

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰

ص ۳۹ تا ۵۷

## بررسی تأثیر شیل های نفتی بر کیفیت هیدروژئوشیمیایی آبهای سطحی برای شرب (مطالعه موردی: منطقه قالیکوه، استان لرستان، جنوب غربی ایران)

امیرسعید حسینی؛ دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زمین شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران  
سعید حکیمی آسیابار\*؛ استادیار، گروه زمین شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران  
مژگان صلواتی؛ استادیار، گروه زمین شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹

### چکیده:

رودخانه ها از مهمترین منابع آبی بوده و بررسی کیفیت آب آن ها بسیار حیاتی می باشد. از این رو در این مطالعه از ۱۵ ایستگاه آبراهه های دائمی پیربادوش و گشون رودخانه قلیان استان لرستان که در مسیر شیل های نفتی قرار دارند، نمونه برداری صورت گرفت. با آنالیز نمونه ها در آزمایشگاه، پارامترهای هیدروژئوشیمیایی محاسبه شدند و سپس مقایسه با استانداردها و رسم نمودارهای هیدروژئوشیمیایی جهت بررسی کیفیت آب شرب منطقه انجام شد. نتایج نشان داد، آب رودخانه قلیان حاوی کربنات کلسیم فراوانی است (به جزء نمونه P3 که مقدار بیشتری کربنات منیزیم دارد) که به دلیل دارا بودن کلسیم بالا برای نوشیدن نامناسب، ولی بر اساس سایر پارامترها مناسب است. بر اساس طبقه بندی کیفی شولر، نمونه های گشون کیفیت پایین تری نسبت به پیربادوش دارند و طبق استانداردها، اکثر نمونه ها در حد مجاز-مطلوب می باشند. براساس نمودارهای هیدروژئوشیمیایی، کیفیت آب آبراهه پیربادوش بهتر از گشون است و بر اساس نمودار گیبس، سنگ های بستر و هوازدگی و انحلال از عوامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه هستند. در این منطقه نوع واحدهای سنگی و حتی وجود شیل های نفتی تأثیر مخربی بر کیفیت آب شرب منطقه نداشته است.

واژه های کلیدی: آب شرب، رودخانه قلیان، قالیکوه، شیل های نفتی، نمودارهای هیدروژئوشیمیایی.

### مقدمه

آب، عنصر اساسی از زیرساخت های اجتماعی و اقتصادی است که برای توسعه جامعه سالم و توسعه پایدار ضروری است (ایشاکو و همکاران ۲۰۱۱). منابع مهم آب های سطحی و رودخانه ها با توجه به رشد جمعیت، توسعه کاربری های جدید و افزایش آلاینده های زیست محیطی از نظر کمی و کیفی در معرض خطر هستند. از سویی دیگر منشأ آب ورودی به رودخانه ها و جنس سنگ بستر رودخانه، در کنار شرایط فیزیکی-شیمیایی حاکم بر منطقه، می تواند بر کیفیت شرب آب تأثیر مستقیمی داشته باشد. در سه دهه اخیر به دنبال رشد اقتصادی سریع و استفاده بیشتر از محیط زیست، توجه و نگرانی نسبت به مسائل زیست محیطی و کیفی آب رودخانه ها افزایش یافته است.

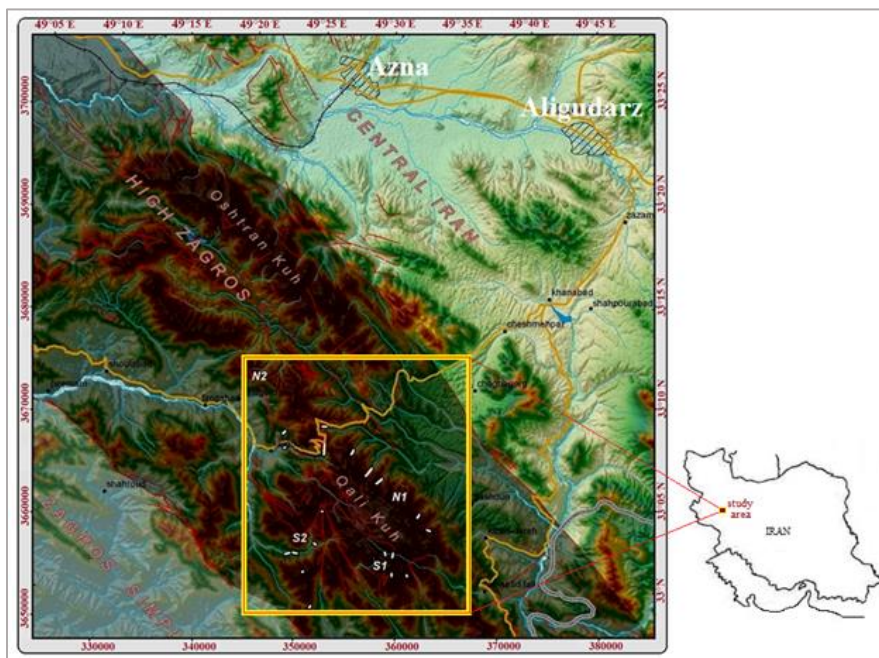


رودخانه‌ها آسیب پذیرترین بدنه های آبی در برابر آلودگی در کشورهای در حال توسعه به حساب می‌آیند و بسیاری از آن‌ها به علت فعالیت‌های انسانی به شدت آلوده شده‌اند (دد و همکاران ۲۰۱۳؛ یاریان و همکاران ۲۰۰۰). منابع و عوامل آلاینده آب‌ها - شیمیایی، فیزیکی، رادیولوژیکی و بیولوژیکی - ارتباط تنگاتنگی با نحوه استفاده آب توسط بشر دارند (تاد ۲۰۰۴). از نظر منشأ، آلاینده‌های آب به دو نوع طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند (آتابای ۲۰۰۵). پس منابع آبی می‌توانند به دور از فعالیت‌های بشری، توسط فرآیندهای زمین‌شناسی و ساختار زمین، از کیفیت استاندارد خود فاصله بگیرند و بر میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پارامترهای شیمیایی آنها کاسته یا افزوده شود. از این رو مطالعه هیدروژئوشیمیایی و بهداشتی آنها جهت مصارف شرب، حائز اهمیت است. به عنوان مثال، آب‌های عبوری مناطق کربناته می‌توانند با جذب کلسیم و منیزیم بالا، به آب‌های سخت تبدیل شوند. معمولاً در استاندارد آب‌های آشامیدنی، سختی کمتر از ۱۵۰ mg/l کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) را در حد مجاز سختی آب در نظر می‌گیرند که می‌تواند برای سلامت مفید هم باشند هرچند آشامیدن آب‌های سخت، انسان را در مقابل بیماری‌های قلبی-عروقی مقاوم‌تر می‌کند (لوندین و همکاران ۲۰۰۵)، ولی در مواردی می‌تواند موجب بروز فشارخون بالا و سنگ‌های ادراری در جوامع مصرف کننده شود (دیسایاناکه ۲۰۰۵). کمبود ید در آب و خاک کمربند استوایی می‌تواند با اختلالاتی در عملکرد غده تیروئید همراه باشد (باین و همکاران ۱۹۹۲) که علت آن می‌تواند مرتبط با بارندگی شدید، تغییرات روزانه دما، هوازدگی سنگ‌ها باشد (وانگ ۲۰۱۰). در مناطق شمالی، یخبندان و ذوب متوالی یخ‌ها عامل مهاجرت و کمبود ید است (فوگه و جانسون ۱۹۸۶). از آنجائی که واحدهای سنگی زمین شناسی یک منطقه می‌تواند تا حدودی بر کیفیت آب شرب نیز تأثیرگذار باشد، با اکتشاف شیل‌های نفتی در مسیر برخی از آبراهه‌های بالادست منطقه قالیکوه، در این مطالعه به بررسی کیفیت آب شرب رودخانه قلیان در دو آبراهه گشون و پیربادوش پرداخته شده است. بی شک نتایج این پژوهش به معرفی کیفی آب رودخانه و تأثیر مستقیم فعالیت‌های زمین‌زاد در کنار عدم وجود فعالیت‌های انسانی منجر خواهد شد و از آنجایی که این منطقه به دلیل شرایط خاص زیست محیطی (تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی) حائز اهمیت است و در دوره‌های پربابی، می‌تواند تأمین کننده آب شرب شهرهای اطراف باشد، نتایج این پژوهش در برنامه ریزی برای استفاده از آب این رودخانه برای مصارف آب شرب کمک‌های شایانی خواهد نمود. مطالعات زیادی به بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی به منظور آب شرب پرداخته‌اند که از جمله آنها می‌توان به پژوهش برزگر و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی اشاره کرد که ارزیابی هیدروژئوشیمی و کیفیت آب رودخانه آجی چای شمال غرب ایران است و در آن به تأثیر فرایندهای ژئوشیمیایی طبیعی و تبادلات یونی غالب در کنار فعالیت‌های انسانی و ارزیابی میزان فلزات سنگین پرداخته شده است. در پژوهش ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس که توسط غلام دخت بندری و همکاران در سال ۱۳۹۷ انجام شد، به تأثیر سازندهای زمین شناسی (تبخیری، شیلی، کربناتی) و گنبد‌های نمکی بر منابع آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع آب منطقه پرداخته شده است. در مطالعه‌ای که توسط تاکی و شیروودعیسی در سال ۱۳۹۸ با عنوان ویژگی‌های آب زمین شیمی چشمه‌های حوالی رامسر با نگرش ویژه بر کیفیت آنها از لحاظ شرب پرداخته شده است، مشخص شده است که مقدار پارامترهای شیمیایی و شاخص فلزی در هریک از چشمه‌های مورد مطالعه متغیر است. در سال ۱۳۹۹ مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون جهت مصرف شرب توسط راکو و دریکوند انجام شد که بر اساس آن کاهش میزان آب می‌تواند با افزایش املاح محلول همراه باشد. در مطالعه‌ای دیگر که به ارزیابی کیفیت آب رودخانه کوپال و روند تغییرات آن در حوزه آبخیز مارون-جراحی توسط لطفی نسب

اصل و همکاران در سال ۱۳۹۹ پرداخته شده است، نتایج حاکی از آن است که از کیفیت آب منطقه برای مصارف گوناگون در سال های اخیر کاسته شده است.

### موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

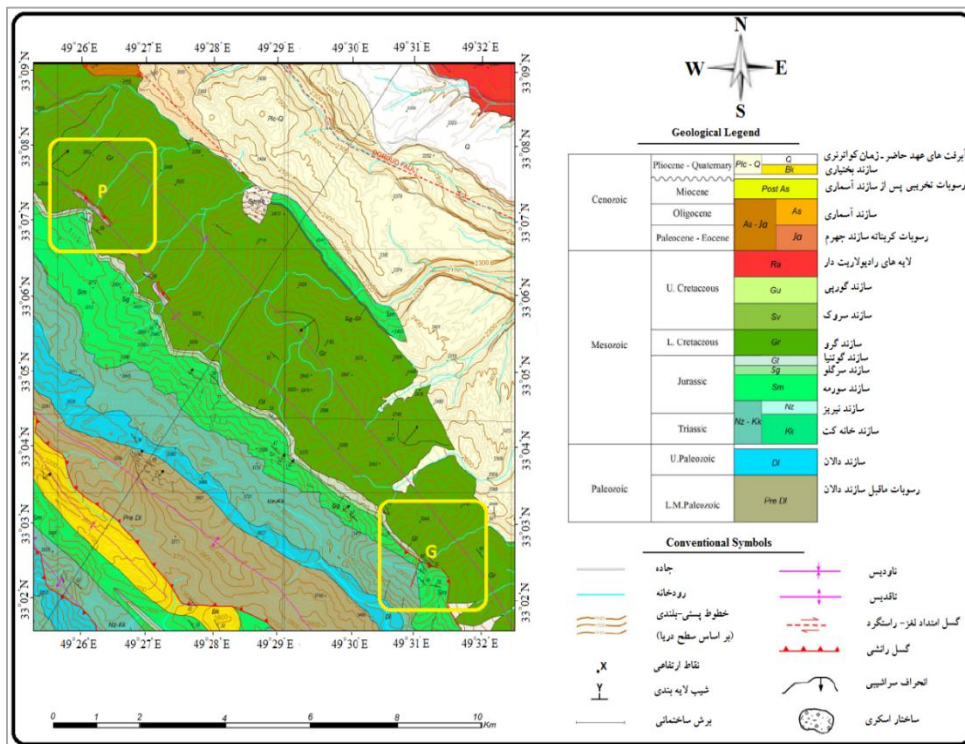
استان لرستان به دلیل میانگین بارش سالانه ای در حدود ۵۰۰ میلیمتر و ویژگی های خاص ژئومورفولوژی و سازندهای کارستی، دارای آبشار های فراوانی است به طوری که این استان به سرزمین آبشارها معروف بوده و همین امر جاذبه های اقلیمی و اکوتوریستی خاصی را برای آن به وجود آورده است. منطقه قالیکوه که از مناطق کوهستانی استان لرستان است در ۳۵ کیلومتری شهرستان الیگودرز، جنوب ارتفاعات اشترانکوه واقع است که بلندترین قله آن ۴۰۲۸ متر ارتفاع دارد. متوسط دمای سالیانه منطقه قالیکوه نیز از ۴- تا ۸ درجه سانتی گراد در نوسان می باشد. متوسط بارندگی منطقه قالیکوه نیز از ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر در سال تغییر می کند به طوری که حداقل آن در شمال شرق منطقه و حداکثر آن در بخش های میانی و جنوب غرب آن است که بیشتر به صورت بارش برف می باشد. راه دسترسی به این منطقه از طریق جاده اصلی الیگودرز به شول آباد می باشد. از نظر تقسیمات زمین شناسی، این منطقه در حوضه زاگرس و در زون زاگرس مرتفع قرار دارد که به دلیل ساختار کوهستانی، دارای آبراهه های نامنظم و دندریتی است که به صورت فصلی و دائمی هستند و از سرشاخه های اصلی رودخانه دز محسوب می شوند. آبراهه های رودخانه قلیان، آب رودخانه رودبار الیگودرز، که یکی از شاخاب های رودخانه بختیاری است را تغذیه می کنند که در نهایت به رودخانه دز ختم می شوند. در این منطقه شیل های نفتی رخنمون دارند که در برخی از سازندها مانند؛ سرگلو (به سن ژوراسیک بالایی) و گرو (به سن کرتاسه پایینی) گسترش یافته اند. ضمن آنکه سازندهای دوران پالئوزوئیک تا دوران سنوزوئیک (از رسوبات ماقبل سازند دالان تا آبرفت های عهد حاضر زمان کواترنری) در منطقه قابل رؤیت هستند.



شکل ۱: جایگاه منطقه موردنظر و نقشه ارتفاعی یا توپوگرافی (NIOC.exp 2013)

### نمونه برداری و مطالعات آزمایشگاه

پس از انجام مطالعات اولیه در ناحیه قالیکوه و استفاده از نقشه ۱:۵۰۰۰۰، مشخص شد که علاوه بر تمرکز شیل های نفتی، فقط دو آبراهه گشون (G) و پیربادوش (P) به صورت دائمی جریان دارند که در منطقه N1 از مناطق چهارگانه قالیکوه (N1، N2، S1، S2) جریان دارند و آبراهه های دیگر به صورت فصلی جریان دارند که از نظر تأمین آب رودخانه قلیان اهمیت چندانی ندارند.

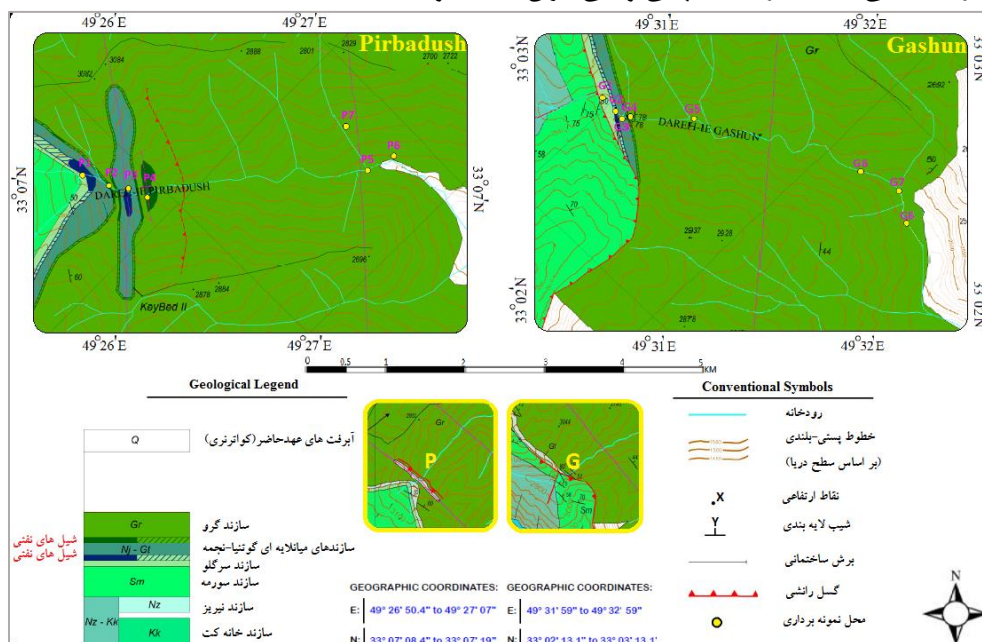


شکل ۲: نقشه زمین شناسی (۱:۵۰۰۰۰) ناحیه N1 منطقه قالیکوه (NIOC.exp)

با تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ و انتخاب محل نمونه ها، نمونه برداری از آب های سطحی در یک مرحله (به دلیل وجود یخبندان در بیشتر مواقع سال و صعب العبور بودن منطقه) انجام گرفت و نمونه ها که در ظروف اسیدپتیه پلی اتیلن ۱/۵ لیتری و از مرکز جریان رود برداشت شدند و درجه حرارت  $T^{\circ}C$  آنها توسط دماسنج در زمان نمونه برداری ثبت گردید، در کمتر از ۲۴ ساعت و به دور از نور مستقیم و حرارت، به آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت منتقل شدند و پارامترهای اصلی شامل کاتیون ها ( $K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}$ ) و آنیون ها ( $CO_3^{2-}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-$ ) و پارامترهای شیمیایی مانند هدایت الکتریکی  $Ec^{\circ}$ ، کل مواد جامد محلول  $TDS^{\circ}$ ، قلیائیت و pH، کل مواد جامد معلق  $TSS^{\circ}$  با روش های ASTM، St. Method، MMS اندازه گیری شدند و سختی کل  $TH^{\circ}$  توسط

3. Temperature ( $T^{\circ}C$ )
4. Electrical Conductivity ( $Ec$ )
5. Total Dissolved Solids ( $TDS$ )
6. Alkalinity
7. Total Suspended Solids ( $TSS$ )
8. Total Hardness ( $TH$ )
9. Biochemical Oxygen Demand ( $BOD$ )

نرم افزار AqQA و بررسی میزان کاتیون های  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  محاسبه گردید. در این مطالعه ضمن بررسی میزان پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب به بررسی میزان اکسیژن مورد نیاز آب، با روشهای اکسیژن خواهی بیوشیمیایی<sup>۹</sup> (BOD) و اکسیژن خواهی شیمیایی<sup>۱۰</sup> (COD) که هر دو روش کمیته بوده و معیار مهمی برای تعیین آلودگی آب هستند و نیز به بررسی میزان عوامل مهمی مانند میزان نیترات<sup>۱۱</sup> ( $NO_3^-$ ) و فسفات<sup>۱۲</sup> ( $PO_4^{3-}$ ) و مواد آلی یا کل هیدروکربنهای نفتی<sup>۱۳</sup> (TPH) موجود در آب پرداخته شد. سپس جهت ارزیابی بهتر، داده‌ها به نرم افزارهای RockWare و AqQA وارد شدند و نمودارهای هیدروژئوشیمیایی شولر، پایپر، دورو، استیف و تبادل یونی جهت بررسی کیفی آب شرب و نمودار گیبس برای بررسی منشأ یون های محلول در آب ترسیم شدند. در نهایت، داده های آزمایشگاهی با استانداردهای جهانی و ملی ایران مقایسه و طبقه بندی شدند.



شکل ۳: نقشه زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰) و موقعیت آبراهه های گشون و پیربادوش بر اساس مختصات جغرافیایی

## بررسی کیفی آب شرب

در این مطالعه به منظور بررسی کیفی آب شرب رودخانه، از میزان آنیون ها و کاتیون ها، هدایت الکتریکی (Ec)، سختی کل (TH) و کل مواد جامد محلول (TDS) و مقایسه با استانداردها و رسم نمودارهای هیدروژئوشیمیایی آب شرب استفاده شده است.

