

ارزیابی کیفیت آب، آلودگی رسوبات رودخانه قره آغاج به فلزات سنگین در حوزه آبریز

دشت خفر، استان فارس

رضا میرزایی محمودآبادی^{۱*}

*- نویسنده مسئول، گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: rmirzaeem1@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۸

چکیده

به منظور بررسی کیفیت آب و آلودگی رسوبات رودخانه قره آغاج تعداد ۱۰ نمونه رسوب و ۱۰ نمونه آب در دو نوبت برداشت و پارامترهای فیزیکوشیمیایی و همچنین غلظت فلزات سنگین انتخابی در نمونه های رسوب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نمودارهای فیزیکوشیمیایی نشان می دهد که تیپ آب رودخانه از نوع سولفات - کلسیک بوده و آب رودخانه در رده ی C3S1 قرار می گیرد. با توجه به نقشه های هم غلظت رسم شده توسط نرم افزار ARC GIS غلظت اکثر عناصر مورد مطالعه به طور می انگین از بالادست رودخانه به سمت پایین دست رودخانه افزایش پیدا می کند اما این افزایش در حد آلودگی نیست. مطالعات آماری بر روی پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه های آب نشان می دهد که مقدار EC با TDS، HCO₃، کلر و منیزیم همبستگی مستقیم معنی دار دارد که نشان دهنده شرایط مشابه تعادل این یون ها در نمونه های مورد مطالعه است. مقادیر فلزات سنگین در نمونه های رسوب رودخانه مورد مطالعه نشان می دهد که بیشترین همبستگی مستقیم معنی دار بین عناصر نیکل، آهن، روی، مس، آهن و کبالت مشاهده می شود که نشان دهنده شرایط یکسان پایداری این فلزات در نمونه های رسوب مورد مطالعه دارد.

کلمات کلیدی

"آلودگی آب"، "آلودگی رسوب"، "فلزات سنگین"، "رودخانه قره آغاج"

Evaluation of water quality and bed load sediment contamination of Qareaghaj River to heavy metals, Kahfr Watershed, Fars province

Reza Mirzaee Mahmoodabadi^{1*}

¹ Department of Geology, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

*Email Address: rmirzaeem1@hotmail.com

Abstract

In order to determine the water quality and sediments contamination of Ghare-Aghaj River 10 sediment samples and 10 water samples (in 2 periods) were taken and analyzed. The analysis of physico-chemical diagrams shows that the water type of river is sulfate-calcific and river water settle in the C3S1 category. According to the concentration maps drawn by the GIS software, the mean concentration of most of elements increases from the upstream to the downstream, but this increase does not reach the level of pollution and is not alarming. Statistical studies on the physicochemical parameters of water samples and heavy metals show that EC values are strongly correlated with TDS, Hco₃, chlorine and magnesium. Statistical studies showed that there is a high correlation between nickel, iron, zinc, copper, iron and cobalt elements, which shows the same stability of these metals in sediment samples studied.

Keywords

"Water Pollution", "Sediment Pollution", "Heavy Metals", "Ghare Aghaj River"

۱- مقدمه

شاخص های کیفی رسوب مورد ارزیابی قرار داده اند (Muller, 1979). بالا بودن غلظت فلزات سنگین در یک منطقه لزوماً به معنی آلودگی غیر طبیعی و انسان زاد در آن منطقه نیست چرا که این آلودگی می تواند منشأ طبیعی و زمین شناسی نیز داشته باشد. از جمله مطالعات روی آلودگی رسوبات بستر رودخانه ها می توان به رودخانه کوشک در استان فارس اشاره کرد که بر اساس شاخص های فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت سه عنصر کرم، روی، نیکل و سرب و در ادامه مس و کادمیوم بیشترین مقادیر را دارا هستند. بالا بودن مقادیر نیکل زمینزاد و به گسترش سازند های منطقه و غلظت فلزات سنگینی مانند کرم، روی، سرب، کادمیوم و مس آنتروپوژنیک معرفی شده است (Salati and Moore, 2009). همچنین مطالعه و تحلیل شاخص های ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه خرم آباد نشان داد که منشأ اصلی غلظت فلزات مس، روی و سرب انسانزاد و ناشی از ورود فاضلاب به رودخانه و غلظت عناصری مانند نیکل، کرم و آرسنیک هم انسانزاد و هم زمینزاد تعیین شده است (Rastmanesh et al., 2018). از مطالعات دیگر انجام شده در منطقه می توان به بررسی کیفیت رودخانه کر اشاره کرد که مطالعات نشان میدهد این رودخانه شدیداً در معرض آلودگی قرار داشته و ژئوشیمی رودخانه تحت تاثیر شدید فاضلاب شهری قرار دارد. بر اساس نمودار پایپر کاتیون های غالب سدیم و چتاسیم و آنیون غالب کلر می باشد. کیفیت آب رودخانه کر در رده C2S1، C3S1 و C3S2 قرار دارد (Sheykhi and Moore, 2012). با توجه به این که رودخانه قره آغاج یکی از منابع تامین آب و افزایش سطح آب زیرزمینی در منطقه خفر می باشد آلودگی رسوبات یا کیفیت پایین آب این رودخانه می تواند بر روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه و سلامت افراد تاثیر گذار باشد واز آنجایی که بیشتر باغات و زمینهای کشاورزی اطراف رودخانه با آب این رودخانه در فصول پر باران آبیاری می شود آلودگی آب آن می تواند بر روی گیاهان و محصولات این زمین ها و باغات تاثیر گذار باشد. این رودخانه در طول مسیر خود تحت تاثیر رواناب زمینهای کشاورزی و باغهای مجاور خود قرار دارد. استفاده از کودهای شیمیایی در زمین های کشاورزی و باغات اطراف رودخانه احتمال آلوده شدن این رو خانه را بالا می برد. رودخانه در این مطالعه کیفیت آب رودخانه قره آغاج در دو دوره به فاصله زمانی ۶ ماه مورد ارزیابی قرار می گیرد. همچنین غلظت فلزات سنگین از جمله آرسنیک، سرب، کبالت، آهن، مولیبدن و نیکل مورد ارزیابی قرار گرفته است

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

رودخانه قره آغاج از ارتفاعات خانزنیان و بن رود زنگنه سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت های سیاخ دارنگون و بخش جنوب شرقی دشت کوار، وارد دره خفر می شود. بخش خفر یکی از ۴ بخش شهرستان چهرم در دشت دره ای شکل بین کوههای گر در شمال و سفیدار در جنوب محصور است و رودخانه قره آغاج در خط القعر این دره جریان داشته و آنرا به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم می کند ی قره آغاج، پس از خروج از دشت خفر وارد مسیل بزرگ خانکهدان

