

## The effect of flood on changing water quality parameters in Zarrin-Gol River, Golestan province

Mojtaba Ghareh Mahmoodlu<sup>1\*</sup>, Nader Jandaghi<sup>2</sup>, Mohammad Gholizadeh<sup>3</sup>

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Watershed and Rangeland Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran.

2. Assistant Professor of Watershed and Rangeland Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

3. Assistant Professor of Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 18 May 2021

Revised: 22 January 2022

Accepted: 04 March 2022

#### Keywords:

Flood, Hydrogeochemistry, Marl, Zarrin-Gol River.

To investigate the flood effect on changing the Zarrin-Gol water quality parameters, water was sampled from five stations on the river in three periods before, during, and after a flood and then some physicochemical parameters were determined. F-test was used to compare and determine the statistical difference between the qualitative parameters. Then, the hydrogeochemical changes of the river, effective factors in controlling the chemical composition as well as the dominant processes of the river water were determined. Finally, saturation indices were used to predict the possibility of precipitation/dissolution of some carbonate and evaporative minerals in all three periods. Results revealed that during the flood, chloride, and sodium ions were predominant ions in water and the most changes at different times were related to these two ions. The predominant water type in the periods before and after the flood was Mg-HCO<sub>3</sub>. Based on the Piper and Durov diagrams, most pre- and post-flood samples have facies of recharge areas. While, during the flood, with the abundance of chloride and sulfate ions in the water, composite facies prevail, and TDS at this time is almost three times before it occurs. Based on the accumulation, distribution, and orientation of the samples on the Gibbs diagram, the main factor controlling the water chemistry of the Zarrin-Gol river in all three periods is the chemical weathering of the minerals that form the basin rocks. Also, based on the results of ionic ratios, some evaporative minerals dissolution such as gypsum simultaneously with the phenomenon of cation exchange is one of the dominant hydrogeochemical processes during floods. While in most samples before and after the flood, the reverse ion exchange process is predominant. According to the results of bivariate diagrams, the main source of salinity of the Zarrin-Gol river is the dissolution of evaporative minerals (such as halite) belonging to the Mubarak Formation.

**Cite this article:** Ghareh Mahmoodlu, M., Jandaghi, N., & Gholizade, M. (2022). The effect of flood on changing water quality parameters in Zarrin-Gol River, Golestan province. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 155-176. DOI: 10.22111/jneh.2022.38587.1807



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.38587.1807

\* Corresponding Author Email: [mmahmoodlu@gonbad.ac.ir](mailto:mmahmoodlu@gonbad.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۳، پاییز ۱۴۰۱

## اثر سیل در تغییر پارامترهای کیفی آب رودخانه زرین گل، استان گلستان

مجتبی قره‌محمودلو<sup>۱\*</sup>، نادر جندقی<sup>۲</sup>، محمد قلی زاده<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس (نویسنده مسئول)

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

۳. استادیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳</p> <p>واژه‌های کلیدی: سیل، هیدروژئوشیمی، مارن، رودخانه زرین گل.</p>	<p>به‌منظور بررسی تاثیر سیل بر روی پارامترهای کیفی آب رودخانه زرین گل، از پنج ایستگاه بر روی رودخانه در سه دوره قبل، همزمان و بعد از وقوع سیل نمونه‌برداری و برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب تعیین شد. برای مقایسه و تعیین اختلاف آماری بین پارامترهای کیفی از آزمون F استفاده شد. سپس تغییرات هیدروژئوشیمیایی رودخانه، عوامل مؤثر در کنترل ترکیب شیمیایی و همچنین فرآیندهای غالب آب رودخانه تعیین شد. در نهایت جهت پیش‌بینی احتمال رسوب و یا انحلال برخی از کانی‌ها کربناته و تبخیری در هر سه دوره، از شاخص‌های اشباع استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در زمان سیل یون‌های کلراید و سدیم یونهای غالب آب بوده و بیشترین تغییرات در زمان‌های مختلف مربوط به دو یون مذکور می‌باشد. تیپ غالب آب رودخانه در زمان‌های قبل و بعد از وقوع سیلاب بیکربنات منیزیک می‌باشد. درحالی‌که در زمان وقوع سیل به سولفات تا کلرید سدیک تغییر می‌یابد. براساس دیاگرام‌های پایپر و دوروف اکثر نمونه‌های مربوط به قبل و بعد از وقوع سیلاب دارای رخساره‌های نزدیک به منطقه تغذیه (بیکربناته) هستند. درحالی‌که در زمان وقوع سیلاب با فراوانی یونهای کلراید و سولفات در آب، رخساره‌های ترکیبی غالب می‌شوند و میزان TDS آب در این زمان تقریباً سه برابر قبل از وقوع آن می‌باشد. براساس تجمع، توزیع و جهت یافتگی نمونه‌ها بر روی دیاگرام گیبس، عامل اصلی کنترل کننده شیمی آب رودخانه زرین گل در هر سه دوره، هوازگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های حوضه می‌باشد. همچنین براساس نتایج حاصل از نسبت‌های یونی، انحلال برخی از کانی تبخیری نظیر ژپس همزمان با پدیده تبادل کاتیونی از جمله فرآیندهای غالب هیدروژئوشیمیایی در زمان وقوع سیل می‌باشد. درحالی‌که در بیشتر نمونه‌های مربوط به قبل و بعد از سیل فرآیند عکس تبادل یونی غالب می‌باشد. براساس نتایج حاصل از نمودارهای دو متغیره، منشأ اصلی شوری آب رودخانه زرین گل انحلال کانی‌ها تبخیری (نظیر هالیت) متعلق به سازند مبارک می‌باشد.</p>

استناد: قره‌محمودلو، مجتبی، جندقی، نادر، & قلی زاده، محمد. (۱۴۰۱). اثر سیل در تغییر پارامترهای کیفی آب رودخانه زرین گل، استان گلستان.

DOI: 10.22111/jneh.2022.38587.1807.۱۵۵-۱۷۶. (۳۳)۱۱، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱-۱۷۶-۱۵۵



© مجتبی قره‌محمودلو\*، نادر جندقی، محمد قلی زاده.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

## مقدمه

سیل یکی از مرسوم‌ترین و خطرناک‌ترین مخاطرات محیطی در سراسر جهان است که سالانه علاوه بر روز خسارات جانی و مالی سنگین، سبب تغییر در پارامترهای کیفی و همچنین تنوع زیستی در رودخانه‌ها می‌شود. تغییرات آب و هوایی، گسترش شهرنشینی و سایر عوامل نقش مهمی بر تعداد و تکرار این پدیده طبیعی بر روی کره زمین دارد (یانگمن<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

هیدروشیمی و ترکیب شیمیایی آب رودخانه‌ها در یک حوضه متأثر از ترکیب آب‌های تغذیه‌کننده رودخانه‌ها، جنس و نحوه پراکندگی سازندها زمین‌شناسی در حوضه‌های آبریز، فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی حاکم در رودخانه‌ها و آبهای تغذیه‌کننده آنها، وضعیت خشک‌سالی و ترسالی منطقه و کاربری اراضی حوضه‌های آبریز بستگی دارد (قره‌محمودلو و همکاران ۱۳۹۹، حشمت‌پور و همکاران، ۱۳۹۹ و آرپاین<sup>۲</sup> و گایان<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶).

در زمان بارندگی‌ها با شدت بالا و در پی آن شکل‌گیری رواناب‌ها و بروز سیل، منطقه وسیعی از حوضه‌های آبریز تحت تاثیر زهکشی و همچنین تماس با آب‌های سطحی قرار می‌گیرند. این امر سبب تماس آب‌های سطحی با بیرونزدگی‌های سنگی و در نتیجه آبشویی و انحلال برخی از تشکیلات نظیر سازندهای تبخیری در سطح حوضه‌های آبریز می‌شود. این سازندها نقش مهمی در تغییر ترکیب شیمیایی رودخانه‌ها خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک در زمان وقوع سیل دارند. بطوریکه در برخی‌ها از حوضه‌های آبریز ترکیب شیمیایی رودخانه در زمان وقوع سیل تفاوت فاحشی با زمانهای دیگر دارد. مطالعات هیدروشیمیایی رودخانه‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی را در رابطه با تاثیر مواد متشکله حوضه آبریز و لایه‌های آبدار تغذیه‌کننده رودخانه‌ها، مسیر جریان آب رودخانه‌ها، تاثیر سنگ‌های بستر، نواحی تغذیه و تخلیه، نواحی تبخیر از آب رودخانه‌ها و تاثیر آبهای زیرزمینی بر آبهای سطحی و کیفیت آب‌های سطحی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در اختیار قرار دهد.

باتوجه به برداشت بی‌رویه از منابع آبهای زیرزمینی و مخاطرات ناشی از افت سطح آب زیرزمینی نظیر نشست زمین و زوال کیفی آب آبهای زیرزمینی، استفاده از روش‌های دیگر جهت تامین آب شرب در استان گلستان از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. یکی از روش‌های تامین آب شرب در استان گلستان و دیگر استان‌های شمالی که می‌تواند اثرات جبران ناپذیر ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آبهای زیرزمینی را کاهش دهد حفر چاههای فلمن (چاههایی با قطر زیاد) در مجاورت بستر رودخانه‌های دائمی و استخراج آب از آنها به روش تغذیه القایی باشد (عباسی مقدم و همکاران، ۲۰۲۱).

بررسی هیدروژئوشیمی و کیفیت رودخانه زرین‌گل بعنوان یکی از رودخانه‌های مهم استان که می‌تواند نقش مهمی در تامین آب شرب برخی از شهرهای استان را داشته باشد. همچنین تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها در زمان وقوع سیل بعنوان یکی از معمول‌ترین و خطرناک‌ترین مخاطرات طبیعی در استان گلستان، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار سازمان‌های ذینفع و مدیریت کیفی این منبع آبی داشته باشد.

