۱۳۹۵). در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها در ایران و دیگر نقاط دنیا انجام شده‌است اشاره می‌شود.

در پژوهشی بهمنی و رئیسی (۱۳۸۸) با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمیایی، ارتباط هیدرولیکی دریاچه مهارلو و آب زیرزمینی منطقه‌ای را در جنوب شرقی شیراز بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین دریاچه و آب زیرزمینی ارتباط هیدرولیکی وجود دارد و دریاچه مهارلو آب زیرزمینی منطقه را تغذیه می‌کند. این امر همچنین باعث انتقال آلاینده آرسنیک از دریاچه به آبخوان مجاور و آلودگی آن شده‌است. شیبانی و همکاران (۱۳۹۴) در دشت بستان‌آباد با بررسی نقشه‌های هم‌عمق و هم‌تراز آب زیرزمینی و جهت جریان حرکت آب رودخانه اوجان‌چای، برهمکنش آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی مطالعه کردند. نتایج این بررسی نشان داد که آب زیرزمینی در خروجی دشت و ایستگاه بستان-آباد توسط رودخانه زهکشی می‌شود. درمقابل رودخانه در ایستگاه دیزناب آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند. در پژوهش دیگری ناصری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مینی پیزومتر و اندازه‌گیری هد هیدرولیکی ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه آغمیون و سفره آب زیرزمینی را در دشت سراب بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه

حاکم بر برهمکنش آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد، خصوصاً در نواحی که آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند. بنابراین شناخت صحیح از چگونگی برهمکنش منابع آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، خصوصاً رودخانه‌های دائمی که در بخش کم‌عمق آبخوان جریان دارند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از این‌رو هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی برهمکنش رودخانه چهل‌چای به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های اصلی رودخانه گرگان‌رود و آب زیرزمینی در بخش شرقی دشت گرگان بود. بدین منظور از سه روش (۱) اندازه‌گیری دبی رودخانه در بازه‌های مکانی مشخص در طول مسیر جریان رودخانه چهل‌چای، (۲) بررسی تغییرات هد هیدرولیکی در پی‌زومترهای مجاور رودخانه چهل‌چای و دبی رودخانه در بازه زمانی مشخص با استفاده از روش‌های آماری و گرافیکی و (۳) ترسیم نقشه تراز آب زیرزمینی و بررسی نحوه تغییرات انحنای آن در طول مسیر جریان رودخانه در محدوده مورد مطالعه استفاده شد.

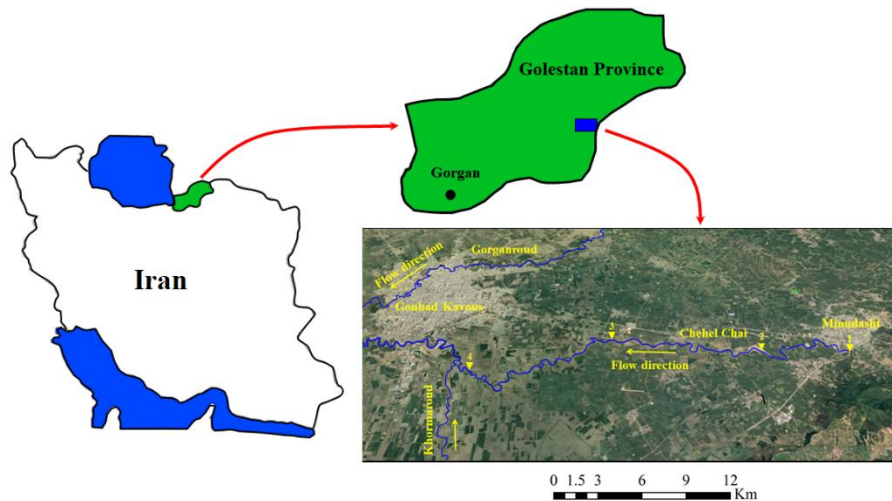
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه چهل‌چای یکی از مهمترین سرشاخه‌های رودخانه گرگان‌رود است که به لحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان مینودشت قرار گرفته‌است. مساحت حوزه آبخیز آن برابر ۲۵۶۸۰ هکتار است و میزان بارندگی سالانه آن تقریباً ۷۶۰ میلی‌متر است (زارع گاریزی و همکاران، ۱۳۹۱). در خروجی حوزه و ورودی شهر مینودشت، رودخانه نرماب به این رودخانه می‌پیوندد. سپس وارد دشت ممنونه بین مینودشت و گنبد می‌شود. بعد از طی مسیر حدوداً ۲۰ کیلومتری، رودخانه خرمالود که از ارتفاعات آزادشهر سرچشمه می‌گیرد به رودخانه چهل‌چای می‌پیوندد و در ادامه در ورودی شهر گنبد به رودخانه گرگان‌رود می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه قسمتی از دشت گرگان با مساحت تقریبی ۴۲ کیلومتر مربع بین شهرهای مینودشت در شرق و گنبد در غرب واقع شده‌است (شکل ۱). طول تقریبی رودخانه چهل‌چای در محدوده در این در حدود ۲۰ کیلومتر می‌باشد. که در این بازه مکانی رودخانه از ارتفاع تقریبی ۱۳۵ متری شروع و در خروجی به ارتفاع تقریباً ۴۵ متری از سطح تراز

رودخانه و آبخوان از یک مدل سطحی-آب زیرزمینی استفاده کردند. در این مدل شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیراشباع خاک با استفاده از مولفه‌های بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی انجام شد. نتایج این مدل در یک دوره ۶ ساله نشان داد که بیشترین مقدار تغذیه آبخوان در سطح دشت می‌اندربند کرمانشاه در ماه‌های آبان تا فروردین می‌باشد. در برخی از این ماه‌ها تغذیه آبخوان علاوه بر بارندگی ناشی از نفوذ آب آبیاری می‌باشد. همچنین بیشترین میزان افت تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به مناطق شمالی دشت می‌باشد. در پژوهش دیگری (Li and et al., 2022) اثر متقابل آب رودخانه زرد و آب‌های زیرزمینی را در استان هنان چین با استفاده از تلفیقی از داده‌های جغرافیای طبیعی، شرایط زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی، ایزوتوپ‌های محیطی و پارامترهای هیدروشیمیایی بررسی کردند. در این تحقیق محدوده تغذیه آب زیرزمینی و مقدار اندرکنش سفره از نشت جانبی رودخانه زرد و تأثیر نشت جانبی رودخانه زرد بر پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که منابع اصلی تغذیه آب زیرزمینی، بارش جوی و رودخانه زرد می‌باشند. همچنین دامنه نشت عرضی کرانه شمالی رود زرد بزرگ‌تر (تقریباً ۲۰ کیلومتر) از کرانه جنوبی (تقریباً ۱۰ کیلومتر) است. نشت جانبی رودخانه زرد به طور قابل توجهی بر انواع پارامترهای هیدروشیمیایی آب‌های زیرزمینی تأثیر گذار است. (Suárez et al., 2023) با اندازه‌گیری و پایش دما به‌عنوان یک ردیاب طبیعی به بررسی فعل و انفعالات رودخانه سیلا و آبخوان مجاور آن در کشور شیلی پرداختند. نتایج حاصل از تغییرات دمای آب در مکان‌های مختلف رودخانه در یک دوره زمانی مشخص نشان داد که آب از طریق رسوبات بستر رودخانه به سمت سفره جریان دارد. این یافته‌ها با شواهد مربوط به اندازه‌گیری هد هیدرولیکی در محدوده مورد مطالعه همخوانی دارد. علاوه بر این، از روش سنجش دمای توزیع‌شده توسط فیبر نوری برای مشاهده دماهای رودخانه با وضوح فضایی ۰/۵ متر در محدوده رودخانه ۱/۳ کیلومتر استفاده شد. نتایج این روش درک بهتری از ارتباط هیدروژئولوژی رودخانه را فراهم کرد. هر دو روش دمایی نشان داد که رودخانه در واقع سیستم تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی است. جهت مدیریت تأثیرگذار منابع آب، درک اصول زیربنایی روابط

