فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۴، شماره ۵۵، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۱۲۹-۱۴۵

تکامل هیدروشیمیایی و کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود

مجتبی قره محمودلو[۱و*]، نادر جندقی[۱] و مریم صیادی[۲]

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۸

چکیده

در این پژوهش، تکامل هیدروشیمیایی و کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری از حاشیه شمالی ارتفاعات البرز تا دریای خزر بررسی شد. بدین منظور از نتایج آنالیز ۱۱ پارامتر فیزیکوشیمیایی مربوط به چهار ایستگاه هیدرومتری در طی یک دوره آماری ده ساله استفاده شد. برای بررسی تکامل هیدروشیمیایی رودخانه از نمودارهای گیبس، استیف، پایپر، دوروف و همچنین پنج شاخص اشباع مربوط به کانی‌های کربناته، سولفاته و کلروره استفاده شد. همچنین تغییرات کیفی آب در بخش‌های شرب (با استفاده از نمودار شولر)، کشاورزی (با استفاده از نمودار ویلکوکس) و صنعت (با استفاده از شاخص‌های خوردگی) در طول مسیر رودخانه گرگانرود بررسی شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها از آزمون F و در نهایت از آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی برای تعیین تعداد عوامل تأثیرگذار بر هیدروشیمی آب استفاده شد. نتایج نشان داد که واکنش آب-سنگ، تبخیر و نفوذ آب شور دریای خزر از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده شیمی آب رودخانه هستند. همچنین تیپ غالب آب رودخانه گرگانرود در حاشیه ارتفاعات بیکربناته می‌باشد و با ورود به دشت، تمایل به رسیدن به بلوغ کامل یعنی تیپ کلروره سدیک دارد. در تمامی ایستگاه‌ها آب رودخانه نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع، اما نسبت به انیدریت، ژیپس و هالیت تحت اشباع می‌باشند. اگرچه در جهت جریان بر میزان اشباعیت کانی‌های تبخیری افزوده می‌شود، کیفیت آب برای شرب و کشاورزی در حاشیه ارتفاعات مناسب و با ورود به دشت و در ادامه مسیر به سمت دریای خزر بشدت کاهش می‌یابد. نتایج تمامی شاخص‌های کیفی در بخش صنعت نشان از افزایش خاصیت رسوب‌گذاری آب در طول مسیر رودخانه دارد. براساس نتایج آنالیز آماری، بیشترین تغییرات مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی بین ایستگاه لزوره در حاشیه ارتفاعات و ایستگاه قزاقلی واقع در قسمت میانی دشت دیده می‌شود و بعد از آن تا خروجی گرگانرود تغییرات فاحش و معنیداری بین پارامترهای کیفی آب مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: تکامل هیدروشیمیایی، کیفیت آب، اندیس اشباع، طبقه‌بندی کیفی آب، رودخانه گرگانرود.

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع آبی هر کشور در زمینه‌های کشاورزی، صنعتی، اقتصادی، آشامیدنی، ترابری و تفریحی هستند. همچنین سلامت و کیفیت آب آن‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. بهره‌برداری از آب رودخانه‌ها مستلزم شناخت کمی و به‌ویژه کیفی آب رودخانه‌ها می‌باشد (Shen et al., 2014).

اگرچه آب‌های سطحی از دیرباز توسط بشر قابل

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

بهره‌برداری مستقیم بوده اما این منابع به‌راحتی توسط عوامل انسانی (نظیر فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی) و طبیعی (نظیر بارش، سازندهای زمین‌شناسی، نفوذ آب‌شور و ...) آلوده می‌شوند. کاهش کیفیت آب‌های جاری مانند رودخانه‌ها و نهرها یکی از نگرانی‌های حال حاضر جامعه بشری می‌باشد (Nwankwoala and Udom., 2011; Xu et al., 2016; Mishra et al., 2017). بنابراین انجام یکسری مطالعات جامع مبنی بر تعیین عوامل مؤثر در تغییر ترکیبات هیدروشیمیایی و همچنین پایش کیفی آب آنها در طول مسیر حرکت‌شان می‌تواند کمک شایانی به شناسایی منابع آلاینده و در ادامه مدیریت ورود آلاینده‌ها به داخل رودخانه‌ها کند.

بررسی تکامل هیدروشیمیایی منابع آبی می‌تواند اطلاعات مفیدی در زمینه تأثیر سازندهای تغذیه‌کننده و دربرگیرنده منابع آبی، مسیر جریان آب و نواحی تبخیر در اختیار قرار دهد. علاوه براین، توجه به کیفیت مطلوب فیزیکوشیمیایی و میکروبی آب در راستای نوع استفاده در بخش شرب، کشاورزی، صنعت و رهاسازی در محیط‌زیست ضروری به نظر می‌رسد. در برخی از مناطق، کنترل غلظت برخی آلاینده‌ها جهت تأمین سلامتی مردم لازم است که این‌گونه اقدامات شامل انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی بر روی منابع تأمین آب می‌باشند (Arpine and Gayane, 2016).

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه بررسی هیدروشیمیایی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی انجام شده است که ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود. Batsaikhan et al., (2017) در پژوهشی به بررسی تأثیر فعالیت‌های معدنی بر روی کیفیت آب رودخانه‌ای در شمال مغولستان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که، کیفیت آب رودخانه متأثر از انحلال مواد معدنی کربناته، فرآیندهای مختلف فرسایشی و فعالیت‌های انسانی مانند دامداری، کشاورزی و معدن‌کاوی می‌باشد. در تحقیقی Islam et al., (2017) کیفیت آب زیرزمینی منطقه‌ای را در بنگلادش بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تیپ کلی آب منطقه مورد مطالعه شور بوده همچنین براساس نمودار گیبس، بارش عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب می‌باشد. Zhao et al., (2018) در پژوهشی به ارزیابی هیدروشیمیایی آب ناشی از یخچال‌ها، دریاچه‌ها و آبراهه‌های منطقه داگو در شرق فلات تبت پرداختند. براساس این پژوهش، کلسیم و بی‌کربنات به‌ترتیب بیشترین کاتیون و آنیون در نمونه‌های آبی بودند. نمودار پایپر رسم شده برای منابع آبی نشان از تیپ غالب بیکربنات کلسیک در کل نمونه‌های منطقه دارد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که میزان کل مواد جامد محلول در آب یخچال‌ها کمترین ولی در نهرها و رودخانه‌ها به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در پژوهشی Wu et al., (2018) با اندازه‌گیری ۱۵ پارامتر فیزیکوشیمیایی و میکروبی در چهار فصل متفاوت به ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های تغذیه‌کننده دریاچه تایو[1] (در چین) پرداختند. بدین منظور شاخص WQI[2] برای تمام رودخانه‌ها در یک دوره یک ساله محاسبه کردند. میانگین شاخص محاسبه شده در دوره مورد مطالعه برابر ۵۵/۳۹ به دست آمد که این مقدار نشان از کیفیت متوسط آب دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بالاترین میانگین شاخص WQI در فصل پاییز و کمترین مقدار آن مربوط به فصل زمستان می‌باشد. Laxmankumar et al., (2019) در پژوهشی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی ناحیه‌ای را در ایالت تلانگانا[3] هند با تاکید به آلودگی فلوراید مطالعه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد واکنش آب-سنگ و تبخیر از مهم‌ترین فرآیندهای کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی می‌باشند اگرچه فرآیندهای ژئوشیمیایی نظیر هوازدگی، تبادل یونی و فعالیت‌های انسانی نیز در تغییر شیمی آب زیرزمینی نقش دارند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که میزان غلظت فلوراید در آب زیرزمینی در فصول قبل موسمی بیش از میزان استاندارد بهداشت جهانی است.

حوضه‌ی آبریز گرگانرود با جهت شرقی-غربی در جنوب شرقی دریاچه‌ی خزر قرار دارد. این حوضه در دامنه‌های شمالی البرز واقع شده و آب حاصل از بارش‌ها و سامانه‌ی زهکشی خود را به دریای خزر می‌ریزد. آب رودخانه گرگانرود با توجه به مسیر طولانی‌اش تا رسیدن به دریای خزر، در بخش‌هایی از مسیر خود در معرض شدید انواع آلودگی‌ها

1. Taiho
2. Water Quality Index
3. Telangana

قـــرار دارد. ایـــن آلودگی‌هـــا در اثر دو عامـــل مهم طبیعی (زمین‌شناسی) و انسانی می‌باشد. در اثر فرسایش خاک توسط آب، با هر بارندگی مقدار بســـیار زیـــادی از خاک زمین‌های اطراف شســـته شـــده و به همراه جریانات آبی وارد رودخانه می‌شـــود. به‌طوری‌که رودخانه در فصول ســـیلابی و پرآب، بشـــدت گل‌آلود و دارای کدورت بالاســـت. همچنین وجود سازندهای تبخیری به همراه رسوبات مارنی در زیرحوضه دوغ و برخی دیگر از زیرحوضه‌ها بشـــدت شوری آب را بالا برده و در نتیجه کیفیت آب این رودخانه کاهش می‌دهد. در حدود ۳۹ درصد از کل مســـاحت حوضه آبخیز گرگانرود را اراضی زراعی تشکیل می‌دهند که همه ساله انواع محصولات زراعی در آن کشـــت و برداشت می‌شـــوند. فعالیت‌های کشاورزی به همراه، مصرف انواع ســـموم دفـــع آفات نباتی و کودهای شـــیمیایی و آلی، باعث شده تا ســـالانه مقادیر زیادی از این مواد آبشـــویی شـــده و وارد رودخانه گرگانرود شوند. علاوه براین، ظهور شـــهرها و آبادی‌های فـــراوان در مجاورت این رودخانه و ورود فاضلاب‌های شـــهری و روستایی بدون هیچ نوع تصفیه‌ای به داخل آن باعث کاهش شدید کیفیت آب از سرچشـــمه تا به دریای خزر شده‌است. درنتیجه ورود حجم بالایی از آلاینده‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی به رودخانه گرگانرود به یکی از بزرگ‌ترین مسائل مهم زیست محیطی این رودخانه مهم شمالی کشور تبدیل شده‌است. ازاین‌رو بررسی روند تغییرات هیدروشیمیایی و کیفی آب رودخانه گرگانرود (به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان گلستان) در طول مسیرش قبل از رسیدن به دریای خزر می‌تواند اطلاعات مفیدی به تحقیق سازمان‌های ذینفع ارائه دهند.