رودخانهها منابع حیاتی آب شیرین جهت استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به شمار می روند. قرارگیری مناطق شهری و روستایی و همچنین مراکز صنعتی در اطراف رودخانه ها باعث ورود انواع آلایندهها به آنها می شود و چنانچه ورود این آلودگیها از ظرفیت خودپالایی رودخانه بیشتر باشد، در این صورت مشکلات زیست محیطی در آنها بروز خواهد کرد. آلودگی آب رودخانه هاتوسط آلاینده های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی یکی از مشکلات مهم زیست محیطی در تمامی نقاط دنیا است. رشد روزافزون جمعیت و افزایش مصرف آب شرب، کشاورزی و صنعتی مهمترین چالش روبروی مدیریت منابع آب می باشد. از آنجایی که کشور ایران و محدوده مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک و خشک قرار دارد توجه به کیفیت منابع آب از جمله اکوسیستم رودخانه ها امری مهم و حیاتی به شمار می رود. بررسی کیفی آب رودخانه ها و مطالعه توامان آلودگی رسوبات بستر رودخانه ها می تواند نقش مهمی در مدیریت و مهندسی رودخانه ها داشته و زمینه را در رسیدن به ارمان های توسعه پایدار در مقیاس محلی، ملی و فرا ملی را فراهم کند. امروزه آب یکی از عوامل بهبود در رشد اقتصادی جوامع بشری به شمار می آید، لذا مدیریت بهینه منابع آب به ویژه آب شیرین، به عنوان یکی از مهم ترین برنامه های کشورها محسوب می شود. کیفیت آب های سطحی در مناطق مختلف به دلیل تنوع سازند ها و ساختار های زمین شناسی و عوامل هیدروژئولوژیکی تغییرات متفاوتی را در بر دارد. شناخت و بررسی کیفیت منابع آب در مدیریت و استفاده بهینه از آن اهمیت بالایی برخوردار است. بررسی تغییرات فصلی کیفیت آبهای سطحی، جنبه مهمی در ارزیابی تغییرات موقتی آلودگی رودخانه ها بر اثر منابع نقطه ای و غیر نقطه ای طبیعی و انسانی می باشد (Oyang, 2005). روشهای گرافیکی با هدف آسانتر کردن تفسیر و نمایش نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب از جمله نمودار پایپر و استیف ارائه شده اند. به طور کلی کیفیت آب رودخانه ها ارتباط مستقیم با توزیع سازند ها و سنگ های منطقه، آب و هوا و فعالیت های انسانزاد در منطقه دارد. رسوبات رودخانه ها حمل کننده های بسیار مهم فلزات سنگین در چرخه آبی محیط زیست هستند. زیرا فلزات پیوند یافته با رسوبات می تواند نقش مهمی در کیفیت آب داشته باشد. بنابراین خصوصیات ژئوشیمیایی رسوبات می تواند در شناسایی و تفسیر منبع آلودگی کمک شایان توجهی نماید (Fedo et. Al., 1996, Forstner and Salomons, 1980). فلزات از دو طریق وارد چرخه محیط زیست می شوند روند طبیعی شامل هوازگی سازندها و انتقال به درون رودخانه توسط فرایندهای فرسایشی و رسوبگذاری که مهمترین آن آب می باشد. از سایر موارد آلاینده زمین زاد شامل انتقال گرد و غبار بوسیله باد، فعالیت های آتشفشانی و آتش سوزی طبیعی جنگلها می توان نام برد. روند غیر طبیعی یا عوامل انسانزاد معمولاً به صورت تخلیه های مستقیم در محیط وارد می شوند. یکی از روشهای کمی سازی بیان آلودگی رسوبات استفاده از شاخص هایی نظیر شاخص آلودگی، فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت است که تا به حال محققین متعددی کیفیت رسوبات را با استفاده از

• **سختی کل (TH)**

سختی کل آب برحسب مقدار کربنات کلسیم بیان می گردد. وجود کاتیون های کلسیم و منیزیم، عموماً انحلال پذیری مواد شوینده را در آب کاهش داده و اصطلاحاً آب را سخت می کنند. سختی آب از رابطه ۱ محاسبه می گردد:

$$TH = 2.5 Ca + 4.1 Mg \quad (۱)$$

که در آن Ca و Mg برحسب میلی گرم در لیتر می باشند. در صورتی که سختی محاسبه شده از این طریق بین صفر تا ۷۵ باشد، آب سبک، بین ۷۵ تا ۱۵۰ نسبتاً سخت، بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ سخت و مقادیر بیش از ۳۰۰ آب کاملاً سخت است.

• **نسبت جذب سدیم (SAR)**

غلظت سدیم نقش مهمی از نظر شوری و کیفیت آب ایفا می کند. از جمله اثرات سدیم کاهش هدایت الکتریکی و (نفوذ پذیری) و سخت کردن خاک است. این دو اثر ناشی از جانشینی یون های کلسیم و منیزیم به وسیله یون سدیم در رس ها و کلوئید خاک است میزبان جانشینی را میتوان با نسبت جذب سدیم (SAR) بر آورد کرد. میزبان سدیم از رابطه ۲ و درصد جذب سدیم از رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (۲)$$

$$\%Na = \frac{(Na + k)100}{Ca + Mg + Na + k} \quad (۳)$$

از لحاظ کشاورزی میزان جذب سدیم کمتر از یک وضعیت عالی، ۱۰ تا ۱۸ خوب، بین ۱۸ تا ۲۶ متوسط و بیشتر از ۲۶ شرایط نامطلوب را نشان می دهد.

• **کل مواد جامد محلول (T.D.S) Total Dissolve Solids**

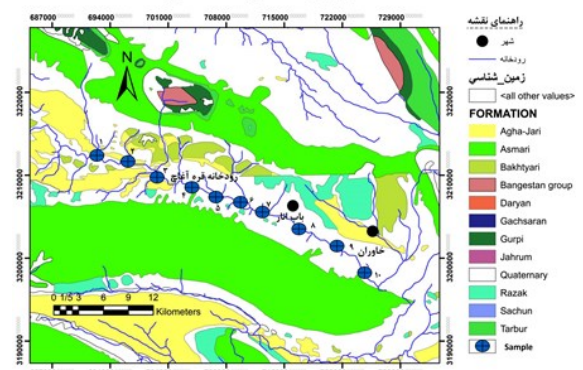
کل مواد جامد محلول شامل مجموع مواد جامدی محلول در آب به جز رسوبات معلق، کلوئید ها، و گازهای محلول که واحد آن میلی گرم بر لیتر یا پی پی ام است. مقادیر کل مواد جامد محلول کمتر از ۳۰۰ وضعیت عالی، بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ وضعیت خوب، بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ وضعیت مناسب، بین ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ وضعیت بد و بیشتر از ۱۲۰۰ وضعیت غیرقابل را نشان می دهد.

• **نمودار پایپر**

یکی از نمودارهای مهم برای نشان دادن و مقایسه آزمایشهای کیفی آب از نظر ترکیب یون های موجود در آب می باشد که اولین بار توسط (Piper, 1994) ارائه گردیده است. به طور کلی از این نمودار جهت دسته بندی نمونه ها و تعیین تیپ شیمیایی آب استفاده می شود. مقدار کل آنیون ها و کاتیون ها ۱۰۰ در نظر گرفته می شود و درصد یون ها روی مثلث های کناری علامت گذاری شده و نقاط متناظر روی مثلث های کناری بر روی لوزی میانی تصویر می شود. در نهایت قضاوت در مورد تیپ کیفی آب توسط نمودار پایپر با توجه به منطقه تمرکز نقاط انجام می شود. در این طبقه بندی، آنها براساس کاتیون ها به سه رخصاره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون ها به سه تیپ

شده و پس از گذر از دشت آسمانگرد و تنگ کیوتری وارد دشت دال می گردد. مهمترین سازندهای زمین شناسی گسترده در پهنه حوزه آبریز دره خفر در محدوده مطالعاتی به ترتیب سن نسبی عبارتند از آسماری، سازند رازک، سازند آغاچاری و کنگلومرای بختیاری. سازند آسماری پیکره تاقدیس سپیدار را در بر گرفته و به سبب گستردگی زیاد و نفوذ پذیری بالا نقش مهمی در جذب نزولات جوی و نیز تغذیه منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت خفر دارد. سازند های رازک و آغاچاری به سبب عدم تراوایی، از یک سو به عنوان سنگ کف لایه آبدار زیر زمینی نقش دارند و از یک سوی دیگر به سبب نرمی و فرسایش پذیری رسوبات در تخریب و فرسایش و حمل رسوبات ریز دانه توسط سیلابها موثرند. کنگلومرای بختیاری که غالباً در پهنه مرکزی دشت و حاشیه ارتفاعات شمالی گسترده شده نقش چندانی در تغذیه و یا فرسایش پذیری حوزه ندارد و سنگ کف بخش وسیعی از سفره آب زیرزمینی دشت را تشکیل داده است. مساحت حوزه آبریز دشت خفر با مساحت حدود ۸۸.۵ کیلومتر مربع حدود ۶۰ کیلومتر از کل طول ۷۰۰ کیلومتری رودخانه قره آغاج را در بر می گیرد. مختصات محدوده مورد مطالعه بین ۶۸۷۰۰۰ تا ۷۲۹۰۰۰ متر طول شرقی و ۳۱۹۰۰۰ تا ۳۲۲۰۰۰ متر عرض شمالی قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت رودخانه قره آغاج و سازندهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه آمده است (نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارم سازمان زمین شناسی کشور).

نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- شکل ۱: موقعیت جغرافیایی رودخانه قره آغاج و نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (شیپ فایل استان فارس نرم افزار آرک جی ای اس)

در ابتدا پارامترهای مورد مطالعه در تجزیه های آزمایشگاهی نمونه های آب و رسوب مورد بررسی قرار می گیرد.

• **قابلیت هدایت الکتریکی (EC)**

هدایت الکتریکی در آبهای زیرزمینی تابعی از مقدار مواد جامد حل شده (TDS) و درجه حرارت آب است. هدایت الکتریکی با این پارامترها نسبت مستقیم دارد، از اینرو با افزایش این دو عامل میزان EC افزایش و در نتیجه کیفیت آب کاهش می یابد. با توجه به میزان مواد جامد حل شده مقدار هدایت الکتریکی در آبهای زیرزمینی بسیار متغیر است و از ده ها میکرو موس بر سانتیمتر در آب زیرزمینی تقریباً خالص تا صد ها هزار میکروموس بر سانتیمتر در آب شور حوضه های رسوبی عمیق تغییر می یابد. (Freeze & Cherry, ۱۹۹۷)

تاثیر عوامل خارجی (انسازاد) باشد. این شاخص می تواند درجه آلودگی خاک را مشخص کند. شاخص زمین انباشت از رابطه ۵ محاسبه می شود

$$(۵) \quad I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n}$$

محاسبه می شود. در این فرمول I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n تمرکز عنصر در نمونه مورد مطالعه و B_n تمرکز عنصر در شیل میانگین می باشد. ضریب ۱.۵ ضریب تصحیح ماتریکس زمینه، ناشی از اثرات لیتولوژی است. بر اساس این شاخص، خاک ها را از نظر درجه آلودگی به هفت گروه کمتر از ۱ غیرآلوده، بین ۱ تا ۳ آلودگی متوسط تا شدید بین ۳ تا ۵ آلودگی شدید تا خیلی شدید و بیشتر از ۵ به شدت آلوده طبقه بندی می شود. (Muller, 1979)

• شاخص آلودگی (PI)

شاخص آلودگی برای برآورد ماهیت یک محیط از نظر میزان آلودگی استفاده کرد. این شاخص به صورت نسبت یک عنصر در نمونه های رسوب به مقدار زمینه همان عنصر در رسوبات منطقه ی مورد مطالعه بیان می شود. شاخص آلودگی کمتر از ۱ نشانه آلودگی کم، بین ۱ تا ۳ نشانه آلودگی متوسط و بیشتر از ۳ نشان دهنده آلودگی زیاد می باشد.

• بررسی کیفیت نمونه های آب

جهت بررسی کیفیت آب رودخانه قره آغاج تعداد ۱۰ عدد نمونه آب در دو نوبت (۵ ایستگاه) به فاصله ۶ ماه در ماه های اسفند و شهریور به فاصله تقریبی ۵ کیلومتر انجام شد. اندازه گیری برخی پارامترها مانند Ph و Ec در محل و آنالیز کاتیون ها و آنیون ها و پارامترهای فیزیک و شیمیایی بر اساس کتاب (Standard Method in Examination of Eater and Wastwater) و استاندارد پژوهش های صنعتی ایران شماره ۱۰۵۳ (Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 1992) و سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) صورت گرفت. بعد از تعیین نتایج حاصل از آنالیز نمونه های آب و مطالعات صورت گرفته، جهت تعیین تیپ و رخساره آب از نمودار های پایپر، استیف استفاده شده است.

• بررسی کیفیت نمونه های رسوب

جهت بررسی آلودگی رسوبات رودخانه قره آغاج نمونه ها به فلزات سنگین از ۱۰ ایستگاه در مسیر رودخانه قره آغاج، از محل انباشت شدن رسوبات در قسمت های کم انرژی رودخانه به اندازه ۲ کیلوگرم برداشت و پس از شماره گذاری در کیسه های مناسب جهت آماده سازی و ارسال به آزمایشگاه قرار داده شد. سپس نمونه ها به دو قسمت تقسیم شده و حدود ۵۰۰ گرم از هر نمونه دست نخورده جهت آماده سازی، نگهداری و تعیین غلظت عناصر به آزمایشگاه زر آزما تهران فرستاده شد. جهت آنالیز نمونه ها از روش ICP-OES آنالیز ۲۶ عنصری توسط دستگاه واریان مدل ۷۳۵ (شرکت زرآزمای تهران) استفاده گردید. در ابتدا نمونه به وسیله نوبلیزر یا مه ساز به قطرات ریزی تبدیل می شود. ابری از این قطرات ریز در آرگون، به وسیله جریان گاز مرکزی (آرگون) به داخل پلاسما حمل می شود. این قطرات

بی کربناته، سولفات و کلروره تقسیم بندی می شوند. با یک نگاه به نمودار می توان سریعاً به ترکیب شیمیایی و ارتباط بین آب های حوضه آبریز پی برد.

• نمودار استیف

از این نمودار جهت ارزیابی تغییرات کیفی آب در یک مکان و در یک دوره استفاده می شود (Arvidson, 2006). نمودار استیف از ۴ محور افقی موازی تشکیل شده که یک محور عمودی با ارزش صفر آنها را قطع میکند. مقادیر هر کدام از آنیون ها و کاتیون های اصلی بر حسب میلی اکی والان بر لیتر بر روی یکی از محورهای افقی نمایش داده می شود و سطح این نمودارها نیز نماینده مقدار کل مواد جامد محلول TDS می باشد. (Hounslow, 1995)

• فاکتور غنی شدگی (Ef)

مناسب ترین روش جهت تحلیل داده های رسوب از نظر میزان آلودگی استفاده از معیارهای ژئوشیمیایی است. فاکتور غنی شدگی (E_f) یکی از روشهای متداول برای تمایز دادن عناصر با منشأ انسازاد و زمین زاد است و در ارزیابی های زیست محیطی مورد مطالعه قرار می گیرد. فاکتور غنی شدگی نشان دهنده ی مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن عنصر در پوسته، سنگ بستر یا خاک است، این ضریب بیانگر شدت تاثیر عوامل خارجی (انسان زاد) می باشد. فاکتور غنی شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارتست از نسبت غلظت آن عنصر در نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. فاکتور غنی شدگی در تحلیل های زیست محیطی یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسان زاد می باشد. برای محاسبه فاکتور غنی شدگی عناصر سنگین در خاک های منطقه مورد مطالعه از روش نرمالیزه طبق رابطه ۴ محاسبه می شود (Muller, 1979)

$$E_f = \frac{\frac{C_x}{C_{ref}} \text{ Sample}}{\frac{C_x}{C_{ref}} \text{ Background}} \quad (۴)$$

در این فرمول E_f فاکتور غنی شدگی، C_x غلظت عنصر اندازه گیری شده و C_{ref} غلظت عنصر مرجع که در این مطالعه عنصر آلومینیوم انتخاب شده است. عنصر مرجع در تعیین فاکتور غنی شدگی، عنصری است که منشأ کاملاً زمین شناسی داشته باشد، در تحقیقات زیست محیطی معمولاً از عناصری مانند آلومینیم، آهن و اسکاندیم استفاده می شود که در این مطالعه از غلظت آلومینیم به عنوان عنصر زمینه در محاسبات استفاده شده است. فاکتور غنی شدگی کمتر از ۲ نشان دهنده نبود تا غنی شدگی اندک با منشأ زمین زاد، بین ۲ تا ۵ نشان دهنده غنی شدگی متوسط، بین ۵ تا ۲۰ غنی شدگی زیاد، بین ۲۰ تا ۴۰ غنی شدگی بسیار زیاد و بیشتر از ۴۰ غنی شدگی بیش از حد با منشأ انسازاد است.