<sup>1</sup>-Jongman

<sup>2</sup>-Arpine

<sup>3</sup>-Gayane

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه نقش تشکیلات زمین‌شناسی بر روی هیدروشیمی و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در ایران و دیگر نقاط دنیا صورت گرفته‌است. اما بندرت می‌توان پژوهشی را در ایران یافت که مستقیماً بر روی تاثیر سیل بر خصوصیات هیدروشیمیایی و یا پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه‌ها تمرکز کرده باشد. در ادامه به برخی از مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود. در پژوهشی فرید گیگلو و همکاران (۱۳۹۲) تغییرات کیفی آب رودخانه زرین گل (رودخانه مورد مطالعه در این پژوهش) را با استفاده از دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی از سال آبی ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۶ بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شیمی آب رودخانه زرین گل بیشتر تحت تاثیر فرآیندهای تبخیر و تعرق قرار دارد. همچنین تیپ آب این رودخانه شورمه بوده و در طول مسیر به سمت تیپ کلریده میل می‌کند. آب این رودخانه به لحاظ کشاورزی برای آبیاری در زمین‌های درشت بافت و با زهکشی خوب مناسب می‌باشد. علاوه بر این خطر منیزیم و خطر شوری در طول مسیر افزایش می‌یابد. در تحقیقی نوری و ملکیان (۱۳۹۵) به مطالعه عوامل مؤثر بر کیفیت آب رودخانه‌های سیمره و کشکان در استان‌های ایلام و لرستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان انحلال برخی از تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های مورد بررسی به ویژه سازندهای تبخیری نظیر گچساران و آجاجاری باعث افزایش میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و در نتیجه کل جامدات محلول آب در طول مسیر رودخانه‌های کشکان و سیمیره و همچنین سرشاخه‌های آن شده‌است. برزگر (۱۳۹۵) در تحقیقی هیدروژئوشیمی و کیفیت آب رودخانه آجی‌چای را در شمال غرب ایران بررسی کردند. بدین منظور از آنالیز شیمیایی یونهای اصلی، فلزات سنگین و عناصر نادر ۱۲ نمونه آب استفاده کردند. نتایج حاصل از دیاگرام‌های هیدروژئوشیمیایی و نسبت‌های یونی در این پژوهش نشان دارد که انحلال کانی‌های کربناته، تبخیری و سیلیکاته و فرآیند عکس تبادلی یونی از مهمترین فرایندهای هیدروژئوشیمی رودخانه آجی‌چای می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای نشان داد که فرآیندهای اصلی کنترل هیدروژئوشیمی رودخانه آجی‌چای و کیفیت آب این رودخانه شورشدگی و هوازدگی (انحلال) سازندهای زمین‌شناسی (گچی و نمکی) در حوضه آبریز این رودخانه می‌باشد. در پژوهشی قلی‌زاده و علی‌نژاد (۱۳۹۷) تغییرات مکانی برخی از پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب رودخانه زرین گل را در استان گلستان بررسی کردند. بدین منظور برخی از پارامترهای آب نظیر اکسیژن محلول، نترات، فسفات، کدورت، pH و TSS<sup>۱</sup> را در دورازده ایستگاه در طول دو فصل زمستان و بهار مطالعه کردند. نتایج بررسی تغییرات مکانی پارامترهای محیطی آب رودخانه در این پژوهش نشان داد که میزان پارامترهای کیفی آب در طول رودخانه از بالادست به پایین دست در نتیجه ورود پسابهای کشاورزی داخل رودخانه افزایش می‌یابد. این امر همچنین باعث افزایش سطوح آلودگی و کاهش کیفیت آب شده‌است. سلماسی (۱۳۹۹) اثر سیلاب سال ۱۳۸۴ بر آلودگی خاک‌های کشاورزی با فلزات سنگین دشت رسوبی واقع در استان آذربایجان شرقی مطالعه کردند. بدین این منظور تعداد ۲۰ نمونه خاک بلافاصله پس از وقوع سیل از خاک سطحی (۰-۳۰ cm) همراه با ۴ نمونه از خاک زیر سطحی (۳۰-۶۰ cm) برداشت کردند. سپس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و همچنین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، سرب، مس و روی نمونه‌های خاک اندازه‌گیری کردند. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که غلظت فلزات در تمام نمونه‌ها پایین‌تر از حد مجاز برای کشاورزی می‌باشد. همچنین نتیجه گرفتند که سیلاب در زمین‌های کشاورزی

<sup>1</sup>Total suspended solids

منطقه مورد مطالعه اثر منفی بر روی ویژگی‌های اساسی خاک (درصد مواد آلی، واکنش خاک و میزان نیتروژن) نداشته و باعث آلودگی شدید خاک نشده‌است. صفری و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیق نقش تشکیلات زمین‌شناسی را بر روی تکامل هیدروژئوشیمیایی آب رودخانه آجی‌چای در یک دوره ۹ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۵) بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در که بالادست رودخانه که تیپ آب<sup>۱</sup> بیکربنات کلسیک می‌باشد در ادامه مسیر خصوصاً در قسمت‌های انتهایی بدلیل تاثیر سازندهای زمین‌شناسی خصوصاً انحلال کانی هالیت و در پی آن افزایش غلظت یونهای سدیم و کلر، تیپ آب به کلرید سدیک (آب دریا) تغییر می‌یابد. چین<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی اثر سیل را بر روی کیفیت آب رودخانه موار در مالزی بررسی کردند. برای این منظور رابطه بین میزان بارندگی ماهانه و کیفیت آب رودخانه موار برای دوره قبل و بعد از وقوع سیل را با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان شاخص کیفیت آب<sup>۳</sup> در زمان وقوع سیل در دسامبر سال ۲۰۰۶ و فوریه ۲۰۰۷ باعث کاهش شاخص کیفیت آب به میزان ۵۶/۴ و قرارگیری آن در کلاس سوم یعنی آلوده شده‌است. ساها<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی اثرات یک سیل عظیم را که در ماه آگوست به وقوع پیوست بود را بر روی خواص فیزیکوشیمیایی و کیفیت آب رودخانه پامپا در هند مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد مقادیر پارامتر آلکالینتی و شوری تقریباً دو برابر میزان آنها قبل از وقوع سیل در ماه آگوست بر روی رودخانه مذکور بوده است. همچنین سیل منجر به کاهش قابل توجه غلظت فلزات سنگین و مواد مغذی در آب شده‌است. بطوریکه براساس شاخص کیفیت آب، کیفیت آب رودخانه پامپا را می‌توان از دسته خوب تا نامناسب طبقه‌بندی نمود.

اگرچه تحقیقات فراوانی بر روی هیدروشیمی و کیفیت آب رودخانه‌ها در ایران صورت گرفته‌است اما در کمتر مطالعه‌ای نقش سیلاب در تغییر پارامترهای کیفی آب بحث شده‌است. اهداف اصلی این پژوهش شامل: (۱) بررسی روند تغییرات هیدروشیمی رودخانه زرین‌گل قبل، همزمان و بعد از وقوع سیلاب، (۲) پیش‌بینی انحلال و رسوب برخی کانی‌ها در مسیر حرکت آب رودخانه زرین‌گل قبل، در حین و بعد از وقوع سیلاب، (۳) تعیین تعداد عوامل تأثیرگذار بر هیدروشیمی رودخانه زرین‌گل قبل، همزمان و بعد از وقوع سیلاب و (۴) بررسی آماری پارامترهای کیفی آب رودخانه قبل، در حین و بعد از وقوع سیلاب.

## داده‌ها و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه زرین‌گل یکی از سرشاخه‌های گرگانرود است که در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان علی‌آباد واقع شده‌است (شکل ۱-a و b) این رودخانه از دامنه‌های شمالی البرز شرقی سرچشمه می‌گیرد و حوضه آبخیز آن از شمال به حوضه آبخیز قره‌سو، از شرق به حوضه آبخیز قره‌چای و از جنوب به حوضه آبخیز رودبار محمدآباد محدود می‌شود. طول رودخانه زرین‌گل در حدود ۲۲ کیلومتر با جنس بستر آن سنگی-سنی می‌باشد (شکل ۱-۱).

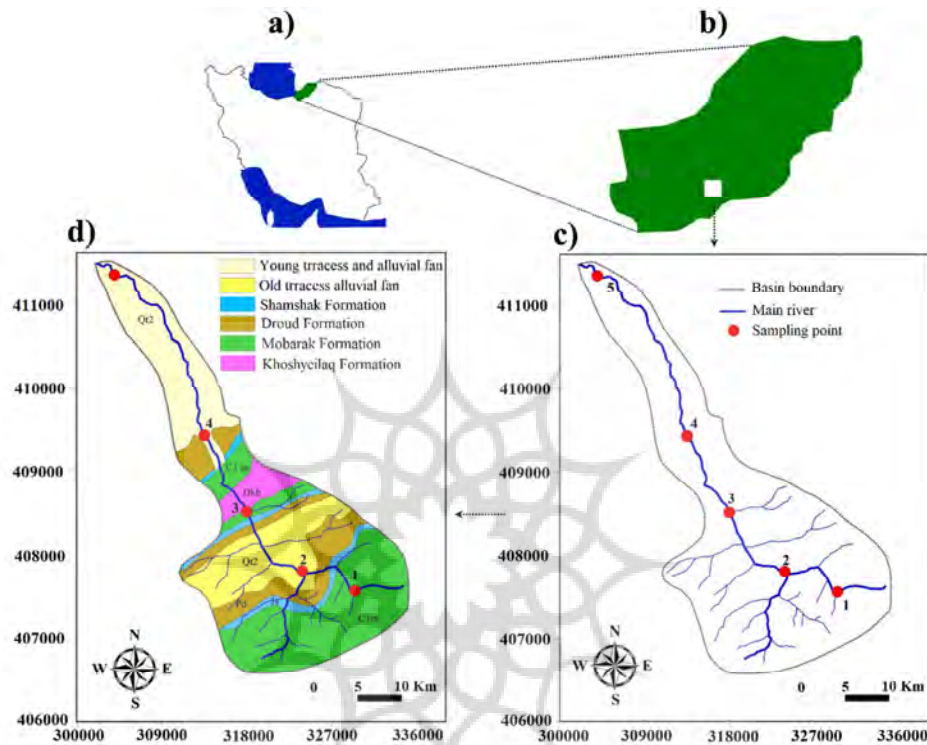
1- Water type

2-Ching

3-Water Quality Index (WQI)

4\_Saha

(c). مساحت حوضه آبخیز آن در حدود ۳۴۲/۸۲ کیلومتر مربع، حداکثر ارتفاع آن ۲۸۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۲۸۰ متر می‌باشد (قلی‌زاد و پاکروان، ۱۳۹۷). متوسط بارندگی سالانه این حوضه در حدود ۵۷۳ میلی‌متر است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز مورد مطالعه در کشور (a) و استان گلستان (b) به همراه شبکه هیدروگرافی (c) و نقشه زمین شناسی (d)

### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

این منطقه از نظر تقسیمات ساختمانی ایران جزئی از ناحیه گرگان-رشت می‌باشد که بعلت ویژگی‌های خاص خود با سایر پهنه‌های زمین‌شناختی مانند ایران مرکزی، زاگرس و غیره متفاوت است. در این آبخیز می‌توان نهشته‌های مربوط به دوران دوم زمین‌شناسی تا سازندهای کواترنری را مشاهده نمود (شکل ۱-d). بیرونزدگی برخی از سازندهای انحلال‌پذیر در حوضه آبخیز مورد مطالعه نظیر سازند مبارک با میان لایه‌های مارنی باعث شده تا پارامترهای کیفی (فیزیکوشیمیایی) آب رودخانه زرین گل در زمان وقوع بارش‌های سنگین و در پی آن شکل‌گیری سیل به شدت تغییر کند. از آنجاییکه این رودخانه یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه گرگانرود می‌باشد بررسی تغییرات کیفی آب از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو در این پژوهش، به منظور تاثیر سیلاب‌های حوضه آبخیز زرین گل بر کیفیت آب رودخانه، برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب قبل، در زمان و بعد از وقوع سیلاب بررسی شد.

## آزمون آماری

به منظور مقایسه و تعیین اختلاف آماری بین خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آب در رودخانه زرین‌گل در سه دوره زمانی وقوع سیلاب، قبل و بعد از سیلاب، از آزمون F در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. قبل از انجام آزمون F دو فرض نرمال بودن داده‌ها و یکسان بودن واریانس‌ها بررسی شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها در سطح احتمال ۰/۰۵، از آزمون اندرسون-دارلینگ<sup>۱</sup> در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. در این آزمون چنانچه مقدار p-value محاسبه شده توسط نرم‌افزار بزرگتر و یا مساوی ۰/۰۵ شود، فرض  $H_0$  یعنی نرمال بودن داده‌ها با احتمال ۹۵ درصد پذیرفته و فرض  $H_1$  رد می‌شود. جهت بررسی یکسان بودن واریانس‌ها نیز از آزمون‌های بارتلت و لون<sup>۲</sup> در سطح احتمال ۰/۰۵ در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. در این آزمون‌ها نیز چنانچه مقدار p-value محاسبه شده توسط نرم‌افزار بزرگتر و یا مساوی ۰/۰۵ شود، فرض  $H_0$  یعنی یکسان بودن واریانس‌ها با احتمال ۹۵ درصد پذیرفته و فرض  $H_1$  رد می‌شود.