اهـــداف کلـــی این پژوهـــش بـــه ترتیب: (۱) بررســـی هیدروشیمیایی آب رودخانه گرگانرود با استفاده از نمودارهای اســـتیف، پایپر، دوروف و گیبس، شاخص رول[1] و همچنین برخی از شاخص‌های اشباع مربوط به کانی‌ها در طول مسیر رودخانه از حاشـــیه شـــمالی ارتفاعات خزر تـــا دریای خزر، (۲) بررســـی تغییرات کیفی آب رودخانه گرگانرود به لحاظ شـــرب، کشاورزی و صنعت در طول مسیر آن، (۳) استفاده از آزمون F جهت تجزیه واریانس و آزمون گیمز-هاول جهت بررســـی اختلاف آماری بین تیمارها، (۴) اســـتفاده از آنالیز تحلیل خوشـــه‌بندی سلسله مراتبی برای تعیین عوامل تاثیر گذار در ترکیب شیمیایی آب رودخانه گرگانرود در هر ایستگاه می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضـــه آبخیز گرگانرود با مســـاحت تقریبـــی آن ۱۰۶۰۰ کیلومتر مربع از جنوب مشـــرف به رشته کوه البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبخیز قره‌ســـو محدود می‌شود. طول رودخانه اصلی آن با نام گرگانرود بیش از ۲۵۰ کیلومتر است که در امتداد عمومی شرقی-غربی جریان دارد و از جنوب شرق دریای خزر به این دریا می‌پیوندد. مهم‌ترین سرشـــاخه‌های آن دوغ، زاو، اوغـــان، چهل‌چای، زرین‌گل، رامیـــان، نوده، رودبار و محمدآباد اســـت. براســـاس روش دومارتن، این حوضه به دلیل گستردگی دارای اقلیم متنوعی شامل خشک، نیمه‌خشک، معتدل مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب اســـت و میانگین بارندگـــی در این حوضه از ۲۸۷ میلی‌متر در تیل‌آباد تا ۹۵۳ میلی‌متر در پس پشته متغیر (زیر حوضه چهل‌چای) می‌باشد (روحانی و همکاران، ۱۳۹۴).

در این پژوهش، گستره مورد مطالعه بخشی از رودخانه گرگانرود بطول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر از ایســـتگاه هیدرومتری لزوره در زیرحوضه چهل‌چای شروع و تا ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد در نزدیکی دریای خزر امتداد دارد (شکل ۱).

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در حوضه آبخیز گرگانرود، به لحاظ زمانی، گستره وسیعی از سازندهای زمین‌شناســـی از پالئوزوئیک تا عهد رخنمون دارد. به‌طورکلی مجموعه شیســـت‌ها و ســـنگ آهک‌های ژوراســـیک و ســـنگ آهک‌های کرتاســـه پایانی از مهم‌ترین واحدهای ســـنگ چینه‌ای در منطقه مورد مطالعه هستند (شـــکل ۱-b). در این میان سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین رخنمون را در منطقه مورد مطالعه دارند. واحدهای سنگ چینه‌ای سنوزوییک دارای گسترش محدودی در این منطقه اســـت که در این میان نهشته‌های نئوژن شامل: شـــیل، مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا دارای

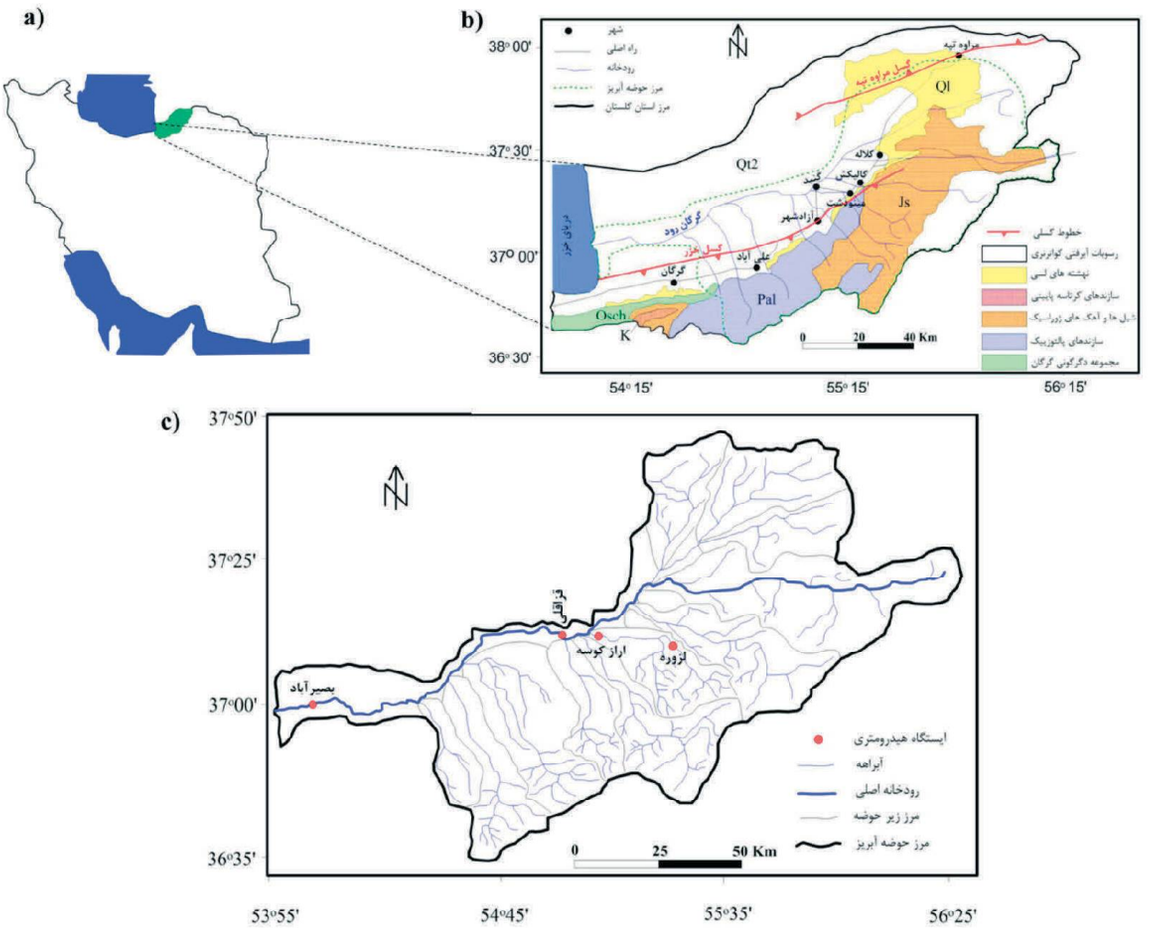
1. Revelle index

بیشترین گسترش سطحی است. به‌طورکلی این حوضه بیشتر از رسوبات آبرفتی ماسه‌ای، سیلتی غیرمتراکم و سخت نشده کواترنری تشـــکیل شده است که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پســـت دشت‌ها گسترش یافته‌اند و با دور شدن از ارتفاعات، دانه ریزتر می‌شوند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳).

به لحاظ ساختاری مهم‌ترین گسل‌های فعال منطقه که دارای پیشینه لرزه‌خیزی هستند، گسل‌های کاسپین، شمال البرز، آشخانه، تکل‌کوه، کپه‌داغ و مراوه‌تپه می‌باشند. در این میان گســـل‌های لرزه‌ای کاسپین و شمال البرز نهشته‌های کوارترنری را قطع کرده‌اند (Jackson، 2001).

روش مطالعه

به‌منظور بررســـی تغییرات کیفی آب در طول رودخانه گرگانرود از اطلاعات مربوط به چهار ایســـتگاه هیدرومتری (لزوره، ارازکوسه، قزاقلی و بصیرآباد) در یک فاصله مکانی تقریبی ۱۰۰ کیلومتر استفاده شد. بدین منظور از آنالیز نتایج پارامترهای فیزیکوشـــیمیایی (شامل: Ca، Mg، Na، K، HCO_3، Cl، SO_4، TDS، pH، EC و دمـــا) مربـــوط به دو ایستگاه هیدرومتری لزوره، ارازکوسه (واقع در زیرحوضه چهل‌چای) و دو ایســـتگاه هیدرومتری قزاقلی و بصیرآباد بر روی شاخه اصلی گرگانرود در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ اســـتفاده شـــد. زیرحوضه چهل‌چای یکی از زیرحوضه‌های اصلی گرگانرود اســـت که کم‌وبیش در تمامی فصول سال پرآب بوده و در نتیجه دارای داده‌های کیفی کاملی نســـبت به سایر زیر حوضه‌ها می‌باشد. اگرچه بررسی‌های اولیه نشان داد کـــه کم‌وبیش در تمامی زیـــر حوضه‌های گرگانرود قبل از رســـیدن به رودخانه اصلی به لحـــاظ پارامترهای کیفی وضعیت مشابهی دارند.



شکل ۱. a) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و کشور، b) به‌همراه نقشه زمین‌شناسی، c) حوضه آبریز گرگانرود

نمونه‌های آب از تمامی ایستگاه‌ها به‌صورت ماهانه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آزمایشگاه شیمی آب این شرکت اندازه‌گیری شده‌است. تمامی نتایج آنالیز پارامترهای مذکور استفاده شده در این پژوهش از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد. سپس متوسط سالیانه پارامترها محاسبه شده است.

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 به‌طور کامل تصادفی و با استفاده از آزمون F انجام شد. جهت بررسی اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی از آزمون گیمز-هاول استفاده شد.

