

مطالعه هیدروژئوشیمی و عوامل موثر بر شیمی آب خلیج گرگان

لیا بشری^۱، محمدحسین محمودی قرائی^{۲*}، رضا موسوی حرمی^۳، حمید عزیزاده لاهیجانی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه فردوسی مشهد، استان خراسان رضوی، مشهد، پست الکترونیکی: lia.khial@gmail.com

۲- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی، استان خراسان رضوی، مشهد، پست الکترونیکی: mhmgaraie@um.ac.ir

۳- استاد دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین‌شناسی، استان خراسان رضوی، مشهد، پست الکترونیکی: mousavi@um.ac.ir

۴- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه علوم غیر زیستی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: lahijani@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۷

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۸

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

در مطالعه حاضر تعداد ۱۱ نمونه آب و ۱۰ نمونه رسوب از خلیج گرگان و ۱۰ نمونه آب از رودخانه‌های منتهی به آن به منظور مطالعه عوامل موثر بر شیمی آب خلیج گرگان مورد بررسی قرار گرفت. غلظت یون‌های محلول در آب به روش تیتراسیون و جذب اتمی تعیین و از داده‌های حاصله در تعیین تیپ آب، نسبت‌های یونی، منشا گونه‌های محلول در آب و نمایه‌های اشباع‌شدگی استفاده شد. کانی‌شناسی رسوبات به روش پراش پرتو ایکس تعیین شده و داده‌های حاصله جهت مقایسه با نمایه‌های اشباع‌شدگی نمونه‌های متناظر آب مورد استفاده قرار گرفت. مطالعات نشان داد که از بین عوامل موثر بر شیمی آب خلیج گرگان، ورود آب دریای خزر نقش غالب را داشته و دو عامل دیگر یعنی شیمی رودخانه‌های منتهی به خلیج و رسوبات بستر خلیج می‌توانند تنها سهم ناچیزی در تغییر موضعی شیمی آب خلیج داشته باشند. با توجه به گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و ورود فاضلاب‌های مختلف، می‌توان پیش‌بینی کرد که به مرور زمان تاثیر حوضه آبریز بر شیمی آب خلیج گرگان افزایش خواهد یافت.

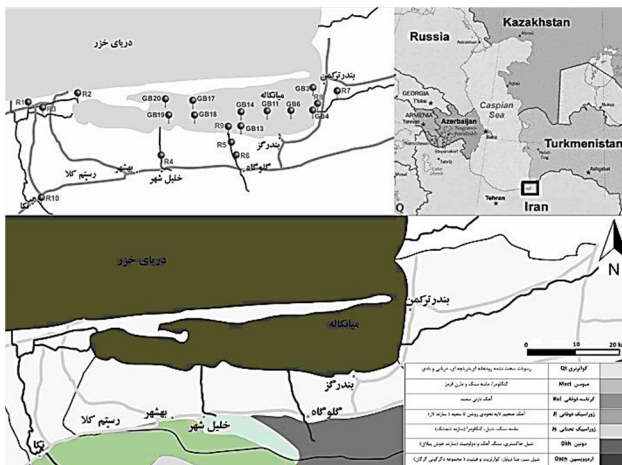
کلمات کلیدی: خلیج گرگان، هیدروژئوشیمی، دیاگرام پایپر، نسبت‌های یونی، نمایه اشباع‌شدگی.

۱. مقدمه

انسان‌زاد پاسخ‌های سریع و گاه شدید شیمیایی، زیست‌شناختی و بوم‌شناختی بدهند (Perry and Taylor, 2007). این محیط‌ها علاوه بر حوضه‌های بزرگتری که با آن در ارتباط هستند (مثلاً دریاها و دریاچه‌ها) از حوضه آبریز اطراف خود نیز تاثیر می‌پذیرند (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹). مجموعه تالاب‌های میانکاله و دو فروافتادگی زاغمرز در غرب آن در ۲۳ ژوئن سال

محیط‌های آبی بسته و نیمه بسته نظیر خلیج‌ها و تالاب‌ها با توجه به تاثیرپذیر بودن از ترکیبات شیمیایی، محیط‌های بسیار آسیب‌پذیری محسوب می‌شوند. همین حساسیت باعث می‌شود که چنین محیط‌هایی به ورود انواع آلاینده‌های مختلف طبیعی و

