

## اثر پخش طبیعی سیلاب اسفند ۱۳۹۷ بر خصوصیات کمی و کیفی آب زیرزمینی در پهنه سیلاب‌دشت بخش انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود

آرتق گرگانلی دوجی<sup>۱</sup>، نادر جندقی<sup>۲\*</sup>، مجتبی قره‌محمودلو<sup>۲</sup>، یعقوب نیک‌فوجق<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس

۲. استادیار دانشگاه گنبد کاووس، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

۳. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۲؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیلاب اسفندماه ۱۳۹۷ بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی، پهنه سیلاب‌دشت انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود که به طور طبیعی در معرض سیلاب قرار گرفته بود، انتخاب شد. برای بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی، به ترتیب تعداد ۱۷ و ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای با پراکنش مناسب در محدوده مطالعه شده انتخاب شد. سپس، اطلاعات کمی (سطح آب زیرزمینی) و کیفی (۱۱ پارامتر فیزیکوشیمیایی) چاه‌ها در دو دوره قبل و بعد از وقوع سیل جمع‌آوری شد. ابتدا تغییرات سطح آب زیرزمینی در دو دوره با آزمون T زوجی و تراز متوسط آب زیرزمینی در دشت بررسی شد. سپس، تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی در دو دوره با استفاده از آزمون T زوجی ارزیابی شد. در نهایت، تغییرات هیدروژئوشیمیایی با استفاده از دیاگرام‌های گیبس، دوروف و پایپر و کیفیت آب کشاورزی و شرب با استفاده از دیاگرام‌های ویلکوکس و شولر بررسی شد. نتایج آزمون T زوجی نشان داد سطح آب زیرزمینی در ۸۸/۲ درصد چاه‌های مشاهده‌ای بعد از وقوع سیلاب افزایش معناداری داشته است. این امر باعث افزایش سطح آب زیرزمینی و همچنین، هیدروگراف واحد دشت (حدود ۲ متر) بعد از وقوع سیل شده است. نتایج بررسی تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نشان داد در اغلب چاه‌های مشاهده‌ای بعد از سیلاب مقدار EC، آنیون‌ها و کاتیون‌ها (به جز نیترات) کاهش یافته است. این امر باعث کاهش سختی آب زیرزمینی شده، اما تأثیر چشمگیری روی تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی سیلاب‌دشت مطالعه شده نداشته است. این امر می‌تواند ناشی از شباهت هیدروشیمیایی آب نفوذی و آب زیرزمینی آبخوان دشت باشد.

**کلیدواژگان:** آب زیرزمینی، آبخوان، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، سیلاب، سیلاب‌دشت، گرگان‌رود.

## مقدمه

سیل از معمول‌ترین و خطرناک‌ترین مخاطرات طبیعی است که هر ساله باعث بروز خسارت‌های جانی و مالی سنگین در سراسر جهان می‌شود [۱]. طی چهار دهه گذشته تعداد وقوع سیل (۱۷۰۰ واقعه مهم سیل) در کشور بیش از ۵ برابر نسبت به دهه ۱۳۳۰-۱۳۴۰ است [۲]. رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی از دیرباز مورد توجه جوامع بشری بوده و برای بهره بردن از این منابع آبی، شهرها و مراکز صنعتی و کشاورزی معمولاً در حواشی رودخانه‌ها احداث شده‌اند. این جوامع معمولاً در معرض سیلاب بوده و بر اثر وقوع آن، خسارت‌های مختلف جانی و مالی برای اهالی به همراه دارد [۲]. بررسی کیفیت آب به عنوان عامل حیات، اهمیت بسیار زیادی دارد، چرا که کیفیت آب به طور مستقیم بر سلامت انسان تأثیرگذار است و همچنین، کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی تابع کیفیت منابع آب است [۳].

وقوع سیلاب‌ها اگرچه با آثار و پیامدهای منفی زیادی همراه است، اما مزایایی نیز دارد که قابل بهره‌برداری است. با استفاده از پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی آبخوان، می‌توان همه یا قسمتی از جریان سیلاب را برداشت و آن را در دشت‌های مجاور پخش کرد. پخش سیلاب در دشت‌ها باعث می‌شود جریان سیل فرصت نفوذ بیشتری به داخل خاک داشته باشد و سفره‌های آب زیرزمینی را تغذیه کند. در سالیان اخیر با توجه به برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، اغلب دشت‌های ایران با افت سطح ایستابی مواجه شده‌اند. پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی راهکاری مناسب برای نفوذ آب به درون زمین و تقویت سفره‌های آب زیرزمینی است [۴]. علاوه بر این، انجام آن باعث جلوگیری از گسترش بیابان‌ها و افزایش تولیدات کشاورزی و باغی می‌شود و از نشست زمین جلوگیری می‌کند. در این زمینه کوثر [۵] ظرفیت ذخیره سیلاب در دشت‌گرابایگان فسا را حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب برآورد کرده است.

موسوی و رضایی [۶] در ارزیابی تأثیر پخش سیلاب بر منابع آبی در دشت سهرین زنجان اظهار داشته‌اند که اجرای پروژه پخش سیلاب تأثیر درخور توجهی بر منابع آب زیرزمینی داشته است. قضاوی و همکاران [۷] گزارش داده‌اند که با اجرای پخش سیلاب و تغذیه آبخوان در شهرستان داراب، پارامترهای کیفی آب از جمله pH، EC،

Ca، Mg، Cl، HCO<sub>3</sub> و SO<sub>4</sub> کاهش محسوس داشته‌اند. ویسکرمی و همکاران [۸] در مطالعه خود اظهار داشته‌اند که قبل از اجرای پروژه پخش سیلاب در دشت کوهدشت، سطح ایستابی در آب‌های زیرزمینی روند کاهشی داشته، اما با اجرای طرح، سطح آب زیرزمینی افزایش یافته و روند کاهشی آن متوقف شده است. چوپانی [۹] در بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی لاور فین بر کمیت‌های آب زیرزمینی اظهار داشته است که سطح آب زیرزمینی بعد از اجرای طرح، افزایش چشمگیری داشته است. مسلمی و همکاران [۱۰] و [۱۱] در مطالعات خود به ارزیابی آثار پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت هشت‌بندی پرداخته و گفته که بعد از گذشت ۱۰ سال و چند مرحله سیل‌گیری، سطح چاه مشاهده‌ای ۳ متر افزایش یافته است. در این بررسی همچنین مشخص شده مقدار شوری آب در محدوده اجرای طرح پخش سیلاب تغییر خاصی نداشته، اما در مرکز دشت به دلیل برداشت بی‌رویه، شوری آب چاه‌ها افزایش یافته است. کریمی و حیات‌نیا [۴] به بررسی تأثیر پخش سیلاب موسیان بر آبخوان منطقه بر اساس اطلاعات پیژومترها پرداختند. نتایج تحقیق آنها آثار مثبت پخش سیلاب در کاهش چشم‌گیر افت تراز آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. دهمرده قلعه‌نو و همکاران [۱۲] در بررسی تأثیر پخش سیلاب کوه خواجه سیستان به این نتیجه رسیدند که پخش سیلاب باعث کاهش معنادار اسیدیته و هدایت الکتریکی شده است. ابراهیمی و همکاران [۱۳] در مطالعه تأثیر پخش سیلاب بر آب زیرزمینی دشت مهران اظهار داشته‌اند که پس از اجرای طرح روند کاهشی نمودار تراز چاه‌های آزمایشی متوقف شده و سطح آب زیرزمینی افزایش یافته است. جهان‌تیغ و جهان‌تیغ [۱۴] در تحقیقی به بررسی تأثیر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سیستان پرداختند. نتایج بررسی یادشده در مورد هیدروگراف واحد دشت نشان داد سطح آب بعد از سیلاب ۲/۱۶ متر افزایش داشته است. همچنین، مشخص شد که ورود جریان‌های سیلابی سبب کاهش معنادار EC شده، اما کاهش مقدار pH از نظر آماری معنادار نبوده است.

مویر [۱۵] در مطالعه‌ای در ایالت کالیفرنیا آمریکا نتیجه گرفت که به ترتیب ۶ و ۱۰ ماه پس از شروع اولین تغذیه مصنوعی آبخوان، مقدار متوسط شوری آب

WHO) از دست داده‌اند. Sarfaraz و همکاران [۲۲] با بررسی ۱۱۲۷ پروژه اجراشده تغذیه مصنوعی آبخوان به صورت مدیریت شده، اظهار داشتند که این پروژه‌ها بیشتر در خاک‌های لوم رسی شنی که با گروه هیدرولوژیک C اجرا شده است. اجرای این روش می‌تواند در حذف کربن آلی محلول و اغلب فلزات مؤثر باشد.

رودخانه گرگان‌رود با طول ۳۳۳ کیلومتر طولانی‌ترین رودخانه و حوضه آبریز آن بزرگ‌ترین حوضه در استان گلستان است که کارکرد زیادی در تأمین منابع آب مورد نیاز این استان دارد. ۶۷ درصد از منابع آب سطحی استان، معادل ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوضه جریان دارد [۲۳]. از آنجا که حدود ۴۰ درصد از مساحت این حوضه پوشیده از اراضی کشاورزی و باغ‌ها بوده و از آب این رودخانه برای آبیاری آنها استفاده می‌شود، نقش رودخانه گرگان‌رود در توسعه فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی، برای ساکنان منطقه و استان گلستان بسیار اهمیت دارد. با توجه به سیل‌خیز بودن حوضه آبریز گرگان‌رود در استان گلستان که در بیشتر سال‌ها با خسارت‌های جانی و مالی همراه است، همچنین وقوع خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به دلیل فعالیت‌های کشاورزی در منطقه، با مطالعه و اجرای پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی آبخوان می‌توان علاوه بر کاهش خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم سیلاب، باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی شد و از نشست زمین و شور شدن اراضی جلوگیری کرد. با توجه به اینکه در سیل اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان قسمتی از جریان سیلاب به طور طبیعی در دشت‌ها و اراضی اطراف رودخانه گرگان‌رود پخش شد، هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر سیلاب اسفند ۱۳۹۷ روی تغییرات سطح ایستابی، هیدروگراف واحد دشت و همچنین، پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در چاه‌های نیمه‌عمیق در پهنه سیلاب‌دشت قسمت انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود است.