• شاخص زمین انباشت (Igeo)

همچنین در تحلیل های زیست محیطی، از شاخص زمین انباشت به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تاثیر عوامل انسان زاد از عوامل طبیعی استفاده می شود. شاخص زمین انباشت میتواند بیانگر

آب، رسوبات و غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه ها و ارتباط آنها با نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

• تعیین صحت آنالیز های شیمیایی

یکی از مراحل مهم قبل از به کارگیری داده های شیمیایی حاصل از تجزیه نمونه های آب، بررسی میزان صحت نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی است. بدین منظور می توان با تبدیل غلظت تمام یون ها بر حسب میلی اکدی والان بر لیتر و با رابطه خطای واکنش (Reaction Error)، مقادیر خطای داده های آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار داد. در این خصوص باید نسبت تفاضل مجموع کاتیون ها و آنیون ها بر حسب meq/l بر مجموع کل یونها از ۵ درصد کمتر باشد که در نمونه های آب مورد مطالعه این خطا حدود ۲/۹۳ می باشد.

هر کدام ریز تر از حدود ۱۰ میکرومتر هستند ICP-OES. در آنالیز مواد طبیعی از جمله سنگها، کانی ها، خاک، رسوبات، آب، هوا، گیاه و بافتهای حیوانی کاربرد دارد. حدود ۵۰۰ گرم از هر نمونه جهت تعیین pH، CEC (ظرفیت تبادل کاتیونی) و تعیین بافت خاک به آزمایشگاه زاگرس آشناس فارس فرستاده شد (جداول ۱ و ۲) جهت بررسی نمونه های رسوب، نقشه های هم غلظت عناصر به کمک نرم افزار ARC GIS و به روش کریجینگ رسم شده است جهت تحلیل بهتر نتایج مطالعات رسوب از معیارهای ژئوشیمیایی نظیر فاکتور غنی شدگی (EF)، شاخص آلودگی (PI) و فاکتور زمین انباشت (Igeo) استفاده گردید و در نهایت همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی

جدول ۱: داده های هیدروژئوشیمیایی مربوط به نمونه های آب در دو نوبت اول و دوم به فاصله ۶ ماه.

ppm	میلی اکی والان بر لیتر															
	SAR	TH	قلیابیت	K	Na	Mg	Ca	So ₄	Cl	Hco ₃	TDS	Ec	PH	زمان	مختصات محل نمونه	
۰/۳۴	۵۴۵	۱۷۵	۰/۰۴	۱/۰۱	۳/۹	۷	۶/۸۸	۱/۵	۳/۵	۸۰۸/۵۸	۱۰۲۸	۸/۲	نوبت اول	۳۲۷۶۷۶۲	۶۵۲۳۵۵	زرات ۱
۰/۱۲	۵۷۵	۱۵۰	۰/۰۶	۰/۳۶	۵	۶/۵	۷/۱۵	۱/۸	۳	۷۹۰/۷۲	۱۱۶۴	۸/۲۵	نوبت دوم			
۰/۴۳	۵۳۰	۱۶۰	۰/۰۵	۱/۲۵	۳/۹	۶/۷	۷/۱۷	۱/۵۵	۳/۲	۸۰۵/۸۹	۱۰۲۸/۲۲	۸/۲۲	نوبت اول	۳۲۱۱۶۵۲	۶۸۸۳۸۵	اسماعیل آباد ۲
۰/۴۷	۵۲۵	۲۰۰	۰/۰۶	۰/۳۹	۳/۵	۷	۶/۲۲	۱/۷۵	۳/۶	۸۰۸/۶۰	۱۱۶۶	۸/۳۵	نوبت دوم			
۰/۳۳	۵۹۰	۱۹۰	۰/۰۶	۱	۴/۸	۷	۶/۹۹	۲	۳/۸	۸۶۱/۲۶	۱۲۰۰	۸/۲۲	نوبت اول	۳۲۱۱۳۴۷	۶۹۶۸۵۱	علی آباد ۳
۰/۶۳	۷۲۵	۱۷۵	۰/۰۷	۲/۱۵	۵/۷	۸/۸	۱/۰۳	۳	۳/۵	۱۱۱/۹۴	۱۵۱۳	۸/۰۳	نوبت دوم			
۰/۶۳	۵۵۰	۲۱۰	۰/۰۷	۱/۸۳	۵	۶	۶/۶۵	۲	۳/۸	۸۵۸/۸۲	۱۲۰۰	۸/۴۲	نوبت اول	۳۲۰۴۷۷۸	۷۱۵۲۸۷	صغاده ۴
۰/۱۰	۶۲۵	۲۰۰	۰/۰۶	۰/۲۹	۹	۳/۵	۶/۸۲	۲	۴	۸۲۹/۳۷	۱۲۵۱	۸/۲۶	نوبت دوم			
۰/۴۷	۵۷۵	۲۰۰	۰/۰۶	۱/۳۹	۵/۳	۱/۵	۶/۹۲	۲	۴	۸۶۸/۶۷	۱۲۰۰	۸/۲۲	نوبت اول	۳۱۹۹۴۳۳	۷۲۴۱۱۱	آسمانگرد ۵
۰/۱۰	۶۲۵	۱۷۵	۰/۰۵	۰/۳۵	۷	۵/۵	۷/۳۶	۲	۳/۵	۸۴۱/۷۸	۱۲۴۷	۸	نوبت دوم			

جدول ۲: نتایج مربوط به خواص فیزیکوشیمیایی نمونه های رسوب و غلظت فلزات سنگین

شماره نمونه	محل برداشت	طول، متر y	عرض، متر x	بافت Texture	% ماسه Sand	% سیلت Silt	% رس Clay	ظرفیت تبادل کاتیونی *CEC	اسیدیته pH	آرسنیک As ppm	سرب Pb ppm	کبالت Co ppm	مولیبدن Mo ppm	آهن Fe ppm	نیکل Ni ppm
۱	زرات ۱	۳۲۷۶۷۶۲	۶۵۲۳۵۵	لوم ماسه ای	۶۵/۲۰	۱۶/۲۰	۱۴/۲۰	۷۸	۷/۴۸	۳/۸	۵	۸	۰/۷۹	۱۴۳۶۰	۶۳
۲	زرات ۲	۳۲۱۸۸۵۸	۶۸۴۰۵۳	لوم	۲۵/۲۰	۴۹/۴	۲۵/۴	۷۰	۷/۳۹	۵/۹	۶	۱۰	۰/۷۶	۱۸۱۳۱	۷۰
۳	اسماعیل آباد	۳۲۱۱۶۵۲	۶۸۸۳۸۵	لوم ماسه ای	۶۳/۶	۲۳/۸	۱۲/۶	۵۶	۶/۹۸	۴/۹	۵	۹	۰/۸۱	۱۴۳۶۵	۶۴
۴	علی آباد	۳۲۱۱۳۴۷	۶۹۶۸۵۱	ماسه لومی	۸۰	۱۱	۹	۵۶	۷/۵	۵/۴	۵	۵	۰/۸۲	۹۶۸۱	۴۱
۵	برایجان	۳۲۰۹۹۴۶	۶۹۹۷۹۱	لوم ماسه ای	۶۵/۲	۲۲/۲	۱۲/۶	۵۲	۷/۲۱	۴/۵	۵	۹	۰/۹	۱۵۱۳۸	۶۸
۶	ملوان	۳۲۰۸۹۲۴	۷۰۲۷۵۷	لوم سیلتی	۲۹/۲	۵۶/۶	۱۴/۲	۶۲	۷/۱۴	۴/۸	۵	۱۰	۰/۸۷	۱۶۳۹۲	۷۶
۷	کراده	۳۲۰۶۶۲۸	۷۱۰۰۴۲	لوم ماسه ای	۶۵/۲	۲۲/۲	۱۲/۶	۷۶	۷/۳۲	۵	۵	۹	۰/۸۹	۱۰۹۲۴	۴۷
۸	صغاده	۳۲۰۴۷۷۸	۷۱۵۲۸۷	لوم	۳۲/۸	۴۱/۸	۲۵/۴	۱۱۴	۷/۳۱	۵/۲	۶	۱۲	۱	۲۱۰۳۰	۱۰۱
۹	غربی	۳۲۰۲۹۸۷	۷۱۸۴۶۱	لوم ماسه ای	۵۴	۲۷/۸	۱۸/۲	۱۰۲	۶/۹۷	۴/۸	۶	۱۰	۰/۸۳	۱۷۱۹۸	۷۶
۱۰	آسمانگرد د	۳۱۹۹۴۳۳	۷۲۴۱۱۱	لوم سیلتی	۲۱/۴	۵۱/۸	۲۷	۱۳۸	۷/۰۵	۵/۹	۶	۱۲	۰/۸۱	۲۰۸۵۲	۱۰۱