پس از بررسی دو فرض نرمال بودن داده‌ها و یکسان بودن واریانس‌ها، جهت بررسی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ بین ۳ تیمار مورد بررسی، از آزمون F استفاده شد. در آزمون F چنانچه مقدار p-value محاسباتی کوچکتر از ۰/۰۵ شود، با احتمال ۹۵ درصد فرض  $H_0$  رد و فرض  $H_1$  یعنی وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارهای مورد بررسی پذیرفته می‌شود. پذیرش فرض  $H_1$  بیانگر این موضوع است که با احتمال ۹۵ درصد حداقل بین ۲ تیمار از ۳ تیمار مورد بررسی اختلاف آماری وجود دارد. لذا جهت بررسی و تعیین اینکه کدام یک از تیمارها با هم اختلاف آماری دارند و کدام یک ندارند، از آزمون‌های توکی و گیمز-هاول<sup>۳</sup> در سطح احتمال ۰/۰۵ استفاده شد (شیرازی، ۱۳۹۵).

## روش کار

پس از بررسی‌های میدانی از حوضه آبخیز زرین‌گل، پنج نقطه جهت نمونه‌برداری از آب رودخانه زرین‌گل انتخاب شدند (شکل ۱- c و d). نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که حداکثر تاثیر عواملی نظیر زمین‌شناسی و محیطی در آنها در نظر گرفته شوند. سپس براساس هشدارهای هواشناسی مبنی بر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز مورد مطالعه سه دوره (قبل سیل، در زمان وقوع سیل و بعد از سیل) برای نمونه‌برداری از آب رودخانه انتخاب شد. از آنجاییکه وقوع سیلاب در رودخانه زرین‌گل عمدتاً در ماه آگوست هر سال اتفاق می‌افتد، در ماه می (اواخر اردیبهشت) سال ۲۰۱۷ قبل از وقوع سیلاب سالیانه از پنج ایستگاه‌های در طول رودخانه نمونه‌برداری شد. سپس به منظور تاثیر سیلاب بر روی پارامترهای کیفی آب، همزمان با وقوع سیل سال ۲۰۱۷ و در مرحله آخر بعد از فروکش شدن این سیلاب از پنج ایستگاه‌های انتخابی بر روی رودخانه زرین‌گل نمونه‌برداری انجام شد.

نمونه‌برداری‌ها از محل نقاط انتخاب شده با استفاده از بطری‌های ۲۵۰ میلی‌متری و دو تکرار انجام شد. قبل از انجام نمونه‌برداری، بطری‌ها ابتدا با اسید و سپس با آب مقطر شسته شدند. در موقع نمونه‌برداری نیز هر بطری سه بار با آب

<sup>1</sup> -Anderson-Darling Test

<sup>2</sup> -Bartlett and Levenes Tests

<sup>3</sup> -Games-Howell and Tukey tests

چاه شستشو داده شد. بعد از انجام نمونه برداری، نمونه‌ها بلافاصله داخل کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان برخی از پارامترهای نظیر pH، درجه حرارت و هدایت الکتریکی در هنگام نمونه برداری اندازه‌گیری شد. درحالی‌که میزان پارامترهای شیمیایی نظیر کل مواد جامد محلول، بی‌کربنات، کلراید، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم در آزمایشگاه دانشگاه گنبدکاووس اندازه‌گیری شد. محاسبه درصد خطای موازنه یونی اختلاف کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان گرم بر لیتر نشان داد که خطای انجام آزمایش در تمام نمونه‌ها در حد استاندارد تعیین شده برای صحت داده‌ها است. داده‌های مربوط به دبی از ایستگاه هیدرومتری زرین گل واقع بر روی این رودخانه از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد.

در این پژوهش، جهت بررسی وجود اختلاف آماری بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌ها از آزمون تجزیه واریانس داده‌ها استفاده شد. ابتدا دو فرض نرمال بودن داده‌ها و یکسان بودن واریانس‌ها بررسی شد. سپس تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از آزمون F انجام شد. جهت بررسی اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی از آزمون‌های توکی گیمز-هاول استفاده شد.

همچنین به منظور بررسی اثر سیل بر روی پارامترهای هیدروژئوشیمیایی رودخانه زرین گل در ایستگاه‌های مورد مطالعه ابتدا تیپ و رخساره هیدروشیمیایی آب با استفاده از دیاگرام‌های استیف، پایپر و دورو تعیین شد. جهت تعیین عوامل مؤثر در کنترل ترکیب شیمیایی آب از دیاگرام گیبس<sup>۱</sup> و برخی از نسبت‌های یونی در طول مسیر جریان استفاده شد. سپس به منظور پیش‌بینی و احتمال رسوب و یا انحلال برخی از کانی‌ها کانی‌کربناته و تبخیری در مسیر حرکت رودخانه از شاخص‌های اشباع کلسیت<sup>۲</sup>، دولومیت<sup>۳</sup>، انیدریت<sup>۴</sup>، آراگونیت<sup>۵</sup>، هالیت<sup>۶</sup> و ژپس<sup>۷</sup> استفاده شد. در نهایت برای رسم دیاگرام‌های هیدروشیمیایی، نسبت‌های اشباع، رسم نقشه و آنالیزهای آماری از نرم‌افزارهای ای کیو کیو ای<sup>۸</sup>، ای کیو چم<sup>۹</sup>، سورفر<sup>۱۰</sup> و مینی تب<sup>۱۱</sup> استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تغییر دبی رودخانه زرین گل

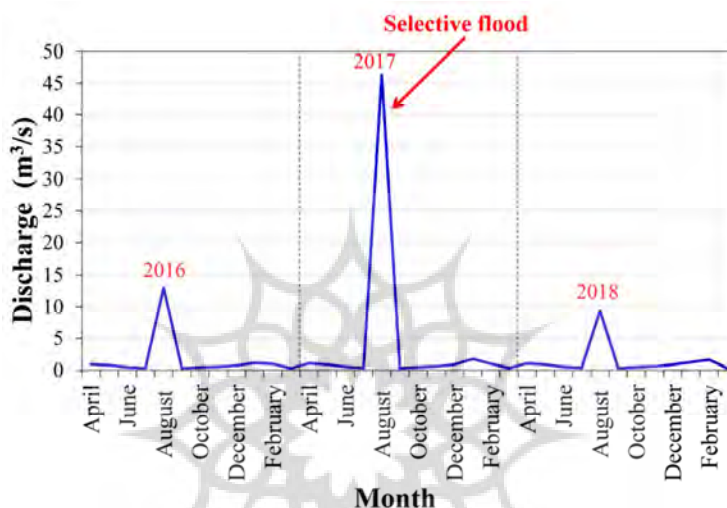
شکل ۲ هیدروگراف مقادیر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ماهانه را در ایستگاه هیدرومتری زرین گل برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ به نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲ بزرگترین سیلاب‌های به وقوع پیوسته در بازه زمانی مورد بررسی مربوط به ماه آگوست (مرداد) هر سال بوده‌است به گونه‌ای که مقادیر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ماهانه برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ به ترتیب ۱۳، ۴۶/۳۴ و ۹/۳۴ مترمکعب بر ثانیه به ثبت رسیده‌است که نسبت به ماه‌های دیگر سال تفاوت

<sup>1</sup>-Gibbs diagram  
<sup>2</sup>- Calcite(CaCO<sub>3</sub>)  
<sup>3</sup>-Dolomite(CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)  
<sup>4</sup>-Anhydrite (CaSO<sub>4</sub>)  
<sup>5</sup>-Aragonite (CaCO<sub>3</sub>)  
<sup>6</sup>-Halite(NaCl)  
<sup>7</sup>-Gypsum(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)  
<sup>8</sup>-AqQa  
<sup>9</sup>-Aquachem  
<sup>10</sup>-Surfer  
<sup>11</sup>-Minitab



بسیار فاحشی دارند. همچنین مشخص شد در دو ماه جولای (تیر) و سپتامبر (شهریور) کمترین مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای ماهانه به ثبت رسیده‌است. وقوع این‌گونه سیلاب‌ها در تابستان که عمدتاً در ماه آگوست اتفاق می‌افتد بیشتر تحت تاثیر جبهه موسمی اتفاق افتاده که عمدتاً با خسارات زیادی در این منطقه همراه است.

در این پژوهش باتوجه به وقوع سیلاب هر ساله در ماه آگوست، قبل از سیل ۲۰۱۷ در ماه می (اواخر اردیبهشت) یک دوره نمونه‌برداری از ایستگاه‌های انتخابی انجام شد. سپس به منظور تاثیر سیل بر پارامترهای کیفی، همزمان و بعد از



شکل ۲: هیدروگراف مقادیر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ماهانه در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل (۲۰۱۶-۲۰۱۸)

وقوع سیل ۲۰۱۷ از رودخانه زرین‌گل نمونه‌برداری صورت گرفت.

در این پژوهش باتوجه به وقوع سیلاب هر ساله در ماه آگوست، قبل از سیل ۲۰۱۷ در ماه می (اواخر اردیبهشت) یک دوره نمونه‌برداری از ایستگاه‌های انتخابی انجام شد. سپس به منظور تاثیر سیل بر پارامترهای کیفی، همزمان و بعد از وقوع سیل ۲۰۱۷ از رودخانه زرین‌گل نمونه‌برداری صورت گرفت.

### تغییرات غلظت یونها در آب رودخانه زرین‌گل

به منظور بررسی هیدروشیمی آب رودخانه زرین‌گل از نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به پنج ایستگاه بر روی رودخانه (شکل ۱-۱) در سه دوره قبل (اواخر اردیبهشت ماه)، همزمان (مرداد ماه) و بعد از فروکش کردن سیل (شهریور ماه) استفاده شد (جدول ۱). براساس جدول ۱، غلظت پارامترهای شیمیایی در زمان سیل تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهند. اگرچه در زمان قبل سیل نیز تغییرات قابل توجه‌ای در میزان غلظت برخی پارامترها در طول رودخانه دیده می‌شود که ناشی از تنوع لیتولوژیکی در زیرحوضه‌های رودخانه زرین‌گل می‌باشد (شکل ۱-۱).