#### معرفی منطقه مطالعه‌شده

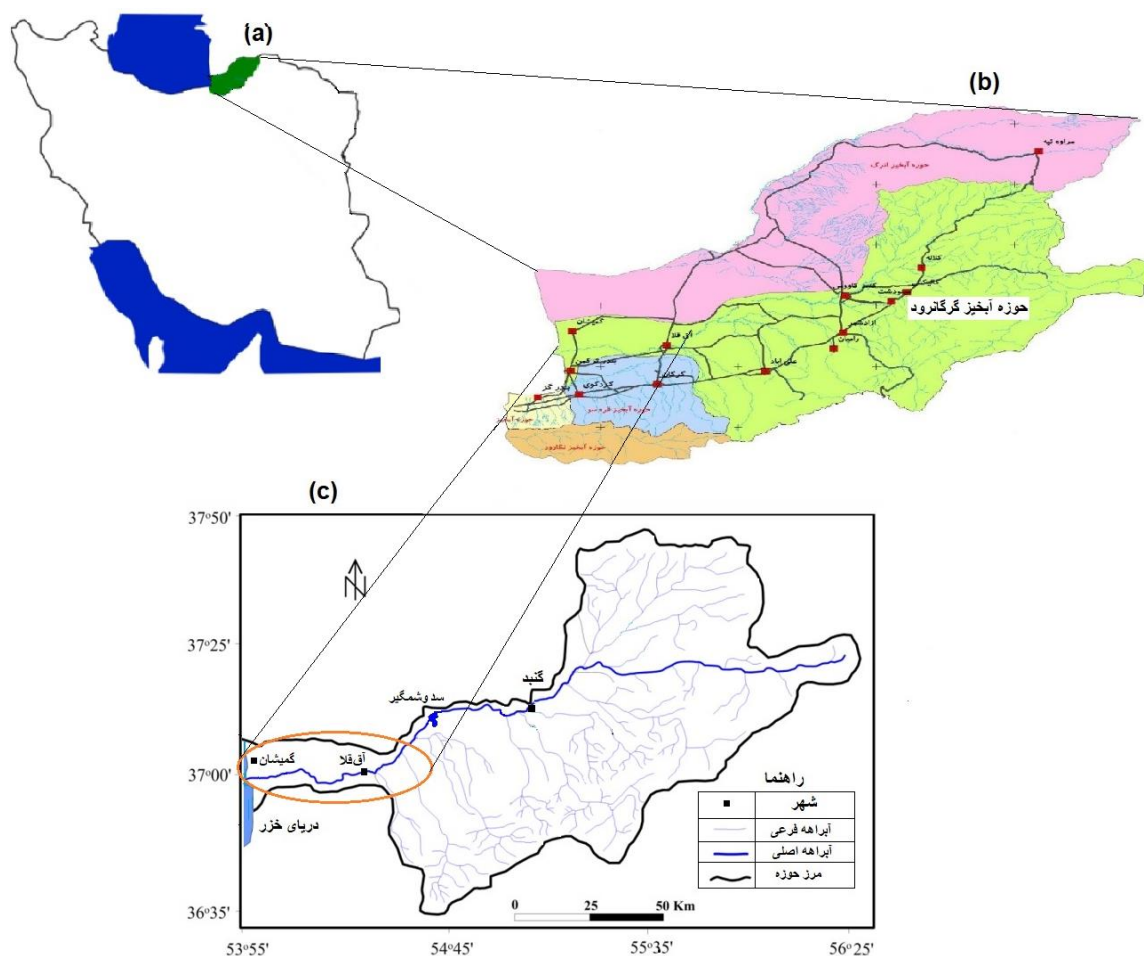
استان گلستان یکی از استان‌های سیل‌خیز کشور محسوب می‌شود که از ۵ حوضه آبریز اصلی تشکیل شده، به‌گونه‌ای که حوضه گرگان‌رود از نظر مساحت و آبدهی در رتبه اول است. مساحت حوضه آبریز گرگان‌رود ۱۳۰۶۶/۸۲ کیلومتر

زیرزمینی که قبل از تغذیه مصنوعی ۱۴۷ میکروموس بر سانتی‌متر بوده، به ۱۰۰ و ۴۷ میکروموس بر سانتی‌متر کاهش یافته و تأثیر مثبتی داشته است. ویساکول و همکاران [۱۶] در تحقیقی برای جلوگیری از خطر فرونشست زمین و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه بانکوک و اطراف آن که به دلیل نفوذ آب‌های شور مورد تهدید بوده است، پیشنهاد استفاده از طرح‌های پخش سیلاب را داده‌اند و آن را بهترین گزینه برای کاهش اثرات این خطر معرفی کرده‌اند. سایانا و همکاران [۱۷] در بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی با استفاده از رواناب حاصل از بارش بر منابع آب زیرزمینی کشور هند، از هیدروگراف واحد دشت و معادله بیلان آب برای تعیین حجم ذخیره آبخوان استفاده کردند. آنها اظهار داشتند که سطح آب زیرزمینی بر اثر تغذیه آبخوان افزایش معناداری داشته است. یو و همکاران [۱۸] با استفاده از روش تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی برای مدیریت منابع آب در سین‌کیانگ کشور چین اظهار داشته‌اند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر پخش سیلاب همراه با تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها با در نظر گرفتن منافع جانبی آن، بهترین گزینه برای ذخیره آب در سرزمین‌های خشک است. آبراهام و موهان [۱۹] طی پژوهشی گزارش دادند که تغذیه مصنوعی باعث افزایش دو برابری سطح آب زیرزمینی در کشور هند شده است. میلاد و همکاران [۲۰] در ارزیابی پتانسیل تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در مناطق ساحلی در جنوب غربی کشور عربستان، اظهار داشته‌اند که بعد از وقوع بارش شدید ماه اوت ۲۰۱۶، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط بیش از ۲/۲۵ متر افزایش یافته است. Charles و همکاران [۲۱] در ارزیابی تأثیر سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی در کشور لیبیا از آزمون T زوجی استفاده و اقدام به بررسی اختلاف معناداری بین پارامترهای کیفی آب در دو دوره خشک و مرطوب کرده‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بین دوره مرطوب و خشک از نظر کدورت، نیتريت، نترات، مس، سرب و کادمیوم اختلاف آماری وجود داشت، در حالی که برای ۳ پارامتر pH، روی و فسفات اختلاف آماری مشاهده نشد. همچنین، مشخص شد سطح آلودگی از فصل خشک به فصل مرطوب روند افزایشی داشته، به‌طوری که همه نمونه‌ها کیفیت مناسب شرب را بر اساس استانداردهای

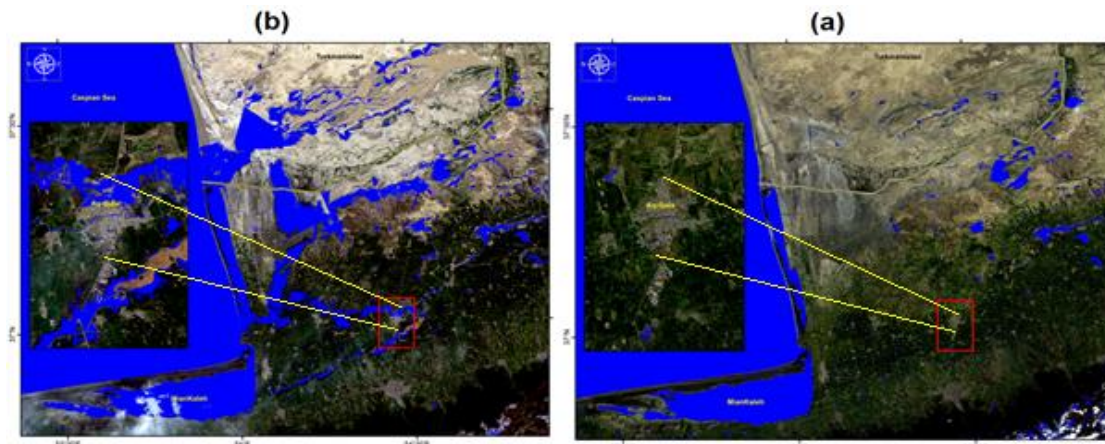
پیوسته ادامه داشته (سامانه اول بارش) و باعث آب‌گرفتگی وسیعی در مسیر گرگان‌رود و به‌خصوص در قسمت انتهایی این حوضه شد. این سامانه از نوع ناپایدار با امواج کم‌دامنه و یک الگوی باروکلنیک کلاسیک در تمام سطوح بود که به صورت محلی عملکرد بسیار خوبی داشت. در تاریخ ۱۳۹۸/۱/۴ سامانه دوم و از ۱۳۹۸/۱/۱۱ سامانه سوم بارشی در استان آغاز شد که نسبت به سامانه اول، ضعیف‌تر بود، اما به دلیل اشباع کامل خاک و ذوب برف در ارتفاعات، رواناب درخور توجهی ایجاد کرد و باعث افزایش ماندگاری جریان سیلاب روی سطح زمین در اطراف شهرهای آق‌قلا و گمیشان شد [۲]. شکل ۲ مقایسه تصاویر ماهواره‌ای رودخانه گرگان‌رود را قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷ در محدوده شهرستان آق‌قلا در قسمت انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود نشان می‌دهد.