10. Chemical Oxygen Demand (COD)

11. Nitrate

12. Phosphate

13. Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)

## اندازه گیری پارامترهای شیمیایی

- هدایت الکتریکی (Ec): هدایت الکتریکی (Ec) یا میزان شوری آب، با میزان املاح موجود در آب رابطه مستقیم دارد.
  - سختی کل (TH) و کل مواد جامد محلول (TDS): تعیین میزان سختی آب به لحاظ تشخیص کاربرد مصرف آشامیدنی، کشاورزی، صنعت و همچنین محاسبات مربوط به سبک یا نرم بودن آب حائز اهمیت می باشد. سختی کل، از مجموع سختی دائم (بیکربناتی) و سختی موقت (کربناتی) به دست می آید. از آنجایی که در نمونه های این مطالعه، سختی بیکربناتی ( $\text{HCO}_3^-$ ) در حد ناچیز بود، سختی کربناتی ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) به عنوان سختی کل در نظر گرفته شده است. سختی کل از رابطه زیر نیز محاسبه می شود (لیولد و هیتکوته ۱۹۸۵).
- $$\text{TH (ppm)} = 2.5 \text{ Ca (mg/l)} + 4.1 \text{ Mg (mg/l)} \quad \text{رابطه (۱):}$$
- یکی از فاکتور های اصلی و شاخص های مهم آب آشامیدنی، میزان مجموع کل املاح موجود در آب است که در آب مقطر برابر با صفر است و هرچه این عدد بالاتر رود میزان املاح بیشتر می شود و آب سخت تر می شود. این فاکتور با هدایت الکتریکی آب رابطه مستقیم دارد. بین کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی نیز رابطه زیر برقرار است (لیولد و هیتکوته ۱۹۸۵).

- رابطه (۲)  $\text{TDS (ppm)} = \text{EC } (\mu\text{s/cm}) \times K$  ( $K \approx 0.55-0.76$  و  $K_{\text{groundwater}} \approx 0.66$ )
- کل جامدات معلق (TSS)
- جامدات معلق موادی هستند که ماهیت آلی یا بیولوژیکی دارند (حسینی و همکاران ۲۰۱۸). حداکثر کل جامدات معلق معرفی شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۲۵ mg/l است.

- pH
- از بین معیارهای مختلف ارزیابی کیفیت آب شرب، سختی و خوردگی آب اهمیت بیشتری دارند و آب آشامیدنی نباید خورنده باشد و محدوده مناسب  $\text{pH} = 6.5-8.5$  را برای آن در نظر می گیرند که با میانگین درجه حرارت سالیانه تغییر می کند (گرت ۲۰۰۵).

- فسفات ( $\text{PO}_4^{3-}$ )
- فسفر (P) در اکثر آب های طبیعی و حتی پساب ها به صورت فسفات وجود دارد که می تواند به صورت محلول، ذرات ریز و درشت و یا در بدن موجودات آبی یافت شود. با اینکه حد مجاز فسفر برای رشد موجودات زنده ضروری است، ولی فسفات می تواند محدود کننده رشد و تولید مثل آبزیان در یک منبع آبی باشد (حسینی و همکاران ۲۰۱۸) و (ایگبوئری و همکاران ۲۰۱۹).

- نیترات ( $\text{NO}_3^-$ )
- تخلیه حجم انبوهی از فاضلاب ها و زهاب های کشاورزی و شیرابه زباله ها، مهم ترین منبع ورود نیترات به آب های سطحی محسوب می شوند (برزگر و همکاران ۲۰۱۶) و (حسینی و همکاران ۲۰۱۸). طبق توصیه سازمان جهانی بهداشت، میزان غلظت نیترات و نیتريت آب، باید طبق رابطه زیر کمتر از یک باشد (سازمان بهداشت جهانی ۲۰۱۰).

$$\frac{NO_3}{50} + \frac{NO_2}{3} \leq 1$$

رابطه (۳):

- اکسیژن خواهی بیولوژیکی ( $BOD_5$ )

تعیین میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (در دمای  $20^{\circ}C$  و در ۵ روز)، برای تعیین شدت آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که توسط اکسیژن محلول باقیمانده در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش، واکنش‌های اکسیداسیون، نتیجه فعالیت باکتری‌ها است که سرعت واکنش به تعداد باکتری‌ها، درجه حرارت و pH بستگی دارد (حسینی و همکاران ۲۰۱۸). بر طبق استاندارد حفاظت محیط زیست ایران حداکثر این پارامتر در آب‌های رودخانه باید  $5\text{mg/l}$  باشد.

- اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)

تعیین میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (در حدود ۳ ساعت) برای اندازه‌گیری مقدار مواد آلی که دارای ترکیبات سمی برای حیات بیولوژیکی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (حسینی و همکاران ۲۰۱۸) و (آدیمالا و همکاران ۲۰۲۰). حد مجاز COD حداکثر  $10\text{mg/l}$  می‌باشد.

- کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH)

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه حاوی شیل‌های نفتی است، مقدار کل هیدروکربن‌های نفتی نمونه‌های آب شیرین آبراهه‌های گشون و پیربادوش مورد بررسی قرار گرفتند.

### مقایسه کیفی آب شرب با استانداردها

میزان غلظت آنیون‌ها، کاتیون‌ها و سختی کل و مجموع کل املاح موجود در آب از مهم‌ترین معیارهای تعیین کیفیت آب شرب می‌باشند. در این مطالعه به منظور بررسی کیفی پارامترهای مختلف در نمونه‌ها، از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴ و ۲۰۱۱) و استاندارد ملی ایران ۱۵-۱۰۵۳-۱۳۸۸ (۱۳۸۸) استفاده شده است.

جدول ۱: معیارهای کیفیت آب شرب بر مبنای طبقه بندی شولر ۱۹۶۵

(meq/l)

HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	TH	TDS	Na	Mg	Ca	درجه کیفیت آب
<۱/۸	<۳/۳	<۵/۳	< ۱۹۰	< ۲۸۰	<۴/۳	<۵/۸	<۶	خوب
۱/۸-۴/۱	۳/۳-۶/۲	۵/۳-۱۱	۱۹۰-۲۵۰	۲۸۰-۵۰۰	۴/۳-۱۰/۴	۵/۸-۱۱/۶	۶-۱۱/۵	قابل قبول
۴/۱-۷/۳	۶/۲-۱۲/۵	۱۱-۲۲/۲	۲۵۰-۶۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰/۴-۲۱/۳	۱۱/۶-۲۳/۳	۱۱/۵-۲۲/۵	متوسط
۷/۳-۱۴/۸	۱۲/۵-۲۵	۲۲/۲-۵۰/۷	۶۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۱/۳-۴۰/۸	۲۳/۳-۴۳/۳	۲۲/۵-۴۲/۵	نامناسب
۱۴/۸-۲۹/۵	۲۵-۴۸	۵۰/۷-۱۱۲/۶	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰/۸-۸۲/۶	۴۳/۳-۸۳/۳	۴۲/۹۰-۵	کاملاً نامطلوب
>۲۹/۵	>۴۸	>۱۱۲/۶	>۲۰۰۰	>۴۰۰۰	>۸۲/۶	>۸۳/۳	>۹۰	غیر قابل شرب

جدول ۲: طبقه بندی آب بر اساس هدایت الکتریکی، سختی کل و کل مواد جامد محلول در سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۴)

گروه آب	TH (mg/l as caco3)	کیفیت آب	TDS (mg/l)	رده آب	ES (umhos/cm)
سبک	<۵۰۰	عالی	<۳۰۰	عالی	۰-۲۵۰
نسبتاً سبک	۵۰۰-۱۰۰۰	خوب	۳۰۰-۶۰۰	خوب	۲۵۰-۷۵۰
مقداری سخت	۱۰۰-۱۵۰۰	معمولی	۶۰۰-۹۰۰	قابل قبول	۷۵۰-۲۰۰۰
نسبتاً سخت	۱۵۰۰-۲۰۰۰	بد	۹۰۰-۱۲۰۰	مشکوک	۲۰۰۰-۳۰۰۰
سخت	۲۰۰۰-۳۰۰۰	غیرقابل قبول	>۱۲۰۰	نامناسب	۳۰۰۰

### نمودارهای هیدروژئوشیمیایی آب شرب

نمودار پایپر<sup>۱۶</sup> ترکیبات یونی اصلی نمونه‌ها را نشان داده و در واقع یک نمایش گرافیکی از شیمی تعداد زیادی نمونه می‌باشد که از ترکیب سه میدان مجزا درست شده است (تاکی و همکاران ۲۰۱۹). با استفاده از نمودار پایپر نوع و وضعیت شیمیایی آب مشخص می‌شود. در این نمودار درصد آنیون ها و کاتیون ها در میدان مثلثی و موقعیت ترکیبی آن ها در میدان لوزی شکل پیاده می‌شود. در این طبقه بندی، آبها بر اساس کاتیون ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون ها به سه تیپ بی کربناته، سولفاته و کلره تقسیم بندی می‌شوند (سینگ و همکاران ۲۰۱۳) و (واگ و همکاران ۲۰۱۹). نمودار دورو<sup>۱۷</sup> به طور گسترده‌ای برای نشان دادن ترکیبات محلول در آب طبیعی، فرایندهای قابل قبول هیدروشیمیایی در سیستم‌های هیدرولوژیکی و همچنین برای بررسی منشأ ترکیب شیمیایی آب و تعیین غلظت ترکیبات شیمیایی استفاده می‌شود (کومار و همکاران ۲۰۱۵) و (تیواری و همکاران ۲۰۱۶). نمودار شولر<sup>۱۸</sup> یکی از مهمترین معیارها جهت بررسی کیفیت آب از نظر شرب می‌باشد. نمودار نیمه لگاریتمی شولر جهت نمایش یونهای اصلی بر حسب meq/l و همچنین نمایش اختلاف شیمیایی نمونه‌ها در یک نمودار به کار می‌رود (تاکی و همکاران ۲۰۱۹). نمودار تبادل یونی<sup>۱۹</sup> تعادل یا عدم تعادل آنیون‌ها و کاتیون‌های هر نمونه را به صورت جداگانه به صورت ستون‌های مجزا بر حسب meq/l نشان می‌دهد (اصغری مقدم و همکاران ۲۰۲۰). دیاگرام استیف<sup>۲۰</sup>، روش گرافیکی برای شیمی کلی آب زیرزمینی است. مقایسه شباهت‌ها یا تفاوت‌های حاصل از الگوی دیاگرام با تمام نمونه‌ها، راه حلی مفید و سریع برای شناسایی تفاوت در سنگ منشأ احتمالی است (هون اسلو ۲۰۱۸). در این نوع دیاگرام، در سمت راست آنیون‌ها ( $SO_4^{2-} + HCO_3^- + CO_3^{2-}$  و  $Cl^-$ ) و در سمت چپ کاتیون‌ها ( $Mg^{2+}$  و  $Ca^{2+}$  و  $K^+$  و  $Na^+$ ) بر حسب meq/l مشخص شده‌اند. هرچه مقدار یون‌ها بیشتر باشد به ضخامت الگو افزوده می‌شود (اصغری مقدم و همکاران ۲۰۲۰). از این نمودار جهت ارزیابی تغییرات کیفی آب در یک مکان و یک دوره استفاده می‌شود (آرودسون ۲۰۰۷). نمودار گیبس<sup>۲۱</sup> برای تعیین منشأ یون‌های محلول در آب و ساخت فرایندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر ترکیب آب شیمیایی استفاده می‌شود (گیبس ۱۹۷۰). طبق نظر گیبس، مواد محلول در آب‌های طبیعی یا حاصل اثر واکنش سنگ-آب و یا عوامل ورودی از اتمسفر و یا تبخیر آب در مناطق خشک-نیمه خشک می‌باشند (سو و همکاران ۲۰۰۹) و (زینگ و همکاران ۲۰۱۳). تعیین و تأثیر عواملی مانند برهم کنش سنگ-آب، نزولات جوی و تبخیر در محیط هیدروژئوشیمیایی، یکی از روش‌های کاربردی در علوم محیطی و آب است. از این رو از نمودار گیبس برای تعیین فرایندهای ژئوشیمیایی طبیعی مؤثر بر شیمی آب در یک منطقه استفاده می‌شود. در این نمودار، نسبت یون‌های اصلی ( $Mg^{2+}$  و  $Na^+$  و  $Ca^{2+}$ ) و ( $Cl^-$  و  $HCO_3^-$ ) در مقابل میزان کل مواد جامد محلول (TDS) رسم می‌شوند.