در این تحقیق برای بررسی تکامل هیدروشیمیایی رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه ابتدا تیپ و رخساره هیدروشیمیایی آب با استفاده از نمودارهای استیف، پایپر و دوروف توسط نرم‌افزار AqQa تعیین شد. برای تعیین عوامل مؤثر در کنترل ترکیب شیمیایی آب از نمودار گیبس و برخی از نسبت‌های یونی در طول مسیر جریان استفاده شد. سپس به‌منظور پیش‌بینی و احتمال رسوب و یا انحلال برخی از کانی‌ها در مسیر حرکت رودخانه شاخص‌های اشباع شش کانی مهم کلسیت، دولومیت، هالیت و ژیپس با استفاده از نرم‌افزار AquaChem محاسبه شد. در نهایت برای تعیین تعداد عوامل تأثیرگذار بر هیدروشیمی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه از آنالیز تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شدند. برای رسم نقشه و آنالیزهای آماری از نرم‌افزارهای Surfer و SPSS استفاده شد.

برای تعیین تغییرات کیفیت آب رودخانه گرگانرود در طول مسیر تا دریای خزر به‌ترتیب از نمودارهای شولر و ویلکوکس برای طبقه‌بندی آب در بخش‌های شرب و کشاورزی استفاده شد. همچنین از شاخص‌های کیفی لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و لارسون اسکلد نیز برای بررسی آب رودخانه گرگانرود در بخش صنعت استفاده شد. شاخص‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار AquaChem محاسبه شدند (جدول ۱).

آزمون‌های آماری

تجزیه واریانس داده‌ها: تجزیه واریانس داده‌ها یکی از ابزارهای پرکاربرد در آزمون فرض و تحقیقات آماری است. در این روش سعی بر این است که اختلاف بین چند جامعه آماری ارزیابی و مورد بررسی قرار گیرد. جهت تجزیه واریانس داده‌ها از آزمون F در محیط نرم‌افزار مینی‌تب استفاده و تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی انجام شد. قبل از انجام آزمون F فرض نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ[1] و فرض یکسان بودن واریانس‌ها با استفاده از آزمون بارتلت[2] بررسی شد.

تحلیل خوشه‌ای: تحلیل خوشه‌ای یک عنوان کلی برای گروهی از روش‌های ریاضی است که برای تعیین شباهت نسبی بین افراد در یک مجموعه و همچنین به‌منظور نشان دادن همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده آنها بکار می‌رود. در این تکنیک مجموعه‌ای از متغیرها در داخل خوشه‌های همگن قرار می‌گیرند. خوشه‌بندی متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی را بین هر کدام از نمونه‌ها و نیز بین همه داده‌ها فراهم می‌کند و به‌طور معمول با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود. نمودار درختی خلاصه‌ای از فرآیندهای خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل توجه ابعاد داده‌های اولیه ارائه می‌دهد (Liu et al., 2018). در این پژوهش، از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد.

بحث

تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی

املاح موجود در منابع آبی نقش اصلی را در تعیین کیفیت آب ایفا می‌کنند. ازاین‌رو با بررسی مقدار و تغییرات غلظت این املاح و با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان عوامل مؤثر بر کیفیت آب‌ها (نظیر تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی، پیشروی، نفوذ و اختلاط آب‌های مختلف، واکنش بین آب-محیط (سنگ یا خاک) و فرآیندهای ژئوشیمیایی) مشخص کرد. در جدول ۲ مقادیر آماری مربوط به پارامترهای

1. Anderson-Darling test
2. Bartlett test

جدول ۱. شاخص‌های کیفی استفاده شده جهت طبقه‌بندی آب رودخانه گرگانرود در بخش‌های کشاورزی و صنعت

کاربری	شاخص	رابطه	طبقه‌بندی کیفی	منبع
کشاورزی	نسبت جذب سدیم (SAR[1])	$SAR = Na^{+} / (\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2})^{\frac{1}{2}}$	S1= SAR<10 (عالی) SAR <18 =S2 >10(خوب) SAR< 26= S2> 18(متوسط) SAR >26=S2(نامناسب)	(Wilcox، L.V. 1955)، (Kumar et al.، 2007)، (Subramani et al.، 2005)
	هدایت الکتریکی (EC[2])	$EC\ (\mu_s / Cm) = \frac{TDS_{PPM}}{(0.63 \sim 0.7)}$	C1= EC<250 (عالی) =EC>250C2<750 (خوب) =EC>750 C3 <2250 (متوسط) C4= EC >2250 (نامناسب)	(Wilcox، L.V. 1955)، (Kumar et al.، 2007)، (Subramani et al.، 2005)
	لانژلیه (LSI[3])	$LSI = pH - pH_s$	LSI> 0 (تمایل به ترسیب $CaCO_3$) LSI = 0 (عدم خورندگی و رسوب‌گذاری) LSI < 0 (تمایل به انحلال $CaCO_3$)	(نبی‌زاده نودهی و همکاران، ۱۳۹۵)، (You et al.، 2001)، (Clesceri، 2005)
	رایزنر (RSI[4])	$RSI = 2(pH_s) - pH$	RSI<6 (رسوب‌گذار) RSI<7>6 (خنثی) RSI>7 (خورنده)	(آذری و همکاران، ۱۳۹۴) (نبی‌زاده نودهی و همکاران، ۱۳۹۵) (Shelden and Pukorious،1984)،
صنعت	پوسته‌گذاری پوکوریوس (PSI[5])	$PSI = 2(pH_s) - pH_{eq}$	PSI<6 (رسوب‌گذار) PSI>6 (خورنده)	(آذری و همکاران، ۱۳۹۴)، (بدیعی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴) (Shelden and Pukorious،1984)
	لارسون-اسکلد (LSI[6])	$LSI = \frac{Cl^{-} + SO_4^{2-}}{HCO_3^{-} + CO_3^{2-}}$	LSI<0.8 (تشکیل فیلم محافظ بدون دخالت یون‌های Cl^{-} و SO_4^{2-}) LSI<1.2>0.8 (تشکیل فیلم محافظ با دخالت یون‌های Cl^{-} و SO_4^{2-}) LSI>1.2 (بروز خوردگی ناحیه‌ای)	(بدیعی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴) (Larson and Skold، 1958)،

pHs، همان pH اشباع آب از کلسیت یا کربنات کلسیم می‌باشد، pH_{eq} مقدار pH در نقطه تعادل کربنات کلسیم می‌باشد

کیفی نمونه‌های آب مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ ارائه شده‌است. مقادیر ارائه شده در جدول ۲، میانگین کل دوره آماری برای هر یک از پارامترها می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲ میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی اصلی آب در ایستگاه لزوره واقع در بالادست حوضه به نسبت کم و به سمت ایستگاه بصیرآباد در نزدیکی دریای خزر در حال افزایش می‌باشد. به‌طوری‌که غلظت کاتیون سدیم و آنیون کلراید به‌عنوان یون‌های شاخص شوری در ایستگاه پایین‌دست حوضه (بصیرآباد) به‌مراتب بیشتر از غلظت این دو یون در ایستگاه بالادست حوضه (لزوره) می‌باشد. علت آن می‌تواند به دلیل ورود فاضلاب‌های شهری، زه آب‌های کشاورزی، پیشروی آب‌شور دریای خزر به داخل رودخانه به دلیل شیب کم توپوگرافی و فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم در حوضه آبریز باشد. با توجه به نبود سیستم تصفیه فاضلاب در دشت گرگان، رودخانه‌ها مقصد نهایی فاضلاب‌های شهری و زه‌آب‌های کشاورزی هستند. ازآنجایی‌که میزان کاتیون سدیم از آنیون کلراید بیشتر می‌باشد منشأ سدیم می‌تواند، غیر از انحلال هالیت، شاید از تبادل یونی طبیعی کانی آلبیت[7] باشد. به‌بیان‌دیگر، فرآیند تبادل کاتیونی و جانشینی یون‌های دو ظرفیتی مانند منیزیم و کلسیم موجود در منابع آبی با سدیم موجود در رس‌ها که گسترش خوبی در پهنه دشت دارند، سبب آزاد شدن این یون در آب شده است (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۳۹۷).

واکنش (۱) $Mg^{2+} + 2Na^{+} - Caly \rightarrow Mg^{2+} - Caly + 2Na^{+}$

واکنش (۲) $Ca^{2+} + 2Na^{+} - Caly \rightarrow Ca^{2+} - Caly + 2Na^{+}$

1. Sodium adsorption ratio
2. Electrical conductivity
3. Langelier saturation index
4. Ryzner saturation index
5. Puckorius scaling index
6. Larson-skold index
7. Albite ($NaAlSi_3O_8$)

جدول۲. نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌ها از ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ (غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب meq/l، TDS برحسب mg/l، EC برحسب µmho/cm و دما برحسب °C)