مربع است که بیش از نیمی از کل استان را تشکیل می‌دهد. آبراهه یا رودخانه اصلی گرگان‌رود پس از طی ۳۳۳ کیلومتر با تشکیل یک دلتای بزرگ در شهرستان گمیشان به دریای خزر می‌ریزد. بارش سالانه این حوضه از ۲۳۱ میلی‌متر تا ۸۴۸ میلی‌متر تغییر می‌کند [۲]. این مطالعه در پهنه سیلاب‌دشت واقع در قسمت انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود انجام شد. این محدوده بر اثر وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷، به دلیل شیب بسیار کم دشت و حجم زیاد رواناب ورودی، به طور طبیعی تحت تأثیر سیلاب واقع شده، به طوری که جریان سیلاب حدود یک ماه در سطح زمین ماندگاری داشته است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعه شده را در کشور، استان گلستان و حوضه آبریز گرگان‌رود نشان می‌دهد.

در سیل اسفند ۱۳۹۷، بارش‌ها در استان گلستان از شامگاه ۱۳۹۷/۱۲/۲۶ آغاز شده و به مدت ۵ روز به طور



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در کشور (a)، استان گلستان (b) و حوضه آبریز گرگان‌رود (c)

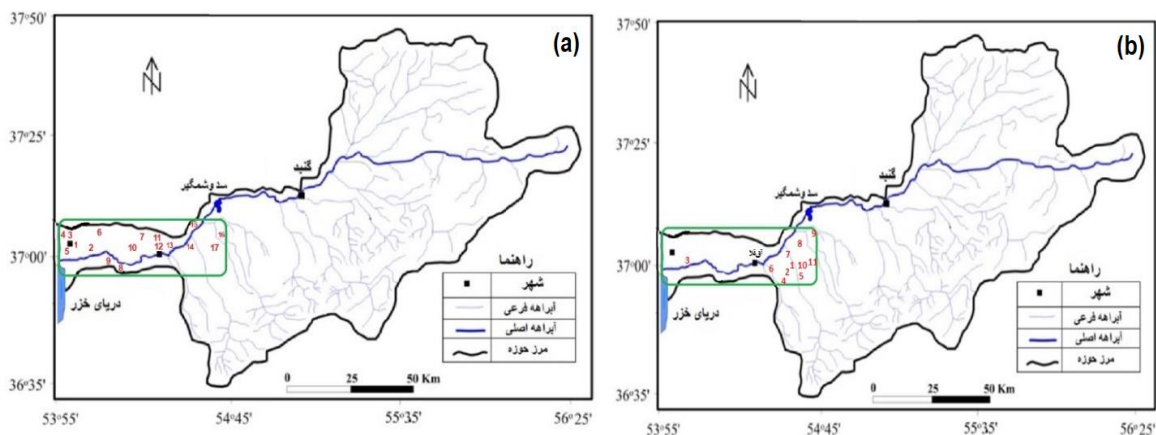


شکل ۲. مقایسه تصاویر ماهواره‌ای رودخانه گرگان‌رود قبل (a) و بعد (b) از وقوع سیل در محدوده شهر آق‌فلا [۲]

شد. در این پژوهش، برای مطالعه تغییرات کیفی آب زیرزمینی ۱۱ پارامتر فیزیکی‌وشیمیایی آب شامل K، Na، EC و TDS، pH، NO<sub>3</sub>، HCO<sub>3</sub>، Cl، SO<sub>4</sub>، Ca، Mg انتخاب شد. داده‌های برداشت‌شده به دو دوره قبل از وقوع سیل (فروردین ۱۳۷۲ تا پایان سال ۱۳۹۷) و بعد از وقوع آن (فروردین ۱۳۹۸ تا پایان سال ۱۳۹۸) تقسیم شد. شکل ۳ نقشه موقعیت چاه‌های منتخب برای بررسی کیفی و کمی در محدوده مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

### روش کار (مواد و روش‌ها)

پس از بررسی وضعیت چاه‌ها در محدوده مطالعه‌شده، تعداد ۱۷ حلقه چاه مشاهده‌ای نیمه‌عمیق برای بررسی کمی و ۱۱ حلقه چاه مشاهده‌ای نیمه‌عمیق برای بررسی کیفی شناسایی و انتخاب شدند. برای هر یک از چاه‌های منتخب، اطلاعات عمق آب زیرزمینی و خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی ماهانه به همراه مختصات جغرافیایی آنها در یک دوره آماری ۷ ساله (فروردین ۱۳۹۲ تا اسفند ۱۳۹۸) از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری



شکل ۳. موقعیت چاه‌های منتخب برای بررسی تغییرات کمی (a) و کیفی (b) آب در پهنه سیلاب‌دشت انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود

شد. در آزمون T زوجی چنانچه مقدار p-value محاسبه‌شده کوچک‌تر از ۰/۰۵ شود، با احتمال ۹۵ درصد فرض H<sub>0</sub> یعنی برابر بودن میانگین‌های دو جامعه بررسی‌شده رد شده و فرض H<sub>1</sub> یا وجود اختلاف معنادار پذیرفته می‌شود [۲۴]. برای کنترل نتایج آزمون آماری، از آزمون ناپارامتری

برای بررسی تغییرات تراز سطح آب آبخوان در محل چاه‌های مشاهده‌ای در دو دوره قبل و بعد از وقوع سیل، از آزمون T زوجی در سطح احتمال ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. قبل از انجام این آزمون، فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون دارلینگ بررسی

پایپر و دوروف تعیین شد [۳۰]. سپس، برای تعیین عوامل مؤثر بر کنترل ترکیب شیمیایی آب و فرایندهای غالب هیدروژئوشیمیایی آبخوان از دیاگرام گیبس و برخی از نسبت‌های یونی و نمودارهای ترکیبی استفاده شد. برای رسم دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی از نرم‌افزارهای AqQa و Aquachem استفاده شد.

#### یافته‌ها

جدول ۱ مقادیر p-value آزمون T زوجی را برای بررسی تفاوت معناداری سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب اسفند ۱۳۹۷ در سطح احتمال ۰/۰۵ در محدوده مطالعه شده به تفکیک چاه‌های بررسی شده نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱، مقادیر p-value آزمون T زوجی برای ۸۸/۲ درصد چاه‌های مشاهده‌ای (به جز چاه‌های سقرتپه و توماجرل) کوچک‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده و در نتیجه، فرض  $H_1$  یا وجود اختلاف معنادار پذیرفته شده است. پذیرش فرض  $H_1$  بیانگر آن است که با احتمال ۹۵ درصد بین مقادیر سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷ در چاه‌های مشاهده‌ای اختلاف معناداری مشاهده شده است. در این بررسی همچنین مشخص شد که در چاه‌های سقرتپه و توماجرل که فرض  $H_0$  پذیرفته شده است، در ۶ ماه اول بعد از وقوع سیل سطح آب زیرزمینی نسبت به دوره قبل افزایش داشته، اما در ۶ ماه دوم سال به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و شرایط آبخوان، این روند معکوس شده، به گونه‌ای که حتی نسبت به دوره قبل از وقوع سیل نیز کمتر شده است.

ویلوکسون نیز برای مقایسه دو گروه با داده‌های وابسته استفاده شد. سپس، تغییرات تراز متوسط آب زیرزمینی در دشت برای دو سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ ترسیم و تغییرات آنها بررسی شد. با توجه به اینکه سیل مورد نظر در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به وقوع پیوست، بنابراین برای درک بهتر تغییرات سطح ایستابی در آبخوان مورد نظر، هیدروگراف واحد دشت در این سال به عنوان مبنای محاسبه قرار گرفت و تغییرات سطح ایستابی در سال آبی قبل (۱۳۹۶-۱۳۹۷) نسبت به این سال بررسی شد. برای رسم هیدروگراف واحد، اختلاف سطح آب زیرزمینی در هر یک از ماه‌های سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نسبت به سال قبل از خود (۱۳۹۶-۱۳۹۷) برآورد و در پایان تغییرات تجمعی در برابر زمان رسم شد. همچنین، به منظور درک بهتر افت آب زیرزمینی هیدروگراف واحد سالیانه نیز ترسیم شد [۲۵].