دریا می‌رسد. جریان هیدروژئولوژیکی رودخانه چهل‌چای تأثیر بسزایی در اقتصاد حوضه و خارج از حوضه و دشت‌های حاصلخیز و مرغوب حاشیه گرگان‌رود دارد (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- موقعیت رودخانه چهل‌چای در محدوده مورد مطالعه، استان گلستان و ایران.
Figure- The location of Chelchay River in the study area, Golestan Province, and Iran.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی محدوده مورد مطالعه

تشکیل شده و در مناطقی مانند حاج بالخان در بعضی اعماق رسوبات دریایی نیز دیده شده‌است. سفره آبرفتی در حاشیه ارتفاعات جنوبی از نوع آزاد بوده و با توجه به توالی لایه‌بندی و جدا شدن لایه‌ها به تدریج به سمت شمال سفره‌های محبوس و یا تحت فشار نیز دیده شده‌است (شکل ۲). سفره سطحی عمدتاً از رس، سیلت و کمی ماسه بصورت لایه‌های کم‌نفوذ با جریان تأخیری و یا بین لایه‌هایی از رسوبات دانه‌درشت تشکیل شده‌است. سفره محبوس (تحت فشار) این محدوده براساس نتایج مطالعات ژئوفیزیکی از مقاومت بالاتری برخوردار بوده اما با توجه به مقاطع زمین‌شناسی و چاه‌های اکتشافی رسوبات چندان درشت‌تری تا عمق ۲۴۰ متری دیده نمی‌شود. قسمت تک سفره‌ای آبخوان آزاد در محل گسترش رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و در حاشیه ارتفاعات جنوبی تشکیل شده و شامل رسوبات دانه‌درشت شن، ماسه و قلوه‌سنگ بوده و از قابلیت نفوذپذیری و انتقال بالایی برخوردار می‌باشد (شکل ۲-ا).

روش کار

به‌منظور اندازه‌گیری دبی رودخانه چهل‌چای و نحوه تغییرات آن در دشت، چهار ایستگاه در طول مسیر رودخانه تعیین شد (شکل ۲-ب). برای انتخاب ایستگاه‌های اندازه‌گیری عواملی چون شیب زمین و بستر رودخانه، تغییرات آبرفت بستر رودخانه و سرعت آب در نظر گرفته‌شد. سپس با استفاده از

به لحاظ زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه شامل سازندهای پالئوزوئیک تا عهد حاضر است. سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در ارتفاعات مشرف به منطقه ممنوعه فوق از قدیم به جدید شامل ماسه‌سنگ آרקوزی قرمز رنگ لالون به سن کامبرین، آهک نازک‌لایه و دولومیت سازند خوش‌بیلاق به سن دونین، ماسه‌سنگ و لایه‌های آهکی سازند درود به سن کربونیفر و آهک و دولومیت توده‌ای مزدوران به سن ژوراسیک بالایی می‌باشد. رسوبات محدوده دشت نیز شامل مجموعه‌ای از رسوبات ناپیوسته شامل لس‌ها، آبرفت‌های دوران چهارم و رسوبات سیلتی، ماسه بادی و دریاچه‌ای غیرقابل نفوذ می‌باشد.

با توجه به نتایج مطالعات ژئوفیزیکی و ستون زمین‌شناسی چاه‌های حفاری شده، بافت آبرفت در دشت ممنوعه مینودشت-گنبد از حاشیه ارتفاعات جنوبی و مخروط‌افکنه رودخانه‌های نرماب و چهل‌چای به سمت شمال (به سمت گرگان‌رود) ریزدانه‌تر می‌گردد. به‌طوری‌که در غرب شهر مینودشت از سطح زمین تا عمق ۱۳۵ متری از رس و سیلت در سطح به ماسه درشت و قلوه‌سنگ در اعماق تغییر می‌کند. اما در مناطق مرکزی دشت ممنوعه (حوالی قوینلی) تا اعماق حدود ۲۴۰ متر رسوبات غالباً از ذرات رس و سیلت و ماسه

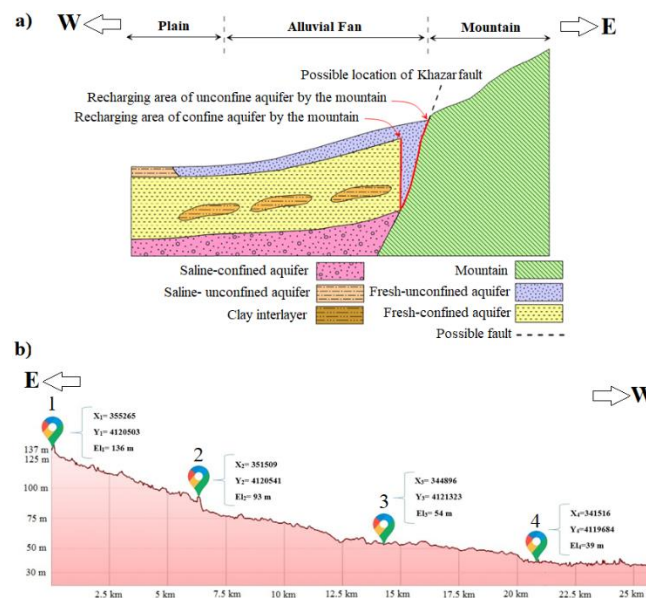
هیدرولیکی در مناطقی هست که در آن‌ها نمونه‌برداری برای پارامترهای کیفی انجام نشده است. این کار نیز با توجه به نقاط همسایه نقطه مجهول و با میانگین‌گیری از نقاط نمونه که در همسایگی هر نقطه مجهول قرار دارند انجام می‌شود (Maghami et al., 2011).

در این پژوهش جهت بررسی ارتباط بین نوسانات ماهانه دبی روخانه چهل‌چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق پیرامون آن از آزمون همبستگی پیرسون در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. در این آزمون چنانچه مقدار p -value محاسبه شده بزرگتر و یا مساوی ۰/۰۵ شود، فرض H_0 پذیرفته شده که نشان می‌دهد ارتباط معنی‌دار بین دو متغیر مورد بررسی وجود ندارد. چنانچه مقدار p -value محاسبه شده کوچک‌تر از ۰/۰۵ شود، فرض H_1 پذیرفته خواهد شد که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین دو متغیر مورد بررسی می‌باشد. کلیه آزمون‌های آماری در نرم‌افزار MINITAB 17 انجام شد (شیرازی، ۱۳۹۵).

مولینه و روش میان‌مقطع، سرعت و دبی جریان آب در فواصل عرضی مشخص رودخانه محاسبه شد میزان تغییرات دبی رودخانه در طول مسیر محاسبه شد.

در این تحقیق به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان‌های آزاد و محصور دشت مورد مطالعه، پس از بررسی اولیه از نحوه پراکنش چاه‌های پیزومتری، تعداد ۲۰ حلقه چاه پیزومتری کم‌عمق و ۵ حلقه چاه عمیق واقع شده در محدوده مورد مطالعه برای بررسی سطح آب زیرزمینی انتخاب شد. لازم به ذکر است چاه‌های کم‌عمق در محدوده مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شدند که دارای پراکنش مناسب بوده و نواقص آماری نداشتند (شکل ۳). برای هر یک از چاه‌های منتخب سطح آب (هد هیدرولیکی برای چاه‌های عمیق) برای سه سال آبی متوالی ۹۸-۹۷، ۹۹-۹۸ و ۱۴۰۰-۹۹ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد.