شکل ۳ متوسط آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براین اساس آنیون و کاتیون غالب آب رودخانه در قبل از وقوع سیل به ترتیب کلسیم و بیکربنات می‌باشند (شکل ۳-۱). میزان آنیون‌ها و

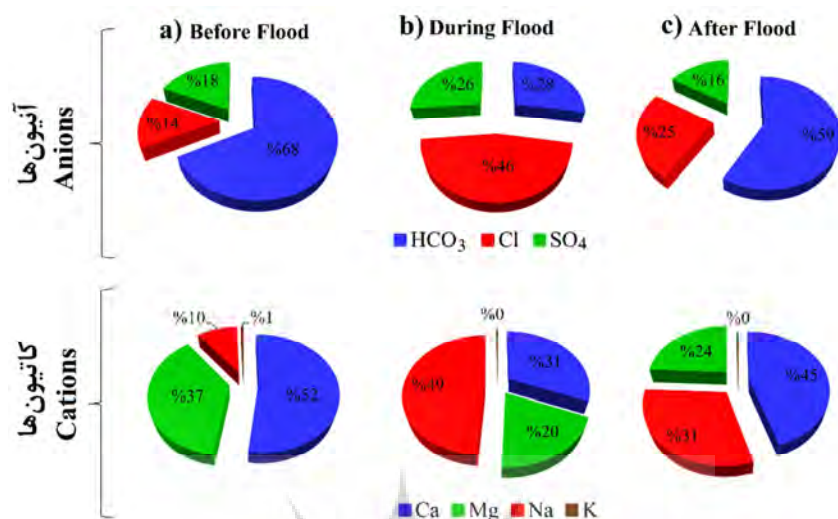
کاتیون‌های موجود در آب رودخانه به جنس سنگ‌ها تغذیه کننده رودخانه، میزان انحلال کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، سرعت و مسیر حرکت آب‌های سطحی بستگی دارد (قره‌محمودلو و همکاران ۱۳۹۹، حشمت‌پور و همکاران ۱۳۹۹، آرپاین<sup>۱</sup> و گایان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶). باتوجه به گسترش نسبتاً خوب تشکیلات آهکی (کلسیتی یا دولومیتی) در سطح حوضه و همچنین پتانسیل بالای این سنگ‌ها در شکل‌گیری لایه‌های آبدار و سفره‌های آب‌زیرزمینی خصوصاً سفره‌های کارستی، غالب بودن یون‌های کلسیم و بیکربنات بدیهی بنظر می‌رسد.

جدول ۱: آنالیز فیزیکی‌وشیمیایی رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیلاب

زمان نمونه‌برداری	شماره نمونه	TDS (mg/l)	EC ( $\mu$ Scm)	pH (-)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)
قبل از سیل	۱	۲۹۱	۴۵۴	۸/۲۱	۳/۴	۰/۸	۰/۵۴	۲/۶	۱/۵	۲/۶۳	۰/۰۳
	۲	۳۱۷	۴۹۶	۸/۴۵	۲/۹	۰/۵	۱/۱۲	۲/۳	۲/۲	۰/۵۷	۰/۰۳
	۳	۲۷۲	۴۲۵	۸/۲۹	۳/۱	۰/۹	۰/۶۲	۲/۸	۱/۴	۰/۴۱	۰/۰۳
	۴	۳۵۱	۵۵۳	۸/۱۶	۳/۷	۰/۵	۱/۳۱	۲/۵	۲/۳	۰/۶۸	۰/۰۳
	۵	۲۴۳	۳۸۰	۸/۴۷	۲/۱	۰/۵	۰/۵	۲/۴	۱/۶	۰/۰۸	۰/۰۳
همزمان با سیل	۶	۹۴۸	۱۴۹۳	۸/۱۲	۴/۴	۶/۸	۴/۳۷	۴/۶	۳/۱	۷/۵۵	۰/۰۳
	۷	۸۲۶	۱۳۰۰	۷/۹۸	۳/۹	۶/۴	۳/۳۳	۴/۲	۲/۶	۶/۸۴	۰/۰۵
	۸	۷۳۱	۱۱۵۱	۸/۲۸	۳/۴	۵/۸	۴	۳/۵	۲/۳	۵/۶۸	۰/۱
	۹	۹۴۲	۱۴۹۵	۸/۴۳	۳/۶	۶/۹	۴/۳۷	۴/۹	۳/۲	۷/۵۵	۰/۰۵
	۱۰	۹۳۲	۱۴۸۰	۸/۰۹	۴/۳	۶/۸	۴/۳۷	۴/۸	۳/۱	۷/۵۲	۰/۰۳
بعد از سیل	۱۱	۴۱۰	۶۴۶	۸/۲	۴/۲	۱/۵	۱/۱۲	۳/۳	۲/۲	۱/۳۳	۰/۰۳
	۱۲	۵۰۴	۷۹۴	۸/۰۶	۴/۵	۲/۵	۱/۰۸	۳/۴	۲/۲	۲/۴۴	۰/۰۳
	۱۳	۴۴۹	۷۰۱	۸/۱۷	۴/۴	۱/۸	۱/۳۵	۳/۶	۲/۴	۱/۵۱	۰/۰۳
	۱۴	۴۲۰	۶۷۶	۸/۲۳	۴/۳	۱/۶	۱/۱۴	۳/۴	۲/۲۲	۱/۳۵	۰/۰۳
	۱۵	۴۵۴	۷۱۳	۸/۱۴	۴/۳۷	۱/۹۳	۱/۱۸	۳/۴۳	۲/۲۷	۱/۷۶	۰/۰۳

<sup>۱</sup>-Arpine

<sup>۲</sup>-Gayane



شکل ۳: تغییرات غلظت یون‌ها قبل، همزمان و بعد از وقوع سیلاب

باتوجه به شکل ۳-b، آنیون و کاتیون غالب آب رودخانه در زمان سیل به ترتیب به یون‌های کلراید و سدیم تغییر می‌یابد. این امر می‌تواند ناشی از انحلال تشکیلات مارنی سازند مبارک باشد که از گستردگی نسبتاً خوبی در سطح حوضه آبخیز رودخانه زرین‌گل برخوردار است. سازندهای مارنی، بدلیل دارا بودن کانی‌های تبخیری نظیر هالیت و ژپس نسبت به هوازگی و فرسایش بسیار حساس هستند و در زمان وقوع بارش، خصوصاً بارش‌های سیل‌آسا به راحتی در آب حل می‌شوند و باعث افزایش غلظت برخی یون‌ها نظیر سدیم و کلر و در پی آن کاهش شدید کیفیت آب رودخانه می‌شوند.

نتایج این پژوهش نشان داد که با فروکش کردن سیل در رودخانه زرین‌گل، یون‌های کلسیم و بی‌کربنات مجدداً در آب رودخانه غالب می‌شوند (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد باتوجه به پایان بارندگی و در پی آن کاهش روناب در سطح حوضه، میزان آبشویی تشکیلات مارنی در سطح حوضه به‌شدت کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش حضور یون‌های کلراید و سدیم در آب و در مقابل غالب شدن کلسیم و بی‌کربنات در آب رودخانه زرین‌گل می‌شود.

### تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی

براساس جدول ۲ مقدار p-value آزمون F برای پارامتر pH و پتاسیم به ترتیب در حدود ۰/۱۸۳ و ۰/۰۹۱ محاسبه شده‌است. این امر بیانگر آن است که غلظت این دو پارامتر در طول زرین‌گل در ۳ دوره زمانی مورد بررسی نوسانات جزئی داشته‌است و اختلاف معنی‌داری در زمان‌های مذکور مشاهده نشد. اما برای سایر پارامترها مقدار p-value آزمون F کوچکتر از ۰/۰۵ محاسبه شده که نشان می‌دهد حداقل در ۲ دوره از ۳ دوره مورد بررسی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج آزمون توکی و گیمزهاول نشان داد بین دوره قبل-همزمان و همچنین بعد-همزمان با سیل، تغییرات آماری کاملاً مشابه اتفاق افتاده به‌طوری‌که در هر دو آنها برای پارامترهای کل جامدات محلول، EC، کلراید،

سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم اختلاف معنی‌دار مشاهده شد در حالی که برای ۳ پارامتر pH، بیکربنات و پتاسیم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد که وقوع سیل باعث تغییر در غلظت اکثر پارامترهای کیفی مورد بررسی در مقایسه با دوره قبل و بعد از وقوع سیل شده است.

در این بررسی همچنین مشخص شد که غلظت پارامترهای سدیم، کلراید و کلسیم در بین یون‌های اصلی، بیشترین تغییرات را در ۳ دوره مورد بررسی داشته و بین مقادیر آنها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اما در بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی بررسی شده در این پژوهش، کل جامدات محلول و EC بیشترین تغییرات را داشته و بین مقادیر آنها در ۳ دوره مورد بررسی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

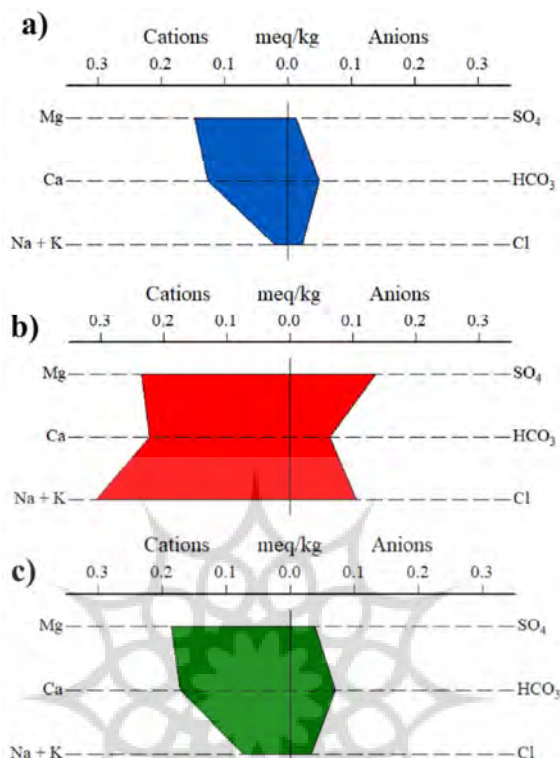
### تغییرات تیپ و رخساره آب رودخانه زرین گل

نتایج حاصل از محاسبه متوسط تیپ آب رودخانه زرین گل نشان از تیپ غالب بیکربنات منیزیک در زمانهای قبل از وقوع سیلاب و بعد از فروکش کردن آن دارد (شکل ۴). این امر می‌تواند نشان از غالب بودن سنگ‌های آهکی از جنس دولومیت در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد. برخلاف این دو دوره، تیپ آب در زمان سیل به غالب شدن یون‌های تبخیری به سولفات سدیک تغییر می‌یابد. علاوه بر این اندازه پلی‌گون‌ها در دیاگرام استیف می‌تواند معرف کل جامدات محلول در نمونه آب باشد که در دوره سیلاب تغییر قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهد. این امر می‌تواند بیانگر انحلال کانی‌های تبخیری و در پی آن افزایش جامدات محلول در آب رودخانه زرین گل باشد.