در این تحقیق برای بررسی تغییرات کیفیت آب چاه‌های منتخب در دوره قبل و بعد از سیلاب، از آزمون T زوجی، دیاگرام شولر (برای مصارف شرب) و دیاگرام ویلوکس (برای مصارف کشاورزی) استفاده شد [۲۶] و [۲۷]. در نهایت، اقدام به بررسی هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت گرگان شامل تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمیایی، درصد اشباع برخی از کانی‌ها و غیره در محدوده بررسی شده قبل و بعد از وقوع سیل شد. برای بررسی هیدروژئوشیمیایی از دیاگرام‌های گیبس، پایپر و دروو استفاده شد [۲۸ و ۲۹]، به طوری که ابتدا تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی آب با استفاده از دیاگرام‌های گیبس،

جدول ۱. نتایج آزمون T زوجی برای بررسی تفاوت معناداری سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب اسفند ۱۳۹۷

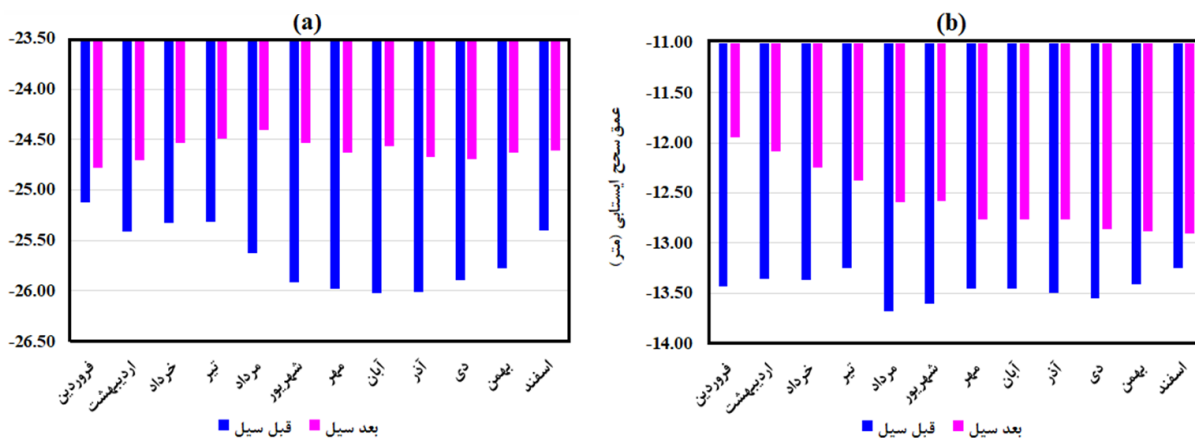
شماره چاه	نام چاه مشاهده‌ای	p-value آزمون T زوجی	شماره چاه	نام چاه مشاهده‌ای	p-value آزمون T زوجی
۱	شمال غرب خواجه‌نفس	۰/۰۰۰	۱۰	توماجرل	۰/۱۱۵
۲	بصیرآباد	۰/۰۰۱	۱۱	دیوار اسکندر	۰/۰۰۰
۳	شمال گمیشان	۰/۰۰۰	۱۲	شمال آق‌قلا	۰/۰۰۰
۴	شمال غرب گمیشان	۰/۰۰۱	۱۳	یلمه‌خندان	۰/۰۰۰
۵	گمیشان	۰/۰۱۰	۱۴	شمال آقدکش	۰/۰۰۰
۶	شرق گمیشان	۰/۰۰۰	۱۵	آقدکش	۰/۰۰۰
۷	سقرتپه	۰/۹۰۳	۱۶	قبرستان	۰/۰۰۰
۸	کتوک	۰/۰۰۰	۱۷	امین‌آباد	۰/۰۰۰
۹	خوجه‌لر	۰/۰۰۱	--	---	---

بیشتر از سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ است، اما در دی ماه (شروع بارش‌های دشت) میزان تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است. همچنین، میزان تغییرات در سال وقوع سیل به مراتب بیشتر از سال قبل است، به طوری که تراز آب زیرزمینی از حدود ۲۵ متر به بیش از ۲۷ متر رسیده است، در حالی که تغییرات تراز آب زیرزمینی در سال قبل از وقوع سیل کمتر از یک متر (مثبت) است. همچنین، بعد از اتمام بارش‌های فصلی در انتهای فصل بهار، تراز آب زیرزمینی دوباره کاهش یافته است. اما به خلاف ماه‌های ابتدایی میزان تراز آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به مراتب بیشتر از سال قبل است. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که وقوع سیل ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تأثیر مثبتی روی تراز آب زیرزمینی دشت مطالعه شده داشته است.

جدول ۲ مقادیر p-value آزمون T زوجی را برای بررسی تفاوت معناداری خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب نشان می‌دهد. مطابق جدول ۲ مقادیر p-value آزمون T زوجی در ۶ چاه پیرواش، شیرنگ تقی‌آباد، عطاآباد واحدی ۱، جنوب غرب قوچ‌مراد، حسن‌طیب و کرد ۲ بزرگ‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده و در نتیجه، فرض  $H_0$  یعنی برابر بودن میانگین‌های دو جامعه بررسی شده پذیرفته شده است. پذیرش فرض  $H_0$  بیانگر آن است که با احتمال ۹۵ درصد بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب اسفند ۱۳۹۷ در این چاه‌ها اختلاف معناداری مشاهده نشده است.

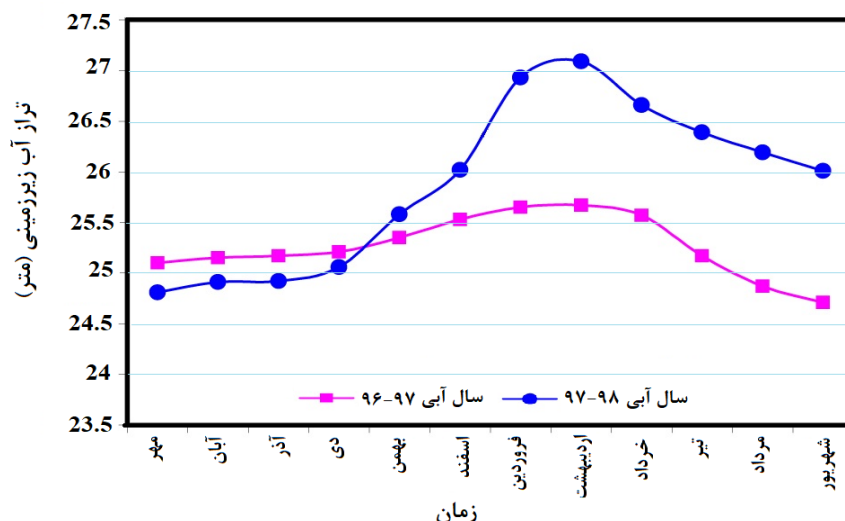
شکل ۴ هیستوگرام مقایسه مقادیر سطح آب زیرزمینی را قبل و بعد از وقوع سیل ۱۳۹۷ در چاه‌های مشاهده‌ای شمال غرب خواجه‌نفس (a) و شمال آق‌قلا (b) نشان می‌دهد که نسبت به سطح دریا محاسبه شده است. مطابق شکل ۴، برای دوره ۱۲ ماهه بعد از وقوع سیل، مقادیر سطح آب زیرزمینی نسبت به دوره قبل از وقوع افزایش درخور توجهی داشته، به طوری که بیشترین درصد افزایش در چاه شمال غرب خواجه‌نفس برای ماه‌های شهریور تا آبان (با حدود ۵۰ درصد افزایش) و در چاه شمال آق‌قلا در ماه‌های فروردین (۶۳/۴ درصد) و اردیبهشت (۵۶/۲ درصد) اتفاق افتاده است. بعد از وقوع سیل با توجه به نوع تغذیه آبخوان، روند افزایش سطح آب زیرزمینی در چاه شمال غرب خواجه‌نفس با تأخیر ۵ ماهه به بیشترین مقدار خود رسیده، در حالی که در چاه شمال آق‌قلا با توجه به اینکه زودتر تحت تأثیر سیلاب واقع شد، با تأخیر یک‌ماهه به حداکثر خود رسیده و پس از آن، با یک شیب ملایم تا پایان سال کاهش یافته است. در سایر چاه‌های بررسی شده در این تحقیق، تغییرات سطح آب زیرزمینی بر اثر وقوع سیلاب تقریباً با اندکی تفاوت نسبت به چاه‌های مشاهده‌ای شمال غرب خواجه‌نفس و شمال آق‌قلا اتفاق افتاده است.

شکل ۵ هیدروگراف واحد دشت را در دو سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نشان می‌دهد. بر این اساس، تراز آب زیرزمینی در ۴ ماه اول سال آبی تغییرات زیادی نداشته است و در سال آبی قبل از وقوع سیل اندکی



شکل ۴. هیستوگرام مقایسه مقادیر سطح آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب اسفند ۱۳۹۷ در چاه‌های مشاهده‌ای شمال غرب خواجه‌نفس (a) و شمال آق‌قلا (b)





شکل ۵. نمودار تراز متوسط آب زیرزمینی دشت در آبخوان کم عمق استان در دو سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷

جدول ۲. نتایج آزمون T زوجی برای بررسی تفاوت معناداری خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب اسفند ۱۳۹۷

شماره چاه	نام مشاهده‌ای چاه	p-value آزمون T زوجی										
		K	Na	Mg	Ca	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	TDS	EC
۱	پیزومتر کم عمق پنج پیکر	۰/۴۹۲	۰/۰۵۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۲۶۲	۰/۰۳۳	۰/۲۱۴	۰/۴۸۹	۰/۷۸۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
۲	پیرواش	۰/۹۰۷	۰/۳۵۶	۰/۶۹۱	۰/۸۶۶	۰/۶۳۲	۰/۶۲۵	۰/۵۱۵	۰/۳۲۷	۰/۷۸۵	۰/۰۹۸	۰/۷۲۴
۳	چنار قشلاق	۰/۲۵۹	۰/۵۵۵	۰/۱۹۳	۰/۶۶۷	۰/۰۰۶	۰/۵۱۹	۰/۴۲۲	۰/۳۷۴	۰/۷۸۶	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱
۴	سنگدوین	۰/۷۵۵	۰/۶۹۴	۰/۷۰۶	۰/۸۱۳	۰/۹۴۲	۰/۱۳۳	۰/۷۷۴	۰/۲۰۷	۰/۰۰۵	۰/۶۱۷	۰/۶۲۲
۵	شیرنگی تقی آباد	۰/۸۷۳	۰/۷۰۴	۰/۱۹۷	۰/۵۰۰	۰/۵۶۶	۰/۵۵۰	۰/۶۷۷	۰/۸۳۱	۰/۴۳۷	۰/۹۳۲	۰/۹۳۲
۶	عطا آباد واحدی ۱	۰/۵۴۱	۰/۷۹۰	۰/۷۶۰	۰/۳۷۲	۰/۴۳۰	۰/۶۴۳	۰/۴۴۷	۰/۱۱۳	۰/۴۸۸	۰/۵۴۹	۰/۵۴۹
۷	جنوب غرب قوچ مراد	۰/۵۴۹	۰/۱۶۱	۰/۱۳۹	۰/۴۹۶	۰/۱۷۹	۰/۱۹۵	۰/۴۰۶	۰/۸۱۵	۰/۵۴۴	۰/۱۵۵	۰/۱۵۵
۸	آشوربای	۰/۳۸۵	۰/۰۱۶	۰/۰۴۱	۰/۱۵۷	۰/۰۰۵	۰/۲۶۳	۰/۶۰۲	۰/۳۲۹	۰/۸۰۳	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸
۹	بهلکه داشلی	۰/۴۹۰	۰/۳۰۰	۰/۰۵۱	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۱۱	۰/۸۹۲	۰/۰۴۵	۰/۹۴۹	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳
۱۰	حسن طبیب	۰/۰۶۸	۰/۱۹۴	۰/۶۴۹	۰/۹۸۵	۰/۷۴۲	۰/۱۲۵	۰/۹۹۱	۰/۳۳۲	۰/۲۰۶	۰/۴۷۵	۰/۴۳۸
۱۱	کرد ۲	۰/۶۴۳	۰/۷۷۷	۰/۹۳۲	۰/۴۷۶	۰/۴۸۱	۰/۶۱۸	۰/۷۰۳	۰/۵۴۹	۰/۹۹۹	۰/۷۱۵	۰/۷۰۰