## یافته های پژوهش

### میزان آنیون ها، کاتیون ها و پارامترهای شیمیایی

پس از نمونه برداری و انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، داده های اولیه پارامترها اندازه گیری شدند و توسط نرم افزار AqQA نوع آب، چگالی و سختی مشخص شد. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه ها به جزء P3، نوع آب از نوع بیکربنات کلسیم ( $\text{Ca-HCO}_3$ ) بود و تنها در ایستگاه P3 از نوع بیکربنات منیزیم ( $\text{Mg-HCO}_3$ ) بود که علت آن می تواند با سیمان دولومیتی بیشتر سنگ های این ایستگاه مرتبط باشد که در آن کانی دولومیت به صورت فاز فرعی است، به گونه ای که با رخنمون بیشتر سنگ آهک های دولومیتی همراه است که در آن، افزایش غلظت یون منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ ) و نفوذ کمتر یون سدیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) به آب رخ داده است در نتیجه پیامد آن، سختی کمتر آب نسبت به بقیه ایستگاه ها (۱۹۳/۰۶) است که علت آن را می توان تا حدودی با مقایسه سختی کلسیت و دولومیت (سختی کلسیت در مقیاس موس ۲، ۳ است که در دولومیت به ۴-۴/۵ می رسد) و اثرات بیشتر باران های با pH کمتر بر روی کلسیت نسبت به دولومیت (اولایی ۲۰۲۰) و فرسایش بیشتر کلسیت در برابر هوازگی، مرتبط دانست. پس کیفیت آب یک منطقه، جدا از عوامل بشرزاد می تواند متأثر از عوامل زمین زاد طبیعی (سنگ، فعالیت های زمین شناسی و غیره) باشد. میانگین اکثر آنیون ها و کاتیون ها در نمونه های آبراهه گشون بیشتر از پیربادوش است، به استثناء کاتیون کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) و آنیون نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) که در آبراهه پیربادوش بیشتر می باشند. در نمونه ایستگاه G7 نیز میزان همه کاتیون و آنیون به نسبت بالاتر از بقیه ایستگاه ها است و در نمونه های ایستگاه های G1 و G8 به ترتیب آنیون سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) و کلر ( $\text{Cl}^-$ ) بیشترین مقدار را دارند. براساس تجزیه و تحلیل نرم افزار AqQA، میزان تعیین کننده تعادل و یا عدم تعادل بین کاتیون ها و آنیون های مورد مطالعه در آبراهه های پیربادوش و گشون،  $\pm 2\%$  است و نمونه های G3، G5 و P6 در حالت متعادل و بقیه نمونه ها نامتعادل از نظر تعادل یونی (آنیون-کاتیون) هستند. در نمونه های گشون میانگین میزان سختی کل، مجموع کل املاح موجود در آب، هدایت الکتریکی و اکسیژن خواهی شیمیایی بیشتر از نمونه های پیربادوش است. در G7 میزان سختی، هدایت الکتریکی و قلیائیت بیشتر از ایستگاه های دیگر است و در G6 مجموع کل املاح موجود در آب بیشتر از ایستگاه های دیگر است. در کلیه نمونه ها میزان pH در محدوده مناسب و استاندارد می باشد.

در نمونه های مورد مطالعه این تحقیق، میزان سختی آب در حد مجاز و مطلوب می باشد و میانگین سختی در گشون ۲۵۳.۷۱ و در پیربادوش ۲۲۷.۹۲ است که در G7 به بیشترین مقدار (۸۳.۰۵) و در P3 به کمترین مقدار (۱۹۳.۰۶) می رسد. بر مبنای استاندارد ایران و بهداشت جهانی نیز مقدار مجموع کل املاح موجود در آب نمونه های مورد مطالعه در هر دو آبراهه در محدوده مجاز و استاندارد می باشد. میانگین مجموع کل املاح موجود در آب در گشون ۲۵۹ و در پیربادوش ۲۲۹ است که در G6 به بیشترین مقدار (۲۹۰) و در P1 به کمترین مقدار (۱۹۴) می رسد. کل جامدات معلق در نمونه های مورد مطالعه کمتر از  $2 \text{ mg/l}$  و بسیار مطلوب می باشد. در بررسی آلاینده های آب شرب، میزان آنیون های نیترات و فسفات حائز اهمیت است و میزان نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) در G6 و P7 به ترتیب  $11 \text{ mg/l}$  و  $10 \text{ mg/l}$  است و میزان فسفات ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) در نمونه های هر دو آبراهه بسیار اندک است. از این رو، میزان نیترات و فسفات در محدوده مطلوب و نرمال بهداشت جهانی و استاندارد ایران می باشد. با توجه به رابطه بین نیترات و نیتريت که طبق توصیه سازمان بهداشت جهانی باید کمتر یا مساوی یک باشد، این رابطه در آبراهه پیربادوش ۰.۱۱۳ و در آبراهه گشون ۰.۰۷۸ است که در هر دو آبراهه از یک کمتر است.

جدول ۳: میزان پارامترهای شیمیایی حاصل از آزمایش های هیدروشیمیایی آبراهه های پیربادوش (P) و گشون (G)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ca <sup>2+</sup>	۶۲.۲۳	۶۸.۷۹	۶۷.۸۱	۷۶.۳	۸۰.۷۶	۹۶.۸۸	۱۴۰	۸۶.۷۹	۷۲.۰۱	۸۷.۵۷	۸۲.۴۸	۸۵.۷۷	۱۰۷	۸۰.۱۲	۹۳.۱۴
Mg <sup>2+</sup>	۱۱.۴	۹.۹۱	۱۰.۱۷	۹.۴۱	۸.۵۴	۱۱.۱۹	۱۳.۶۶	۶.۵۴	۳.۹۴	۲.۸۸	۲.۲۶	۲.۰۷	۲.۲۵	۲.۵۸	۲.۷۳
Na <sup>+</sup>	۰.۷۶	۰.۸۳	۰.۸۷	۰.۸	۰.۷۵	۴.۸۶	۹.۸۹	۷.۸۳	۰.۶۴	۱.۰۷	۰.۶۷	۰.۷۳	۰.۸۹	۱.۶۳	۱.۴۶
K <sup>+</sup>	۰.۵۴	۰.۴۹	۰.۴۸	۰.۵	۰.۵۱	۱.۵۸	۷.۳۹	۱.۵	۰.۳	۰.۵۵	۰.۲۹	۰.۳۲	۰.۳۵	۰.۶۵	۰.۵۶
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	۲۰۲.۳۳	۲۳۱.۵۸	۲۱۱.۲	۲۲۹.۲۷	۲۳۶.۸۳	۲۸۷.۹۹	۴۰۵.۸۳	۲۴۳.۶۵	۱۹۶.۰۳	۲۳۰.۵۲	۱۹۳.۶	۲۲۲.۶۹	۲۷۶.۴۴	۲۱۰.۶۸	۲۴۳.۸۱
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۹۰	۵۴	۸۰	۸۵	۸۶	۱۸	۳۰	۱۸	۶	۱۰	۶	۶	۱۸	۱۴	۱۸
Cl <sup>-</sup>	۴	۴	۴	۴	۸	۱۲	۱۰	۱۶	۴	۴	۶	۴	۶	۴	۸
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۱.۸	۲.۶	۲.۲	۲.۴	۲.۴	۱۱	۰.۳	۶.۲	۵.۵	۶.۱	۴.۸	۳.۹	۴.۳	۶.۹	۱۰
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۲	۰.۰۱>	۰.۱	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>	۰.۰۱>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>	۰.۶>
TH	۲۰۲.۳۳	۲۳۱.۵۸	۲۱۱.۲	۲۲۹.۲۷	۲۳۶.۸۳	۲۸۷.۹۹	۴۰۵.۸۳	۲۴۳.۶۵	۱۹۶.۰۳	۲۳۰.۵۲	۱۹۳.۶	۲۲۲.۶۹	۲۷۶.۴۴	۲۱۰.۶۸	۲۴۳.۸۱
pH	۷.۹	۷.۸	۷.۸	۷.۹	۷.۹	۷.۷	۷.۶	۷.۷	۷.۸	۷.۸	۷.۹	۷.۹	۷.۹	۷.۹	۷.۸
TDS	۲۴۰	۲۳۵	۲۴۵	۲۶۰	۲۷۵	۲۹۰	۲۶۷	۲۶۵	۱۹۴	۲۲۸	۲۱۸	۲۱۵	۲۵۸	۲۳۶	۲۵۶
TSS	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>
TPH	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>	۰.۲>
BOD <sub>5</sub>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>	۲>
COD	۴	۴	۴	۴	۴	۶	۴	۱۰	۴	۴	۶	۴	۴	۴	۴
Alkalinity	۱۲۹	۱۲۲	۱۲۲	۱۲۲	۱۲۷	۲۲۷	۳۳۲	۱۸۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۸۳	۱۸۱	۱۸۰	۱۹۰	۱۹۰
Ec	۳۵۰	۳۴۰	۳۵۰	۳۷۵	۳۹۲	۴۲۱	۵۳۰	۳۸۶	۲۸۰	۳۲۵	۳۱۰	۳۰۵	۳۶۰	۳۲۸	۳۵۸

### کیفیت آب شرب منطقه در مقایسه با استانداردها

بر مبنای معیاری های کیفی شولر، نمونه های آبراهه گشون غیرقابل شرب و نمونه های آبراهه پیربادوش از حد قابل قبول - نامناسب متغیر می باشند و آبراهه پیربادوش از کیفیت بهتری برخوردار است. بر مبنای این معیار، اکثر نمونه ها به ترتیب به لحاظ TDS در طبقه خوب (به جز نمونه G6)، Ca کاملاً نامطلوب - غیرقابل شرب، Mg، Na و Cl خوب - متوسط، TH عموماً قابل قبول (به جز نمونه G6)، SO<sub>4</sub> در آبراهه گشون از حد نامناسب - غیرقابل شرب و در آبراهه پیربادوش بین حد متوسط - نامناسب متغیر می باشند.