Station	Statistical	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	TDS	EC	pH	Temp
لزوره	Average	۲/۶	۲/۳	۲/۱	۰/۰۵	۳/۷	۱/۳	۲/۱	۴۳۶/۷	۶۸۱/۲	۷/۸	۱۷/۳
	Min	۲/۱	۱/۸	۱/۶	۰/۰۴	۳/۲	۰/۸۵	۱/۷	۳۷۴/۴	۵۹۳/۲	۷/۶	۱۰/۹
	Max	۳	۲/۹	۲/۹	۰/۰۷	۴/۲	۱/۸	۲/۸	۵۰۷/۹	۸۰۰	۸/۱	۲۳/۸
	STDEV	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۰۱	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۴۵	۴۶/۷	۷۴/۴	۰/۱۸	۰/۷
	VAR	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۲۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۲۰	۲۱۸۴/۱	۵۵۳۸/۶	۰/۰۳	۰/۰۴
ارازکوسه	Average	۴	۴/۴	۸/۰۲	۰/۰۸	۵/۰۵	۴/۵	۶/۹	۹۷۴/۹	۱۵۷۴/۸	۷/۸	۱۷/۸۸
	Min	۲/۵	۳/۲	۵/۲	۰/۰۷	۴/۱	۲/۴	۴/۴	۷۰۵/۸	۱۱۰۳	۷/۶	۱۰/۷۵
	Max	۵/۹	۶/۷	۱۱/۵	۰/۱۱	۶/۹	۷	۹/۹	۱۳۸۱/۳	۲۱۷۰/۳	۸	۲۵/۰۳
	STDEV	۰/۹۱	۰/۹۲	۲	۰/۰۱	۰/۷۱	۱/۳	۱/۶	۱۹۵	۳۱۰/۸	۰/۱۳	۰/۷۵
	VAR	۰/۸	۰/۸	۳/۸	۰	۰/۵	۱/۷	۲/۷	۳۸۰۳۶/۱	۹۶۶۱۵	۰/۰۲	۰/۰۴۲
قزاقلی	Average	۶	۷/۹	۱۶/۹	۰/۱۳	۵	۱۰/۵	۱۵/۳	۱۷۹۹/۱	۲۹۴۰/۵	۷/۸	۱۷/۶۲
	Min	۳/۴	۳/۹	۵/۸	۰/۰۸	۴/۱	۳/۸	۵/۲	۸۱۳/۷	۱۳۱۵/۷	۷/۷	۱۰/۵۵
	Max	۹/۴	۱۳/۴	۳۴/۷	۰/۲۹	۶/۳	۲۲/۷	۲۸/۹	۳۳۰۵/۵	۵۳۵۵	۷/۹	۲۴/۶۹
	STDEV	۲/۲	۳۳	۸/۴	۰/۰۶	۰/۷	۵/۶	۷/۲	۷۴۶/۲	۱۲۳۲/۴	۰/۰۶	۰/۷۱
	VAR	۴/۶	۸/۹	۷۰/۱	۰	۰/۵	۳۱/۶	۵۲/۵	۵۵۶۸۶۴	۱۵۱۸۸۳۱	۰	۰/۰۳۸
بصیرآباد	Average	۹/۸	۱۸/۳	۳۴/۸	۰/۱	۴/۸	۲۵/۳	۳۳	۳۶۸۲	۵۸۴۸/۵	۷/۸	۱۶/۲۵
	Min	۵/۷	۸/۱	۱۰/۸	۰/۱	۴/۳	۱۰/۷	۹/۶	۱۳۳۷/۷	۲۳۵۵/۱	۷/۶	۹/۶۹
	Max	۱۹/۶	۳۹/۱	۷۰/۴	۰/۲	۵/۹	۵۸/۳	۶۵/۸	۶۹۷۱/۱	۱۱۷۴۷/۵	۸	۲۲/۸۱
	STDEV	۴/۴	۱۰/۳	۲۰/۸	۰	۰/۵	۱۴/۵	۲۱	۲۰۰۱/۹	۳۱۲۰/۳	۰/۱	۲/۲
	VAR	۱۹/۳	۱۰۵/۹	۴۳۳	۰	۰/۲	۲۰۹/۷	۴۳۹	۴۰۰۷۶۵۷	۹۷۳۶۰۵۰	۰	۰/۱۳

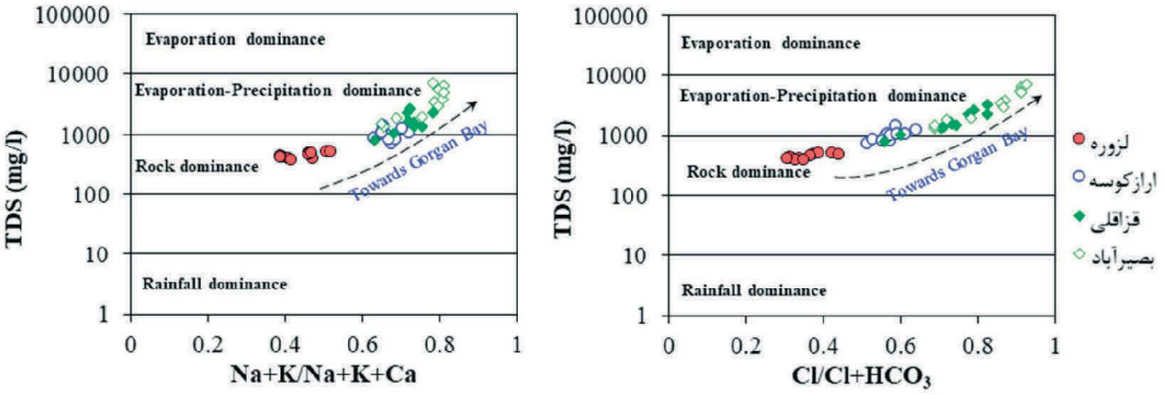
کاهش میزان کلسیم در نمونه‌های آبی می‌تواند به دلیل تبادل یونی مذکور یا رسوب کلسیت باشد که احتمال مورد دوم را می‌توان در بخش مربوط به اندیس‌های اشباع بررسی کرد. بررسی میزان سولفات نسبت به بی‌کربنات در آب ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌تواند نشان‌دهنده نوع آب در ایستگاه‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه میزان بی‌کربنات نسبت به سولفات در آب ایستگاه‌های لزوره و ارازکوسه بیشتر باشد نشان‌دهنده نوع بی‌کربناته آب می‌باشد. درحالی‌که با نزدیک شدن به دریای خزر، به دلیل پیشروی آب‌شور، آبشویی کودها و سموم کشاورزی و ورود فاضلاب‌های خانگی به منابع آبی میزان سولفات نسبت به بی‌کربنات افزایش یافته و نوع آب از بی‌کربناته به سولفاته تغییر می‌یابد. کمترین میزان TDS نمونه‌ها در ایستگاه لزوره در حدود ۳۷۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که این پارامتر در ایستگاه بصیرآباد به بیشترین مقدار خود (۶۹۷۱ میلی‌گرم بر لیتر) می‌رسد. با توجه به میزان غلظت بالای منیزیم نسبت به کلسیم می‌توان دریافت که سختی نمونه‌های آب بیشتر تحت تأثیر کاتیون منیزیم می‌باشد. همچنین با توجه به نزدیک شدن جریان آب به سمت دریای خزر میزان EC بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است که این مورد نیز نشان‌دهنده افزایش غلظت یون‌های محلول در آب می‌باشد. پارامتر pH در تمام نمونه‌های آب نیز در محدوده قلیایی می‌باشد.

مکانیسم کنترل‌کننده شیمی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه

گیبس مدلی را برای بررسی مکانیسم‌های کنترل‌کننده شیمی آب‌های سطحی و شناخت تکامل آنها، بر مبنای پارامترهای TDS، $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ و $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$ با استفاده از جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌های نقاط مختلف دنیا ارائه کرد. نمودارهای گیبس در بسیاری از موارد جهت تعیین تأثیر فرآیندهای مؤثر نظیر بارش، تبخیر و هوازدگی سنگ بستر بر ترکیب شیمیایی آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gibbs، 1970).

براساس تجمع، توزیع و جهت یافتگی نمونه‌ها بر روی نمودار گیبس (شکل ۲)، با توجه به نمودار هوازدگی شیمیایی کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، تبخیر و تا حدودی هجوم

آب‌شور دریای خزر به داخل رودخانه گرگانرود، عوامل اصلی کنترل‌کننده شـــیمی آب رودخانه می‌باشند. به‌طورکلی در ایستگاه لزوره عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب، واکنش آب-ســـنگ می‌باشـــد. درحالی‌که در راســـتای حرکت آب رودخانه گرگانرود به ســـمت دریای خزر و احتمال پیشروی آب‌شـــور در ایســـتگاه بصیرآباد، عواملی نظیر نفوذ آب‌شور، تبخیر و رســـوب‌گذاری برخی از املاح غالب می‌شوند. البته با توجه به عبور این رودخانه از زمین‌های کشاورزی و حاشیه برخی از شهرها و آبادی‌های مهم استان گلستان، نباید نقش پساب‌های شهری و کشاورزی را در افزایش میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب رودخانه نادیده گرفت.



شکل ۲. نمودار گیبس رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه

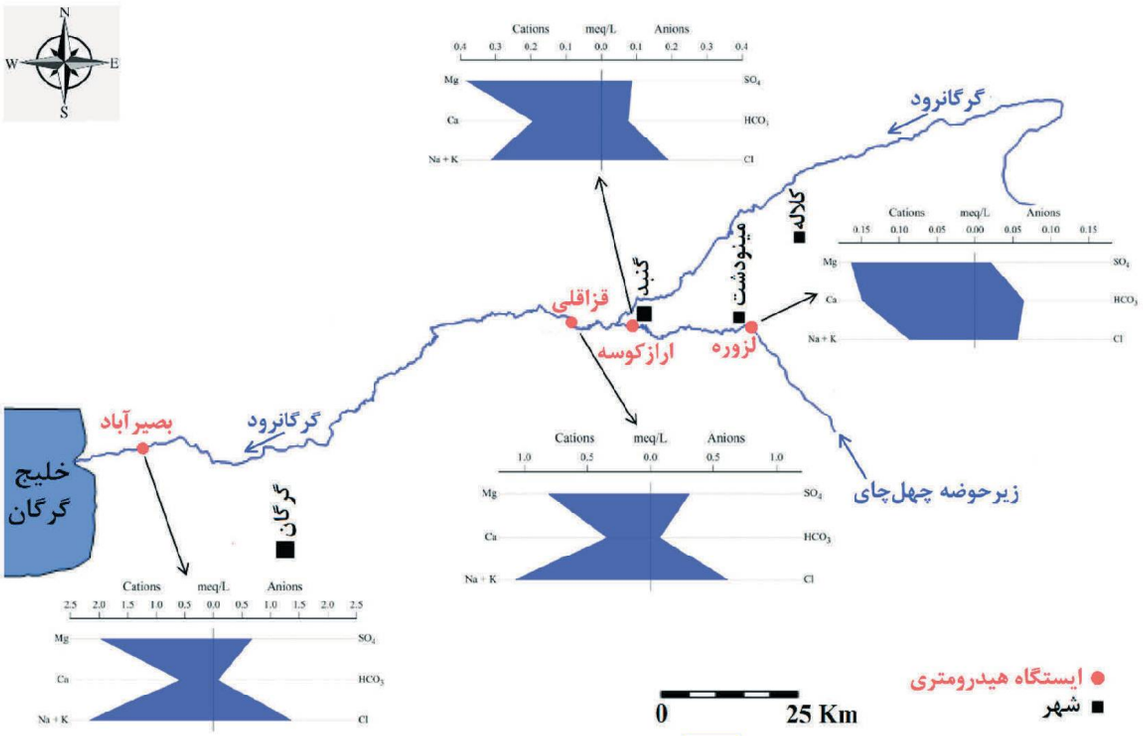
تیپ و رخســـاره آب ایســـتگاه‌های مورد مطالعه

بررســـی تیپ و رخســـاره نمونه‌های آبی از متداول‌ترین روش‌های مطالعه هیدروشـــیمیایی منابع آبی است. نمودار اســـتیف یکی از روش‌های سریع تعیین تیپ آب می‌باشد. با رسم نمودار استیف علاوه بر تشخیص سریع تیپ آب، با توجه به اندازه و شـــباهت نواحی رسم شده در نمودار، می‌توان به منشأ نمونه‌های آبی پی برد. نمودارهای استیف ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود در شکل ۳ نشان داده شده اســـت. براین اســـاس تیپ غالب آب رودخانـــه گرگانرود در ایستگاه بالادست (لزوره) بی‌کربنات منیزیک می‌باشد، که در جهت جریان با غالب شـــدن آنیون کلرید و کاتیون سدیم به کلرید سدیک تغییر می‌کند.