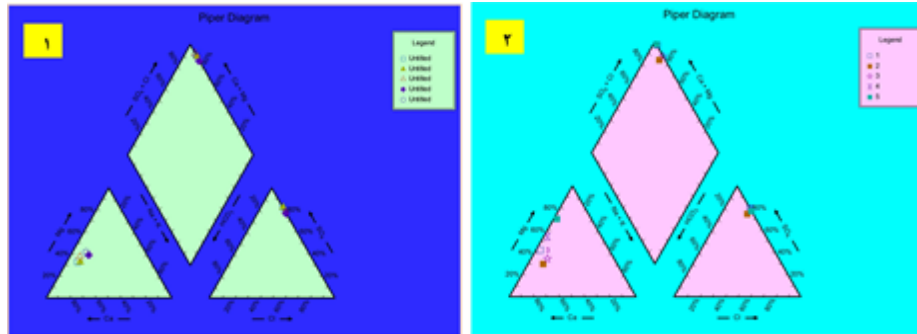
* (میلی اکی والان در ۵۰ گرم خاک خشک)

پس با توجه نمودار پایپر رسم شده تیپ آب در دو دوره نمونه برداری سولفات - کلسیک می باشد (شکل ۲).

۳- نتایج

- نتایج داده های آب
- نمودار پایپر

با توجه به منطقه تمرکز نقاط در این طبقه بندی آنها، براساس کاتیون ها کلسیک و نیز بر پایه آنیون ها به سولفات تقسیم بندی می شوند.

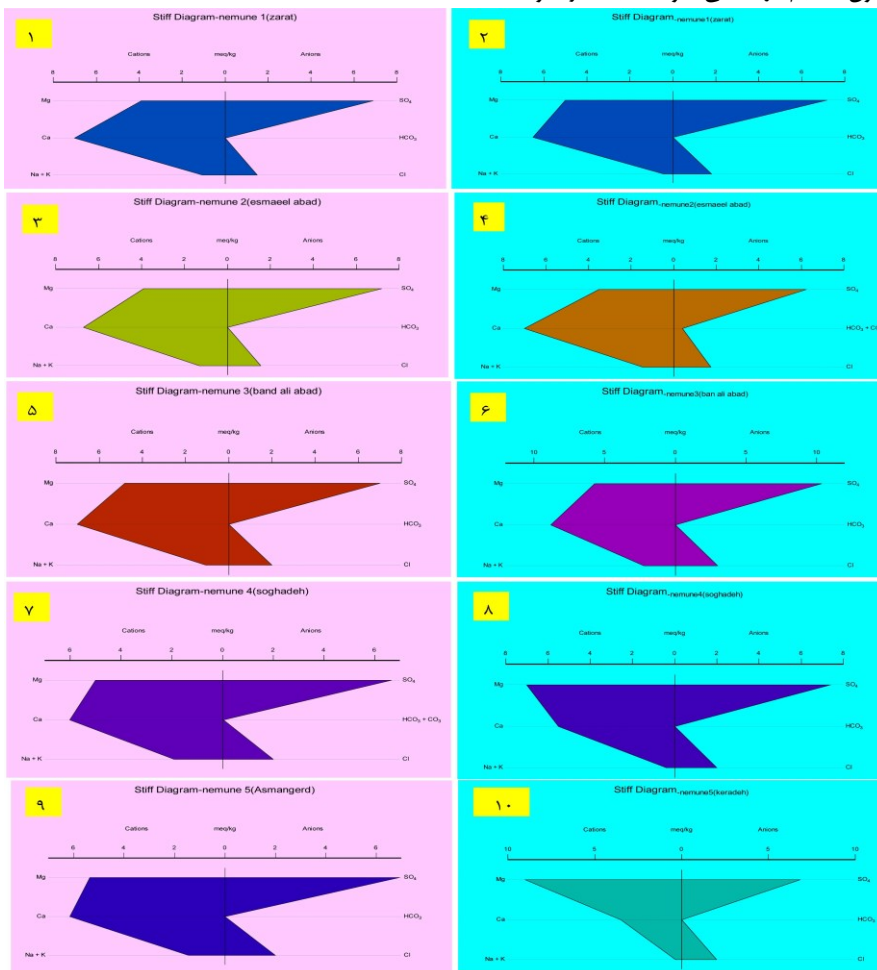


شکل ۲: نمودار پایپر مربوط به نمونه های آب ۱- دوره اول نمونه برداری ۲- دوره دوم نمونه برداری

بالا می باشد. بیشترین فراوانی کاتیون ها بعد از کلسیم مربوط به کاتیون منیزیم است که در اکثر نمونه ها در یک سطح دیده می شود ولی در نمونه های ۸، ۹ و ۱۰ بیشترین غلظت را دارا می باشد (شکل ۳). همچنین در نمونه های ایستگاه ۵ نمودار شماره (شکل ۳- ۵ و ۳- ۶) میزان یون منیزیم در میان کاتیون ها بیشتر از کلسیم است.

- نمودار استیف

پس از ترسیم نمودارهای استیف نمونه های مورد مطالعه در نرم افزار AqQa مشاهده می شود که از آنیون های محلول در آب میزان یون سولفات در اکثر نمونه ها تقریباً یکسان و بالا می باشد. همچنین از کاتیون ها غلظت یون کلسیم در همگی نمونه ها به جز نمونه ۱۰



شکل ۳: نمودار استیف مربوط به نمونه های آب، نمودارهای ۱، ۳، ۵ و ۷ مربوط به نوبت اول و نمونه های ۲، ۴، ۶ و ۸ مربوط به نوبت دوم نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه به سمت پایین دست افزایش می یابد. یکی از عوامل بالا رفتن میزان غلظت فلزات سنگین در مقیاس پروفیل طولی رودخانه می تواند ریزتر شدن میانگین اندازه دانه ها و بالا رفتن ظرفیت تبادل کاتیونی رسوبات از بالادست به سمت پایین دست باشد. در مجموع مطالعات نشان می دهد که به جز عنصری مانند نیکل و آهن سایر فلزات میانگینی پایین تر از میانگین شیل جهانی دارند. با محاسبه و بررسی معیار ژئوشیمیایی فاکتور غنی شدگی فلزات مورد مطالعه مشخص می شود که فاکتور غنی شدگی آرسنیک و سرب محدوده بدون غنی شدگی و فلزات آهن، مولیبدن، کبالت و نیکل محدوده غنی شدگی اندک همراه با منبع زمین زاد را نشان می دهند. مقدار شاخص آلودگی بدست آمده در تمامی نمونه ها کمتر از یک و نشان دهنده شرایط با آلودگی کم است. شاخص زمین انباشت محاسبه شده برای عنصر آرسنیک کمتر از صفر و نشان دهنده شرایط بدون آلودگی است. میانگین فاکتور غنی شدگی، شاخص آلودگی و شاخص زمین انباشت عناصر مورد مطالعه در ۱۰ ایستگاه انتخابی در جدول ۳ آمده است.