بر اساس طبقه بندی سازمان بهداشت جهانی، آب رودخانه قلیان از نظر سختی (TH) در حد سبک و از نظر کل مواد جامد محلول (TDS)، در حد عالی و از نظر هدایت الکتریکی (Ec) خوب است. بر اساس آزمایش های هیدروشیمیایی و آنالیز داده ها و برآورد سختی و مقایسه آنها با مقادیر مطلوب و مجاز در استاندارد ملی ایران و استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نتایج طبقه بندی آب نمونه ها براساس جدول زیر است، بر اساس میزان یون کلسیم (Ca<sup>2+</sup>) سازمان بهداشت جهانی، نمونه آب ایستگاه های G7 و P5 غیرمجاز می باشند و بر اساس سختی کل (TH) استاندارد ملی ایران، نمونه آب ایستگاه های P1 و P3 در حد مطلوب می باشند.

جدول ۴: میزان میانگین پارامترهای شیمیایی آبراهه های پیربادوش و گشون در مقایسه با استانداردها

Chemical Parameters	WHO,2011	NSI-1053		Average	
	Permissible Limit	Favorable Limit	Allowable Limit		
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	Pirbadush	Gashun
Ca <sup>2+</sup>	۲۰۰	۷۵	۲۵۰	۸۶/۸	۸۴/۹
Mg <sup>2+</sup>	۵۰	۳۰	۱۵۰	۲/۶۷	۱۰/۱
Na <sup>+</sup>	۲۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۱/۰۱	۳/۳
K <sup>+</sup>	۱۲	-	-	۰/۴۳	۱/۶۲
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۵۰۰	-	-	-	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	۲۳۴/۷۴	۲۵۳/۷۱
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۴۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۱۱/۱	۵۷/۶
Cl <sup>-</sup>	۲۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۵/۱۴	۷/۷۵
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	۵۰	۱۰	۵۰	۵/۹۲	۳/۶۱
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	۰.۱	-	۳	<۰.۰۱	۰.۰۲
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	۰/۵	۰/۱	۰/۲	<۰.۶	<۰.۶
TH	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۲۷	۲۵۳
pH @ 25 <sup>o</sup>	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۷/۸	۷/۷
TDS	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۲۲۹	۲۵۹
TSS	-	۲۵	-	<۰.۲	<۰.۲
TPH	۰/۱	-	-	<۰.۲	<۰.۲
BOD <sub>5</sub> (mg/l as O <sub>2</sub> )	۵	<۳	<۷	<۲	<۲
COD (mg/l as O <sub>2</sub> )	۱۰	-	-	۴	۵
Alkalinity(mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	۵۰۰	۲۰۰	۶۰۰	۱۸۰	۱۷۰
Ec(μmhos/cm @ 20 <sup>o</sup> )	-	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۳۳۱	۳۹۳
T <sup>o</sup> c	-	-	-	۱۱.۳	۱۲.۵

در کلیه نمونه های رودخانه قلیان مقدار اکسیژن خواهی بیولوژیکی در حد مجاز و استاندارد ایران و بهداشت جهانی می باشد و اکسیژن خواهی شیمیایی نیز در حد مطلوب و نرمال می باشد. کل هیدروکربن های نفتی نیز در آب های سطحی آبراهه های گشون و پیربادوش کمتر از استانداردهای ملی و جهانی می باشند.

### بررسی کیفی آب شرب منطقه با استفاده از نمودارهای هیدروژنوشیمیایی

طبق نمودار پایپر در آبراهه های پیربادوش و گشون تمامی نمونه ها در منطقه ۱، ۳ و ۵ هستند. بنابراین عناصر قلیایی خاکی بیش از عناصر قلیایی، اسیدهای ضعیف بیش از اسیدهای قوی و سختی کربناتی از ۵۰٪ تجاوز می کند. قابل ذکر است که طبق مثلث کاتیون ها (مثلث سمت چپ) غلظت بالاتر یون منیزیم در ایستگاه P3 مشاهده می گردد. بر مبنای آنیون ها، نوع رخساره ای نمونه های رودخانه قلیان HCO<sub>3</sub> و بر مبنای کاتیون، Ca می باشد. بر اساس نمودار پایپر، در نمونه های گشون تمایل نمونه ها به سمت منیزیک و سولفات شده شدن بیش از نمونه های منطقه پیربادوش می باشد. مطابق نمودار دورو، نوع آب در نمونه های برداشت شده از آبراهه های گشون و پیربادوش از نوع کربنات کلسیم (Ca-CO<sub>3</sub>) و بیکربنات کلسیم (Ca-HCO<sub>3</sub>) است ولی در ایستگاه P3 از نوع کربنات منیزیم (Mg-CO<sub>3</sub>) و بیکربنات منیزیم (Mg-HCO<sub>3</sub>) است.

جدول ۵: آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار AqQA

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
نوع آب	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	۰.۹۹۷۳۱	۰.۹۹۷۳۱	۰.۹۹۷۳۲	۰.۹۹۷۳۳	۰.۹۹۷۳۴	۰.۹۹۷۳۴	۰.۹۹۷۳۳	۰.۹۹۷۳۳
سختی	۲۰۲.۳۳	۲۱۲.۵۸	۲۱۲.۲	۲۲۹.۲۷	۲۳۶.۸۳	۲۸۷.۹۹	۴۰۵.۸۳	۲۴۳.۶۵
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
نوع آب	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	
چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	۰.۹۹۷۱۸	۰.۹۹۷۲	۰.۹۹۷۲	۰.۹۹۷۱۹	۰.۹۹۷۲۳	۰.۹۹۷۲۱	۰.۹۹۷۲۲	
سختی	۱۹۶.۰۳	۲۳۰.۵۲	۱۹۳.۰۶	۲۲۲.۶۹	۲۷۶.۴۴	۲۱۰.۶۸	۲۴۳.۸۱	

جدول ۶: محاسبه تعادل آنیون - کاتیون توسط نرم افزار AqQA

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
درصد تفاوت	۵/۸۰۱	۷/۲۲۹	۰/۲۱۷	۲/۹۹۹	۱/۹۷۵	۵/۰۶۹	۷/۲۷۲	۷/۳۹۳	۵/۷۳۷	۷/۴۹۳	۸۹/۵۳۲	۶/۸۰۴	۱۳/۹۱۵	۰/۱۷۴	۴/۱۱۶
وضعیت تعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	نامتعادل	متعادل	نامتعادل

جدول ۷: طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس استاندارد شولر

Schoeller Standard-1965								
TH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	TDS	
قابل قبول	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G1
قابل قبول	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G2
قابل قبول	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G3
قابل قبول	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G4
قابل قبول	خوب	غیر قابل شرب	قابل قبول	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G5
متوسط	خوب	نامناسب	متوسط	قابل قبول	غیر قابل شرب	قابل قبول	قابل قبول	G6
قابل قبول	خوب	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	قابل قبول	غیر قابل شرب	متوسط	خوب	G7
قابل قبول	خوب	نامناسب	متوسط	قابل قبول	کاملاً نامطلوب	قابل قبول	خوب	G8
قابل قبول	خوب	متوسط	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	خوب	خوب	P1
قابل قبول	خوب	متوسط	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	خوب	خوب	P2
قابل قبول	خوب	متوسط	متوسط	خوب	کاملاً نامطلوب	خوب	خوب	P3
قابل قبول	خوب	متوسط	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	خوب	خوب	P4
قابل قبول	خوب	نامناسب	متوسط	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	P5
قابل قبول	خوب	نامناسب	خوب	خوب	کاملاً نامطلوب	خوب	خوب	P6
قابل قبول	خوب	نامناسب	متوسط	خوب	غیر قابل شرب	خوب	خوب	P7

## جدول ۸: کیفیت آب آبراهه های پیربادوش و گشون بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی

WHO-2004

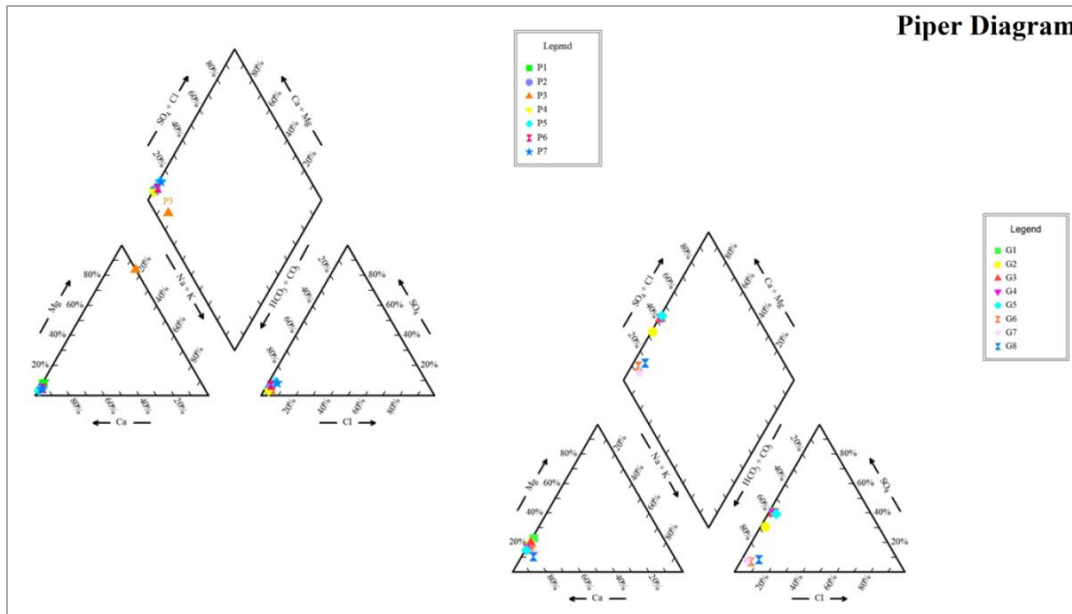
TH	TDS	Ec	
سبک	عالی	خوب	Gashun
سبک	عالی	خوب	Pirbadush