به‌طورکلی رخســـاره‌های هیدروشـــیمیایی منابع آبی، تعیین‌کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشـــیمی متفاوت‌اند (Laxmankumar et al., 2019). براساس تجمع نمونه‌ها در نمودار پایپر (شـــکل ۴-a)، رخساره آب رودخانه گرگانرود در بالادســـت از رخساره ترکیبی[1] در ایستگاه لزوره تا رخساره لب‌شور[2] در نزدیکی دریای خزر متغیر می‌باشد (Todd and Mays, 2005). در اصل کیفیت آب در رخســـاره ترکیبی، نسبت به رخســـاره شیرین پائین‌تر اســـت و از نظر سختی جزو آب‌های ســـخت و مقدار بی‌کربنات آن مشابه با آب‌های شـــیرین می‌باشـــد. در این آب‌ها غلظت کلرید نســـبت به آب‌های شـــیرین افزایش می‌یابد. در آب‌های شورمزه مقدار کلرید افزایش قابل توجه‌ای دارد. همچنین از سختی بالائی (بیش از ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحســـب بی‌کربنات کلسیم) برخوردار هستند. به‌طورکلی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودار پایپر نشان از تکامل سریع هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه گرگانرود دارد.

برای تفســـیر بهتر تیپ و تکامل هیدروژئوشیمیایی آب ایســـتگاه‌های مورد مطالعه از نمودار دوروف استفاده شده اســـت (شـــکل ۴-b). با توجه به بخش مربع شکل نمودار دروو، آب پس از گذر از تیپ بی‌کربناته تمایل به رســـیدن به بلوغ کامل یعنی تیپ کلروره سدیک دارد. بخش‌های مثلثی شکل این نمودار نیز این نکته را تایید می‌کنند. میزان TDS

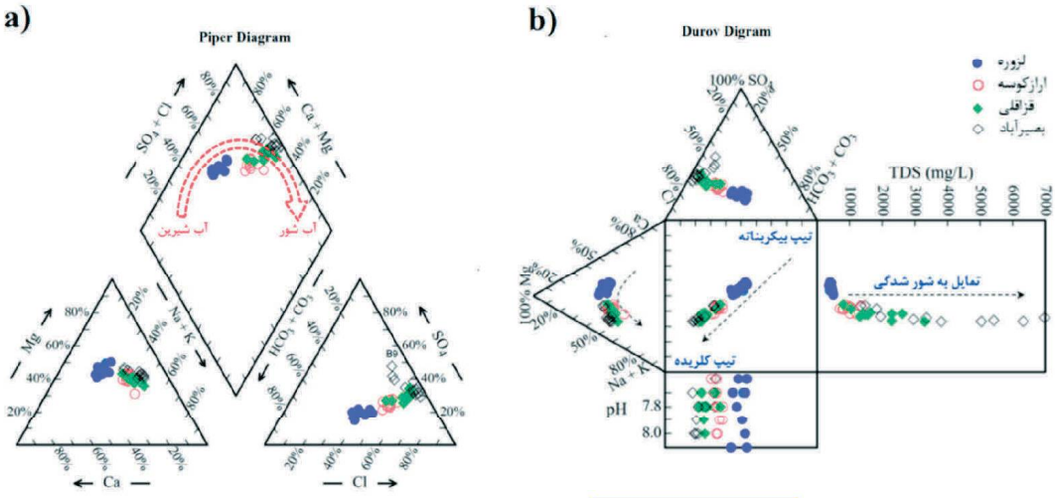
1. Blended
2. Brackish



شکل ۳. روند تغییرات تیپ آب (نمودار استیف) در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر روی رودخانه گرگانرود

نمونه‌های آبی در جهت حرکت جریان آب از ایستگاه لزوره به سمت ایستگاه بصیرآباد روند افزایشی از خود نشان می‌دهند. این نکته نشـــان‌دهنده افزایش غلظـــت یون‌های موجود در آب و در نهایت شورشـــدگی آب رودخانه در مسیر جریان آب می‌باشـــد. به‌طوری‌که میزان TDS از حدود ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (رخســـاره شیرین) تا در حدود ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (رخساره شور مزه) تغییر می‌کند. میزان pH نمونه‌های آب ایســـتگاه‌های مورد مطالعه نیز روند صعودی داشته و تمایل به قلیایی شـــدن را از خودشان نشان می‌دهد. که این نتایج با توجه به افزایش میزان املاح و شورشـــدن آب رودخانه در مسیر حرکت به سمت دریای خزر بدیهی است.

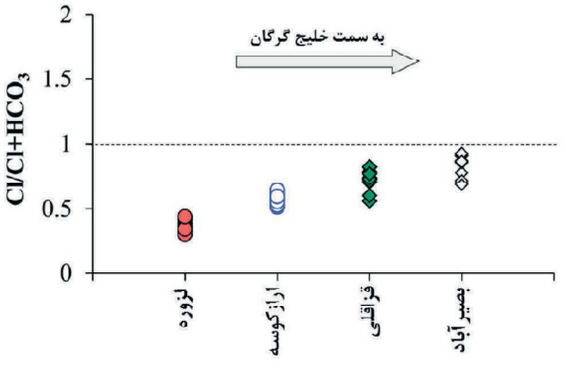
به‌طورکلـــی در این نمودار دو جهـــت مجزا برای تکامل هیدروژئوشـــیمیایی نمونه‌های آب وجود دارد. اگرچه چرخه تکامل کاتیونی نسبت به چرخه تکامل آنیونی تبعیت بیشتری از سیکل کلی تکامل هیدروژئوشیمیایی در طول مسیر حرکت جریان آب رودخانه گرگانرود از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمودارهای a) پایپر، b) دوروف رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه

تعیین منشأ املاح و رسوبات با استفاده از روش شاخص رول

شـــاخص رول بر پایه نسبت غلظت یون کلر به مجموع یون‌های بی‌کربنات و کربنات استوار است. یون‌های بی‌کربنات و کربنات به‌طـــور معمول فراوان‌ترین یون‌هـــای موجود در آب‌های ســـطحی و زیرزمینی هستند و در آب دریا به مقدار جزئـــی وجود دارند، در مقابل یون کلر در آب‌های شـــور و یا آب دریا بیش از یون‌های دیگر می‌باشـــد. این اندیس معیار مناسبی برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب به‌وسیله آب دریا یا آب‌های شور فسیلی است (Hounslow، 1995؛ Faryabi et al.، 2010). با توجه به شـــکل ۵، مقدار این شاخص در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از یک می‌باشد. چرا که علیرغم بـــالا بودن یون کلر در آب رودخانه، هنوز غلظت یون بیکربنـــات در آب قابل ملاحظه می‌باشـــد. با توجه به حرکت جریان آب به ســـمت دریای خزر میزان این اندیس رو به افزایش و نزدیک به یک می‌باشد. از جمله عوامل مهم در افزایش میزان شاخص رول می‌تواند به نفوذ آب‌ها شور دریا در رودخانه گرگانرود، فاضلاب‌های شهری و زه‌آب‌های کشاورزی به داخل آب رودخانه گرگانرود اشاره کرد.



شکل ۵. نمودار شاخص رول رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شاخص اشباع (SI[1])

محاسبه شـــاخص اشـــباع کانی‌های مختلف به‌منظور توصیف تکامل شیمیایی آب صورت می‌گیرد (Hounslow، 1995). شـــاخص اشباع‌شـــدگی به‌صورت رابطـــه زیر بیان می‌شود:

معادله ۱

$$SI = \log \frac{IAP}{K_t}$$

در رابطه بالا IAP میـــزان فعالیت کانی مورد نظر و Kt ثابت انحلال‌پذیری است.

اگر مقدار SI برابر صفر باشد، آب به‌طور دقیق فوق اشباع خواهد بود. در صورت مثبت بودن SI، آب نســـبت به کانی موردنظر فوق اشباع خواهد و تمایل به ته‌نشینی آن کانی را دارد. درصورتی‌که مقدار SI منفی باشـــد آب نسبت به کانی مورد نظر تحت اشباع بوده و تمایل به انحلال آن کانی را دارد (Parkhurts and Appelo، 1999).

با توجه به شکل ۶ میزان شاخص‌های اشباع دولومیت و کلســـیت در نمونه‌ها مثبت می‌باشد. ازاین‌رو امکان پدیده رسوب‌گذاری کانی‌های مذکور در آب رودخانه گرگانرود وجود دارد. به‌طورکلی میزان شاخص اشباع دولومیت نسبت به دو کانی کربناته دیگر بیشتر می‌باشد که علت آن وجود کانی‌های دولومیتی در تشـــکیلات منطقه می‌باشد. در مقابل مقادیر شاخص‌های اشـــباع ژیپس، هالیت و انیدریت نسبت به آب رودخانه گرگانرود در کل مسیر تحت اشباع است (شکل ۶). علـــت این اثر فراوانی به نســـبت پایین کانی‌های ســـولفاته و کلروره در ســـازندهای منطقه می‌باشـــد. با توجه به شکل ۶ میزان شـــاخص‌های اشـــباع ژیپس، هالیت و انیدریت از ایســـتگاه لزوره به ســـمت دریای خزر افزایش پیدا کرده و به میزان تعادل نزدیک‌تر می‌شود. این اثر با افزایش میزان غلظت برخی از یون‌ها نظیر کلراید، سولفات، سدیم که در بالا بحث شد همخوانی دارد. افزایش یون‌های مذکور می‌تواند به دلیل فعالیت‌های کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و نزدیک شدن جریان آب به آب‌شور دریا (مصب رودخانه گرگانرود) باشد.