جدول ۲: نتایج آزمون F توکی و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیل

پارامتر	p-value	سیل و بعد	قبل و بعد	سیل و قبل
TDS	۰/۰۰۰	*	*	*
EC	۰/۰۰۰	*	*	*
pH	۰/۱۸۳	NS	NS	NS
HCO <sub>3</sub>	۰/۰۰۹	NS	*	NS
Cl	۰/۰۰۰	*	*	*
SO <sub>4</sub>	۰/۰۰۲	*	NS	*
Ca	۰/۰۰۰	*	*	*
Mg	۰/۰۲۲	*	NS	*
Na	۰/۰۰۰	*	*	*
K	۰/۰۹۱	NS	NS	NS

\* وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی، NS: عدم اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی، مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۴: نمودار استیف رودخانه زرین گل قبل (a)، همزمان (b) و بعد از سیل (c)

رخساره‌های هیدروشیمیائی<sup>۱</sup> آب‌یرزمینی تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند. اساس طبقه‌بندی رخساره‌ها مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده<sup>۲</sup> (برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) آب‌یرزمینی می‌باشد. نتایج حاصل از نمودار پایپر بیانگر آن است که اکثر نمونه‌های مربوط به قبل و بعد از سیلاب سال ۱۳۹۵ دارای رخساره‌های منطقه تغذیه (رخساره‌های آب شیرین<sup>۳</sup>) می‌باشند (شکل ۵). در رخساره مذکور بیکربنات آنیون غالب آب می‌باشد. اگرچه در برخی از نمونه‌های مربوط به بعد از سیلاب تمایل به رخساره ترکیبی با افزایش میزان یون‌های سولفات و کلر و همچنین کاتیون‌های متناظر آنها دیده می‌شود.

در مقابل تمامی نمونه‌های مربوط به زمان وقوع سیلاب، به دلیل غالب شدن یون‌های کلراید و سولفات دارای رخساره‌های ترکیبی<sup>۴</sup> هستند. رخساره‌های ترکیبی نشان از اختلال بین آب شیرین و شور و در نتیجه رسید به تکامل سریع هیدروژئوشیمیایی آب دارند. اصولاً کیفیت آب در نوع رخساره ترکیبی<sup>۴</sup>، نسبت به تیپ آب شیرین پائین‌تر است. از نظر سختی جزو آب‌های سخت و مقدار بی‌کربنات آن‌ها مشابه با آب‌های شیرین می‌باشد. در این آب‌ها غلظت کلرید نسبت به آب‌های شیرین افزایش می‌یابد. در آب‌های شور مزه مقدار کلرید افزایش قابل توجه‌ای دارد (سیکدار، ۲۰۰۸). همچنین از سختی بالائی (بیش از ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب بی‌کربنات کلسیم) برخوردار

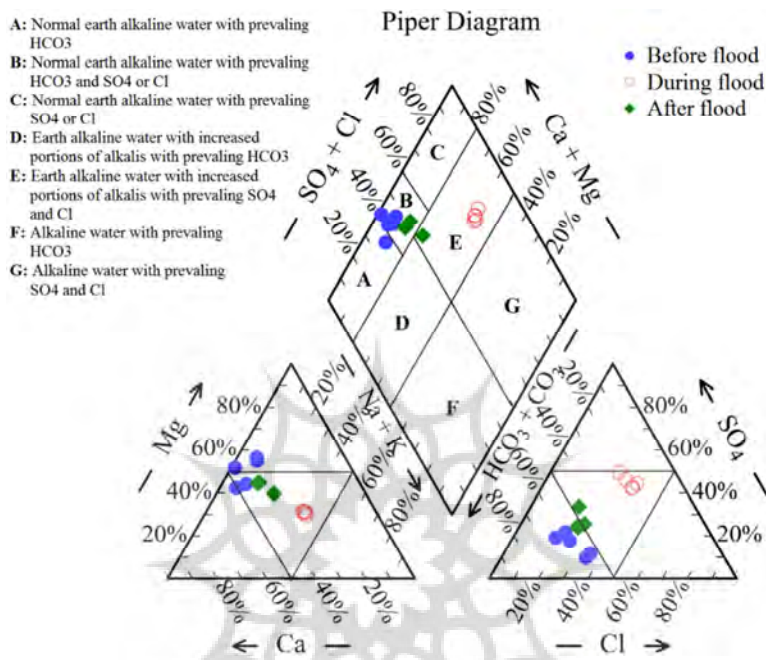
<sup>۱</sup> -Hydrochemical Facies

<sup>۲</sup> - Fresh Facies

<sup>۳</sup> -MixCa-Mg-Cl

<sup>۴</sup> -Blended Facies

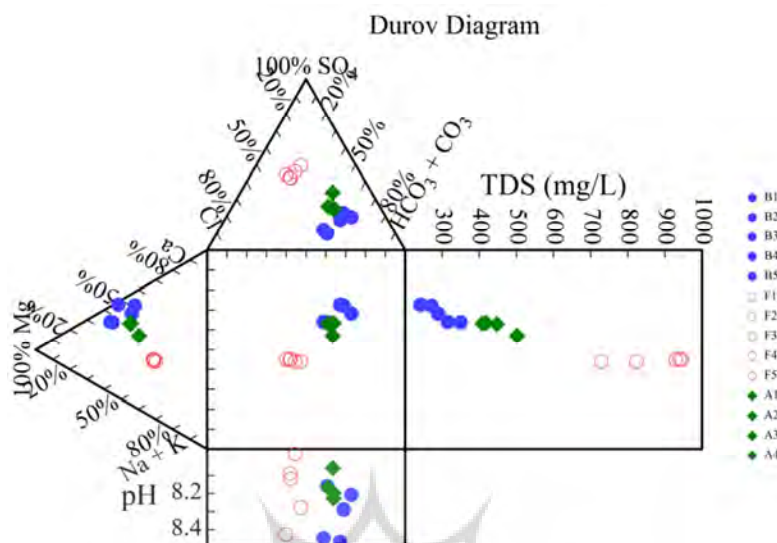
هستند. بطور کلی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودار پایپر نشان از تکامل سریع هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه زرین گل دارد.



شکل ۵: دیاگرام پایپر رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیل

در این پژوهش به منظور تفسیر بهتر تیپ آب رودخانه زرین گل از دیاگرام دورو استفاده شده است (شکل ۶). اساس این دیاگرام مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده آب می‌باشد. در این دیاگرام نیز به وضوح دو منبع آبی قابل تشخیص است. افزایش میزان نمک‌های محلول در زمان وقوع سیلاب به وضوح قابل مشاهده می‌باشد که دلیل محکمی بر شستشوی کانی‌های تبخیری موجود در تشکیلات مارنی و افزایش نمک‌های محلول در آب داخل رودخانه زرین گل می‌باشد. با توجه به قسمت مستطیل شکل نمودار دوروف، میزان کل جامدات محلول آب در زمان وقوع سیل تقریباً سه برابر قبل از وقوع سیل می‌باشد. علاوه بر این میزان pH آب رودخانه زرین گل تمایل بیشتری برای قلیایی شدن از خود نشان می‌دهد. افزایش pH آب ارتباط مستقیم با افزایش میزان نمک‌های محلول در آب را دارد.

مقایسه مثلث‌های آنیونی و کاتیونی در نمودار دوروف بیانگر آن است که تکامل کاتیونی نسبت به چرخه تکامل آنیونی تبعیت بیشتری از سیکل کلی تکامل هیدروژئوشیمیایی در طول مسیر حرکت جریان آب رودخانه زرین گل از خود نشان می‌دهد.



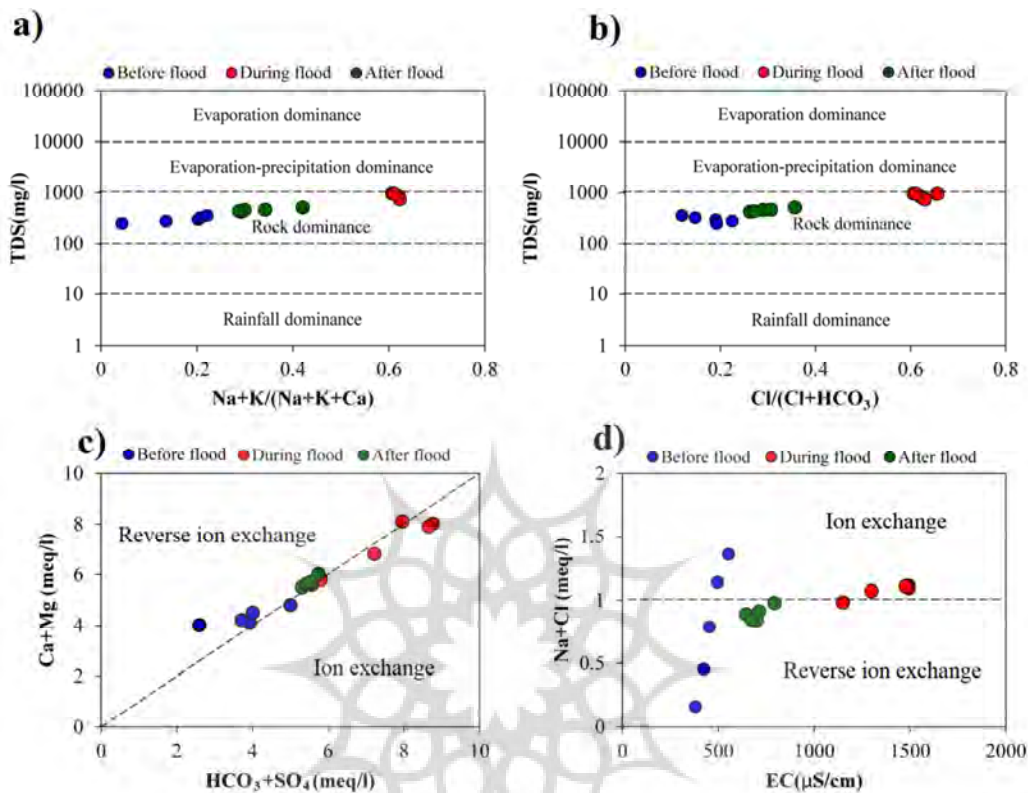
شکل ۶: دیاگرام دوروف رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیل

#### تعیین عوامل کنترل کننده شیمی آب رودخانه زرین گل

به منظور تعیین وضعیت هیدروشیمیائی رودخانه زرین گل و عوامل کنترل کننده شیمی آن از دیاگرام گیبس و برخی نسبت‌های یونی استفاده شد (گیبس<sup>۱</sup>، ۱۹۷۰). براساس تجمع، توزیع و جهت یافتگی نمونه‌ها بر روی دیاگرام گیبس (شکل ۷)، هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، عوامل اصلی کنترل کننده شیمی آب رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیلاب می‌باشد. اگرچه نمونه‌های مربوط به زمان سیلاب تمایل به تبخیر در نتیجه شورش‌دگی را از خود نشان می‌دهند. همچنین تجمع نمونه‌ها تقریباً در سه منطقه جداگانه در ناحیه‌ای که هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها عامل اصلی تغییر شیمیایی آب رودخانه می‌باشد بیانگر تغییر در ترکیب شیمیایی کانی‌ها در سه زمان‌های مختلف (قبل، همزمان و بعد از سیل) می‌باشد. در زمان سیلاب و انحلال کانی‌هایی نظیر هالیت و ژپس، میزان شوری آب افزایش یافته و نمونه‌های مربوط به این دوره تمایل به رسیدن به ناحیه بالایی (تبخیر و رسوبگذاری) که معرف آب شور دریا نیز می‌باشد از خود نشان می‌دهند. با فروکش کردن سیل و از دسترس خارج شدن کانی‌های کلریده و سولفات ترکیب شیمیایی آب به سمت کانی‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) در حال تغییر می‌باشد (شکل ۷).