## جدول ۹: طبقه بندی نمونه ها بر اساس استانداردها

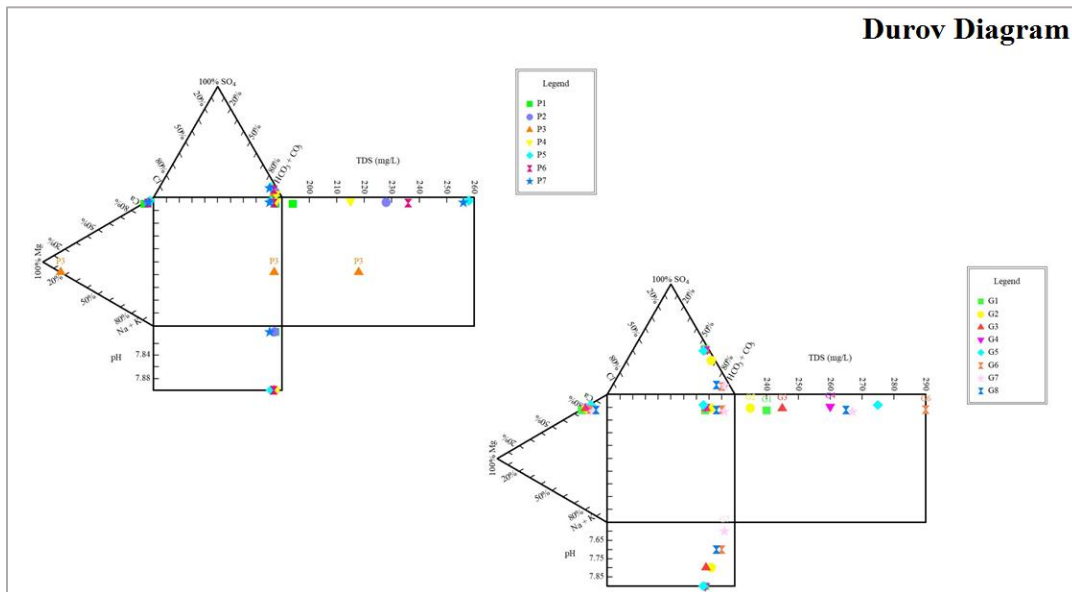
TH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	TDS	Standard	
مجاز	مطلوب	مطلوب	مطلوب	-	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	NSI	G1
مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	WHO-2011	G2
مجاز	مطلوب	مطلوب	مطلوب	-	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	NSI	G3
مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	غیرمجاز	مجاز	مجاز	WHO-2011	G4
مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	-	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	NSI	G5
مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	مجاز	WHO-2011	G6
										G7
										G8
										P2
										P4
										P6
										P7
										G7P
										5
										P1
										P3

بر اساس نمودار دورو، تفاوت در نوع آب ایستگاه P3 و سختی کمتر ایستگاه های P1 و P3 می تواند ناشی از سیمان دولومیتی بیشتر سنگ های بستر این ایستگاه ها باشد که با افزایش بیشتر دولومیت به صورت فاز فرعی و تأثیرات ناشی از آن بر آب سطحی همراه است. در نمودار شولر آبراهه پیربادوش، به هم ریختگی خطوط نشان می دهد که در مقدار سولفات (در نمونه های P1، P3 و P4)، کلرید (در نمونه های P3، P5 و P7) نسبت به سایرین اختلاف وجود دارد. در نمودار شولر آبراهه گشون، به هم ریختگی خطوط نشان می دهد که در مقدار سولفات (در نمونه های G2، G7 و G8)، کلرید (در نمونه های G6، G7 و G8)، مجموع کربنات و بی کربنات (در نمونه های G6، G7 و G8) و مجموع پتاسیم و سدیم (در نمونه های G6، G7 و G8) نسبت به سایرین اختلاف وجود دارد. بر اساس این نمودار، میزان به هم ریختگی در نمونه های آبراهه گشون بیشتر از آبراهه پیربادوش است. طبق نمودار تعادل یونی، میزان دامنه تغییرات آنیون ها و کاتیون ها در آبراهه گشون بیشتر از پیربادوش است و کمترین میزان یون کلسیم (Ca<sup>2+</sup>) مربوط به ایستگاه P3 است. در مجموعه نمودارهای استیف آبراهه پیربادوش، در تمامی نمونه ها به استثنا P3، سنگ بستر از نوع سنگ آهک است ولی P3 دارای سنگ بستر متفاوت دولومیت است. در مجموعه نمودارهای استیف آبراهه گشون، الگوی نمونه های G1 تا G5 مشابه هم و سنگ بستر دولومیت آهکی (calcic Dolomite) و نمونه های G6 تا G8 هم مشابه هم و سنگ بستر سنگ آهک دولومیتی (dolomitic Limestone) است. طبق نمودار استیف، منشأهای مختلف نمونه ها نشان از وجود چند منشأ سنگ بستر برای نمونه ها می باشد. در این مطالعه از بررسی آنیون های اصلی به دلیل مقادیر ناچیز بیکربنات نمونه ها صرف نظر شده و فقط به بررسی کاتیون های اصلی پرداخته شده است. با توجه به تجمع نمونه ها در نمودار گیبس می توان نتیجه گرفت کیفیت شیمیایی آب رودخانه قلیان تحت تأثیر واکنش های سنگ و آب (هوازدگی سنگ ها) قرار

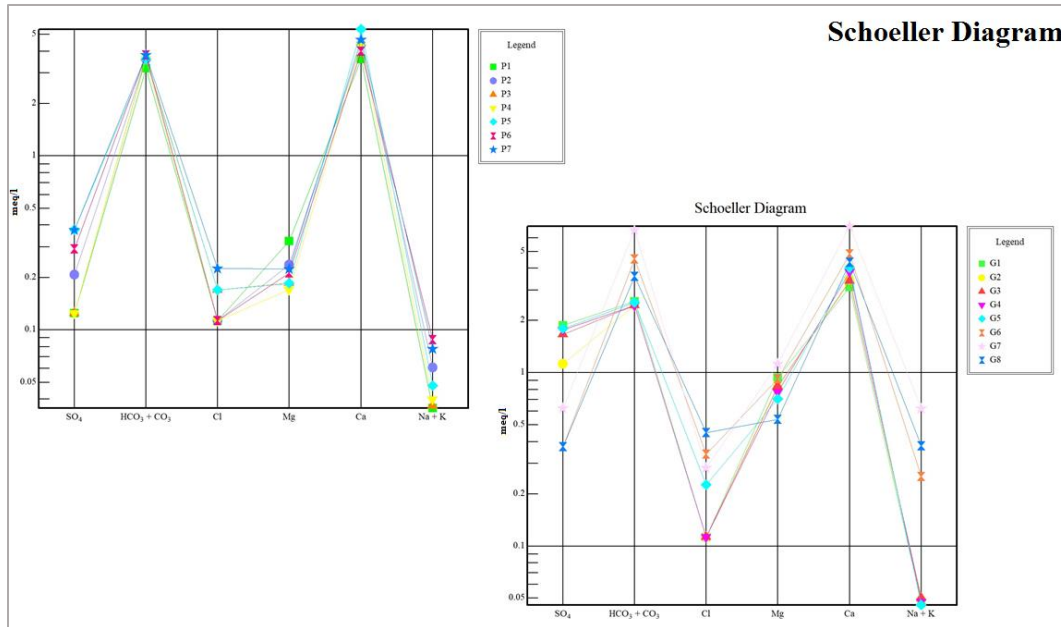
دارد که این امر مؤید نقش هوازدگی و انحلال کانی های کربناته بر کیفیت آب منطقه است که حاکی از آن است که سنگ های منطقه، هوازدگی و انحلال، از عوامل اصلی کنترل کننده شیمی آب منطقه می باشند.



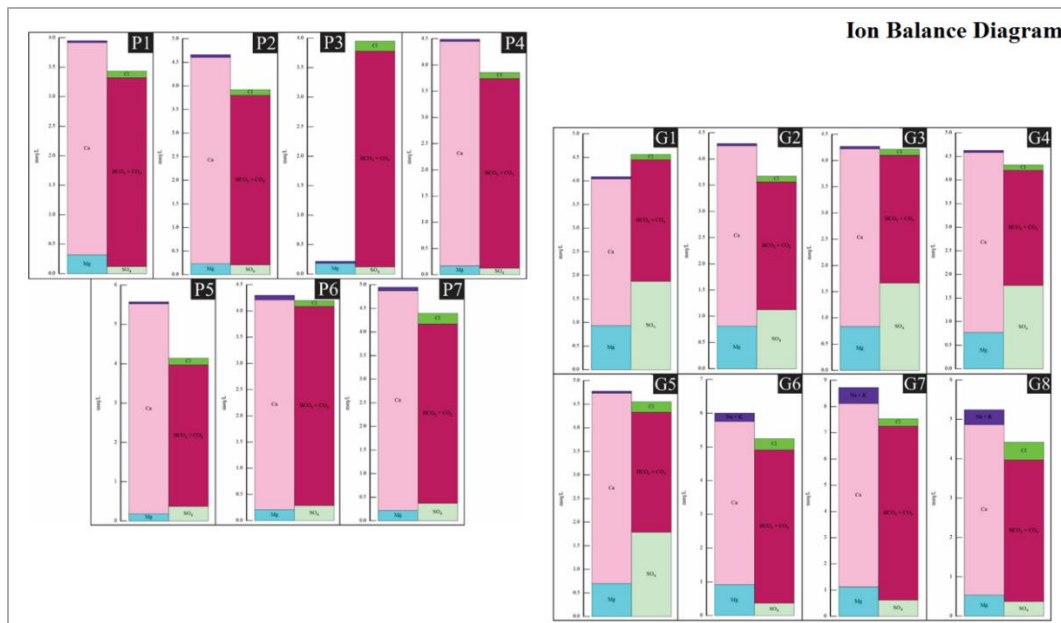
شکل ۴: نمودار پایپر آبراهه های بیربادوش و گشون