شـــکل ۶. نمودار میزان شـــاخص‌های اشـــباع رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه

1. Saturation index

کیفیت آب

کیفیت آب شرب

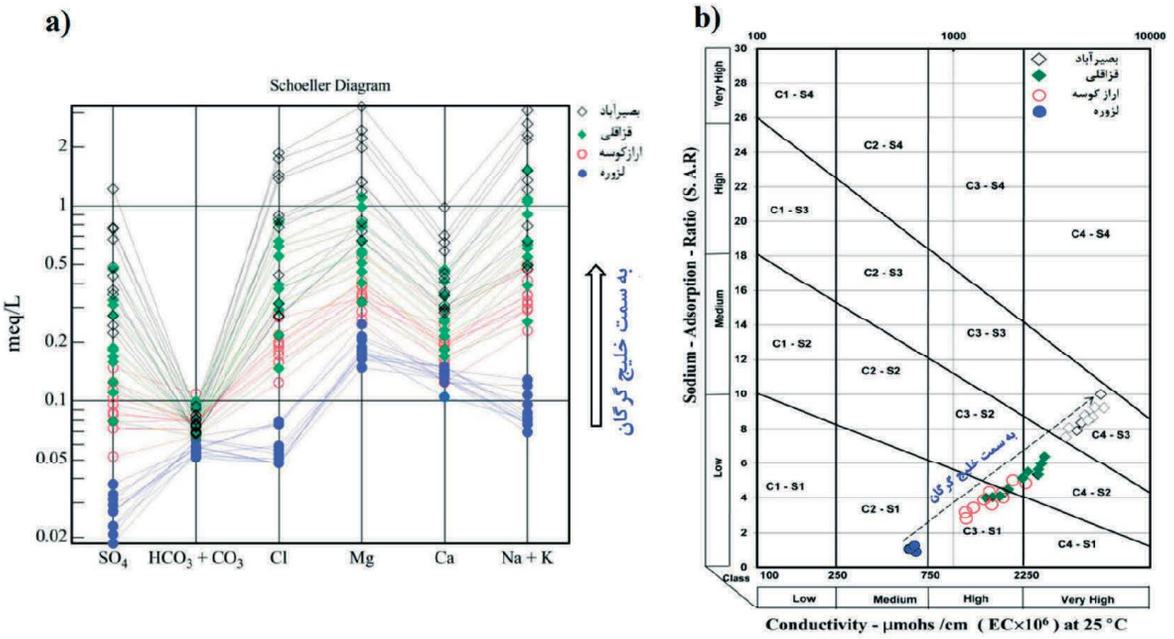
نمودار شولر یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها برای بررسی کیفیت آب از نظر شرب می‌باشد. این نمودار بر پایه غلظت یون‌های اصلی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم استوار است و برای نمایش اختلاف شیمیایی نمونه‌ها در یک نمودار به کار می‌رود. براساس نمودار شولر کیفیت آب‌ها از نظر شرب به شش گروه شامل خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، بطور کامل نامناسب و غیرقابل شرب تقسیم می‌شوند (Furkansener and Baba, 2019). با توجه به نمودار شولر، کیفیت آب ایستگاه‌های مورد مطالعه در گروه خوب (ایستگاه لزوره)، قابل قبول (ایستگاه اراز کوسه) و نامناسب (ایستگاه قزاقلی و بصیرآباد) قرار می‌گیرد (شکل a-۷). این در حالی است که میزان غلظت یون‌های موجود در آب بخصوص منیزیم و سدیم با توجه به حرکت جریان آب از ایستگاه لزوره به سمت ایستگاه بصیرآباد افزایش می‌یابد. این موضوع نشان‌دهنده پیشروی آب‌شور دریا و افزایش فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. اما برای قضاوت بهتر در مورد قابل شرب بودن آب ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌بایست پارامترهای شیمیایی بیشتری(نظیر نیترات، فلورید) به همراه پارامترهای میکروبی بررسی شود. زیرا نمی‌توان تنها با داشتن غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی یک منبع آبی، درمورد قابلیت شرب آن تصمیم‌گیری کرد.

کیفیت آب آبیاری

به‌طورکلی کیفیت آب برای آبیاری به نسبت یون سدیم به یون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم (نسبت جذب سدیم) و همچنین مقدار کل نمک محلول یا هدایت الکتریکی در آب بستگی دارد (Pazand et al., 2018). نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص موثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک و همچنین خطر قلیایی شدن خاک است (Subramani et al., 2005). هدایت الکتریکی (EC) یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تاثیر گذار باشد (Kumar et al., 2007). یک روش سریع برای ارزیابی هم‌زمان هر دو شاخص استفاده از نمودار ویلکوکس می‌باشد. با توجه به نمودار ویلکوکس (شکل b-۷)، تمام نمونه‌های آب در ایستگاه لزوره و نیمی از نمونه‌های آب در ایستگاه‌های قزاقلی و اراز کوسه در گروه S1 قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده وضعیت مناسب آب از نظر جذب سدیم و کیفیت مناسب آب برای کشاورزی می‌باشد. همچنین نیمی دیگر از نمونه‌های آب در ایستگاه‌های قزاقلی و اراز کوسه در گروه S_2 قرار می‌گیرد که دارای خطر قلیاییت متوسط بوده و جهت کشاورزی مناسب است. درحالی‌که تمام نمونه‌های آب ایستگاه بصیرآباد در گروه S_3 قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده خطر قلیاییت زیاد بوده و قلیاییت خاک را به حد زیان‌آوری می‌رساند. براساس شکل b-۷، آب ایستگاه لزوره در رده C_2S_1، ایستگاه‌های قزاقلی و اراز کوسه در رده‌های C_4S_2، C_3S_2، C_3S_1 و ایستگاه بصیرآباد در رده C_4S_3 قرار می‌گیرد. با توجه به دلایل ذکر شده در بخش هیدروشیمی مبنی بر تکامل سریع هیدروشیمیایی آب، بدتر شدن کیفیت آب در بخش کشاورزی در ایستگاه پایین دست (بصیرآباد)، بدیهی به نظر می‌رسد.

کیفیت آب صنعت

در اصل برای بررسی کیفیت آب در بخش صنعت، دو ویژگی خورندگی و رسوب‌گذاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این دو ویژگی را می‌توان توسط شاخص‌های فراوانی نظیر لانژلیه (LSI)، رایزنر (RSI)، پوکوریوس (PSI) و لارسون-اسکلد (L-SI) محاسبه کرد. در این پژوهش مقادیر شاخص‌های مذکور آب در بخش صنعت برای رودخانه گرگانرود محاسبه شده و نتایج آنها در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج شاخص لانژلیه، آب در بالادست (ایستگاه لزوره) خورنده بوده و با حرکت جریان آب به سمت دریای خزر از خاصیت خورندگی آن کاسته و تمایل به رسوب‌گذاری دارد. نتایج شاخص رایزنر بیانگر این است که، آب در ایستگاه لزوره خورنده بوده و قابلیت انحلال کربنات کلسیم را دارد و با حرکت جریان آب رودخانه گرگانرود به سمت پایین‌دست (ایستگاه بصیرآباد) کیفیت آب به سمت رسوب‌گذاری میل می‌کند. میانگین شاخص پوکوریوس



شکل ۷. نمودارهای a) شولر، b) ویلکوکس رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در طول دوره آماری مورد مطالعه نیز همانند شاخص‌های رایزنر و لانژلیه، در بالادست (ایستگاه لزوره) خورنده بوده و با توجه به مسیر حرکت آب به سمت دریای خزر (آب‌شور) از خاصیت خورندگی آن کاسته می‌شود. با توجه به نتایج شاخص لارسون-اسکلد، کلراید و سولفات موجود در آب ایستگاه لزوره ممکن است با تشکیل لایه‌های طبیعی مواجه شوند. اما میزان این شاخص در سایر ایستگاه‌ها نشان‌دهنده خوردگی می‌باشد.

یون‌هایی مثل کربنات، قادرند با تشکیل رسوب کربنات کلسیم، سرعت خوردگی را کاهش دهند. دراین‌بین تأثیر میزان TDS در رسوب‌گذاری از دیگر عوامل ایجاد رسوب بیشتر می‌باشد. با توجه به افزایش میزان TDS از ایستگاه لزوره به سمت دریای خزر احتمال رسوب‌گذاری بدیهی به نظر می‌رسد. رسوب‌گذاری در بستر لوله‌های انتقال آب به‌عنوان عامل منفی در کاهش سطح مقطع عمل می‌کند. به‌طورکلی خاصیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه خورنده می‌باشد اما با توجه به مسیر حرکت آب رودخانه گرگانرود از خاصیت خورندگی آن کاسته می‌شود.