در این پژوهش برای شناخت از نحوه توزیع و پراکنش مکانی هد هیدرولیکی آب زیرزمینی نقشه رقومی آن‌ها در سطح دشت مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس^۱ و از روش درون‌یابی^۲ (IDW) ترسیم شد. هدف اصلی از انتخاب و استفاده روش مذکور در این پژوهش تعیین مقادیر هد

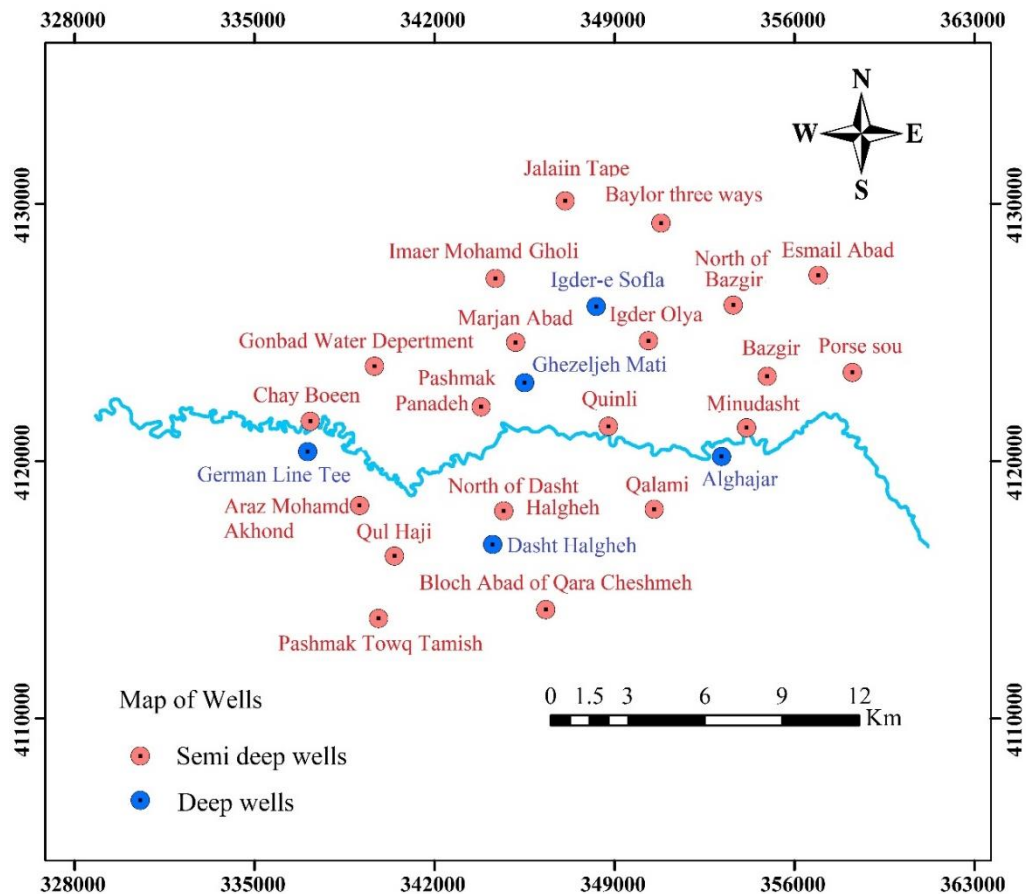


شکل ۲- شماتیک برش عرضی دشت ممنوعه مینودشت-گنبد و مناطق تغذیه‌ای آبخوان‌های دشت (a) به همراه پروفیل طولی روخانه چهل‌چای و ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی رودخانه (b).

Figure 2- Schematic cross-section of Minudasht-Gonbad forbidden plain and recharge areas of the aquifers of the plain (a) together with the longitudinal profile of the Chehel-Chay River and the river flow rate measurement stations (b).

² Inverse distance weighting

¹ ArcGIS



شکل ۳- پراکندگی مکانی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در محدوده مورد مطالعه.

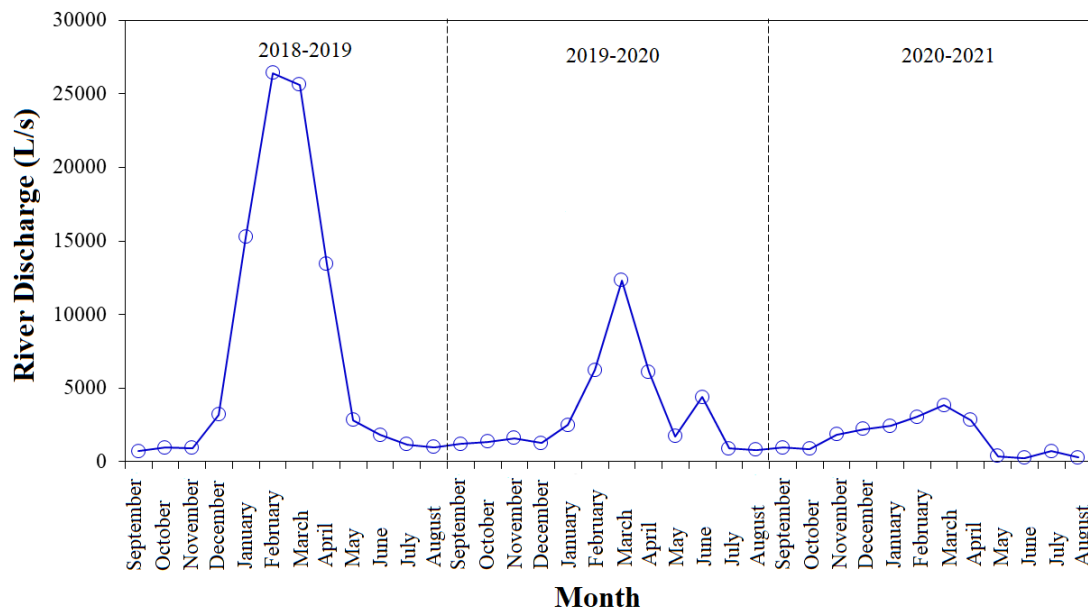
Figure 3- Spatial distribution of deep and semi-deep wells in the study area.

نتایج و بحث

تغییرات رژیم آبدهی رودخانه چهل‌چای

می‌باشد، در سال‌های آبی ۹۸-۹۹ و ۹۹-۱۴۰۰ بیشترین میزان دبی ماهانه رودخانه در ماه فروردین بوده است. بارندگی شدید سال ۹۷-۹۸ و در پی آن وقوع سیل در حوزه آبخیز رودخانه چهل‌چای باعث تغییر دبی در این رودخانه شده است. لازم به ذکر است که وقوع چنین سیلابی برای رودخانه چهل‌چای در ۳۰ سال اخیر بی‌سابقه بوده است. باتوجه به شکل ۴، میزان دبی رودخانه چهل‌چای از مردادماه تا آذرماه هر سال به کمترین مقدار خود می‌رسد و تغییرات چندانی در میزان دبی رودخانه گزارش نشده است. شروع تغییرات دبی رودخانه از دی‌ماه تا تیرماه هر سال آبی می‌باشد. همچنین میزان دبی رودخانه از سال ۹۷-۹۸ تا سال ۹۹-۱۴۰۰ کاهش چشمگیری داشته است.

رودخانه چهل‌چای یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه گرگان‌رود است که میزان آبدهی آن نقش مهمی در تغذیه آبخیز دشت مینودشت-گنبد و همچنین فعالیت‌های کشاورزی در دشت دارد. به‌همین منظور هیدروگراف یا آب‌نگاشت سالانه رودخانه برای سه سال آبی متوالی ۹۷-۹۸، ۹۹-۹۸ و ۹۹-۱۴۰۰ ترسیم گردید (شکل ۴). برای ترسیم هیدروگراف سالانه رودخانه در خروجی حوزه و ورودی دشت، از مجموع دبی اندازه‌گیری شده رودخانه در دو ایستگاه جنگلده و لزوره استفاده شد. باتوجه به شکل ۴ بجز سال آبی ۹۷-۹۸ که بیشترین میزان دبی ماهانه رودخانه مربوط به اسفندماه



شکل ۴- هیدروگراف رودخانه چهل چای در سه سال متوالی ۹۸-۹۷، ۹۹-۹۸ و ۱۴۰۰-۹۹.

Figure 4- Hydrograph of Chehel-Chay River in three consecutive years 97-98, 98-99 and 1400-1999.