<sup>1</sup> Gibbs





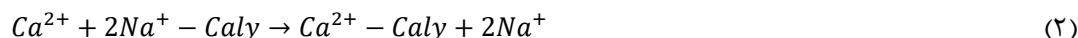
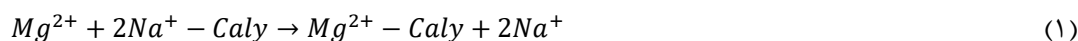
شکل ۷: دیاگرام گیبس (a و b) به همراه نمودارهای نسبت یونی (c و d) در رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیل

در این پژوهش به منظور بررسی فرآیند تبادل یونی (عادی و معکوس) از نمودار نسبت یونی ( $SO_4^{2-} + HCO_3^-$ ) به  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$  و همچنین نمودار دو متغیره EC به نسبت یونی  $Na^+/Cl^-$  استفاده شد. در شکل ۷- c، خط ۱:۱ نشان دهنده فرآیند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس است. نتایج این نمودار نشان داد که تنها اکثر نمونه‌ها مربوط به وقوع سیل زیر خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که نشان از تأثیر انحلال کانی‌های تبخیری نظیر ژپس همزمان با پدیده تبادل کاتیونی در ترکیب شیمیایی رودخانه زرین گل می‌باشد. در مقابل بیشتر نمونه‌ها مربوط زمان قبل و بعد سیل تقریباً در بالای خط ۱:۱ قرار دارند که نشان از وقوع فرآیند عکس تبادل یونی در این نمونه‌ها دارد.

در نمودارهای دو متغیره EC به  $Na^+/Cl^-$ ، نمونه‌هایی که در بالای خط  $Na^+/Cl^- = 1$  قرار دارند نشان از غالب بودن فرآیند تبادل یونی در نمونه‌ها دارد (شکل ۷- d). در حوضه آبخیز زرین گل بدلیل گسترش رسوبات ماری شور مربوط به سازند مبارک، نمونه‌های مربوط به وقوع سیلاب بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای تبادل یونی طبیعی قرار دارد و بقیه نمونه‌های متأثر از فرآیند عکس تبادل یونی هستند. از اینرو فرآیند عکس تبادل یونی، فرآیند غالب در طول رودخانه زرین گل قبل و بعد از وقوع سیلاب می‌باشد.



از آنجاییکه در زمان وقوع سیلاب و بعد از فروکش کردن آن، میزان کاتیون سدیم از آنیون کلراید بیشتر می‌باشد (شکل ۳) منشأ یون سدیم می‌تواند، غیر از انحلال کانی هالیت و احتمالاً از کانی آلبیت<sup>۱</sup> و تبادل یونی طبیعی باشد. به بیان دیگر، فرآیند تبادل کاتیونی و جانشینی یون‌های دو ظرفیتی مانند منیزیم و کلسیم موجود در منابع آبی با سدیم موجود در رس‌ها مربوط به تشکیلات مارنی که از گسترش نسبتاً خوبی در پهنه دشت برخوردار هستند، سبب آزاد شدن این یون در آب شده است (یانگ<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۶، قره‌محمودلو و همکاران ۱۳۹۹).



کاهش میزان کلسیم در نمونه‌های آبی رودخانه زرین‌گل در زمان وقوع سیلاب می‌تواند به دلیل تبادل یونی مذکور یا رسوب کلسیت باشد که احتمال مورد دوم را می‌توان در بخش مربوط به اندیس‌های اشباع بررسی نمود.

### نمودارهای ترکیبی

نمودارهای ترکیبی ابزارهای مفیدی در مطالعات هیدروژئوشیمی جهت تشخیص نوع فرآیندهای شیمیایی و تعیین منشأ شوری آب هستند (سامانی و همکاران، ۱۳۹۹). مباحث تکمیلی این نمودارها و انواع الگوهای تشکیل یافته در آن توسط میزر<sup>۳</sup> (۱۳۹۱) ارائه گردیده است. نمودارهای دو متغیره کل یون‌های محلول<sup>۴</sup> در مقابل سایر یون‌های عمده برای رودخانه زرین‌گل در شکل ۸ ارائه شده است.

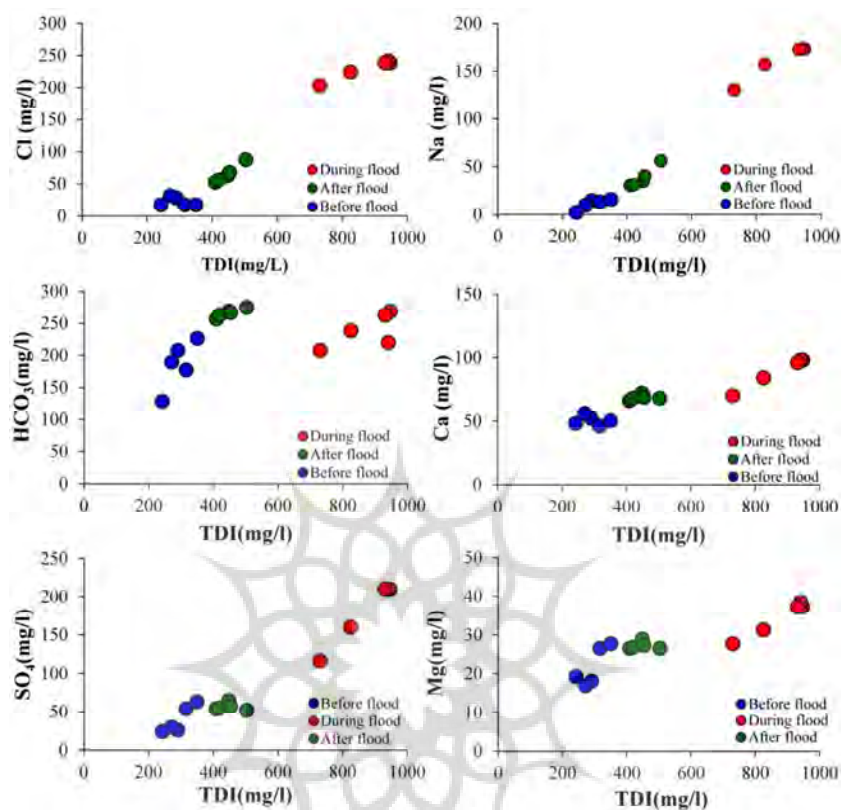
غلظت سدیم در مقابل TDI، در مجموع (قبل، همزمان و بعد از وقوع سیل) دارای روند خطی در هر سه دوره می‌باشد. اما با افزایش TDI، غلظت کلراید تنها در دو دوره همزمان و بعد از سیل افزایش می‌یابد. بنابراین منشأ شوری رودخانه زرین‌گل حاوی یون کلراید می‌باشد. همانند آنیون کلر، کاتیون متناظر آن یعنی سدیم نیز با افزایش TDI به صورت خطی افزایش می‌یابد. این امر بیانگر آن است که منشأ این دو یون، به احتمال فراوان انحلال کانی هالیت می‌باشد. هرچند که انحلال ژپس نیز تا حد زیادی در افزایش شوری آب مؤثر است. همچنین با افزایش میزان TDI، غلظت کلسیم دیگر کاتیون اصلی آب در زمان وقوع سیلاب به طور خطی افزایش می‌یابد. از آنجایی که یک رابطه خطی بین یون‌های سولفات و کلسیم نیز وجود دارد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در حوضه آبخیز رودخانه زرین‌گل انحلال ژپس علاوه بر انحلال انحلال هالیت صورت می‌گیرد.

<sup>۱</sup>- Albite (NaAlSi3O8)

<sup>۲</sup>-Yang

<sup>۳</sup>-Mazor

<sup>۴</sup>-Total Dissolved Ions(TDI)



شکل ۸: نمودار ترکیبی متغیرهای فیزیکوشیمیایی رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیل

### شاخص اشباع (SI)

در این پژوهش به منظور توصیف تکامل شیمیایی آب رودخانه زرین گل شاخص اشباع شدگی برخی کانی‌های تبخیری و کربناته با استفاده از نرم افزار ای کیو چم و براساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$SI = \log \frac{IAP}{K_t} \quad (3)$$

در رابطه بالا  $IAP$  میزان فعالیت کانی مورد نظر و  $K_t$  ثابت انحلال پذیری است.

در صورتی که مقدار  $SI$  برابر صفر باشد، آب دقیقاً اشباع خواهد بود. با مثبت شدن مقدار  $SI$ ، آب نسبت به کانی مورد نظر فوق اشباع می‌باشد و تمایل به ته نشینی آن کانی دارد. در صورتی که مقدار  $SI$  منفی باشد آب نسبت به کانی مورد نظر تحت اشباع بوده و تمایل به انحلال آن کانی دارد (سابیانی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵، پارخورتس<sup>۲</sup> و آپلو<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹).

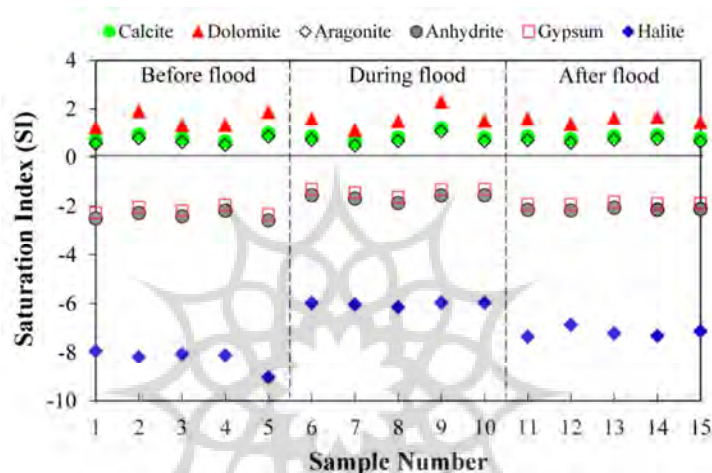
<sup>1</sup>- Saturation Index

<sup>2</sup>-Subyani

<sup>3</sup>-Parkhurst

<sup>4</sup>- Appelo

شکل ۷ میزان تغییرات شاخص‌های اشباع برخی از کانی‌های تبخیری و کربناته را در رودخانه زرین‌گل قبل، همزمان و بعد از سیل نشان می‌دهد. براین اساس، میزان شاخص‌های اشباع کانی‌ها تبخیری در زمان وقوع سیل تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهند و تمایل به رسیدن به حالت اشباع دارند. در بین تمامی کانی‌های بررسی شده در این پژوهش، اندیس اشباع هالیت بیشترین تغییرات را از خود نشان می‌دهد (شکل ۹). این امر می‌تواند ناشی از پراکندگی تشکیلات حاوی کانی هالیت و همچنین انحلال‌پذیری بالای این کانی (۳۶۰ گرم در لیتر) باشد.