• بررسی سختی، EC و میزان جذب سدیم (SAR) نمونه های آب

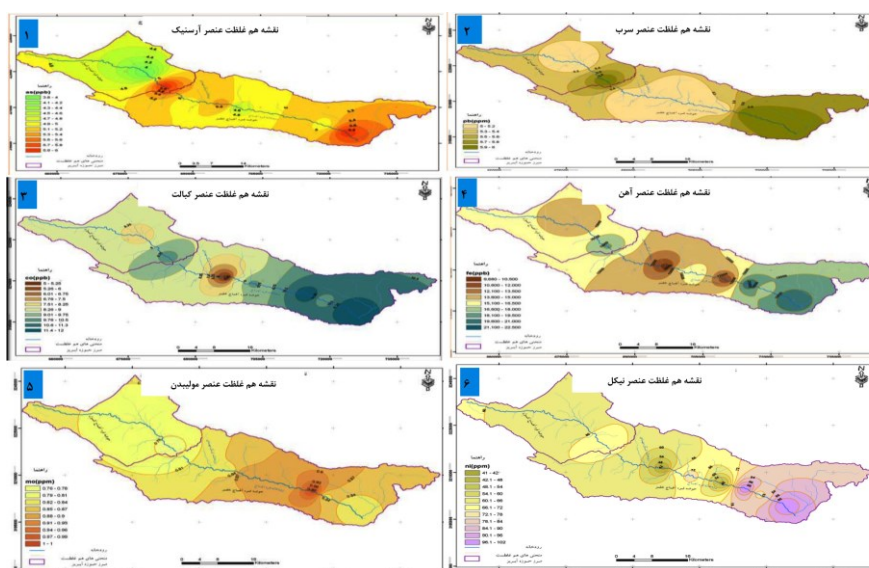
با توجه به داده های حاصل از تجزیه نمونه های آب سختی آب رودخانه کمتر از ۷۵ پی ام است، در نتیجه آب از نظر سختی نوع سبک به شمار می رود. همچنین مطالعات فیزیکوشیمیایی نشان داد که مقدار EC نمونه های آب بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ متغیر است که از لحاظ میزان EC آب در محدوده کیفیت متوسط تا خوب و رده ی C3 قرار می گیرد. همچنین مقدار SAR (نسبت جذب سدیم) در تمام نمونه ها کمتر از ۱ درصد و کیفیت آب از این نظر در رجه عالی قرار می گیرد. در مجموع تحلیل و بررسی نمونه های آب مورد مطالعه نشان می دهد که آب رودخانه قره آغاج در رده ی C3S1 قرار می گیرد.

• نتایج و روش های تحلیل داده های رسوب

بررسی نتایج غلظت فلزات سنگین در نمونه های رسوب رودخانه قره آغاج نشان می دهد که غلظت این عناصر به طور کلی از بالادست

جداول ۳: محاسبات میانگین غلظت و معیارهای ژئوشیمیایی عناصر مورد مطالعه

فلز سنگین Heavy Metal	میانگین در شیل جهانی Mean in Shale Reference(Pendias, Mukherejee, 2007) ppm	میانگین در رسوبات جهانی Mean in Sediment Reference(Pendias, Mukherejee, 2007) ppm	میانگین در نمونه های مورد مطالعه Mean in Study Samples ppm	میانگین فاکتور غنی شدگی Mean Enrichment Factor	میانگین شاخص آلودگی Mean Pollution Index	میانگین شاخص زمین انباشت Mean Geoaccumulation Index
آرسنیک	۱۳	۷.۷	۵/۰۲	۱/۳۵	۰/۶۵	-۲/۹۳
سرب	۲۰	۱۹	۵/۴	۰/۵۶	۰/۲۸	-۲/۴
کبالت	۱۹	۱۴	۹/۴	۱/۲۱	۰/۶۷	-۲/۶۳
آهن	۴۷۲۰۰	۴۱۰۰۰	۱۵۸۰۷	۰/۷۲	۰/۳۸	-۱/۹۹
مولیبدن	۲۶	۲	۰/۸۴	۱/۱۷	۰/۴۲	-۱/۸
نیکل	۶۸	۵۲	۷۰/۷	۱/۸۲	۱/۲۹	+۰/۳



شکل ۴: نقشه هم غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه: ۱- نقشه هم غلظت عنصر آرسنیک ۲- نقشه هم غلظت عنصر سرب ۳- نقشه هم غلظت عنصر کبالت ۴- نقشه هم غلظت عنصر آهن ۵- نقشه هم غلظت عنصر مولیبدن ۶- نقشه هم غلظت عنصر نیکل

پس از انتقال داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS 20 نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در جدول شماره ۴ آمده است.

- نتایج مطالعات آماری
- مطالعات آماری نتایج فیزیوشیمیایی نمونه های آب

جدول ۴: نتایج آزمون همبستگی پیرسون روی پارامترهای فیزیوشیمیایی نمونه های آب

Correlations												
	pH	EC	T DS	HC O3	Cl	So4	Ca	Mg	Na	K	T H	SAR
pH	1											
EC	.186	1										
TDS	.067	.992**	1									
HCO3	-.056	.905*	.930*	1								
Cl	.192	.998**	.989*	.879*	1							
So4	-.602	-.500	-.446	-.579	-.461	1						
Ca	-.310	-.547	-.545	-.493	-.556	.561	1					
Mg	-.053	.930*	.960*	.933*	.926*	-.448	-.687	1				
Na	.620	.447	.403	.309	.460	-.642	-.933*	.486	1			
K	.506	.881*	.838	.644	.900*	-.508	-.726	.783	.740	1		
TH	-.273	.774	.803	.797	.759	-.114	.043	.692	-.217	.418	1	
SAR	.625	.416	.370	.276	.429	-.627	-.927*	.457	.999**	.721	-.251	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
 * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول شماره ۵ درج گردید.

- مطالعات آماری نتایج فیزیوشیمیایی نمونه های رسوب

پس از انتقال داده های مربوط به مقادیر فلزات سنگین نمونه های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار آماری SPSS IBM 20 نتایج

جدول ۵: نتایج آزمون همبستگی پیرسون روی فلزات سنگین انتخابی در نمونه های رسوب

	Zn	Ni	Mn	Fe	Cu	Co	As
Zn	1						
Ni	.711*	1					
Mn	.759*	.767**	1				
Fe	.788**	.970**	.849**	1			
Cu	.972**	.844**	.828**	.888**	1		
Co	.573	.898**	.732*	.900**	.712*	1	
As	.393	.143	.458	.251	.352	.211	1

محدوده مورد مطالعه است. بررسی نمودار استیف نشان می دهد که میزان یونهای سولفات از میان آنیون ها و میزان یون کلسیم از میان کاتیون ها نسبت به دیگر یونها در حداکثر می باشند و به طور کلی آب در رده ی C3S1 قرار می گیرد، که با اقدامات

۲- بحث تجزیه و تحلیل نمودارهای پایپر نشان می دهد که تیپ آب رودخانه از نوع سولفات - کلسیک می باشد که دلیل اصلی آن گسترش سازند های کربناته تبخیری و گنبد های نمکی در