اندازگیری دبی رودخانه چهل چای

می‌باشد. از این رو بستر رودخانه دارای نفوذپذیری بالایی بوده و احتمال نفوذ آب به لایه‌های زیرسطحی در این بخش از رودخانه هم وجود دارد. در این مقطع نیز میزان دبی جریان ۵۰۸ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. این امر بیانگر آن است که دبی رودخانه در فاصله بین دو مقطع ۱ و ۲ در حدود ۳۴۰ لیتر بر ثانیه کاهش یافته است. از آنجا که تمامی برداشتها در اوایل فصل زمستان ۱۴۰۱ صورت گرفته است، مقدار تبخیر در منطقه مورد مطالعه ناچیز و همچنین برداشت از آب رودخانه برای اهداف کشاورزی وجود ندارد. از این رو مقدار حجم آبی که در این فاصله کاهش یافته را می‌توان به تغذیه رودخانه نسبت داد. در نتیجه در این بازه زمانی رودخانه، دهنده می‌باشد.

مقطع سوم در فاصله تقریباً ۱۵ کیلومتری پایین‌تر از ایستگاه اول و در پایین‌دست سنگ‌شکن پشمک قرار داشت. سطح مقطع در این ایستگاه کوچک‌تر از دو ایستگاه دیگر می‌باشد. آب رودخانه در این مقطع بدلیل فعالیت سنگ‌شکن دارای کدورت بالایی بود. همچنین اندازه رسوبات در این مقطع نسبت به دو ایستگاه دیگر دانه‌ریزتر شده است. برخلاف ایستگاه دوم، مقدار دبی رودخانه در این مقطع از رودخانه چهل چای به میزان ۶۷۰ لیتر بر ثانیه افزایش می‌یابد. از این رو دبی رودخانه در حدفاصل بین دو ایستگاه به بیش از ۱۰۰ لیتر بر ثانیه افزایش یافته است. این امر بیانگر آن است که رودخانه

در این پژوهش جهت تعیین تبادل میان آب رودخانه چهل چای و آب زیرزمینی دشت، دبی رودخانه چهل چای در چهار مقطع معین از رودخانه اندازه‌گیری شد (شکل ۲). برای اندازه‌گیری دبی در تمامی مقاطع رودخانه چهل چای از دستگاه مولینه (سرعت‌سنج) استفاده شد.

مقطع اول درست بعد از به هم پیوستن رودخانه نرماب به رودخانه چهل چای و ورودی رودخانه به دشت انتخاب شد. این مقطع با عرض بیش از ۱۳ متر عریض‌ترین مقطع انتخاب شده بر روی رودخانه چهل چای می‌باشد. بستر رودخانه باتوجه ماهیت ژئومورفولوژیکی آن (مخروطافکنه) از رسوبات دانه-درشت با نفوذپذیری بالا تشکیل شده است. بعد از اندازه‌گیری سرعت رودخانه توسط مولینه، دبی متوسط رودخانه این مقطع (ورودی دشت) ۸۵۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شد.

مقطع دوم در حدود ۶ کیلومتر پایین‌تر از مقطع اول، جنوب-غرب روستای ده حسن‌خان و در بخش پایین‌دست مخروطافکنه رودخانه چهل چای قرار دارد (شکل ۲). عرض این مقطع به مراتب کوچک‌تر از ایستگاه اول و در حدود ۵/۳۰ متر می‌باشد. باتوجه به مشاهدات صحرایی، متاسفانه کانال رودخانه در این مقطع به‌شدت تحت تاثیر برداشتهای سنگ‌شکن مینودشت قرار گرفته- است. همچنین جنس رسوبات بستر رودخانه در این بخش از مسیر رودخانه بسیار درشت‌دانه

بستر گلی متشکل از رسوبات ریزدانه است (شکل ۵). مقدار دبی در این ایستگاه در حدود ۴۳۵ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. باتوجه به کاهش مقدار دبی رودخانه از ۶۷۰ به ۴۳۵ لیتر بر ثانیه می‌توان نتیجه گرفت که رودخانه در این بازه مکانی تغذیه کننده آبخوان بوده است.

چهل چای در این بازه مکانی گیرنده است و آبخوان را زهکش می‌کند.

مقطع چهارم در فاصله تقریباً ۲۰ کیلومتری پایین‌تر از ایستگاه اول و در مجاورت روستای کوچک اولوم قرار دارد. سطح مقطع در ایستگاه چهارم عریض‌تر از دو ایستگاه قبل بوده و داری



شکل ۵- نمایی از مقطع چهارم اندازه‌گیری سرعت و دبی رودخانه چهل چای در ورودی شهر گنبد.

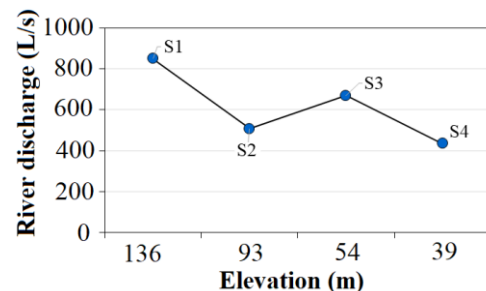
Figure 5- A view of the fourth section of measuring the speed and discharge of Chehel-Chay River at the entrance of Gonbad city.

بررسی ارتباط بین دبی رودخانه چهل چای و سطح آب چاه‌ها

بدین منظور ابتدا داده‌های مربوط به دبی رودخانه در سال‌های آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از ایستگاه‌های هیدرومتری جمع‌آوری شد. سپس برای بررسی ارتباط بین دبی رودخانه چهل چای و تغییرات سطح آب چاه‌ها از ۲۰ چاه کم‌عمق که پراکندگی مناسبی در محدوده مورد مطالعه داشتند، استفاده شد.

نتایج این بررسی نشان داد که در تعداد زیادی از چاه‌های نیمه‌عمیق (نظیر پرسه‌سو، شمال بازگیر، قوینلی، بلوچ آباد و...)، ارتباط خوبی بین سطح آب چاه‌ها و تغییرات دبی رودخانه دیده می‌شود (شکل ۶). به‌طوری‌که روند تغییرات دبی با یک تاخیر زمانی نسبتاً کوتاه در سطح آب زیرزمینی چاه‌های کم‌عمق دیده می‌شود. اگرچه در برخی از چاه‌های کم‌عمق دشت نظیر مینودشت، پشمک‌پناده، اسماعیل آباد و جالین تپه روند تغییرات سطح آب زیرزمینی از دبی رودخانه پیروی نمی‌کند. البته برای بررسی دقیق‌تر این ارتباط از روش همبستگی

نتایج حاصل از بررسی تغییرات ارتفاع سطح زمین با میزان تغییرات دبی رودخانه چهل چای نشان داد با کاهش ارتفاع و در پی آن کاهش شیب زمین میزان دبی رودخانه کاهش یافته است (شکل ۶). اگرچه این کاهش بطور یکنواخت نبوده و در ایستگاه سوم مقداری افزایش و مجدداً در ایستگاه چهارم کاهش می‌یابد. بنابراین روند کلی دبی رودخانه کاهشی بود که این امر بیانگر نقش تغذیه‌کنندگی رودخانه چهل چای در دشت ممنوعه بین مینودشت-گنبد دارد.