در چاه چنار قشلاق فقط برای دو فاکتور کیفی (EC, TDS) و در چاه سنگدوین برای یک فاکتور (pH) اختلاف معناداری مشاهده شد و برای سایر فاکتورها اختلاف معناداری مشاهده نشد. بیشترین تأثیر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی در ۳ چاه آشوربای، بهلکه داشلی و پیزومتر کم عمق پنج پیکر بر اثر وقوع سیلاب، مشاهده شد، به طوری که در چاه آشوربای برای ۵ فاکتور کیفی (EC, TDS, SO<sub>4</sub>, Na, Mg)، در چاه بهلکه داشلی برای ۴ فاکتور کیفی (Ca, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>) و در چاه پیزومتری کم عمق پنج پیکر برای ۵ پارامتر (EC,

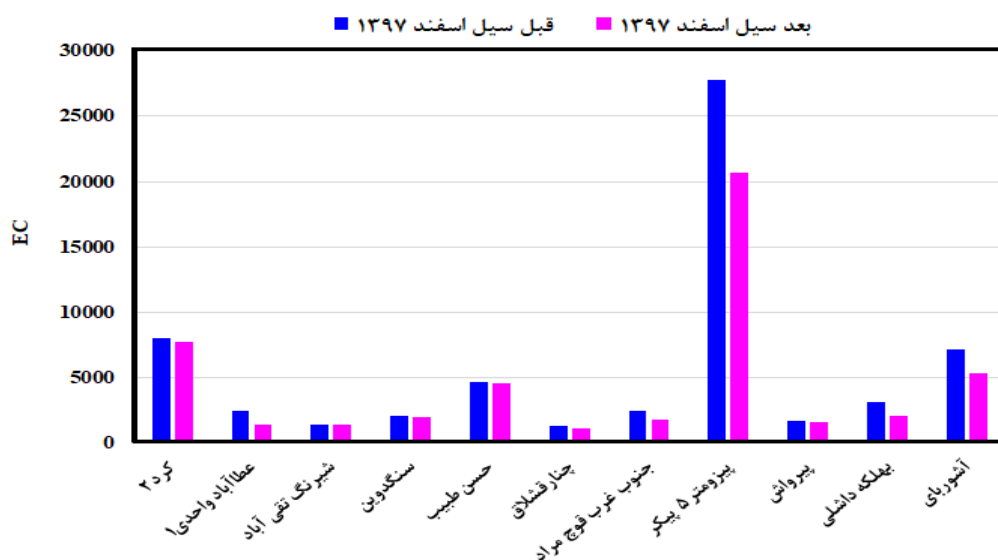
کلی، بررسی آماری خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشان داد تأثیر سیلاب و به تبع آن، پخش طبیعی آن در پهنه سیلاب دشت به خلاف تغییرات سطح آب زیرزمینی، باعث ایجاد اختلاف آماری محدودی در بعضی از چاه‌های مورد بررسی شده است. برای کنترل نتایج آماری، از آزمون ناپارامتری ویلکوکسون نیز برای مقایسه دو گروه با داده‌های وابسته استفاده شد که در سطح ۰/۰۵ نتایج آزمون t زوجی را تأیید کرد. اگرچه وقوع سیل تغییرات معنادار چندانی روی



در بیش از ۷۰ درصد چاه‌ها، میزان سختی کل آب زیرزمینی کاهش یافته، به طوری که بیشترین و کمترین تغییرات به ترتیب مربوط به چاه‌های پیزومتر پنج‌پیکر و پیرواش است. در مقابل، میزان سختی کل آب در چاه‌های کرد ۲، حسن طبیب و سنگدوین با وقوع سیل افزایش داشته است. این امر می‌تواند در نتیجه انحلال تشکیلات زمین‌شناسی نظیر ژبیس در این چاه‌ها باشد.

جدول ۳ تیپ آب زیرزمینی را در چاه‌های مشاهده‌ای قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، تیپ غالب آب زیرزمینی در محدوده مطالعه شده سولفات منیزیک ( $Mg-SO_4$ ) است. این امر نشان از غالب بودن یون‌های سولفات و منیزیم در آب زیرزمینی دارد. همچنین، به لحاظ سیر تکامل هیدروژئوشیمیایی، در میانه‌های سیکل تکامل هیدروژئوشیمیایی قرار گرفته است، اما در برخی از چاه‌ها نظیر چاه‌های پیزومتر کم‌عمق پنج‌پیکر، جنوب غرب قوچ‌مراد و سنگدوین آنیون کلراید غالب می‌شود. این امر نشان‌دهنده شورشوندگی و تمایل آب زیرزمینی در این چاه‌ها برای رسیدن به آب دریاست. همچنین، به جز چاه سنگدوین که تیپ آب بعد از وقوع سیل تغییر کرده (تا حدودی بهبود یافته)، در سایر چاه‌ها تفاوتی در تیپ آب ایجاد نشده است.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی ایجاد نکرده است، اما بررسی داده‌ها نشان داد تغییرات جزئی بر اثر وقوع سیل ایجاد شده که بیشتر در جهت بهبود کیفیت آب بوده است. بر اثر وقوع سیل مقدار EC در تمام چاه‌های بررسی شده تغییر داشته و روند تغییرات آن به صورت کاهشی بوده است (شکل ۶). در بعضی از چاه‌ها مانند آشوربای و پیزومتر کم‌عمق پنج‌پیکر تغییر مقدار EC تحت تأثیر وقوع سیل بسیار درخور توجه بوده که در بررسی آماری نیز مشخص شده است. در سایر چاه‌ها نیز تغییرات مقدار EC تحت تأثیر وقوع سیل با شدت کمتر به وقوع پیوسته که بیشتر تابع موقعیت چاه و نوع کاربری استفاده شده از زمین‌های اطراف چاه بوده است. همچنین، غلظت بیشتر آنیون‌ها و کاتیون‌ها در چاه‌های مشاهده‌ای بعد از سیل کاهش ناچیزی داشته است و این امر در کل باعث بهبود کیفیت آب شده است. به خلاف یون‌های اصلی، وقوع سیل باعث افزایش نترات در بیشتر چاه‌های مشاهده‌ای شده است. آب شویی و شست‌وشوی نترات باقی‌مانده در زمین‌های کشاورزی به همراه نفوذ بیش از حد آن از طریق چاه‌های جذبی به دلیل بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و همچنین، در برخی موارد نفوذ آب به داخل چاه‌های جذبی، از مهم‌ترین عوامل افزایش میزان غلظت نترات در چاه‌های مشاهده‌ای به حساب می‌آید. محاسبه سختی آب برای چاه‌های مشاهده‌ای نشان داد



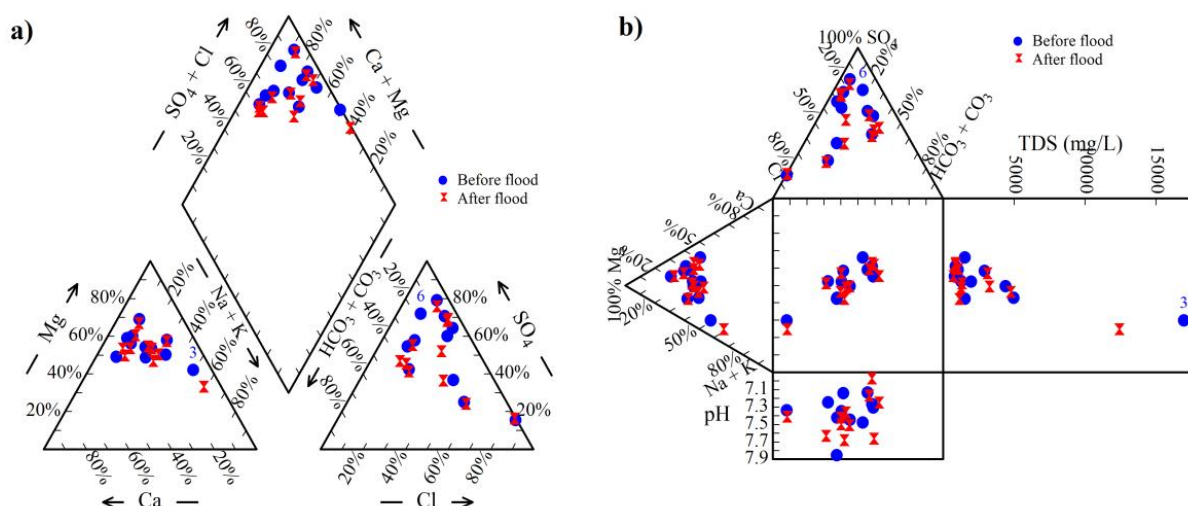
شکل ۶. هیستوگرام مقایسه مقادیر EC در چاه‌های بررسی شده قبل و بعد از وقوع سیل ۱۳۹۷ در پهنه انتهایی سیلاب دشت حوضه آبریز گرگان رود