جدول ۳. نتایج شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و لارسون-اسکلد در آب ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	L-SI	PSI	RSI	LSI
لزوره	۰/۹۳	۱۳/۱۵	۱۰/۷۵	-۱/۴۹
ارازکوسه	۲/۲۷	۱۲/۳۹	۱۰/۱۸	-۱/۲
قزاقلی	۵/۱۵	۱۲/۰۹	۹/۸۷	-۱/۰۴
بصیرآباد	۱۲/۲۴	۱۱/۸۱	۹/۵۷	-۰/۸۹

آنالیزی آماری

تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی

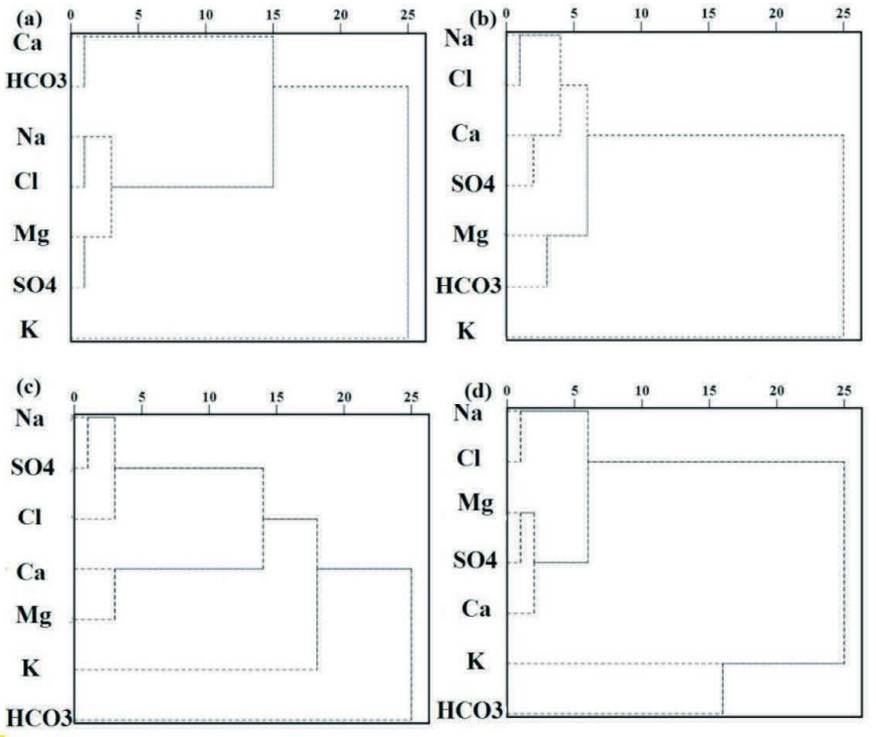
مطابق با جدول ۴ مقدار P-value آزمون F برای پارامتر pH کمتر از ۰/۹۸۹ محاسبه شده که نشان می‌دهد تغییرات این پارامتر در طول مسیر گرگانرود از سرشاخه تا مصب دارای نوسانات جزیی بوده و اختلاف آماری در ایستگاه‌های مختلف مشاهده نشد. در سایر پارامترهای مورد بررسی با توجه به اینکه مقدار P-value آزمون F کوچک‌تر از ۰/۰۵ محاسبه شده، نشان می‌دهد که اختلاف آماری بین حداقل دو ایستگاه از چهار ایستگاه مورد بررسی وجود دارد.

پارامترهای Mg و SO_4 بیشـــترین تغییرات را از سرشاخه تا مصب دارا بوده به‌طوری‌که بین مقادیر آنها در تمام ایستگاه‌ها اختلاف آماری مشـــاهده شد. پارامترهای TDS، Cl، Na و EC نیـــز دارای تغییرات زیاد بوده و بین مقادیر آنها در تمام ایســـتگاه‌ها (به‌جز بصیرآباد-قزاقلی) اختلاف آماری مشاهده شد. همچنین نتایج این بررسی نشان داد بیشترین تغییرات کیفی آب در دو ایستگاه متوالی در بخش سرشاخه گرگانرود مابین ایستگاه‌های لزوره و ارازکوسه به وقوع پیوسته و باعث ایجاد اختلاف آماری بین اکثر پارامترهای مورد بررسی شده است درحالی‌که کمترین تغییرات در بخش انتهایی حوزه آبریز گرگانرود مابین ایستگاه‌های بصیرآباد و قزاقلی مشاهده شد. از ایســـتگاه قزاقلی که در بخش میانـــی حوزه آبریز گرگانرود واقع شـــده تا خروجی گرگانرود در نزدیکی ایستگاه بصیرآباد تغییرات فاحش و معنی‌داری بیـــن پارامترهای کیفی مورد بررسی مشاهده نشد.

جدول ۴. نتایج آزمون F و گیمز-هاول پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

پارامتر	P-value	نتایج آزمون گیمز-هاول					
	آزمون F	ارازکوسه-بصیرآباد	ارازکوسه-لزوره	ارازکوسه-قزاقلی	بصیرآباد-لزوره	بصیرآباد-قزاقلی	لزوره-قزاقلی
Ca	۰/۰۰۰	*	*	---	*	---	*
Mg	۰/۰۰۰	*	*	*	*	*	*
Na	۰/۰۰۰	*	*	*	*	---	*
K	۰/۰۰۰	*	*	---	*	---	*
HCO3	۰/۰۰۰	---	*	---	*	---	*
SO4	۰/۰۰۰	*	*	*	*	*	*
Cl	۰/۰۰۰	*	*	*	*	---	*
TDS	۰/۰۰۰	*	*	*	*	---	*
EC	۰/۰۰۰	*	*	*	*	---	*
pH	۰/۹۸۹	---	---	---	---	---	---

*وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی --- نبود اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد بررسی



شکل ۸. دندوگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر اصلی در ایستگاه‌های، a) لزوره، b) ارازکوسه، c) قزاقلی، d) بصیرآباد

تحلیل خوشه‌ای

برای خوشـــه‌بندی عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شد، تعداد داده‌های آماری مورد استفاده برای رسم این دندوگرام ۱۰ مورد می‌باشد که هر یک از این نمونه‌ها برابر با میانگین سالیانه پارامترهای مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این بررســـی به‌صورت گرافیکی در شکل ۸ نشان داده شده است. براساس دندوگرام رسم شده در ایستگاه لزوره (شکل ۸-a) و شباهت پارامترها به دو خوشه کلی تقسیم می‌شوند. خوشـــه اول شامل کلسیم و بی‌کربنات است که این دو یون بیشترین شباهت را در بین پارامترها دارند. خوشه دوم شامل یون‌های سدیم، کلراید، منیزیم و سولفات می‌باشد که همه از یون‌های مربوط به کانی‌های تبخیری تشـــکیل شده‌است. بـــا توجه به غالب بودن ســـازندهای کربناته در حوضه مورد مطالعه، خوشـــه اول را می‌توان به انحلال تشکیلات آهکی موجود در منطقه مربوط دانست. درحالی‌که یون‌های موجود در خوشه دوم را می‌توان به انحلال سازندهای تبخیری، مارن و رسی مربوط دانست.

به‌طورکلی، براساس شباهت بین پارامترهای شیمیایی اصلی، دو خوشـــه در ایســـتگاه ارازکوســـه قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۸-b). خوشه اول به دلیل ماهیت یون‌های آن، ناشـــی از انحلال سازندهای گچی-نمکی و رسی و شاید ورود پســـاب‌های تصفیه نشده شهری، روستایی و کشاورزی به داخل رودخانه گرگانرود می‌باشد. این خوشه را می‌توان به دلیل شباهت بالای یون‌های سدیم-کلراید و سولفات-کلسیم می‌توان به دو زیر خوشه تقسیم نمود. اما خوشه دوم با توجه به همبستگی بالای بین یون‌های بیکربنات و منیزیم ناشی از انحلال سنگ‌های آهکی-دولومیتی است که از پراکندگی به نسبت بالایی در بخش‌های بالادست حوضه مورد مطالعه برخوردار هستند.

بـــا توجه بـــه میزان شـــباهت بین عناصـــر اصلی در ایســـتگاه قزاقلی و شـــکل دندوگرام این ایستگاه، ترکیبی بودن رخســـاره آب به درستی مشهود است (شکل ۸-c). اگرچه با توجه به شـــباهت بالای بین یون‌های تبخیری در این دندوگرام و فراوانی به‌نســـبت کم یون بیکربنات، شور شـــدن آب رودخانه گرگانرود به دلیل نفوذ آب‌شور دریا و ورود پساب‌های تصفیه نشده شهری، روستایی و کشاورزی به داخل آن محتمل به نظر می‌رســـد. براساس دندوگرام ایســـتگاه بصیرآباد، عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی آب در این ایستگاه مشابه ایســـتگاه قزاقلی است و به دو خوشه تقسیم‌بندی می‌شود. در خوشه اول همبستگی بالایی بین سدیم-کلراید و کلسیم-ســـولفات دیده می‌شود که بیانگر انحـــلال کانی‌های هالیت و ژیپس در آب اســـت (شـــکل ۸-d). منشأ خوشه اول را می‌توان به پیشروی آب‌شور دریا مربوط دانست. در خوشه دوم پتاسیم و بی‌کربنات شباهت به نسبت بالایی از خود نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر جهت بررســـی تکامل هیدروشـــیمیایی و کاهـــش کیفیـــت آب رودخانه گرگانرود به‌عنـــوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های اســـتان گلستان انجام شد. تغییرات میانگین غلظت یون‌های اصلی آب رودخانه گرگانرود نشان از افزایش مقادیر آنها به‌خصوص غالب شـــدن آنیون کلراید و کاتیون ســـدیم در طول مسیر جریان به سمت دریای خزر دارد. در کل دشـــت گرگان با توجه به نبود سیستم تصفیه فاضـــلاب، رودخانه‌ها مقصد نهایی فاضلاب‌های شـــهری و زه‌آب‌های کشاورزی هســـتند. ازآنجایی‌که یون‌های سدیم و کلر از ترکیبات اصلی فاضلاب‌های شـــهری هستند بنابراین افزایش آنها در طول مســـیر رودخانه بدیهی به نظر می‌رسد. علاوه براین شیب سطح توپوگرافی در پهنه وسیعی از دشت بسیار پایین و در برخی نقاط دشت منفی می‌باشد. این مورد در سیل فرودین ۱۳۹۸ بسیار مشهود بود به‌طوری‌که مانع از زهکشی آب‌های سطحی و رواناب‌ها به سمت دریای خزر شد. بنابراین شرایط توپوگرافی منطقه امکان نفوذ آب از دریای خزر گـــرگان به داخل رودخانه گرگانرود را می‌دهد. از دیگر دلایل افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر نفوذ آب‌شور دریای خزر به داخل رودخانه گرگانرود می‌باشد. وجود برخی از ماهیان و موجودات کف زی (نظیر بنتوزها) شورپسند در بخش‌های انتهایی رودخانه دلیلی بر این ادعا می‌باشد.

همچنین بیشترین تغییرات هیدروشیمیایی آب در بخش سرشاخه گرگانرود مابین ایستگاه‌های لزوره (ایستگاه خروجی

کوهســـتان) و ارازکوسه (اولین ایســـتگاه واقع در دشت) به وقوع پیوسته است. در مقابل از ایستگاه قزاقلی که در بخش میانی حوزه آبریز گرگانرود واقع شده تا خروجی گرگانرود در نزدیکی ایستگاه بصیرآباد تغییرات فاحش و معنی‌داری بین پارامترهای کیفی مورد بررسی مشاهده نشد.