شکل ۹: نمودار تغییرات اندیس‌های اشباع برخی از کانی‌های تبخیری و کربناته در رودخانه زرین‌گل قبل، همزمان و بعد از سیل

### نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی نقش سیل در تغییر پارامترهای کیفی آب رودخانه زرین‌گل در استان گلستان قبل، همزمان و بعد از وقوع سیل ۱۳۹۵ نمونه‌برداری انجام شد. نتایج اولیه بررسی‌ها نشان داد که آنیون و کاتیون غالب آب رودخانه در قبل از وقوع سیل به ترتیب کلسیم و بی‌کربنات می‌باشند. این امر با توجه به پراکندگی بالای تشکیلات آهکی در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه بدیهی به نظر می‌رسد. اما در زمان سیلاب با آبشویی و انحلال میان لایه‌های مارنی مربوط به سازند مبارک که از گستردگی نسبتاً خوبی در سطح حوضه برخوردار می‌باشند به یون‌های غالب کلراید و سدیم تغییر می‌یابد. این نتایج با یافته‌های فرید گیگلو و همکاران (۱۳۹۲)، نادری و همکاران (۲۰۱۶) و نوری و ملکیان (۱۳۹۵) مبنی بر تاثیر تشکیلات زمین شناسی بر روی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب رودخانه همسو می‌باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی نیز بیانگر وجود بیشترین اختلاف آماری بین دو یون کلراید و سدیم در زمان‌های مختلف در طول رودخانه زرین‌گل دارد. این امر در تغییر تیپ و رخساره هیدروشیمی آب نقش مهمی داشته است. بطوری‌که اکثر نمونه‌های مربوط به قبل و بعد از سیلاب دارای رخساره‌های منطقه تغذیه (بی‌کربناته) می‌باشند. درحالی‌که در زمان وقوع سیلاب با غالب شدن یونهای کلراید و سولفات به رخساره‌های ترکیبی تبدیل می‌شوند. انحلال کانی‌های تبخیری موجود در تشکیلات مارنی باعث افزایش کل مواد جامد محلول آب در زمان

وقوع سیلاب شده است. بطوریکه میزان پارامتر مذکور در آب رودخانه تقریباً سه برابر قبل از وقوع سیل می‌باشد. نتایج این بخش از پژوهش با یافته‌های صادقی (۲۰۲۰) مبنی بر وجود بیشترین اختلاف آماری بین دو یون کلراید و سدیم در نتیجه انحلال کانی هالیت و ژپس موجود در تشکیلات زمین شناسی در مسیر حرکت رودخانه فیروزآباد و غالب شدن تیپ کلرید سدیک و در پی آن افزایش شوری و مواد جامد محلول در در آب رودخانه همسو می‌باشد.

براساس نحوه توزیع نمونه‌های آب در دیاگرام‌های پایپر و دوروف، اکثر نمونه‌های مربوط به قبل و بعد از سیلاب دارای رخساره‌های مربوط به منطقه تغذیه می‌باشد. در مقابل، رخساره هیدروژئوشیمی تمامی نمونه‌های مربوط به زمان وقوع سیلاب، با ورود یون‌های تبخیری (با منشاء رسوبات ماری) به رخساره‌های ترکیبی تغییر می‌کند. بطور کلی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودار پایپر نشان از تکامل سریع هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه زرین گل دارد. اگرچه، تکامل کاتیونی نسبت به چرخه تکامل آنیونی تبعیت بیشتری از سیکل کلی تکامل هیدروژئوشیمیایی در طول مسیر حرکت جریان آب رودخانه زرین گل دارد.

براساس تجمع، توزیع و جهت یافتگی نمونه‌ها بر روی دیاگرام گیبس، هوازدگی شیمیایی (از نوع انحلال) کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها، عوامل اصلی کنترل کننده شیمی آب رودخانه زرین گل قبل، همزمان و بعد از سیلاب می‌باشد. اگرچه نمونه‌های مربوط به زمان سیلاب تمایل به تبخیر در نتیجه شورش‌دگی را از خود نشان می‌دهند. این نتایج با یافته‌های فرید گیگلو و همکاران (۱۳۹۲)، لیما<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) و قره‌محمودلو و همکاران (۱۳۹۹) که به ترتیب بر روی رودخانه‌های زرین گل در ایران، کوبارس<sup>۲</sup> در برزیل و گرگانرود در ایران همخوانی دارد.

نتایج حاصل از نسبت‌های یونی نشان داد که در زمان وقوع سیل تبادل کاتیونی فرآیند غالب در آب رودخانه زرین گل می‌باشد. در مقابل بیشتر نمونه‌ها مربوط قبل و بعد سیل متأثر از فرآیند عکس تبادل یونی هستند. این امر ارتباط مستقیم با انحلال کانی تبخیری نظیر هالیت و ژپس دارد. بر همین اساس میزان شاخص‌های اشباع کانی‌ها تبخیری در زمان وقوع سیل تغییرات قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهند و تمایل به رسیدن به حالت اشباع دارند. اگرچه در بین تمامی کانی‌های بررسی شده، اندیس اشباع هالیت بیشترین تغییرات را از خود نشان می‌دهد.

بطور کلی افزایش هدایت الکتریکی و در پی آن شوری آب رودخانه زرین گل در زمان سیل می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تاثیرگذار باشد. شوری سبب جذب آب و مواد مغذی از خاک و در پی آن کاهش فعالیت‌های اسمزی در گیاهان می‌شود. همچنین افزایش غلظت یون سدیم همزمان با وقوع سیل سبب جایگزینی آن یون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در ذرات خاک خصوصاً در زمین‌های پایین دست حوضه آبریز رودخانه زرین گل می‌شود. نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک به همراه زهکشی داخلی ضعیف و در پی آن کاهش حرکت آب و هوا در شرایطی که خاک مرطوب و در شرایط خشک باعث سخت شدن خاک‌های پایین دست حوضه می‌شود (صالح<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۹ و کومار<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷).

<sup>۱</sup>- Lima  
<sup>۲</sup>-Cobras  
<sup>۳</sup>-Saleh  
<sup>۴</sup>-Kumar

## منابع

- حشمت پور، علی؛ جندقی، نادر؛ پسند، سعیده؛ قره محمودلو، مجتبی. (۱۳۹۹). اثر خشکسالی بر کیفیت منابع آبهای سطحی استان گلستان جهت اهداف آبیاری مطالعه موردی: رودخانه گرگان رود. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۲(۴۸)، ۷۵-۸۸.
- سامانی، سعیده؛ بوستانی، فردین؛ ایرجی زاده، مراد. (۱۳۹۹). استفاده از مدل ژئوشیمیایی معکوس و روشهای هیدروژئوشیمی در جهت بررسی منشأ شوری آبخوان سروستان. مجله هیدروژئولوژی، ۱۵(۱)، ۱۶-۳۳.
- سلماسی، رامین. (۱۳۹۲). اثر سیلاب بر آلودگی خاکهای کشاورزی با فلزات سنگین، همراه مثال موردی. مجله انسان و محیط زیست، ۱۱(۲)، ۳۵-۴۰.
- شیرازی، اسماعیل. (۱۳۹۵). آموزش جامع نرم افزار آماری Minitab 16. چاپ اول. انتشارات نوروزی. تعداد صفحات ۳۰۵.
- صادقی کردقوجه بیگلر، مهناز. (۱۳۹۹). تاثیر گندهای نمکی بر خصوصیات هیدروشیمیایی و کیفیت آب رودخانه فیروز آباد در استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گنبد کاووس.
- فریدبیگلر، بهنام؛ نجفی نژاد، علی؛ مغانی بیله سوار، وحید؛ غیاثی، اصغر. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان. مجله پژوهشهای حفاظت آب و خاک. ۲۰(۱)، ۹۵-۷۷.
- قائدامینی، فاطمه؛ زمانی، رسول؛ محمودی، احمد؛ نجفی، مریم. (۱۳۹۶). ارزیابی کیفیت آب رودخانه پیرغار به منظور شرب و آبیاری پزوری، استان چهار محال و بختیاری. نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۰(۳)، ۶۸۴-۶۷۳. doi:10.22059/JNE.2017.212210.1212
- قره محمودلو، مجتبی؛ جندقی، نادر؛ صیادی، مریم. (۱۳۹۹). بررسی تکامل هیدروشیمیایی و کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود. فصلنامه زمین شناسی ایران. ۱۴(۵۵)، ۱۴۵-۱۲۲. <http://geology.saminattech.ir/Article/9882>.
- قلی زاده، محمد؛ پاکروان، محمدهادی. (۱۳۹۷). نظارت بر سلامت رودخانه زرین گل با استفاده از شاخص زیستی SIGNAL. فصلنامه علمی پژوهشی محیط زیست جانور، ۱۰(۲)، ۲۷۲-۲۶۷.
- قلی زاده، محمد؛ علی نژاد، مجید. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات مکانی برخی از پارامترهای موثر بر کیفیت آب رودخانه زرین گل در استان گلستان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶(۱)، ۱۲۶-۱۱۱.
- نوری، زهرا؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۵). بررسی تاثیر عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه های سیمره و کشکان در استان های ایلام و لرستان. نشریه محیط زیست طبیعی، ۶۹(۲)، ۵۶۴-۵۴۹. doi: 10.22059/JNE.2016.59764
- Abbasi-Moghadam, H.R., Mahmoodlu, M.G., Jandaghi, N., Heshmatpour, A., Seyed, M. (2021). River bank filtration for sustainable water supply on Gorganroud River, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), pp1-15. Doi: [10.1007/s12665-020-09334-3](https://doi.org/10.1007/s12665-020-09334-3).
- Arpine, H., Gayane, S. (2016). Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, pp 2-9. doi: [10.1016/j.pce.2016.03.011](https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.011).
- Barzegar, R., Moghaddam, AA, Tziritis, E. (2016). Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(23), pp 1-5. doi: [10.1007/s12665-016-6302-1](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6302-1).
- Batsaikhan, B., Kwon, J.S., Kim, K.H., Lee, Y.J., Lee, J.H., Badarch, M., Yun, S.T. (2017). Hydrochemical evaluation of the influences of mining activities on river water chemistry in central-northern Mongolia. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), pp 2019-2034. doi: [10.1007/s11356-016-7895-3](https://doi.org/10.1007/s11356-016-7895-3).
- Ching, Y.C., Lee, Y.H., Toriman, M.E., Abdullah, M., Yatim, B.B. (2015). Effect of the big flood events on the water quality of the Muar River, Malaysia. *Sustainable Water Resources Management*, 1(2), 97-110. doi: [10.1007/s40899-015-0009-4](https://doi.org/10.1007/s40899-015-0009-4).
- Gibbs, R.J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), pp 1088-1090.
- Hounslow, A. (1995). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC press., 416 p.
- Islam, M.A., Zahid, A., Rahman, M.M., Rahman, M.S., Islam, M.J., Akter, Y., Shammi, M., Bodrud-Doza, M. and Roy, B. (2017). Investigation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the south-central part of the coastal region in Bangladesh. *Exposure and health*, 9(1), pp.27-41. doi: [10.1007/s12403-016-0220-z](https://doi.org/10.1007/s12403-016-0220-z)
- Jongman, B., Hochrainer-Stigler, S., Feyen, L., Aerts, J.C., Mechler, R., Botzen, W.W., Bouwer, L.M., Pflug, G., Rojas, R., Ward, P.J. (2014). Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Natural Climate Change*, 4 (4), pp 264-268. doi: [10.1038/NCLIMATE2124](https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2124).
- Laxmankumar, D., Satyanarayana, E., Dhakate, R., Saxena, P.R. (2019). Hydrogeochemical characteristics for fluoride contamination in groundwater of Maheshwarm Mandal, RR District, Telangana state, India. *Groundwater for Sustainable Development*. 8, pp 474-483. DOI: [10.1016/j.gsd.2019.01.008](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.008).