جدول ۳. تیپ آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷

شماره چاه	نام چاه	تیپ آب قبل از سیل	تیپ آب بعد از سیل
۱	آشوربای	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۲	پیرواش	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۳	بیزومتر کم عمق پنج‌پیکر	NaCl	NaCl
۴	چنارقشلاق	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۵	شیرنگ تقی آباد	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۶	عطاآباد- واحدی ۱	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۷	کرد ۲	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۸	بهلکه‌داشلی	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۹	جنوب غرب قوچ‌مراد	Mg-Cl	Mg-Cl
۱۰	حسن‌طیب	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-SO <sub>4</sub>
۱۱	سنگدوین	Mg-Cl	Mg-SO <sub>4</sub>

افزایش درخور توجهی دارد. میزان TDS آب‌های شورمرزه بین ۷۷۰ تا ۲۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند و سختی زیادی (بیش از ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کربنات کلسیم) دارند. همچنین، روند تغییرات نمونه‌ها در هر دو دیاگرام پایپر و دوروف نشان‌دهنده تکامل تدریجی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در این قسمت از دشت گرگان است. این روند تکاملی را می‌توان در هر دو مثلث آنیونی و کاتیونی مشاهده کرد. علاوه بر این، اختلاف نسبتاً جزئی در رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در دوره‌های قبل و بعد از سیلاب دیده می‌شود، اما در بیزومتر کم عمق پنج‌پیکر اختلاف واضح است.

نتایج حاصل از دیاگرام پایپر نشان داد به‌جز یک چاه (بیزومتر کم عمق پنج‌پیکر) که رخساره شورمرزه دارد، بقیه چاه‌های بررسی‌شده دارای رخساره‌های ترکیبی هستند (شکل ۷). رخساره‌های ترکیبی حاوی کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم و آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات و کلراید بوده و در مقایسه با رخساره شیرین دارای کیفیت پایین‌تری هستند. مقدار TDS آب‌های ترکیبی از ۵۰۰ تا ۹۵۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. از نظر سختی جزء آب‌های سخت (Hard) و مقدار بی‌کربنات آنها مشابه با آب‌های شیرین است. در این آب‌ها غلظت کلرید نسبت به آب‌های شیرین افزایش می‌یابد. در بیزومتر کم عمق پنج‌پیکر با رخساره شورمرزه مقدار کلرید



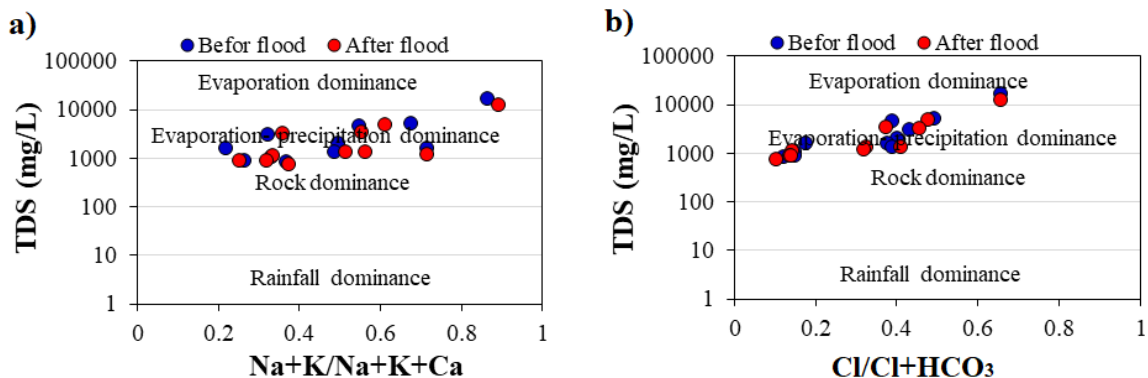
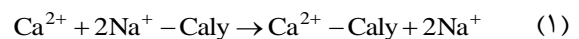
شکل ۷. دیاگرام پایپر (a) و دوروف (b) چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مطالعه‌شده قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷

از این رو، می توان تبادل یونی برای سدیم را از عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی دانست. برای تشخیص فرایندهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی در قبل و بعد از وقوع سیل از نمودارهای ترکیبی استفاده کرد.

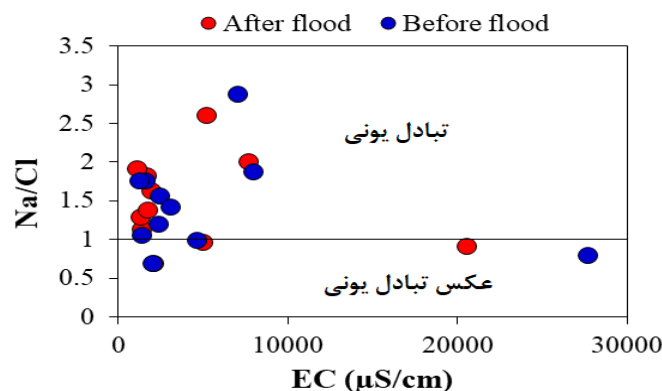
در نمودارهای دومتغیره EC به  $Na^+/Cl^-$  نمونه‌هایی که در بالای خط  $Na^+/Cl^- = 1$  قرار دارند، تحت تأثیر فرایند تبادل یونی طبیعی بوده و دارای منشأ دوگانه از سازندهای زمین‌شناسی (رسوبات رسی) و نفوذ آب شور هستند (شکل ۹). در محدوده مطالعه شده بیشتر نمونه‌ها تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی طبیعی قرار دارند و فقط نمونه‌های مربوط به ۳ چاه متأثر از عکس تبادل یونی هستند. با توجه به شکل ۹، نمونه‌های قبل و بعد از سیل کاملاً روی هم منطبق نیستند. این امر بیانگر آن است که سیل توانسته پارامترهای شیمیایی آب و در نتیجه، ترکیب شیمیایی آب را تحت تأثیر قرار دهد، اما تأثیر چندانی روی نوع فرایند یونی و عکس تبادل یونی نداشته است.

به منظور بررسی عوامل کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی سیلاب‌دشت مطالعه شده از دیاگرام گیبس استفاده شد (شکل ۸). براساس این دیاگرام، تبخیر و رسوب‌گذاری عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی است. اگرچه عواملی نظیر واکنش آب-سنگ و تبخیر در برخی از چاه‌ها تأثیرگذارند، این امر را به راحتی می توان با تجمع نمونه‌ها در دیاگرام نسبت آنیونی مشاهده کرد. علاوه بر این، بعد از وقوع سیل مقادیر هر دو نسبت آنیونی و کاتیونی به همراه کل جامدات محلول کاهش یافته است، ولی مقدار کاهش چندان زیاد نیست.

فرایند تبادل یونی در مکان‌هایی رخ می‌دهند که کانی‌های رسی غنی از سدیم (مانند مونت‌موریلونیت) براساس رابطه ۱ با کلسیم و منیزیم موجود در آب زیرزمینی واکنش داده و باعث ورود سدیم به آب زیرزمینی می‌شوند [۸ و ۱۷]:



شکل ۸. دیاگرام گیبس چاه‌های منتخب در محدوده مطالعه شده قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷. (a) براساس کاتیون‌های غالب آب (b) براساس آنیون‌های غالب آب

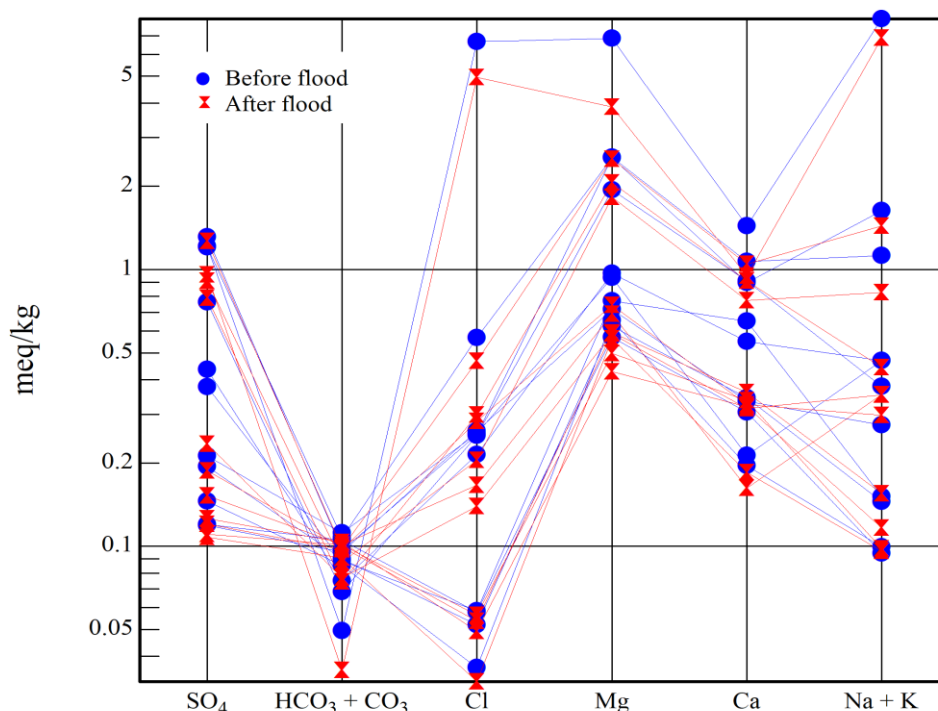


شکل ۹. نمودار فرایندهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی در محدوده مطالعه شده

می‌شود. همچنین، براساس میزان سختی کل، سختی تمام چاه‌ها کمتر از حد مطلوب است.