لازم می تواند برای مصارف کشاورزی مناسب باشد. به طور کلی فراوانی یون های کلسیم و منیزیم و همچنین نسبت آنها می تواند ناشی از فرسایش سازندهای کربناته مانند سازند آسماری در گستره مورد پژوهش بستگی داشته باشد. همچنین منیزیم در شبکه کانی های رسی از جمله مونت موریلونیت وجود داشته که این کانی در خاک ها و رسوبات منطقه در پروفیل خاک وجود دارد. در اطراف محدوده نمونه برداری یکی از علل بالا رفتن میزان منیزیم فرسایش کانی های رسی می باشد منبع این کانی ها میان لایه های مارنی سازند هایی همچون رازک و آغاجاری در منطقه می باشد که منشأ زمین زاد این عنصر می باشند. البته منیزیم نیز مانند کلسیت در تبادل کاتیونی خاک شرکت می کند که میزان آن با میزان سیلت و رس بستگی مستقیم دارد. با بالا رفتن تبخیر و کاهش حجم رودخانه غلظت کاتیون ها کاهش می یابد و در ابتدا کلسیم رسوب می کند در ادامه سولفات و نهایت نمک های منیزیم و سدیم چون حلالیت منیزیم در آب بیشتر از کلسیت است پس در فصل خشک میزان منیزیم می تواند بالاتر رود. وجود گنبد نمکی در شمال شرق منطقه در شهر خاوران و تاثیر آن بر کیفیت آب زیر زمینی و در نتیجه تاثیر این آبها بر کیفیت آب رودخانه را نمی توان نادیده گرفت. با توجه به داده های حاصل از تجربه نمونه های آب سختی آب رودخانه کمتر از ۷۵ می باشد در نتیجه آب از نظر سختی از نوع سبک می باشد. مطالعه نتایج نشان می دهد که مقدار EC نمونه های آب بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ می باشد در نتیجه کیفیت آب از نظر EC مناسب می باشد در رده ی C3 قرار می گیرد. همچنین مقدار SAR (نسبت جذب سدیم) در تمام نمونه ها کمتر از ۱ می باشد در نتیجه نسبت جذب سدیم کمتر از ۱۰ و دارای کیفیت عالی است. در مجموع تحلیل و بررسی نمونه های آب مورد مطالعه نشان می دهد که آب رودخانه قره آغاج در رده ی C3S1 قرار می گیرد. مقدار فاکتور غنی شدگی که نشان دهنده ی مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن عنصر در پوسته، سنگ بستر یا خاک است که مقادیر فاکتور غنی شدگی (EF) محاسبه شده برای فلزات مورد مطالعه کمتر از ۳ را نشان می دهد در نتیجه نمونه ها دارای غنی شدگی اندک یا بدون غنی شدگی نسبت به عناصر ذکر شده می باشند در نتیجه دارای منشأ زمین زاد هستند. در مجموع مطالعات نشان می دهد که به جز عناصری مانند نیکل و آهن سایر فلزات میانگینی پایین تر از میانگین شیل جهانی دارند. با محاسبه و بررسی معیار ژئوشیمیایی فاکتور غنی شدگی فلزات مورد مطالعه مشخص می شود که به فاکتور غنی شدگی آرسنیک و سرب محدوده بدون غنی شدگی و فلزات آهن، مولیبدن، کبالت و نیکل محدوده غنی شدگی اندک همراه با منبع زمین زاد را نشان می دهند. شاخص آلودگی (PI) بدست آمده که برای برآورد ماهیت یک محیط از نظر میزان آلودگی مورد استفاده قرار می گیرد برای عناصر آرسنیک، کروم، کادمیوم، مولیبدن، منگنز، آهن، سرب و روی مقدار آن کمتر از یک می باشد در نتیجه منطقه دارای آلودگی کم می باشد. مقدار شاخص آلودگی برای عنصر نیکل در اکثر ایستگاه ها مقداری بین ۱ تا ۳ را نشان می دهد پس این ایستگاهها نسبت به عنصر نیکل دارای آلودگی متوسط می باشند. علت آن را می توان به گسترش سنگهای کربناتی سازند هایی همچون جهرم و آسماری در

گستره ی مورد پژوهش اشاره کرد. بررسی معیارهای ژئوشیمیایی از جمله میزان شاخص زمین انباشتی برای همه فلزات به جز نیکل کمتر از صفر به دست آمد که نشان دهنده عدم آلودگی و منشأ زمین زاد و طبیعی آنهاست. مقادیر فاکتور غنی شدگی نشان می دهد که اکثر نمونه ها بجز کادمیوم در طبقه بدون غنی شدگی تا غنی شدگی اندک قرار دارند و دارای منشأ زمین زاد می باشند. شاخص زمین انباشت محاسبه شده برای عنصر آرسنیک کمتر از صفر و نشان دهنده شرایط بدون آلودگی است. آنالیز نمونه ها برای عنصر سرب نشان می دهد که تمرکز این عنصر در نمونه های شماره ۱، ۸، ۹ و ۱۰ بالاتر می باشد. همچنین شاخص زمین انباشت عنصر کبالت و آهن در محدوده مورد مطالعه کمتر از صفر و شرایط بدون آلودگی را نشان می دهد. بیشترین تمرکز عنصر مولیبدن در نمونه شماره ۸ دیده می شود. معیارهای ژئوشیمیایی محاسبه شده برای عنصر مولیبدن نیز شرایط بدون آلودگی را در رسوبات بستر رودخانه قره آغاج نشان می دهد. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عنصر نیکل نشان می دهد که غلظت این عنصر در نمونه های مورد مطالعه بیشتر از استاندارد رسوبات جهانی (۵۲ پی پی ام) (Pendias, Mukherjee, 2007) به طور کلی غلظت عنصر نیکل در نمونه های مورد مطالعه منشأ زمین زاد داشته و غنی شدگی آن می تواند ناشی از فرسایش سازندهای کربناته در منطقه مورد مطالعه باشد. اصولاً تجمع عناصری مانند نیکل، کبالت و مولیبدن در مناطقی که سنگ های رسوبی مانند سنگ آهک، دولومیت و شیل گسترش دارند بیشتر می باشد به عبارت دیگر تجمع ژئوشیمیایی این عناصر در مناطق با گسترش سازند های رسوبی بیشتر مشاهده می شود. (Selenius et al., 2005) از نظر شاخص آلودگی به جز عناصر نیکل و کادمیوم دارای شاخص آلودگی بین ۱ تا ۳ می باشند و آلودگی متوسط دارند در اکثر نمونه ها شاخص آلودگی کمتر از صفر می باشند در نتیجه محیط بدون آلودگی می باشد. با توجه به شاخص آلودگی که برای برآورد ماهیت یک محیط از نظر میزان آلودگی مورد استفاده قرار می گیرد مقدار شاخص آلودگی بدست آمده در تمامی نمونه ها کمتر از یک و نشان دهنده شرایط با آلودگی کم است. با توجه مقادیر بدست آمده مقدار فاکتور غنی شدگی در تمام نمونه ها بین ۱ تا ۳ متغیر بوده و نشان دهنده غنی شدگی اندک نسبت به عنصر سرب و با منشأ زمین زاد می باشند. شاخص آلودگی محاسبه شده برای عنصر سرب کمتر از یک و شاخص زمین انباشت با مقادیر منفی شرایط آلودگی کم تا بدون آلودگی را نشان می دهد. مقادیر عناصر کبالت و آهن در نمونه های ۸ و ۱۰ بیشتر بوده و معیارهای ژئوشیمیایی محاسبه شده برای این عنصر نشان دهنده غنی شدگی اندک و منشأ زمین زاد این عنصر است. بررسی نتایج غلظت فلزات سنگین در نمونه های رسوب رودخانه قره آغاج نشان می دهد که غلظت این عناصر به طور کلی از بالادست منطقه مورد مطالعه به سمت پایین دست افزایش می یابد. یکی از عوامل بالا رفتن میزان غلظت فلزات سنگین در مقیاس پروفیل طولی رودخانه می تواند ریزتر شدن میانگین اندازه دانه ها و بالا رفتن ظرفیت تبادل کاتیونی رسوبات از بالادست به سمت پایین دست باشد. با توجه به نقشه های هم غلظت رسم شده توسط نرم افزار GIS غلظت اکثر