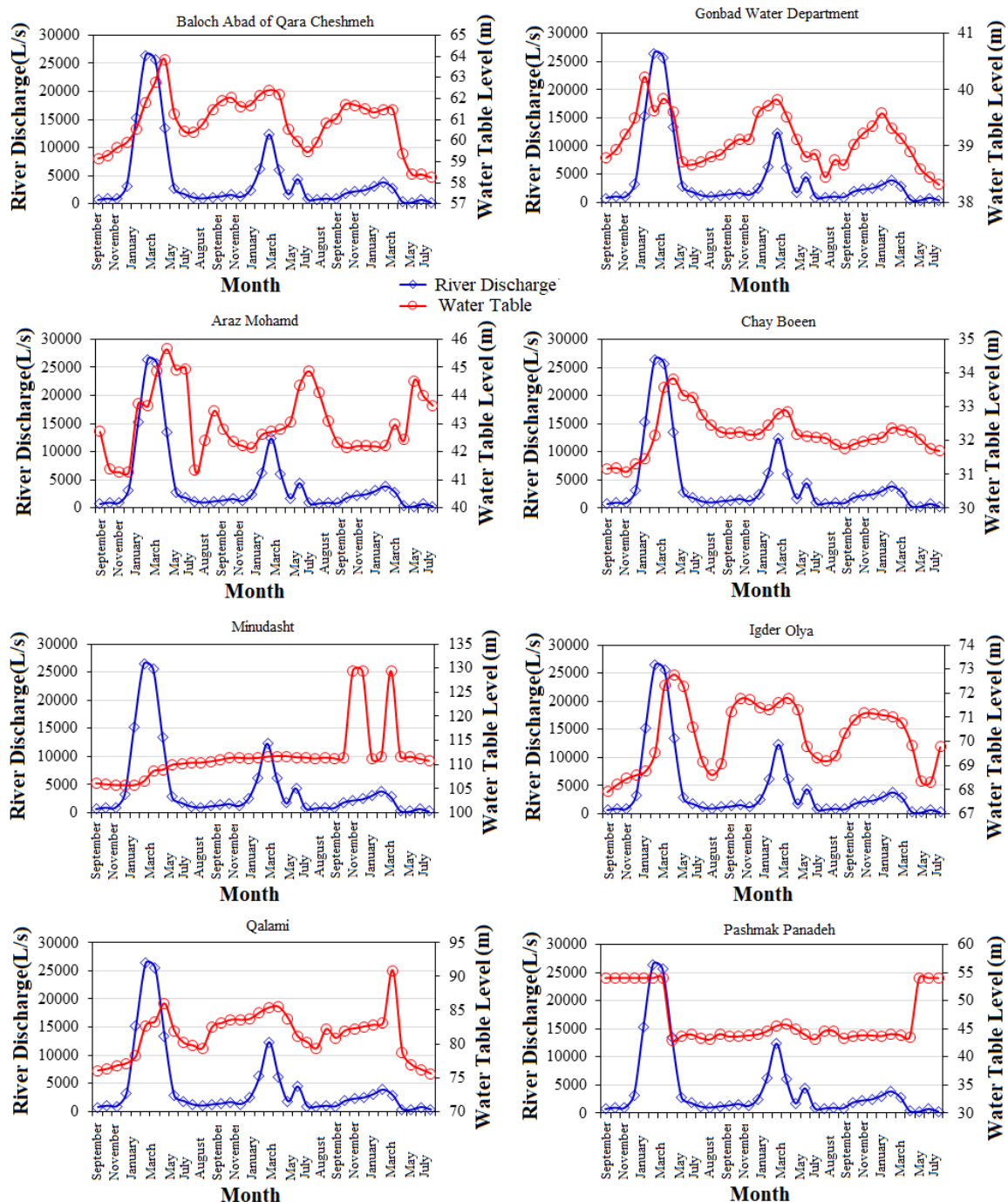
شکل ۵- منحنی تغییرات دبی رودخانه چهل چای با ارتفاع از سطح زمین.

Figure 5- The graph of Chehel-Chay River discharge changes with height above ground level.

برای بررسی ارتباط بین دبی رودخانه چهل چای و تغییرات سطح آب چاه‌های عمیق، از اطلاعات ۵ چاه عمیق موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. برخلاف چاه‌های نیمه‌عمیق، چاه‌های عمیق از پراکندگی کمتری برخوردار هستند. نتایج این بررسی نشان داد که تغییرات سطح آب چاه‌های عمیق دشت حلقه و سهراهی‌آلمان شباهت زیادی به نوسانات رودخانه چهل چای دارد (شکل ۷). اگرچه این تغییرات سطح آب زیرزمینی با یک فاصله زمانی ۱/۵ تا ۲ ماه نسبت به تغییرات رودخانه به وقوع می‌پیوندد. از مهمترین دلایل همخوانی سطح آب چاه‌های عمیق (مربوط به آبخوان محصور) می‌توان به تغذیه این آبخوان در حاشیه ارتفاعات (برای چاه دشت حلقه) و یا نشتی بودن لایه بالایی آبخوان محصور در بخش‌هایی از دشت نظیر سهراهی‌آلمان اشاره کرد. برخلاف چاه‌های عمیق مذکور ارتباطی بین سطح آب چاه‌های عمیق قزلجه‌ماتی و ایگدرسغلی دیده نمی‌شود که این امر باتوجه به واقع شدن این دو چاه در لایه‌های محصور بدیهی به نظر می‌رسد.

پیرسون در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد. که نتایج آن در زیر بحث شده است.

جدول ۱ نتایج آزمون همبستگی پیرسون را جهت بررسی ارتباط معنی‌دار بین دبی‌های ماهانه رودخانه چهل چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های نیمه‌عمیق اطراف رودخانه نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۱ مشخص شد که مقدار p -value آزمون همبستگی پیرسون ۷ چاه از ۲۰ چاه نیمه‌عمیق مورد بررسی شامل چاه‌های پرسه‌سو، شمال بازگیر، قوینلی، بلوچ‌آباد قره‌چشمه، اداره آب گنبد، ارازمحمدآخوند گرگان و چای‌بویین گنبد کوچک‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده است، لذا فرض H_1 که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین تغییرات دبی‌های ماهانه رودخانه با تراز آب زیرزمینی است، پذیرفته می‌شود. برای ۱۲ چاه نیمه‌عمیق دیگر که مقدار p -value آزمون همبستگی پیرسون آن‌ها بزرگ‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده است، ارتباط معنی‌داری بین نوسانات ماهانه دبی و با تراز آب زیرزمینی مشاهده نشد.



شکل ۶- منحنی تغییرات هیدروگراف رودخانه و سطح آب زیرزمینی برخی چاه‌های نیمه عمیق در سال‌های آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

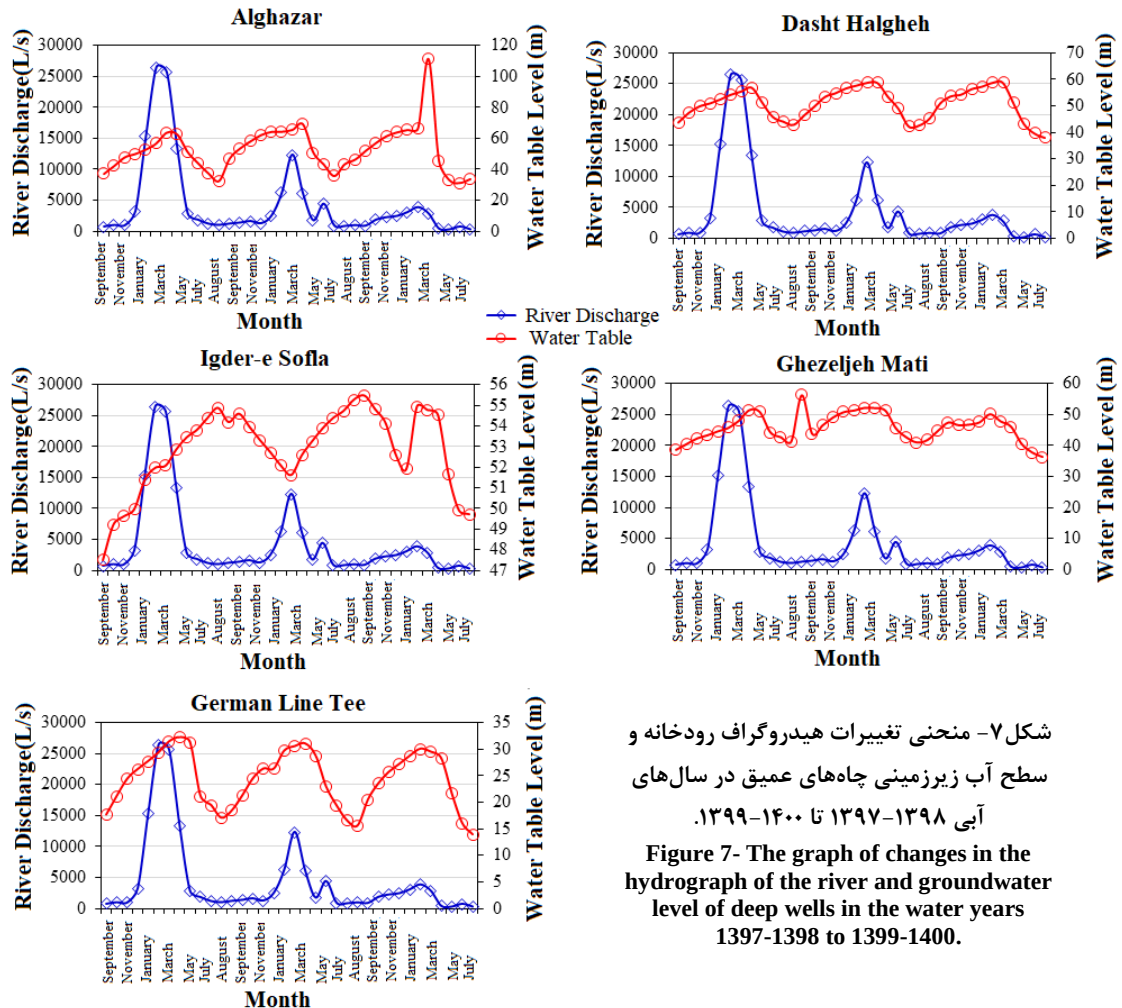
Figure 6- The Graph of changes in the hydrograph of the river and the groundwater level of some semi-deep wells in the water years 1397-1398 to 1399-1400.