براساس نتایج هیدروشیمیایی واکنش آب-سنگ عامل اصلی کنترل‌کننده شـــیمی آب در بخش بالادســـت حوضه (ایستگاه لزوره) می‌باشـــد. درحالی‌که در جهت حرکت آب رودخانه گرگانرود به سمت دریای خزر عواملی نظیر تبخیر، رســـوب‌گذاری و نفوذ آب‌شـــور نیز نقش دارند. ازاین‌رو تیپ غالب آب این رودخانه در ایستگاه بالادست (لزوره) بی‌کربنات منیزیک می‌باشـــد. با توجـــه به نزدیکی ایســـتگاه لزوره به سرچشمه و همچنین فراوانی سنگ‌های کربناته به‌خصوص دولومیتی بدیهی به نظر می‌رسد. اما به‌تدریج با غالب شدن آنیون کلرید و کاتیون سدیم در جهت جریان به کلروره سدیک تغییر می‌کند.

تجمـــع نمونه‌ها در دو نمودار پایپر و درووِ نیز نشـــان از تمایل آب رودخانـــه گرگانرود برای رســـیدن به بلوغ کامل یعنی تیپ کلروره ســـدیک دارد. به‌طورکلـــی روند تغییرات نمونه‌ها در نمودارهای پایپر و درووِ نشـــان از تکامل ســـریع هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب رودخانه گرگانرود در مسیر حرکت به سمت دریای خزر دارد.

تاثیر تکامل هیدروشیمیایی را به‌راحتی می‌توان در بخش تغییـــر کیفیت آب رودخانه گرگانرود از بالادســـت حوضه تا دریای خزر مشاهده نمود. به‌طوری‌که کیفیت آب برای شرب بر اساس نمودار شولر، از خوب تا نامناسب تغییر می‌کند. این نتایج با تغییرات میزان غلظت یون‌های اصلی آب همخوانی کامل دارد. همچنین براساس نمودار ویلکوکس آب ایستگاه لزوره برای اســـتفاده در بخش کشـــاورزی کم‌وبیش مناسب می‌باشـــد، اما در طول جریان با افزایش غلظت یون سدیم و پارامتر شوری به‌تدریج غیرقابل استفاده در بخش کشاورزی می‌شود. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های استفاده شده در بخش صنعت (لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و لارسون-اسکلد) آب در ایســـتگاه‌های مورد مطالعـــه دارای خاصیت خورنده می‌باشـــد اما در طول مسیر حرکت آب رودخانه گرگانرود به سمت دریای خزر از خاصیت خورندگی آن کاسته می‌شود.

بـــا توجه به نتایج این پژوهش، عبور رودخانه گرگانرود از زمین‌های کشـــاورزی و حاشیه برخی از شهرها و آبادی‌های مهم استان گلســـتان و درپی آن ورود فاضلاب‌های شهری، زه آب‌های کشاورزی به رودخانه، رسوبات سیلتی-رسی غیر متراکم در دشت و همچنین پیشـــروی آب شور دریای خزر به داخل رودخانه به دلیل شـــیب کـــم توپوگرافی از عوامل مهم تکامل هیدروشـــیمیایی و کاهش کیفیت آب رودخانه گرگانرود می‌باشد. اگرچه بیشترین تغییرات در هر دو بخش هیدروشـــیمیایی و کیفی را می‌توان زمانی مشاهده کرد که رودخانه گرگانرود جبهه کوهســـتان را تـــرک می‌کند و وارد دشت گرگان می‌شود.

منابع

- آذری، ع.، ناظمی، س.، کاکاوندی، ب. و رستگار، ا. ۱۳۹۴. بررسی پتانســـیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شرب شهر شـــاهرود با استفاده از شاخص‌های پایداری در ســـال ۱۳۹۲، مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، ۲۲، ۶، ۹۵۴-۹۴۴.
- بدیعی‌نژاد، ا.، حیدری، م.ر و فرزادکیا، م. ۱۳۹۴. بررسی پتانســـیل خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی جنوب شهر شیراز. مجله ره‌آورد سلامت دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران. ۱،۱، ۵۱-۶۰.
- روحانی، ح.، زکی، ا.، کاشـــانی، م. و فتح‌آبادی، ا. ۱۳۹۴. ارزیابـــی پایداری تغییرات کیفیت شـــیمیایی آب سطحی در رودخانهٔ گرگانرود. مجله اکوهیدرولوژی، ۲، ۲، ۱۲۹-۱۴۰.
- روســـتائی، م.، آقاتابای، م.، رقیمی، م.، نعمتی، م. و رحیمی‌چاکدل، ع. ۱۳۹۳. بررسی زمین‌ساخت فعال دامنه شـــمالی البرز خاوری با استفاده از نشانه‌های زمین ریختی در حوضـــه آبریز گـــرگان رود . فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۹، ۴، ۴۳-۵۶.
- قره‌محمودلو، م.، حشـــمت‌پور، ع.، جندقی، ن.، زارع، ع. و مهرابی، ح. ۱۳۹۷. بررســـی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان دشـــت سیدان-فاروق، استان فارس. مجله اکوهیدرولوژی، ۵، ۴، ۱۲۴۱-۱۲۵۳.
- نبی‌زاده نودهی، ر.، مصداقی‌نیا، ع.، ناصری، س.، هادی، م.، سلیمانی، ح. و بهمنی، پ. ۱۳۹۵. تحلیل تمایل

خورندگی در سیستم تامین آب با استفاده از شاخص‌های کیفی و شاخص کمی پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم. فصلنامه سلامت و محیط زیست، ۹، ۴، ۴۵۷-۴۷۰.

- Arpine, H. and 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, 2-9.

- Batsaikhan, B., Kwon, J.S., Kim, K.H., Lee, Y.J., Lee, J.H., Badarch, M. and 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, 2019-2034.

- Clesceri, L.S., 2005. Standard method for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, 15, 3635-42.

- Faryabi, M., Kalantari, N. and Negarestani, A., 2010. Evaluation of factors influencing groundwater chemical quality using statistical and hydrochemical methods in Jiroft Plain. Scientific Quaternary Journal, Geosciences, 20, 77, 115-120.

- Furkansener, M. and Baba, A., 2019. Geochemical and hydrogeochemical characteristics and evolution of Kozaklı geothermal fluids, Central Anatolia, Turkey. Journal of Geothermics, 80, 69-77.

- Gibbs, R. J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry, Science 17, 1088-1090.

- Hounslow, A., 1995. Water Quality Data: analysis and interpretation. 1st Edition. CRC Press. 146.

- 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, 27-41.

- Jackson, J., 2001. Living with earthquakes: know your faults. Journal of Earthquake Engineering, 5, 1, 5-123

- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L. and Saxena, R., 2007. Acomparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. Journal of Environmental Geology, 53, 553-574.

- Larson, T.E. and Skold, R.V., 1958. Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron, Illinois State Water Survey, Champaign, IL. ill. ISWS C-71, 43-46

- Laxmankumar, D., Satyanarayana, E., Dhakate, R. and Saxena, P.R., 2019. Hydrogeochemical characteristics with respect to fluoride contamination in groundwater of Maheshwarm mandal, RR district, Telangana state, India. Groundwater for Sustainable Development, 8, 474-483.

- Liu, S., Ryu, D., Webb, J.A., Lintern, A., Waters, D., Guo, D. and Western, A.W., 2018. Characterisation of spatial variability in water quality in the Great Barrier Reef catchments using multivariate statistical analysis. Marine Pollution Bulletin, 137, 137-151.

- Mishra, B.K., Regmi, R.K., Masago, Y., Fukushi, K., Kumar, P. and Saraswat, C., 2017. Assessment of Bagmati river pollution in Kathmandu Valley: Scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. Sustainability of Water Quality and Ecology, 9, 67-77.

- 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, 87-

101.

- Parkhurst, D. and Appelo, C., 1999. PHREEQC for Windows version 1.4.07, A hydrogeochemical transport model. U.S, Geological Survey Software.

- Pazand, K., Khosravi, D., Ghaderi, M.R. and Rezvanianzadeh, M.R., 2018. Identification of the hydrogeochemical processes and assessment of groundwater in a semi-arid region using major ion chemistry: A case study of Ardestan basin in central Iran. Journal of Groundwater for Sustainable Development, 6, 245-254.

- Strauss, S.D. and Puckorius, P.R., 1984. Cooling-water treatment for control of scaling, fouling, corrosion. Power, 128, 6, S1-S24.

- Shen, Y., Oki, T., Kanae, S., Hanasaki, N., Utsumi, N. and Kiguchi, M., 2014. Projection of future world water resources under SRES scenarios: an integrated assessment. Hydrological Sciences Journal, 59, 1775-1793.

- Subbarao, C., Subbarao N.V. and Chandu S. N., 1996. Characterization of groundwater contamination using factor analysis. Environmental Geology, 28, 4, 175-180.

- Subramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, S.R., 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. Journal of Environmental Geology, 47, 1099-1110.

- Todd, D. and Mays, L., 2005. Ground Water Hydrology. Wiley, USA. 652.

- Wilcox, L.V. 1955. Classification and Use of Irrigation Waters. U.S. Department of Agriculture. Circ, Washington, DC, US, 969.

- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y. and Deng, J., 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. Science of the Total Environment, 612, 914-922.

- Xu, H., Zheng, H., Chen, X., Ren, Y. and Ouyang, Z., 2016. Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: Implications for environmental management. Chinese Geographical Science, 26,197-207.

- You, S.H., Tseng, D.H. and Guo, G.L., 2001. A case study on the wastewater reclamation and reuse in the semiconductor industry Resources. Conservation and Recycling Journal, 32, 1, 73-81.

- Zhao, G., Li, W., Li, F., Zhang, F. and Liu, G., 2018. Hydrochemistry of waters in snowpacks, lakes and streams of Mt. Dagu, eastern of Tibet Plateau. Science of the Total Environment, 610, 641-650.