شکل ۱۱ دیاگرام ویلکوکس چاه‌های مشاهده‌ای را در منطقه مطالعه‌شده قبل و بعد از وقوع سیل نشان می‌دهد. با توجه به دیاگرام ویلکوکس بیشتر نمونه‌های مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای در دو رده C4S1 و C3S1 و فقط یک نمونه (قبل سیل) در رده C3S2 قرار می‌گیرند. رده‌های یادشده بیانگر آب لب‌شور است که برای کشاورزی با اعمال تمهیداتی مجاز است.

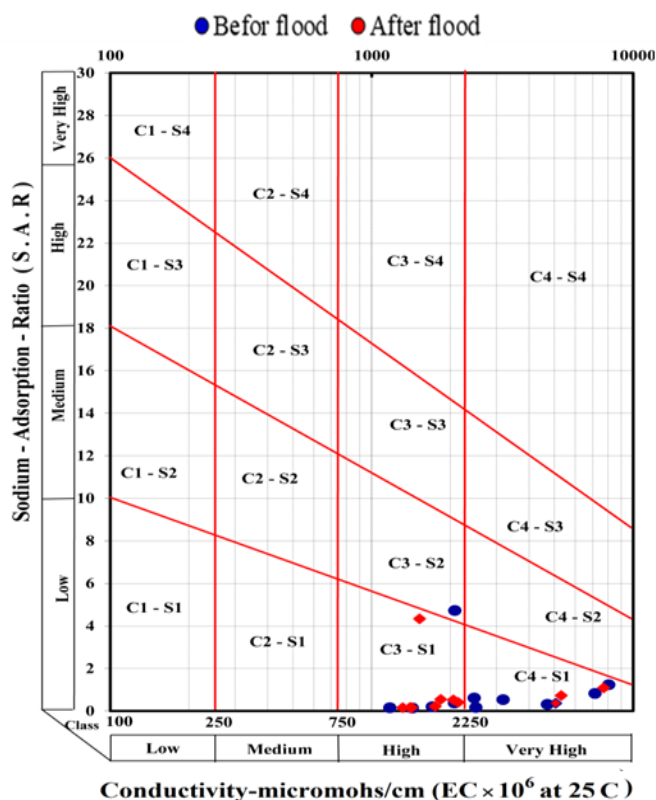
شکل ۱۰ دیاگرام شولر چاه‌های مشاهده‌ای و جدول ۶ درصد تغییرات فاکتورهای کیفی بررسی‌شده را در منطقه مورد مطالعه قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷ نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل از دیاگرام شولر، به‌جز پیزومتر کم‌عمق پنج‌پیکر، بقیه چاه‌ها دارای آب با کیفیت خوب تا متوسط برای شرب هستند. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات غلظت یون‌ها قبل و بعد از سیل، همان‌طور که انتظار می‌رفت، تغییرات جزئی در کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای در بخش شرب مشاهده



شکل ۱۰. دیاگرام شولر چاه‌های مشاهده‌ای منطقه مطالعه‌شده قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷

جدول ۴. درصد تغییرات فاکتورهای کیفی بررسی‌شده بعد از وقوع سیلاب

فاکتور کیفی	شماره چاه										
	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
SO4	۱۷/۱	۳/۷	-۴۶/۲	-۳۰/۵	-۲۸/۴	-۶۶/۶	-۷/۸	۱/۱	-۲۵/۹	-۴/۲	-۲۱/۲
HCO <sub>3</sub>	-۸/۳	۰/۲	-۰/۲	-۰/۳	-۷/۹	۱۳/۸	۶/۹	-۴/۶	۸۱۸/۲	۹/۰	-۲۸/۸
Cl	-۱۷/۶	۱۹/۲	-۳۴/۸	-۱۹/۰	-۳۴/۹	-۱۵/۵	-۲/۴	۸/۵	۱۸/۲	۳/۳	-۲۵/۶
Mg	-۱/۰	۶/۴	-۳۹/۶	-۲۸/۳	-۲۶/۲	-۴۴/۴	-۱۲/۶	۳/۷	-۱۳/۹	-۴/۹	-۴۳/۶
Ca	۱۶/۸	-۰/۳	-۴۲/۸	-۲۷/۶	-۲۳/۷	-۵۰/۸	۱۰/۷	-۳/۰	-۵/۴	۴/۷	-۳۴/۰
Na	-۱۱/۹	۱۶/۲	-۲۵/۳	-۲۶/۸	-۲۴/۵	-۳۲/۶	۴/۲	۸/۵	-۳/۱	۷/۰	-۱۴/۷
K	-۵۴/۵	۵۴/۷	۴۴/۶	۳۲/۷	۲۰/۰	۷۰/۴	-۳/۶	۱۰/۸	۱۷/۶	۵/۷	-۱۰/۳



شکل ۱۱. دیاگرام ویلکوکس چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مطالعه‌شده قبل و بعد از وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷

### بحث و نتیجه‌گیری

انتهای فصل بهار، تراز آب زیرزمینی دوباره کاهش یافته است. اما به خلاف ماه‌های ابتدایی میزان تراز آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به مراتب بیشتر از سال قبل خود است. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که وقوع سیل ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تأثیر مثبتی بر تراز آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه داشته است. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات کریمی و حیات‌نیا [۴]، موسوی و رضایی [۶]، ویسکرمی و همکاران [۸]، چوپانی [۹]، مسلمی و همکاران [۱۱]، ابراهیمی و همکاران [۱۳]، جهان‌تیغ [۱۴]، سایانا و همکاران [۱۷]، آبراهام و موهان [۱۹] و میلاد و همکاران [۲۰] همسویی داشته است.

نتایج آزمون T زوجی برای بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی نشان داد بین خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آب زیرزمینی قبل و بعد از وقوع سیلاب در اغلب چاه‌ها و فاکتورهای بررسی‌شده، اختلاف معناداری مشاهده نشده است. اگرچه وقوع سیل تغییرات معنادار چندانی روی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آب زیرزمینی ایجاد نکرده است، اما بررسی داده‌ها نشان داد تغییرات جزئی بر اثر وقوع سیل

در پژوهش حاضر، تأثیر سیل اسفند ۱۳۹۷ بر خصوصیات کمی و کیفی آب زیرزمینی در پهنه سیلاب‌دشت بخش انتهایی حوضه آبریز گرگان‌رود که به طور طبیعی در معرض پخش سیلاب قرار گرفته بود، بررسی شد. در این مطالعه مشخص شد پخش شدن طبیعی سیلاب اسفند ۱۳۹۷ باعث تغذیه مناسب منابع آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شده است، به طوری که بعد از وقوع سیل، سطح آب زیرزمینی در ۸۸/۲ درصد از چاه‌های بررسی‌شده، تفاوت معناداری با دوره قبل از آن داشته است. براساس تراز متوسط آب زیرزمینی دشت نیز مشخص شد که در دی‌ماه (شروع بارش‌های دشت) میزان تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است. میزان تغییرات تراز در سال وقوع سیل به مراتب بیشتر از سال قبل از آن است، به طوری که تراز آب زیرزمینی از حدود ۲۵ متر به بیش از ۲۷ متر رسیده است، در حالی که تغییرات تراز آب زیرزمینی در سال قبل از وقوع سیل کمتر از یک متر (مثبت) است. همچنین، بعد از اتمام بارش‌های فصلی در

فقط یک نمونه (قبل سیل) در رده C3S2 قرار گرفته است. علاوه بر این، نمودار ویلکوکس مربوط به چاه‌های مطالعه‌شده نشان داد تغییرات نسبتاً کمی در کیفیت آب به لحاظ کشاورزی در دو دوره قبل و بعد از سیل به‌وقوع پیوسته است.

بررسی تأثیر سیلاب بر تیپ و رخساره آب زیرزمینی نشان داد تیپ غالب آب در منطقه مطالعه‌شده سولفات منیزیک ( $Mg-SO_4$ ) است. این امر نشان از شورشوندگی و تمایل آب زیرزمینی در این چاه‌ها برای رسیدن به آب دریاست و به لحاظ سیر تکامل هیدروژئوشیمیایی، در میانه‌های سیکل تکامل هیدروژئوشیمیایی قرار گرفته است. نتایج حاصل از دیاگرام پایپر و دوروف نیز نشان داد همه چاه‌ها (به‌جز یک چاه) رخساره ترکیبی دارد و از نظر سختی جزء آب‌های سخت محسوب می‌شود. همچنین، روند تغییرات نمونه‌ها در هر دو دیاگرام پایپر و دوروف نشان‌دهنده تکامل تدریجی هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی در سیلاب‌دشت مورد مطالعه است. این روند تکاملی را می‌توان در هر دو مثلث آنیونی و کاتیونی مشاهده کرد. همچنین، اختلاف نسبتاً جزئی در رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در دوره‌های قبل و بعد از سیلاب مشاهده شد.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد جریان سیلاب اسفند ۱۳۹۷ که به‌طور طبیعی در پهنه انتهایی سیلاب‌دشت حوضه آبریز گرگان‌رود پخش شده بود، باعث افزایش معنادار سطح آب زیرزمینی و همچنین، بهبود نسبی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و هیدروشیمی آب زیرزمینی شده است. با توجه به سیل خیز بودن استان گلستان و حوضه آبریز گرگان‌رود که همه‌ساله وقوع سیل در آن محتمل است و همچنین، وجود دشت‌های وسیع و مستعد برای اجرای پروژه‌های پخش سیلاب، پیشنهاد می‌شود مطالعات جامعی در ارتباط با پروژه‌های پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی آبخوان برای بهره‌برداری از این پتانسیل انجام شود.