جدول ۱- نتایج آزمون همبستگی پیرسون جهت بررسی ارتباط معنی دار بین دبی‌های ماهانه رودخانه چهل چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های نیمه عمیق.

Table 1- Results of Pearson's correlation test to investigate the significant relationship between the monthly discharges of Chehel-Chay River and the groundwater level of semi-deep wells.

p-value value	Well name	p-value value	Well name
0.002	Baloch Abad of Qara Chashm	0.230	Minudasht
0.961	North of Dasht Halgheh	0.008	Porse sou
0.054	Pashmak Panadeh	0.680	Esmail Abad

0.481	Ghezel jeh aghemam	0.123	Bazgir
0.477	Qul Hajji	0.000	Northi of Bazgir
0.744	Pashmak Towq Tamish	0.056	Baylor three ways
0.000	Gonbad Water Department	0.086	Qalami
0.043	Araz Mohammad Akhund Gorgan	0.103	Igdir Olya
0.020	Chay Boeen Gonbad	0.047	Quinli
		0.067	Jalain Tepe



شکل ۷- منحنی تغییرات هیدروگراف رودخانه و سطح آب زیرزمینی چاه‌های عمیق در سال‌های آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

Figure 7- The graph of changes in the hydrograph of the river and groundwater level of deep wells in the water years 1397-1398 to 1399-1400.

محاسبه شده است، ارتباط معنی‌داری بین نوسانات ماهانه دبی با تراز آب زیرزمینی مشاهده نشد.

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی پیرسون جهت بررسی ارتباط معنی‌دار بین دبی‌های رودخانه چهل‌چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های عمیق.

Table 2- The results of Pearson's correlation test to investigate the significant relationship between the flow rates of Chehlchay River and the groundwater level of deep wells.

p-value	Well name
0.001	German line tee
0.011	Dasht halgheh
0.097	Ghezeljeh mati
0.397	Igder-e Sofla
0.084	Alqajar

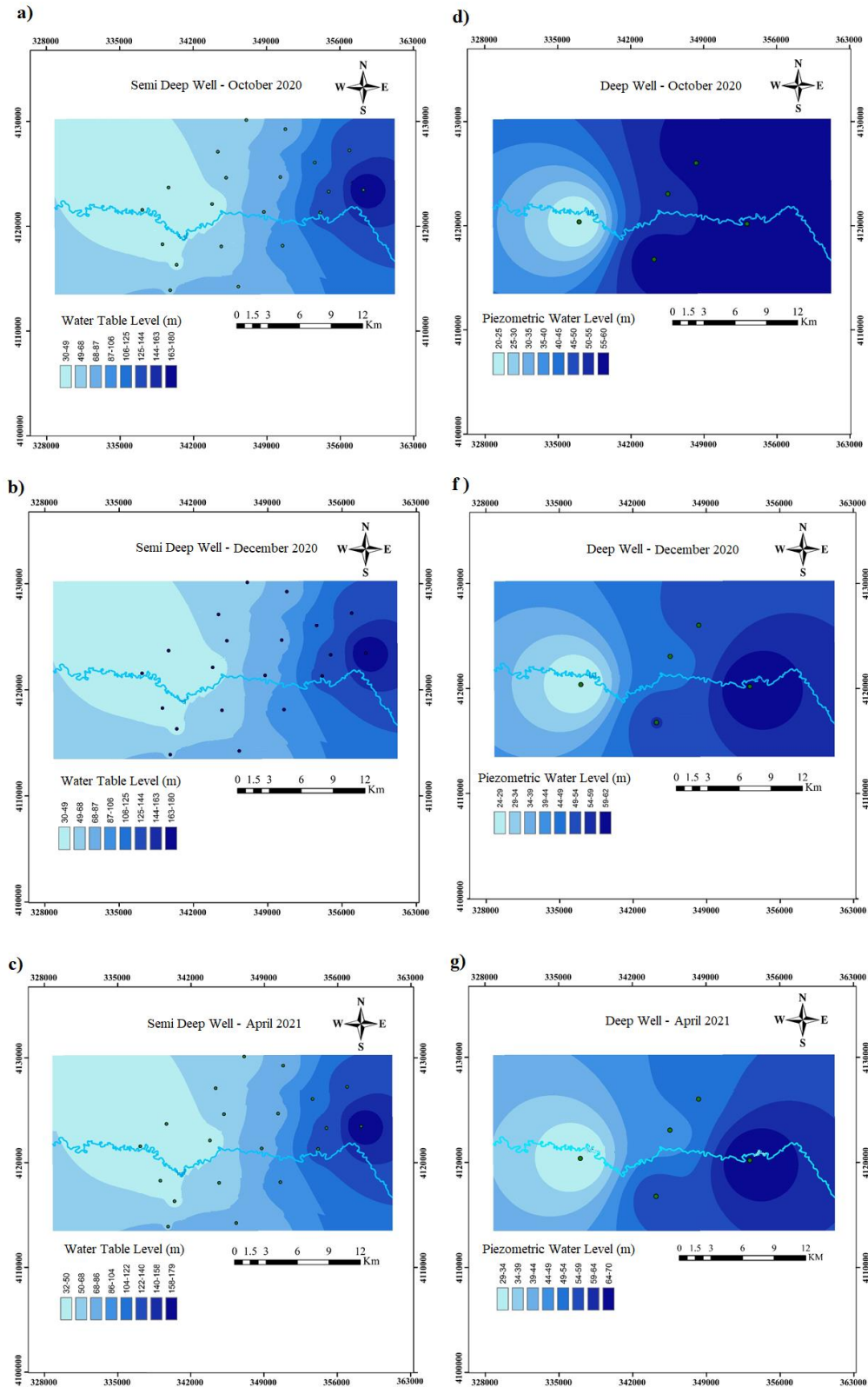
جدول ۲ نتایج آزمون همبستگی پیرسون را جهت بررسی ارتباط معنی‌دار بین دبی‌های ماهانه رودخانه چهل‌چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های عمیق اطراف رودخانه نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۲ مشخص شد که مقدار p-value آزمون همبستگی پیرسون ۲ چاه از ۵ چاه نیمه عمیق مورد بررسی شامل سه راهی خط آلمان و دشت حلقه کوچک‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده است، لذا فرض H_1 که نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار بین تغییرات دبی‌های ماهانه رودخانه با تراز آب زیرزمینی است، پذیرفته می‌شود. برای ۳ چاه عمیق دیگر که مقدار p-value آزمون همبستگی پیرسون آن‌ها بزرگ‌تر از ۰/۰۵

بررسی تغییرات خطوط هم پتانسیل آب زیرزمینی و جهت جریان رودخانه چهل چای

در این پژوهش به منظور ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه چهل چای و آبخوان‌های آزاد دشت ممنوعه مینودشت-گنبد، ارتباط بین خطوط هم پتانسیل آب زیرزمینی با جهت جریان رودخانه بررسی شد (شکل ۸). نتایج بررسی اولیه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی نشان داد که الگوی تغییرات منحنی‌های تراز در هر سه ماه مختلف تقریباً یکسان می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت در ابتدای ورود رودخانه به دشت و بر روی مخروط افکنه (ایستگاه‌های اول و دوم) انحنای منحنی‌های تراز آب زیرزمینی در جهت حرکت رودخانه چهل چای می‌باشد که نشان از تغذیه آبخوان توسط رودخانه دارد. از این رو دبی رودخانه در نزدیکی ارتفاعات کاهش می‌یابد. در ادامه با کاهش شیب زمین و ورود رودخانه چهل چای به قسمت‌های میانی دشت، شکل انحنای خطوط تراز آب زیرزمینی تغییر می‌کند (شکل ۸a، b و c) و به مرور در جهت خلاف حرکت رودخانه چهل چای می‌شود که این امر بیانگر آن است که آبخوان رودخانه را تغذیه می‌کند و حرکت آب از آبخوان به سمت رودخانه است (ایستگاه‌های ۳ و ۴). در نتیجه دبی رودخانه در

ادامه مسیر افزایش می‌یابد. نتایج این بخش با یافته‌های بخش ۲-۴ همسو می‌باشد.