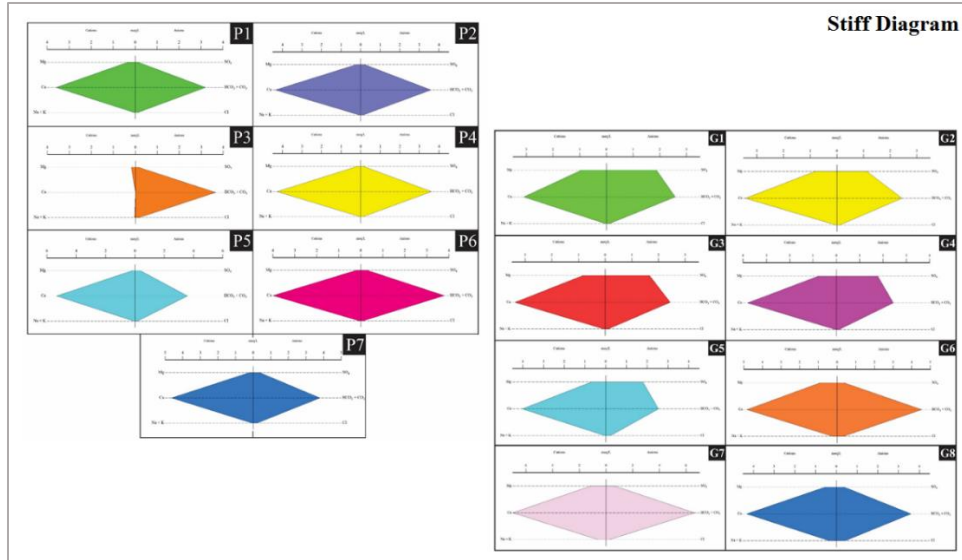
شکل ۵: نمودار دورو آبراهه های بیربادوش و گشون



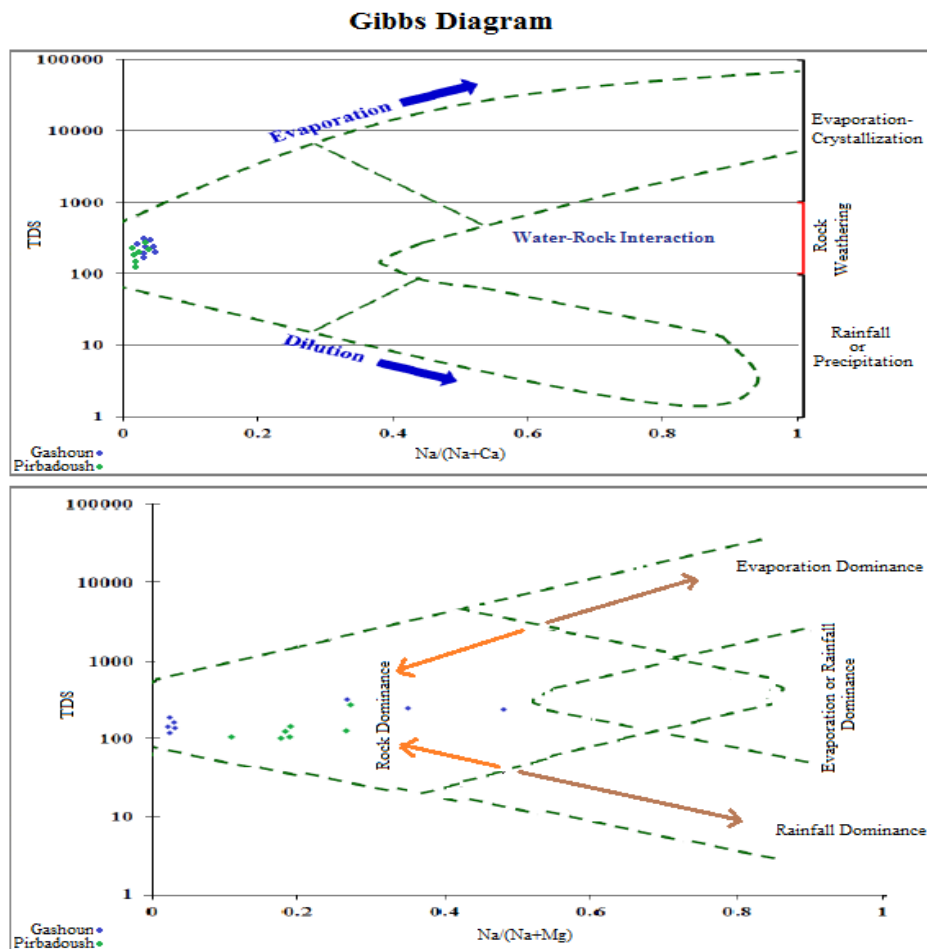
شکل ۶: نمودار شولر آبراهه های پیربادوش و گشون



شکل ۷: نمودارهای تعادل یونی آبراهه های پیربادوش و گشون



شکل ۸: مجموعه نمودارهای استیف ابراهه های پیربادوش و گشون



شکل ۹: منشأ آب منطقه بر اساس نمودارهای گیبس

## بحث و نتیجه گیری

با بررسی کیفیت آب رودخانه قلیان در دو آبراهه پیربادوش و گشون با هیچ گونه فعالیت انسانی که در مسیر شیل های نفتی قرار دارند، نتایجی به دست آمد که عبارتند از:

- بیشترین میزان کاتیون ها و آنیون کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) در ایستگاه G7 و بیشترین میزان آنیون نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) در ایستگاه های G6 و P7 وجود دارد.

- بیشترین میزان سختی (TH) آب مربوط به ایستگاه های G7، G6 و P5 است و کمترین مربوط به ایستگاه های P3، P1 و G1 است.

- بیشترین مجموعه کل املاح (TDS) موجود در آب مربوط به ایستگاه های G6، G5 و G7 و کمترین مقدار آن مربوط به P1، P4 و P3 است.

- میزان بالای سولفات در آبراهه گشون (به خصوص ایستگاه G1) می تواند با انحلال بیشتر انیدریت های سازند گوتیا مرتبط باشد.

- تعادل آنیون و کاتیون نیز نشان می دهد که فقط در ایستگاه های G3، G5 و P6 تعادل یونی برقرار است. با اینحال، در ایستگاه های P1 و P3 میزان بالایی از عدم تعادل یونی بین آنیون ها و کاتیون ها دیده می شود.

- وجود مقدار کربنات کلسیم ( $\text{Ca-HCO}_3$ ) بالاتر در آبراهه گشون نسبت به پیربادوش نشان دهنده میزان بالاتری از انحلال پذیری آهک نسبت به دولومیت در این آبراهه است.

- در ارزیابی نمونه ها توسط استانداردهای آب شرب، میزان یون کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) در ایستگاه های G7 و P5 از لحاظ استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۲۰۱۱ غیرمجاز است. همچنین میزان سختی کل (TH) نیز در ایستگاه های منطقه گشون و ایستگاه های منطقه پیربادوش (به استثناء ایستگاه های P3 و P1 که طبق استاندارد ملی ایران در حد مطلوب قرار دارند)، در حد مجاز هستند. از نظر سایر پارامترها و در مقایسه با استاندارد بهداشت جهانی و استاندارد ایران، کیفیت آب، مناسب برای شرب می باشد.

- بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۲۰۰۴، آب نمونه های رودخانه قلیان در هر دو آبراهه پیربادوش و گشون از نظر TDS، عالی و از نظر EC، خوب و از نظر TH، سبک است.

- بر مبنای طبقه بندی کیفی شولر، آب آبراهه گشون کیفیت پایین تری نسبت به آبراهه پیربادوش دارد.

در بررسی کیفیت آب رودخانه قلیان منطقه قالیکوه، در کنار عدم وجود هر گونه فعالیت انسانی در منطقه و نبود مراکز صنعتی، بحث آلاینده های انسانی مطرح و قابل توجه نیست. در مقابل، وجود کاتیون ها و آنیون های موجود در آب هر دو آبراهه مورد مطالعه این رودخانه، ارتباط مستقیم با ماهیت آب و سازندهای این منطقه دارد و سازندهای زمین شناسی، درجه هوازدگی، کیفیت آب تغذیه کننده رودخانه در کنار شرایط و تبادلات شیمیایی حاکم بر محیط رودخانه، کیفیت آب رودخانه را کنترل می نمایند (ایگبوئری و همکاران ۲۰۱۹) و (پناگوئرو و همکاران ۲۰۲۰). از آنجایی که کیفیت آب یک منطقه، جدا از فعالیت های انسانی می تواند متأثر از عوامل زمین زاد طبیعی (سنگ، فعالیت های زمین شناسی و غیره) باشد (اولابی و همکاران ۲۰۲۰) و (کامبوج ۲۰۱۹) و منطقه قالیکوه عاری از هر گونه فعالیت انسانی است، تغییرات کیفی آب منطقه به زمین شناسی منطقه مرتبط است و طبیعت به خوبی توانایی برقراری تعادل، بین فرایندهای فیزیکوشیمیایی سیستم آب و رسوب را داشته است. در مجموع، مقدار کاتیون ها و آنیون ها، هدایت الکتریکی، سختی کل، کل مواد جامد محلول در آب آبراهه گشون بالاتر است.

به طور کلی، تغییرات کیفی آب آبراهه های پیربادوش و گشون را از سه جنبه می توان بررسی کرد:

۱) در آبراهه پیربادوش بیشترین رخنمون سازندها به ترتیب مربوط به سازندهای گرو، میان لایه های سازندی گوتنیا-نجمه، سرگلو، سورمه و آبرفت های عهد حاضر است. از این رو با گسترش سنگ شناسی، شیل، سنگ آهک دانه ریز رسی، انیدریت، دولومیت، مارن سیلتی و سنگ آهک دولومیتی و مقادیر ناچیزی آبرفت همراه است و بیشتر شامل کانی های کلسیت و کوارتز است. ولی در آبراهه گشون بیشترین رخنمون سازندها به ترتیب مربوط به سازندهای گرو، سورمه، سرگلو، میان لایه های سازندی گوتنیا-نجمه، میان لایه های سازندی خانه کت-نیریز و آبرفت های عهد حاضر همراه است، که با توجه به تنوع بیشتر سازندی، با گسترش و تنوع بیشتر سنگ شناسی شیل، سنگ آهک دانه ریز رسی، سنگ آهک دولومیتی، دولومیت، دولومیت آهکی، انیدریت، مارن سیلتی و مقادیر بیشتری آبرفت (نسبت به آبراهه پیربادوش) همراه بوده و بیشتر شامل کانی های دولومیت، کلسیت و کوارتز است. در نتیجه در آبراهه گشون، قابلیت انتقال بیشتری از آنیون ها و کاتیون ها در آب وجود دارد.