#### منابع

- [1]. Jongman B, Hochrainer-Stigler S, Feyen L, Aerts, JC, Mechler R, Botzen WW, et al. Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nat. Clim. Change*, 2014; 4(4): 264–268.

ایجاد شده که بیشتر در جهت بهبود کیفیت آب بوده است. بر اثر وقوع سیل اسفند ۱۳۹۷ مقدار EC در تمام چاه‌های بررسی‌شده با شدت‌های مختلف تغییر داشته و روند آن به‌صورت کاهشی بوده است. نتایج این بررسی با نتایج مطالعات انجام‌شده توسط قضاوی و همکاران [۷]، دهمرده قلعه‌نو و همکاران [۱۲]، جهان‌تیغ و جهان‌تیغ [۱۴]، مویر [۱۵]، ویساکول و همکاران [۱۶] که همگی بیان داشته‌اند استفاده از پخش سیلاب باعث بهبود کیفی منابع آب زیرزمینی می‌شود، هم‌سویی داشته، اما با مطالعه مسلمی و همکاران [۱۰] که اظهار داشته پخش سیلاب تأثیر زیادی بر مقدار شوری منابع آب زیرزمینی دشت هشت‌بندی نداشته و در مرکز دشت به دلیل برداشت بی‌رویه، شوری آب چاه‌ها افزایش یافته است، هم‌سویی ندارد.

نتایج بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی نشان داد در محدوده مطالعه‌شده غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (به‌جز نترات) در چاه‌های مشاهده‌ای بعد از وقوع سیل کاهش یافته است. این امر در کل باعث افزایش کیفیت آب زیرزمینی شده است و با نتایج قضاوی و همکاران [۷] و جهان‌تیغ و جهان‌تیغ [۱۴] همسو بوده است. با این‌وجود، غلظت نترات بعد از وقوع سیل افزایش یافته است که دلیل آن آبشویی و شست‌وشوی نترات باقی‌مانده در زمین‌های کشاورزی است. نتایج این بررسی با مطالعات Charles و همکاران [۲۱] که اظهار داشته‌اند در دوره مرطوب و وقوع سیلاب غلظت نترات افزایش یافته است، هم‌سویی دارد.

نتایج بررسی تأثیر سیلاب بر کیفیت آب زیرزمینی از منظر شرب با استفاده از دیاگرام شولر نشان داد تقریباً همه چاه‌ها دارای کیفیت خوب تا متوسط هستند. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات غلظت یون‌ها قبل و بعد از سیل، همان‌طور که انتظار می‌رفت تغییرات جزئی در کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای در بخش شرب مشاهده می‌شود. با این‌وجود، نتایج مطالعات Charles و همکاران [۲۱] نشان داد در کشور لیبریا بر اساس استانداردهای (WHO)، تمام نمونه‌های بررسی‌شده بعد از وقوع سیل کیفیت مناسب برای شرب را از دست داده‌اند. همچنین، بر اساس نمودار ویلکوکس، رده آب در منطقه بررسی‌شده برای بیشتر نمونه‌های مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای بعد از وقوع سیلاب در دو رده C4S1 و C3S1

- [2]. Jandaghi N, Seidian M, Mohammadi Ostadkelaye A, Fathabadi A, Mohammad Esmaeili M, Ghareh Mahmoodlu M. Documentary of the March 2019 flood in Gonbad city. Research Report. Gonbad Kavous University. 2019; 127 p. [Persian].
- [3]. Zhang B, Song X, Zhang Y, Han D, Tang C, Yu Y, et al. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. *Water research*, 2012; 46(8), 2737-2748.
- [4]. Karimi H, Hayatnia F. Effect of Mosian flood spreading on the region aquifer based on piezometer information. The 13th National Conference on Watershed Management Science & Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. University of Mohaghegh Ardabili. 2018; 1-5. [Persian].
- [5]. Kosar A. Introduction to Flood Control and Optimal Productivity: Flood Irrigation, Artificial Feeding, Short Soil Dam. Forests and Rangelands Research Institute; 1995. [Persian].
- [6]. Mousavi SJ, Rezaei A. The effects of water spreading on groundwater resources in Soharin Plain (Zanjan). The 2nd National Conference on Applied Research of Water Resources. 2011. [Persian].
- [7]. Ghazavi R, Vali AB, Eslamian S. Impact of Flood Spreading on Groundwater Level Variation and Groundwater Quality in an Arid Environment. *Water Resources Management*. 2012; 26(6): 1651-1663. [Persian].
- [8]. Viskarami K, Payamani A, Shahkarami A, Sepahvand AR. The effects of water spreading on groundwater resources in Kohdasht Plain. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science*. 2013; 17(65): 153-160. [Persian]
- [9]. Choopani S. Evaluation of the effect of Lavar Fin Dam on the quantity of groundwater in Hormozgan province. Research Report. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 2015; 50 p. [Persian].
- [10]. Moslemi H, Choopani S, Abkar A. Impact of Floodwater Spreading on Salinity Groundwater (Case Study: Dhenedar Floodwater Spreading-Hormozgan Province). *Iranian Journal OF Watershed Management Sciences and Engineering*. 2018; 12(41): 13-22. [Persian].
- [11]. Moslemi H, Choopani S, Abkar A. Assessment the effects of Dehender flood spreading on groundwater resources in Hashtbandi plain, Hormozgan Province. *Watershed Engineering and Management*. 2017; 8(4): 388-388. [Persian].
- [12]. Dahmardeh Ghaleno M, Nohtani M, Askari Dehno S. Studying impact of flood water spreading on changes of vegetation and topsoil in koh khajeh flood spreading station, Sistan. *Watershed Engineering and Management*. 2019; 11(1): 211-219. [Persian].
- [13]. Ebrahimi N, Karimi H, Rostami N, Azami A. Impact of flood spreading on groundwater (case study: Mehran plain of Ilam province). 1<sup>th</sup> International and 4<sup>th</sup> National Conference on Conservation of Natural Resources & Environment. University of Mohaghegh Ardabili. 2019. [Persian].
- [14]. Jahantigh M, Jahantigh M. Effect of incoming floods from Afghanistan on quantitative and qualitative changes of groundwater resources in Sistan plain. *Ecohydrology*. 2020; 7(2): 463-479. [Persian].
- [15]. Muir HS. Seawater intrusion ground-water pumpage, ground-water yield and artificial recharge of the Pajaro valley area. Santa Cruz and Monterey countries, California. *Water-Resources Investigation Report*; 1974.
- [16]. Weesakul U, Watanabe K, Sukasem N. Application of Soft Computing Techniques for Analysis of Groundwater Table Fluctuation in Bangkok Area and Its Vicinity. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2010; 53-65.
- [17]. Sayana VBM, Arunbabu E, Arunbabu L, Mahesh Kumar S, Ravichandran J, Karunakaran K. Groundwater responses to artificial recharge of rainwater in Chennai, India: a case study in an educational institution campus. *Indian Journal of Science and Technology*. 2010; 3 (2):124-130.
- [18]. Yue JZ, Haitao L, Wenpeng L, Xinguang D, Wolfgang K. Water resources management using artificial groundwater recharge to replace shallow surface water reservoirs: an example from Xinjiang China. *Water Research*, 2011; 55: 31-45.
- [19]. Abraham M, Mohan S. Efectiveness of artiicial recharge structures in enhancing groundwater storage (A case study: Cuddalore watershed). *Indian Journal of Science and Technology*. 2015; 8(20):1-10.
- [20]. Milad HZM, Jalal MB, Faisal KZ. Assessment of artificial groundwater recharge potential through estimation of permeability values from infiltration and aquifer tests in unconsolidated



- alluvial formations in coastal areas. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019; 191(1):31.
- [21]. Charles JF, Ngumbu JT, Toe Sr JT, Sangodoyin AY. Evaluation of the impact of flood on groundwater quality in hand-dug wells in Monrovia, Liberia. *International Journal of Energy and Water Resources*. 2020; 4:181-188.
- [22]. Sarfaraz A, Annesh B, Sujith R, Mekonnen G, Sanjay KM. Managed aquifer recharge implementation criteria to achieve water sustainability. *Science of the Total Environment*. 2021; 768:1-10. 144992.
- [23]. Heshmatpour A, Jandaghi N, Pasand S, Ghareh Mahmoodlu M. Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River. *Physical Geography Quarterly*. 2020; 12(48): 75-88. [Persian].
- [24]. Shirazi E. *Statistical software training Minitab 16*. Noruzi Publications; 2016. [Persian].
- [25]. Choybin B, Malekian A. Relationship between fluctuations in the water table and aquifer salinization (Case study: Aquifer Aspas- Fars Province). *Desert Management*. 2013; 1: 13-26. [Persian].
- [26]. Wilcox LV. *Classification and Use of Irrigation Waters*. US Department of Agriculture. Washington, D.C; 1995.
- [27]. Mahdavi M. *Applied hydrology*. Vol. 2. 8<sup>th</sup> Edition. Tehran University Publication; 2013. [Persian].
- [28]. Ghareh Mahmoodlu M, Heshmatpour A, Jandaghi N, Zare A, Mehrabi H. Assessment of groundwater quality in Seydan-Farogh plain for irrigation and drinking purposes. *Environmental Sciences*. 2019; 17(3): 89-106. [Persian].
- [29]. Piper, A M. Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, *Eos Transactions .American Geophysical Union Journal*, 1944; 25: 914-923.
- [30]. Singhal BBS, Gupta RP. *Applied Hydrogeology of Fracture Rocks*, Netherland. Kluwer Academic Publ.; 1999.