اصولاً آبخوان‌های محصور در اعماق نسبتاً زیاد از سطح زمین قرار دارند و از بالا و پایین توسط لایه‌های نفوذناپذیر محدود شده‌اند. از این رو نمی‌توان ارتباط هیدرولیکی خاصی را بین این آب رودخانه و لایه‌های محصور در دشت مورد مطالعه متصور بود. مگر اینکه منطقه تغذیه لایه‌های محصور به‌جا ارتفاعات مشرف به دشت در حاشیه ارتفاعات باشد. در شکل ۸a، e و f خطوط هم پتانسیل مربوط به چاه‌های پیرومتری دشت مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ ترسیم شده‌است. باتوجه به شکل ۸a، e و f، الگوی تغییرات خطوط هم پتانسیل برای دی ماه نسبت به دو ماه دیگر فرق می‌کند. در بخش ابتدایی دشت در ماه‌های دی ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰ انحنای خطوط هم پتانسیل در جهت حرکت آب رودخانه است. باتوجه به اینکه منطقه تغذیه لایه‌های محصور در دشت ممنوعه در حاشیه ارتفاعات مینودشت و حومه می‌باشد، از این رو احتمال تغذیه لایه‌های زیرین در این بخش از دشت وجود دارد اما در بخش‌های دیگر ارتباط هیدرولیکی خاصی بین رودخانه چهل چای و لایه محصور در این ماه‌ها دیده نشد.



شکل ۸- تغییرات منحنی‌های تراز آب زیرزمینی آبخوان نیمه‌عمیق (a, b و c) و عمیق (d, f و g) در ماه‌های آبان و دی ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰.

Figure 8- Changes in the groundwater level curves of semi-deep (a, b and c) and deep (d, f and g) aquifers in the months of November and December 2019 and May 2020.

نتیجه گیری

رودخانه چهل چای یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه گرگان رود است که میزان آبدهی آن نقش مهمی در تغذیه آبخوان دشت مینودشت-گنبد و همچنین فعالیت‌های کشاورزی در دشت دارد. باتوجه به هیدروگراف یا آب‌نگاشت سالانه رودخانه، بیشترین میزان دبی ماهانه رودخانه (بجز سال آبی ۹۷-۹۸) مربوط به فروردین‌ماه می‌باشد و میزان دبی رودخانه چهل چای از مرداد ماه تا آذر ماه هر سال به کمترین مقدار خود می‌رسد.

میزان دبی اندازگیری شده رودخانه چهل چای و نوسانات آن در طول مسیر، نشان از روند کلی کاهشی آن دارد. اگرچه این روند کاهشی یکنواخت نبوده و در ایستگاه سوم و با فاصله گرفتن از جبهه ارتفاعات افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در رأس مخروط‌افکنه و در نواحی نزدیک به حاشیه ارتفاعات جایی که رودخانه وارد دشت می‌شود، دبی متوسط رودخانه در حدود ۸۵۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که این مقدار بیشترین میزان دبی در طول بازه مکانی مورد مطالعه است. با حرکت رودخانه بر روی دشت بدلیل کاهش شیب زمین، اندازه ذرات رسوبات و در پی آن افزایش نفوذپذیری در رسوبات، میزان نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی توسط رودخانه افزایش یافته که این امر سبب کاهش دبی رودخانه در به میزان ۳۴۰ لیتر بر ثانیه شده‌است. با درنظر گرفتن این مطلب که تمامی برداشت‌ها در اوایل فصل زمستان ۱۴۰۱ صورت گرفته‌است، مقدار تبخیر کمترین مقدار بوده و برداشت از آب رودخانه برای اهداف کشاورزی به‌عنوان دو عامل تأثیرگذار بر دبی رودخانه وجود ندارد. از این‌رو مقدار حجم آبی که در این فاصله کاهش یافته را می‌توان به تغذیه رودخانه نسبت داد. در نتیجه در این بازه مکانی، رودخانه چهل چای دهنده می‌باشد. اما در ایستگاه سوم و در فاصله تقریباً ۱۵ کیلومتری پایین‌تر از ایستگاه اول مقدار دبی رودخانه مجدداً به میزان ۶۷۰ لیتر بر ثانیه می‌رسد. از این‌رو دبی رودخانه در حدفاصل بین دو ایستگاه به بیش از ۱۰۰ لیتر بر ثانیه افزایش یافته است. این امر بیانگر آن است که رودخانه در این بازه مکانی گیرنده است و آبخوان دشت را زهکش می‌کند. مجدداً در مقطع چهارم و در فاصله تقریباً ۲۰ کیلومتری پایین‌تر از ایستگاه اول، مقدار دبی اندازه‌گیری شده در این ایستگاه در حدود ۴۳۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. باتوجه به

کاهش مقدار دبی رودخانه از ۶۷۰ به ۴۳۵ لیتر بر ثانیه می‌توان نتیجه گرفت که رودخانه در این بازه مکانی تغذیه‌کننده آبخوان بوده‌است. این نتایج همسو با یافته‌های جاوید و همکاران (۱۳۸۵) است.

بررسی آماری و گرافیکی ارتباط بین نوسانات دبی رودخانه چهل چای و تغییرات سطح آب چاه‌های نیمه‌عمیق (آبخوان آزاد) نشان داد در تعداد زیادی از این چاه‌ها (نظیر پرسه‌سو، شمال بازگیر، قوینلی، بلوچ‌آباد قره‌چشمه، اداره آب گنبد) ارتباط معنی‌دار بین تغییرات دبی‌های ماهانه رودخانه با تراز آب زیرزمینی وجود دارد. به‌طوری‌که روند تغییرات دبی با یک تاخیر زمانی نسبتاً کوتاه در سطح آب زیرزمینی چاه‌های کم-عمق دیده می‌شود. از این‌رو رودخانه در این بخش از دشت که چاه‌های مذکور وجود دارند، آبخوان را تغذیه می‌کند. اگرچه در برخی از چاه‌های کم‌عمق دشت نظیر مینودشت، پشمک‌پناده، اسماعیل آباد و جلالین‌تپه ارتباط معنی‌داری بین نوسانات ماهانه دبی و با تراز آب زیرزمینی مشاهده نشد.

بررسی گرافیکی ارتباط بین دبی رودخانه چهل چای و سطح آب چاه‌های عمیق (آبخوان محصور) نشان داد که تغییرات سطح آب دو چاه دشت حلقه و سه‌راهی‌آلمان شباهت زیادی به نوسانات رودخانه چهل چای دارد. نتایج آزمون همبستگی پیرسون هم ارتباط معنی‌داری بین دبی‌های ماهانه رودخانه چهل چای با تراز آب زیرزمینی چاه‌های عمیق را در اطراف رودخانه نشان می‌دهد. اگرچه این تغییرات با توجه به روش گرافیکی با یک فاصله زمانی ۱/۵ تا ۲ ماه نسبت به تغییرات رودخانه به وقوع می‌پیوندد. از مهمترین دلایل همخوانی سطح آب چاه‌های عمیق (مربوط به آبخوان محصور) می‌توان به تغذیه این آبخوان در حاشیه ارتفاعات (برای چاه دشت حلقه) و یا نشتی بودن لایه بالایی آبخوان محصور در بخش‌هایی از دشت نظیر سه‌راه‌آلمان اشاره کرد. این نتایج همسو با یافته‌های چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۰) است.