۲) با توجه به این که از سمت بالادست هر دو آبراهه که با گسترش شیل های نفتی و تراکم بالای پوشش گیاهی همراه است، به سمت پائین دست که با تراکم کمتر پوشش گیاهی همراه است و قرابت بیشتری به سازندهای آبرفتی پلیوکواترنری-کواترنری وجود دارد، در ایستگاه های پائین دست (G6، G7، G8، P5، P7) به خصوص G7 و P5، امکان تبادل یونی بیشتر از ایستگاه های بالادست است و میزان آنیون ها و کاتیون ها و سختی و قلیائیت آب بالاتر است، زیرا در رسوبات آبرفتی کواترنری هوازدگی، حمل و نقل و چرخه مجدد رسوبی، به دلیل تغییرات آب و هوایی مکرر و تراکم کم پوشش گیاهی، بیشتر است. از این رو انتقال آنیون ها و کاتیون ها به آب بیشتر صورت گرفته است و از کیفیت آب در مناطق پائین دست کاسته شده است.

۳) میزان محلول های آب در محدوده بالادست منطقه علی رغم رخنمون شیل های نفتی، کمتر است و تبادلات یونی و سختی، اثرات نامطلوبی بر آب نگذاشته اند، به گونه ای که در ایستگاه های P3، P1 با وجود رخنمون شیل های نفتی، شرایط کیفی آب شرب به نسبت خوب است.

به هرصورت در این منطقه با وجود گسترش شیل های نفتی، تأثیر منفی بر روی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و کیفیت آن از جهت شرب ایجاد نشده است و بیشترین تغییرات کیفی آب این آبراهه ها را می توان بر تأثیرات میزان پوشش گیاهی، هوازدگی و حمل و نقل رسوبات و تا حدود اندکی به فرسایش سنگهای آهکی و گسترش آبرفت ها ارتباط داد. از آنجایی که این منطقه در بالادست حوضه مهم آبخیز دز می باشد، بررسی های تکمیلی در طول این رودخانه می تواند کمک های شایانی به شناسایی تأثیر مستقیم عوامل مختلف بر روی کیفیت آب این رودخانه نماید که با مدیریت کارآمد می توان بستری مناسب برای استفاده بهینه از آب منطقه در راستای مصارف شرب ایجاد کرد.

### قدردانی و تشکر:

از ریاست محترم (دکتر رشیدی) و همکاران محترم (مهندس دریابنده) اداره ژئوشیمی و ریاست محترم اداره کل زمین شناسی (دکتر عبدالهی فرد)، معاونت محترم مدیر در امور اکتشاف (دکتر معلمی)، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران و پژوهشکده محیط زیست و بیوتکنولوژی پژوهشگاه صنعت نفت و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان که در انجام این پژوهش ما را یاری رساندند، تشکر و قدردانی می شود. لازم به ذکر است مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری امیرسعید حسینی با عنوان مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی و بررسی آلودگی های زیست محیطی شیل های نفتی منطقه قالیکوه لرستان می باشد.

## منابع:

- تاکی سعید، شبرودعیسی نیکو. (۲۰۱۹). ویژگیهای آب زمین شیمی چشمه‌های حوالی رامسر با نگرش ویژه بر کیفیت آنها از لحاظ شرب. زمین شناسی کاربردی پیشرفت. ۸(۴)، ۳۷-۴۷.
- حسینی، سید شهاب، بهاروند سیامک. (۲۰۱۸). بررسی اثرات زیست محیطی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه روی رودخانه دائمی قره‌سو. فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، ۱۱(۴۱)، ۶۳-۷۶.
- غلام دخت بندری، رضائی، پیمان، غلام دخت بندری. (۲۰۱۸). ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس. فصلنامه سلامت و محیط زیست، ۱۱(۱)، ۹۷-۱۱۰.
- کیانپور برجویی راک، مسلم، دریکوند. (۲۰۲۰). ارزیابی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون جهت مصرف شرب. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۱۸(۱)، ۱۲-۲۲.
- لطفی نسب اصل، درگاهیان، خسروشاهی. (۲۰۲۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه گوپال و روند تغییرات آن واقع در حوضه آبخیز مارون-جراحی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۳)، ۸۳۵-۸۵۲.
- Adimalla, N., & Taloor, A. K. (2020). Hydrogeochemical investigation of groundwater quality in the hard rock terrain of South India using Geographic Information System (GIS) and groundwater quality index (GWQI) techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100288.
- Asgharai Moghaddam, A., Nadiri, A. A., & Sadeghi Aghdam, F. (2020). Investigation of hydrogeochemical characteristics of groundwater of Naqadeh plain aquifer and heavy metal pollution index (HPI). *Journal of Geoscience*, 29(115), 97-110.
- Arvidson, J. D. (2007). Relationship of forest thinning and selected water quality parameters in the Santa Fe Municipal Watershed, New Mexico.
- Atabey, E. (2005). *Tibbi Jeoloji*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Barzegar, R., Moghaddam, A. A., & Tziritis, E. (2016). Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. *Environmental earth sciences*, 75(23), 1-15.
- Binh HV, Lap NB, Thang, TT. (1992). Iodine Geochemistry and Goiter-Cretinism in Southeast Asia, Proc. Regional Seminar on Environ Geol. Hanoi .
- Dede, O. T., Telci, I. T., & Aral, M. M. (2013). The use of water quality index models for the evaluation of surface water quality: a case study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Water Quality, Exposure and Health*, 5(1), 41-56.
- Dissanayake, C. (2005). Of stones and health: medical geology in Sri Lanka. *Science*, 309(5736), 883-885.
- Durov, S. A. (1948). Natural waters and graphic representation of their composition. In *Dokl Akad Nauk SSSR* (Vol. 59, No. 3, pp. 87-90).
- Egbueri, J. C., Mgbenu, C. N., & Chukwu, C. N. (2019). Investigating the hydrogeochemical processes and quality of water resources in Ojoto and environs using integrated classical methods. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1443-1461.
- Fuge, R., & Johnson, C. C. (1986). The geochemistry of iodine—a review. *Environmental geochemistry and health*, 8(2), 31-54.
- Garrett RG (2005). *Natural Distribution and Abundance of Elements, Essential of Medical Geology*. Elsevier Academic Press. chap 2. 17-41.
- Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088-1090.
- Hosseini, S. S., & Baharvand, S. (2018). Investigating the Invironmental Effects of Kermanshah Wastewater Treatment Plant sewage on the Permanent River Gharasoo.
- Hounslow, A. W. (2018). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran 1053, Revision 5(2009). *Physical and Chemical Properties of Drinking Water*. (In Persian).
- Ishaku, J. M. (2011). Assessment of groundwater quality index for Jimeta-Yola area, Northeastern Nigeria. *Journal of geology and mining research*, 3(9), 219-231.
- Kamboj, N., & Kamboj, V. (2019). Water quality assessment using overall index of pollution in riverbed-mining area of Ganga-River Haridwar, India. *Water Science*, 33(1), 65-74
- Kumar, M. S., & Khan, F. L. A. (2015). Analysis of groundwater quality of some selected stations of Palar Riverbed in Vellore district, Tamilnadu, India. *Int J Adv Sci Tech Res*, 2(5).

- Lundin R. Hiscock E, Kevin M.(2005). Water Hardness and health problems, Essential of Medical Geology, Elsevier Academic Press, Chap p. 13, p331-346.
- Lloyd, J. W., & Heathcote, J. A. A. (1985). Natural inorganic hydrochemistry in relation to ground water. National Iranian Oil Company-Exploration Management (2013). Geological report of Qalikh oil shales.
- Owolabi, S. T., Madi, K., Kalumba, A. M., & Alemaw, B. F. (2020). Assessment of recession flow variability and the surficial lithology impact: a case study of Buffalo River catchment, Eastern Cape, South Africa. *Environmental earth sciences*, 79(8), 1-19.
- Peña-Guerrero, M. D., Nauditt, A., Muñoz-Robles, C., Ribbe, L., & Meza, F. (2020). Drought impacts on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 65(6), 1005-1021.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources. *Methods and techniques of groundwater investigations and development*. UNESCO, 5483.
- Singh, A. K., Raj, B., Tiwari, A. K., & Mahato, M. K. (2013). Evaluation of hydrogeochemical processes and groundwater quality in the Jhansi district of Bundelkhand region, India. *Environmental Earth Sciences*, 70(3), 1225-1247.
- Stiff, H. A. (1951). The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of petroleum technology*, 3(10), 15-3.
- Su, Y. H., Zhu, G. F., Feng, Q., Li, Z. Z., & Zhang, F. P. (2009). Environmental isotopic and hydrochemical study of groundwater in the Ejina Basin, northwest China. *Environmental geology*, 58(3), 601-614.
- Taki, S. (2019). Hydrogeochemical characteristics of springs around Ramsar with special attitude on their drinking quality.
- Tiwari, A. K., Singh, P. K., & Mahato, M. K. (2016). Hydrogeochemical investigation and qualitative assessment of surface water resources in West Bokaro coalfield, India. *Journal of the Geological Society of India*, 87(1), 85-96.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons.
- Wagh, V. M., Panaskar, D. B., Jacobs, J. A., Mukate, S. V., Muley, A. A., & Kadam, A. K. (2019). Influence of hydro-geochemical processes on groundwater quality through geostatistical techniques in Kadava River basin, Western India. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(1), 1-25.
- WHO., World Health Organization, & World Health Organisation Staff. (2004). *Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1)*. World health organization.
- WHO, G. (2010). *Guidelines for drinking water quality*. *J Hydrol*; 45:936-47.
- WHO, G. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization, 216, 303-304.
- Wong, M. H. (2010). Dissanayake CB, Chandrajith R. *Introduction to medical geology: focus on tropical environments*.
- Xing, L., Guo, H., & Zhan, Y. (2013). Groundwater hydrochemical characteristics and processes along flow paths in the North China Plain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 70, 250-264.
- Yaryan, K. M. (2000). The effect of treated wastewater and irrigation systems on yield of some field crops (Doctoral dissertation, MS Thesis).