- Lima, A.D.O., Lima-Filho, F.P., Dias, N.D.S., Reho, P.R., Aagao, D., Blanco, F.F., Ferreira, M. (2017). Mechanisms controlling surface water quality in the Cobras river sub-basin, northeastern Brazil. *Revista Caatinga*, 30, pp181-189. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n120rc>.
- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L., Saxena, R. (2007). A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Journal of Environmental Geology*, 53, pp553-574. Doi:10.1007/s00254-007-0672-3
- Mishra, K., Binaya, K. (2017). Regmi, Yoshifumi Masago, Kensuke Fukushi, Pankaj Kumar, and Chitresh Saraswat. Assessment of Bagmati River pollution in Kathmandu Valley: Scenario-Based Modeling and Analysis for Sustainable Urban Development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, pp 67-77. [doi:10.1016/j.swaqe.2017.06.001](https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2017.06.001).
- Naderi, M., Raeisi, E., Zarei, M. (2016) The impact of halite dissolution of salt diapirs on surface and groundwater under climate change, South-Central Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75, 708. Doi: 10.1007/s12665-016-5525-5.
- Nwankwoala, H.O. and Udom, G.J., 2011. Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(3), pp 87-101.
- Mazor, E. (1991). *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*. John Wiley & Sons, New York. 456p.
- Parkhurst, D., Appelo, C. (1999). PHREEQC for Windows version 1.4.07, A hydrogeochemical transport model. The U.S. Geological Survey Software.
- Safari, M., Hezarkhani, A., Mashhadi, S.R. (2020). Hydrogeochemical characteristics and water quality of Aji-Chay river, the eastern catchment of Lake Urmia, Iran. *Journal of Earth System Science*, 129(1), pp1-15. doi:[10.1007/s12040-020-01469-y](https://doi.org/10.1007/s12040-020-01469-y).
- Saha, A., Salim, S.M., Sudheesan, D., Suresh, V.R., Nag, S.K., Panikkar, P., Das, B.K. (2020). Impacts of a massive flood event on the physico-chemistry and water quality of river Pampa in Western Ghats of India. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp 1-19. doi:[10.1080/03067319.2020.1843026](https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1843026).
- Saleh, A. Al-Ruwaih, F., Shehata, M. 1999. Hydrogeochemical processes operate within the main aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments*, 42, pp195-209. Doi:10.1006/JARE.1999.0511
- Sikdar, P.K., Sarkar, S.S., Palchoudhury, S. (2001). Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, pp 579-594. DOI: [10.1016/S1367-9120\(00\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00056-0).
- Subyani, A.M. (2005). Hydrochemical identification and salinity problem of groundwater in Wadi Yalamlam basin, Western Soudia Arabia. *Arid Environments*, 60, pp 53-66. doi:[10.1016/j.jaridenv.2004.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.009).
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, pp 914-922. doi:[10.1016/j.scitotenv.2017.08.293](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.293).
- Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y., Ouyang, Z. (2016). Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: Implications for environmental management. *Chinese Geographical Science*, 26, pp197-207.
- Yang, Q., Li, Z., Ma, H., Wang, L., Martín, J.D. (2016). Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater quality using classic integrated geochemical methods in the Southeastern part of Ordos basin, China. *Environmental Pollution*, 218, pp 879-888. DOI: [10.1016/j.envpol.2016.08.017](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.017).



## References

### References (in Persian)

- Barzegar, R., Moghaddam, AA, Tziritis, E. (2016). Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(23), pp 1-5. doi:10.1007/s12665-016-6302-1. [In Persian]
- Frid Gigloo, B., Najafinejad, A., Moghani Bilehsavar, V., Ghiyasi, A. (2013). Evaluation of water quality variation of Zarringol river, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*. 20(1), pp 77-95. [In Persian]
- Ghaedamini, F., Zamani-Ahmadmohmoodi, R., Najafi, M. (2017). Water quality assessment of Pireghar River to drinking and aquaculture, Chaharmahal & Bakhtiari Province. *Journal of Natural Environment*, 70(3), pp 673-684. DOI: 10.22059/JNE.2017.212210.1212. [In Persian]
- Gholizadeh, M., Alinejad, M (2018). Assessment of spatial variability of some affecting parameters on water quality of Zarin Gol river in Golestan province. *Environmental Sciences*. 16(1), pp111-126. [In Persian]
- Gholizadeh, M., Pakravan, M.H. (2018). Monitoring on Zarin Gol River health using a SIGNAL index. *Journal of Animal Environment*. 10(2), pp 277-282. [In Persian]
- Ghareh Mahmoodlu, M., Jandaghi, N., Sayadi, M. (2020). Hydrochemical evaluation and qualitative deterioration assessment of Gorganrud River. *Iranian Journal of Geology*, 55(14), pp 129 -145. [In Persian]
- Heshmatpour, Jandaghi, N.A., Pasand, S., Ghareh Mahmoodlu, M. (2020). Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River, *Natural Geography Journal*. 13(48), pp 78-88. (In Persian)
- Noori, Z., Malekian, A. (2016). The Effective Factors on Water Quality of Seimareh and Kashkan Rivers in Ilam and Lorestan Provinces. *Journal of Natural Environment*, 69(2), pp 549-564. [In Persian]
- Salmasi, R. (2020). Effect of flooding on contamination of agricultural soils based on a case study. *Human and Environment*. 18(3), pp 43-49. [In Persian]
- Sadeghi Kordqojeh Biglou, M. (2020). Effect of Salt Domes on Hydrochemical Characteristics and Water Quality of Firuzabad River in Fars Province. MSc thesis in Golestan University (In Persian)
- Samani, S., Boustani, F., Irajizadeh, M. (2020). Application of reverse geochemical model and hydrogeochemical methods to investigate the salinity source of Sarvestan Aquifer. *Hydrogeology Journal*, 5(1), pp 16-33. [In Persian]
- Shirazi, E. 2016. Statistical software training Minitab 16. Noruzi Publications. 306 p. [In Persian]

### References (in English)

- Abbasi-Moghadam, H.R., Mahmoodlu, M.G., Jandaghi, N., Heshmatpour, A., Seyed, M. (2021). River bank filtration for sustainable water supply on Gorganroud River, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), pp1-15. Doi:[10.1007/s12665-020-09334-3](https://doi.org/10.1007/s12665-020-09334-3).
- Arpine, H., Gayane, S. (2016). Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, pp 2-9. doi:[10.1016/j.pce.2016.03.011](https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.011).
- Barzegar, R., Moghaddam, AA, Tziritis, E. (2016). Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(23), pp 1-5. doi:[10.1007/s12665-016-6302-1](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6302-1).
- Batsaikhan, B., Kwon, J.S., Kim, K.H., Lee, Y.J., Lee, J.H., Badarch, M., Yun, S.T. (2017). Hydrochemical evaluation of the influences of mining activities on river water chemistry in central-northern Mongolia. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), pp 2019-2034. doi:[10.1007/s11356-016-7895-3](https://doi.org/10.1007/s11356-016-7895-3).
- Ching, Y.C., Lee, Y.H., Toriman, M.E., Abdullah, M., Yatim, B.B. (2015). Effect of the big flood events on the water quality of the Muar River, Malaysia. *Sustainable Water Resources Management*, 1(2), 97-110. doi:10.1007/s40899-015-0009-4.
- Gibbs, R.J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), pp 1088-1090.
- Hounslow, A. (1995). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC press., 416 p.
- Islam, M.A., Zahid, A., Rahman, M.M., Rahman, M.S., Islam, M.J., Akter, Y., Shammi, M., Bodrud-Doza, M. and Roy, B. (2017). Investigation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the south-central part of the coastal region in Bangladesh. *Exposure and health*, 9(1), pp.27-41. doi:[10.1007/s12403-016-0220-z](https://doi.org/10.1007/s12403-016-0220-z)
- Jongman, B., Hochrainer-Stigler, S., Feyen, L., Aerts, J.C., Mechler, R., Botzen, W.W., Bouwer, L.M., Pflug, G., Rojas, R., Ward, P.J. (2014). Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Natural Climate Change*, 4 (4), pp 264-268. doi:[10.1038/NCLIMATE2124](https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2124).
- Laxmankumar, D., Satyanarayana, E., Dhakate, R., Saxena, P.R. (2019). Hydrogeochemical characteristics for fluoride contamination in groundwater of Maheshwarm Mandal, RR District, Telangana state, India. *Groundwater for Sustainable Development*. 8, pp 474-483. DOI: [10.1016/j.gsd.2019.01.008](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.008).
- Lima, A.D.O., Lima-Filho, F.P., Dias, N.D.S., Reho, P.R., Aagao, D., Blanco, F.F., Ferreira, M. (2017). Mechanisms controlling surface water quality in the Cobras river sub-basin, northeastern Brazil. *Revista Caatinga*, 30, pp181-189. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n120rc>.

- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L., Saxena, R. (2007). A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Journal of Environmental Geology*, 53, pp553-574. Doi:10.1007/s00254-007-0672-3
- Mishra, K., Binaya, K. (2017). Regmi, Yoshifumi Masago, Kensuke Fukushi, Pankaj Kumar, and Chitresh Saraswat. Assessment of Bagmati River pollution in Kathmandu Valley: Scenario-Based Modeling and Analysis for Sustainable Urban Development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9, pp 67-77. doi:10.1016/j.swaqe.2017.06.001.
- Naderi, M., Raeisi, E., Zarei, M. (2016) The impact of halite dissolution of salt diapirs on surface and groundwater under climate change, South-Central Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75, 708. Doi: 10.1007/s12665-016-5525-5.
- Nwankwoala, H.O. and Udom, G.J., 2011. Hydrochemical facies and ionic ratios of groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(3), pp 87-101.
- Mazor, E. (1991). *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*. John Wiley & Sons, New York. 456p.
- Parkhurst, D., Appelo, C. (1999). PHREEQC for Windows version 1.4.07, A hydrogeochemical transport model. The U.S. Geological Survey Software.
- Safari, M., Hezarkhani, A., Mashhadi, S.R. (2020). Hydrogeochemical characteristics and water quality of Aji-Chay river, the eastern catchment of Lake Urmia, Iran. *Journal of Earth System Science*, 129(1), pp1-15. doi:10.1007/s12040-020-01469-y.
- Saha, A., Salim, S.M., Sudheesan, D., Suresh, V.R., Nag, S.K., Panikkar, P., Das, B.K. (2020). Impacts of a massive flood event on the physico-chemistry and water quality of river Pampa in Western Ghats of India. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp 1-19. doi:10.1080/03067319.2020.1843026.
- Saleh, A. Al-Ruwaih, F., Shehata, M. 1999. Hydrogeochemical processes operate within the main aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments*, 42, pp195-209. Doi:10.1006/JARE.1999.0511
- Sikdar, P.K., Sarkar, S.S., Palchoudhury, S. (2001). Geochemical evolution of groundwater in the Quaternary aquifer of Calcutta and Howrah, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, pp 579-594. DOI: 10.1016/S1367-9120(00)00056-0.
- Subyani, A.M. (2005). Hydrochemical identification and salinity problem of groundwater in Wadi Yalamlam basin, Western Soudia Arabia. *Arid Environments*, 60, pp 53-66. doi:10.1016/j.jaridenv.2004.03.009.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, pp 914-922. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.293.
- Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y., Ouyang, Z. (2016). Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: Implications for environmental management. *Chinese Geographical Science*, 26, pp197-207.
- Yang, Q., Li, Z., Ma, H., Wang, L., Martín, J.D. (2016). Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater quality using classic integrated geochemical methods in the Southeastern part of Ordos basin, China. *Environmental Pollution*, 218, pp 879-888. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.08.017.