مقادیر EC نمونه های آب (بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰)، میزان جذب سدیم (کمتر از ۱) و تجزیه و تحلیل نمودارهای پایپر و استیف نشان می دهند که تیپ آب رودخانه از نوع سولفات - کلسیک و در رده CES1 قرار می گیرد. میزان یون سولفات از میان آنیون ها و میزان یون کلسیم از میان کاتیون ها نسبت به دیگر یونها در حداکثر می باشند که دلیل اصلی آن گسترش سازند های کربناته تبخیری و گنبد های نمکی در محدوده مورد مطالعه است. مقادیر فاکتور غنی شدگی محاسبه شده برای فلزات مورد مطالعه کمتر از ۳ را نشان می دهد در نتیجه نمونه ها دارای غنی شدگی اندک یا بدون غنی شدگی نسبت به عناصر ذکر شده و دارای منشا زمینزاد می باشند. میزان شاخص زمین انباشتگی برای همه فلزات به جز نیکل کمتر از صفر به دست آمد که نشان دهنده عدم آلودگی و منشا زمینی زیاد و طبیعی آنهاست. شاخص آلودگی بدست آمده برای عناصر آرسنیک، کروم، کادمیوم، مولیبدن، منگنز، آهن، سرب و روی مقدار آن کمتر از یک می باشد در نتیجه منطقه دارای آلودگی کم می باشد. مقدار شاخص آلودگی برای عنصر نیکل در اکثر ایستگاه ها مقداری بین ۱ تا ۳ را نشان میدهد پس این ایستگاهها نسبت به عنصر نیکل دارای آلودگی متوسط می باشند. علت آن را می توان به گسترش سنگهای کربناتی سازند هایی همچون جهرم و آسماری در گستره ای مورد پژوهش نسبت داد. با توجه به نقشه های هم غلظت رسم شده توسط نرم افزار GIS غلظت اکثر عناصر مورد نظر آهن، آرسنیک، کبالت، آلومینیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب از بالادست رودخانه به سمت پایین دست رودخانه افزایش پیدا می کند اما این افزایش در حد آلودگی نمی رسد و نگران کننده نیست. مطالعات آماری بر روی پارامترهای فیزیکی شیمیایی نمونه های آب نشان می دهد که مقدار EC با TDS، HCO₃، کلر و منیزیم همبستگی مستقیم معنی دار دارند که نشان دهنده شرایط مشابه تعادل این یون ها در حالت محلول در نمونه های مورد مطالعه است. مطالعات آماری بر روی مقادیر فلزات سنگین در نمونه های رسوب رودخانه مورد مطالعه نشان می دهد که بیشترین همبستگی مستقیم معنی دار بین عناصر نیکل، آهن، روی، مس و آهن و کبالت مشاهده می شود که نشان دهنده شرایط یکسان پایداری این فلزات در نمونه های رسوب رودخانه مورد مطالعه دارد. اصولاً فلزات سنگین مانند نیکل، آهن، روی، کبالت و مس به صورت پارائنز در نمونه های رسوب و خاک مشاهده می شوند چون از لحاظ پایداری ژئوشیمیایی شرایط تقریباً یکسانی دارند.

عناصر مورد نظر آهن، آرسنیک، کبالت، آلومینیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب از بالادست رودخانه به سمت پایین دست رودخانه افزایش پیدا می کند اما این افزایش در حد آلودگی نمی رسد و نگران کننده نیست. مطالعات آماری بر روی پارامترهای فیزیکی شیمیایی نمونه های آب نشان می دهد که مقدار EC با TDS، HCO₃، کلر و منیزیم همبستگی مستقیم معنی دار دارند که نشان دهنده شرایط مشابه تعادل این یون ها در حالت محلول در نمونه های مورد مطالعه است. همچنین کلر با منیزیم و پتاسیم همبستگی مستقیم معنی دار معناداری نشان می دهد که نشان از شرایط یکسان پایداری این یون ها دارد. همچنین بین مقدار سدیم و میزان جذب سدیم (SAR) همبستگی مستقیم بالا مشاهده می شود که یک فرایند بدیهی و طبیعی است. همچنین مطالعات نشان می دهد که بین میزان کلسیم و منیزیم با مقادیر PH، EC، TDS، HCO₃ و کلر همبستگی معناداری مشاهده نمی شود که نشان از روند متفاوت تغییرات این یون ها در نمونه های مورد مطالعه دارد. بالا رفتن اسیدیته باعث کاهش غلظت سدیم و در نتیجه همبستگی ضعیف این دو عنصر می شود. همبستگی بالای سدیم، کلسیم، پتاسیم با یکدیگر و همچنین با میزان جذب سدیم نشان دهنده منشا یکسان این عناصر می باشند. مطالعات آماری نشان می دهد پتاسیم با کلر و EC همبستگی معنی دار و مثبت دارد. کلر با EC و SAR همبستگی معنی دار و مثبت و با بی کربنات و PH همبستگی متوسط دارد. در حالت کلی همبستگی بالای سدیم، کلسیم، پتاسیم با یکدیگر و همچنین با میزان جذب سدیم نشان دهنده منشا یکسان این عناصر می باشند. همچنین با بالا رفتن میزان اسیدیته به علت انحلال یون های کلسیم و منیزیم میزان همبستگی را کاهش می یابد. مطالعات آماری بر روی مقادیر فلزات سنگین در نمونه های رسوب رودخانه مورد مطالعه نشان می دهد که بیشترین همبستگی مستقیم معنی دار بین عناصر نیکل، آهن، روی، مس و آهن و کبالت مشاهده می شود که نشان دهنده شرایط یکسان پایداری این فلزات در نمونه های رسوب مورد مطالعه دارد. اصولاً فلزات سنگین مانند نیکل، آهن، روی، کبالت و مس به صورت پارائنز در نمونه های رسوب و خاک مشاهده می شوند چون از لحاظ پایداری ژئوشیمیایی شرایط تقریباً یکسانی دارند.

۴- نتیجه گیری: در مجموع مطالعات بر روی نمونه های آب و رسوبات رودخانه قره آغاج می توان به نتایج زیر اشاره کرد. با توجه به

References

- APHA, AWWA, WPCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater", Washington, d .c.
- Freeze, R. A., and J. A. Cherry. 1979. Ground Water. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Fedo, C.M., Eriksson, K., Krogstad, E.J., 1996. Geochemistry of shales from the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: Implications for provenance and source-area weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 1751–1763
- Forstner, U., Salomons, W., 1980. Trace metal analysis on polluted ediments. Part I: Assessment of sources and intensities. *Environmental Technology Letters* 1, 494–505.
- Geological survey and mineral exploration of Iran, Geological map of Jahrum city, Scale; 1/100000.
- Hounslow A. 1995. Water quality data: analysis and interpretation, CRC-Press, 397pp, 86
- Iranian National Standards Organization. 1992. Physical and chemical properties of drinking water. No. 1053. Forth Edition.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. 2007. Trace elements from soils to humans. Springer-Verlag pub
- Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschan* 79, 778-783.
- Ouyang, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Journal of Water Research*. 39: 2621–2635.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans., Am. Geophysic. Union* 25:914-923.
- Salati, S., Moore, F. 2010. Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran., *Environ Monit Assess* (2010) 164: 677. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0920-y>
- .Selinus, O., 2013. Essential of Medical Geology, Geological Survey of Sweden Uppsala Sweden, Elsevier Academic Press, 812 p.
- Sheykhi, V. & Moore, F. 2012. Geochemical Characterization of Kor River Water Quality, Fars Province, Southwest Iran., *Water Qual Expo Health* (2012) 4: 25. <https://doi.org/10.1007/s12403-012-0063-1>
- Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. *Geological Society of American Bulletin*, 72(2), 175–192.
- .Van der Perk, 2006, soil and water contamination, Taylor & Francis, 389 p
- WHO, 2008. Guidelines for drinking-water quality, Recommendations, 3rd ed. World Health Organization, Geneva.