نتایج بررسی اولیه نقشه‌های تراز آب زیرزمینی سفره آزاد نشان داد که الگوی تغییرات منحنی‌های تراز در هر سه ماه مختلف یکسان می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت در رأس مخروط‌افکنه و ابتدای ورود رودخانه چهل چای به دشت و بر روی مخروط‌افکنه، انحنای منحنی‌های تراز آب زیرزمینی در جهت حرکت رودخانه چهل چای می‌باشد که نشان از تغذیه

حیدری، ج.، چیت‌سازان، م.، میرزایی، س.ی.، ۱۳۹۸. مدل‌سازی رابطه هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت صحنه- بیستون با رودخانه گاماسیاب و مدیریت آبخوان. هیدروژئولوژی، ۴ (۱): ۱۵۲-۱۴۰.

کامکار، و.، آذری، آ.، فاطمی، ا.، ۱۴۰۰. برآورد تغذیه و تبادل جریان بین رودخانه و آبخوان بر اساس مدل متصل شده آب سطحی- آب زیرزمینی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲ (۷): ۱۷۸۰-۱۷۹۳.

فارابی، م.، چیت‌سازان، م.، ۱۳۹۵. بررسی برهمکنش آب زیرزمینی و رودخانه با استفاده از پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی، مطالعه موردی: بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک. فصل‌نامه علمی پژوهشی زمین- شناسی ایران، ۱۰ (۲۴): ۱۱۴-۱۰۱.

قره‌محمودلو، م.، جندقی، ن.، صیادی، م.، ۱۴۰۰. بررسی عوامل موثر بر تغییرات خوردگی و ترسیب در طول رودخانه گرگان‌رود، استان گلستان. فصل‌نامه علمی- پژوهشی علوم محیطی، ۱۹ (۲): ۷۱-۹۰.

سعیدی رضوی، ب.، عرب، ع.، ۱۳۹۹. بررسی ارتباط سطح آب زیرزمینی با رودخانه و تحلیل ضریب جریان روزانه آن. هیدروژئولوژی، ۵ (۱): ۹۷-۸۴.

شیبانی، ف.، حمدی‌پور، م.، ۱۳۹۴. بررسی ارتباط متقابل و اثرات آب‌های سطحی بر آب‌های زیرزمینی دشت بستان‌آباد، نهمین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست. دانشگاه تهران. خرداد ماه ۱۳۹۴، تهران.

یوسفی سنگانی، ک.، محمدزاده، ح.، ۱۳۸۸. تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی و چگونگی اندازه‌گیری نشت آب، دومین کنفرانس سراسری آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان. ۲۰ اسفند ۱۳۸۸، بهبهان.

زارع گاریزی، آ.، سعدالدین، ا.، شیخ، و.، سلمان ماهینی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات بلندمدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای (استان گلستان). مجله پژوهش آب ایران، ۶ (۱۰): ۱۶۵-۱۵۵.

ناصری، ح.، سعیدی، ع.، علیجانی، ف.، شهنساری، ع.، ۱۳۹۷. ارتباط هیدرولیکی رودخانه آغمیون و آبخوان دشت سراب (استان آذربایجان شرقی). پژوهش‌های دانش زمین، ۹ (۳۵): ۱۲۴-۱۳۸.

آبخوان توسط رودخانه دارد. از این‌رو دبی رودخانه در نزدیکی ارتفاعات کاهش می‌یابد. در ادامه با کاهش شیب زمین و ورود رودخانه چهل‌چای به قسمت‌های میانی دشت، شکل انحنای خطوط تراز آب زیرزمینی تغییر می‌کند و به مرور خلاف جهت حرکت رودخانه چهل‌چای می‌شود که این امر بیانگر آن است که آبخوان، رودخانه را تغذیه می‌کند و حرکت آب از آبخوان به سمت رودخانه است. در نتیجه دبی رودخانه در ادامه مسیر افزایش می‌یابد. نتایج این بخش با یافته‌های قبلی همسو می‌باشد.

الگوی تغییرات خطوط هم‌پتانسیل آبخوان محصور برای دی‌ماه نسبت به دو ماه دیگر متفاوت است. در بخش ابتدایی دشت در ماه‌های دی ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰ انحنای خطوط هم‌پتانسیل در جهت حرکت آب رودخانه است. با توجه به اینکه منطقه تغذیه لایه‌های محصور در دشت ممنوعه در حاشیه ارتفاعات مینودشت و حومه می‌باشد، از این‌رو احتمال تغذیه لایه‌های زیرین در این بخش از دشت وجود دارد. اما در بخش‌های دیگر ارتباط هیدرولیکی خاصی بین رودخانه چهل‌چای و لایه محصور در این ماه‌ها دیده نشد. این نتایج با یافته‌های رئیسی (۱۳۷۶) و شیبانی و همکاران (۱۳۹۴) همسو بوده اما با نتایج مطالعات کاظمی و همکاران (۱۳۷۴) مطابقت ندارد.

به‌طور کلی رودخانه چهل‌چای به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آب زیرزمینی نقش تغذیه‌کنندگی مهمی در دشت ممنوعه بین مینودشت- گنبد دارد و حیات و جریان آن در دشت آن با توجه به فعالیت‌های کشاورزی می‌تواند نقش مهمی در تغذیه آبخوان‌های دشت و جلوگیری از افت بیش از حد سطح آب زیرزمینی در دشت داشته باشد.

منابع

بهمی، ف.، رئیسی، ع.، ۱۳۸۸. تعیین آلودگی و مکانیزم انتقال آرسنیک در آبخوان مجاور دریاچه مهارلو، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۴ مهر ۱۳۸۸، تهران.

جاوید، ع.، اصغری مقدم، ا.، ۱۳۸۵. آنالیز نتایج اندازه‌گیری دبی رودخانه سنگ‌سیاه و بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان دشت دهگلان، دهمین همایش انجمن زمین- شناسی ایران. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳ شهریور، تهران.

- groundwater in Yinchuan Plain. *Water*, 12 (9): 2635.
- Li, X., Yan, B., Wang, Y., Wang, X., Li, Y., Gai, J., 2022. Study of the interaction between Yellow River water and groundwater in Henan Province, China. *Sustainability*, 14: 8301.
- Maghami, Y., Ghazavi, R. Vali, A.A., Sharafi, S., 2011. Evaluation of spatial interpolation methods for water quality zoning using GIS Case study, Abadeh Township. *Geography and Environmental Planning*, 42 (2):171-182.
- Suárez, F., Sandoval, V., Sarabia, A., and Muñoz, J.F., 2023. Investigating river-aquifer interactions using heat as a tracer in the Silala river transboundary basin. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 11(1): 1639.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., and Alley, W.M., 1998. Groundwater and surface water, a single resource. *U.S. Geological Survey Circular*, 11-39: 79 p.
- شیرازی، ا.، ۱۳۹۵. آموزش جامع نرم افزار آماری Minitab 16. چاپ اول. انتشارات نوروزی، ۳۰۵ ص.
- رئیزی، ع.، ۱۳۷۶. اثر گنبد نمکی گز طولیه بر روی آب های کارستی و آبرفتی مجاور، اولین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه تهران. ۴ تا ۶ شهریور ماه ۱۳۷۶، تهران.
- کاظمی، غ.، مهدی زاده، ح.، ۱۳۷۴. کاربرد ایزوتوپ های هیدروژن، اکسیژن و استرانسیم در مطالعات آب های سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز باکینباه (Bachinbah) در شرق استرالیا، چهارمین انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه تبریز. ۸ تا ۱۰ شهریور ماه ۱۳۷۹، تبریز.
- Cai, Z., Wang, W., Zhao, M., Ma, Z., Lu, C., Li, Y., 2020. Interaction between surface water and