کلی جهت جریان آب در خلیج گرگان نیز مطالعات نشان داده است که جهت گردش آب در این محیط پادساعتگرد بوده و سرعت آن تا حد زیادی تحت تاثیر سرعت باد موجود در منطقه قرار دارد (Sharbati, 2012). از نظر زمین‌شناختی، خلیج گرگان در محدوده بین پهنه گرگان - رشت در شمال رشته کوه البرز واقع است (آقباتی، ۱۳۸۳). این محدوده در تقسیم‌بندی هفت‌گانه کرانه‌های جنوبی دریای خزر، به بخش کرانه‌ای بین نکا و بندر ترکمن تعلق دارد (پالوسکا و وگنز، ۱۳۷۱). واحدهای زمین‌شناسی تشکیل دهنده این منطقه مجموعه‌ای از سنگ‌های آواری مانند شیل، ماسه سنگ و سنگ های کربناته از قبیل مارن، آهک و دولومیت را تشکیل داده‌اند (شکل ۱). رسوبات موجود در بستر خلیج گرگان نیز برآیند آورد رسوب از دریای خزر و نیز رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان هستند که مجموعه‌ای از رسوبات ماسه‌ای و گلی هستند که در بخش‌های مختلف بستر خلیج گسترده شده‌اند. رسوبات ماسه‌ای، سواحل شمالی و غربی و بخش‌هایی از ساحل جنوب غربی خلیج را پوشانده‌اند (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹). با حرکت به خاور خلیج، دانه‌بندی رسوبات از ماسه به گل و ماسه گلی تغییر می‌کند (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱: نقشه تقسیمات سیاسی کشورهای اطراف دریای خزر و موقعیت جغرافیایی خلیج گرگان که با کادر در شکل نشان داده شده است. نقاط مورد نمونه‌برداری در خلیج گرگان و رودخانه‌های مورد مطالعه و نقشه زمین‌شناسی منطقه (اقتباس از امینی و همکاران، ۱۳۹۱ با اندکی تغییرات)

حوضه‌ی آبریز خلیج گرگان یکی از زیر حوضه‌های دریای خزر محسوب می‌شود که مساحتی در حدود ۱۵۰۰۰ کیلومتر مربع داشته و بیشتر آن را مناطق کوهستانی و بقیه را کوهپایه‌ها و

۱۹۷۵ میلادی به‌عنوان اولین تالاب بین‌المللی معرفی شده از ایران و سی و ششمین تالاب بین‌المللی در فهرست تالاب‌های حائز اهمیت جهانی در کنوانسیون رامسر بوده است. در تقسیم‌بندی انواع تالاب‌ها، تالاب میانکاله و خلیج گرگان از نوع A (آب‌های دریای کم عمق دائمی) و از دسته تالاب‌های دریای ساحلی محسوب می‌شوند که عمق کم و نسبتاً ثابتی دارند (پایگاه اینترنتی رسمی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران؛ پایگاه اینترنتی رسمی کنوانسیون بین‌المللی رامسر).

با توجه به گسترش روزافزون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در اطراف خلیج گرگان، بررسی دقیق شیمی آب این خلیج اهمیتی دو چندان یافته و مطالعه آن از جنبه‌های مختلف ژئوشیمیایی، بوم‌شناختی و آلودگی‌های زیست محیطی حائز اهمیت است. اندازه‌گیری دقیق غلظت یون‌ها در آب، علاوه بر مطالعه شیمی آب، در بوم‌شناسی و فیزیولوژی آبریان دریا نیز حائز اهمیت بسیار است (بایرامی و همکاران، ۱۳۸۲). هدف از این مطالعه، بررسی هیدروژئوشیمی آب خلیج گرگان با استفاده از نمونه‌های آبی این خلیج و نیز برخی رودخانه‌های منتهی به آن به‌منظور ارزیابی عوامل تاثیرگذار بر شیمی آب خلیج گرگان است.

خلیج گرگان با مختصات عرض جغرافیایی $36^{\circ}49'32''$ شمالی و طول جغرافیایی $54^{\circ}12'28''$ شرقی، در حاشیه جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است (شکل ۱). طول و عرض این خلیج به ترتیب حدود ۶۰ و ۱۲ کیلومتر و عمق متوسط آن ۴ متر است (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای نیمه گرمسیری مرطوب بوده و میزان بارش سالیانه از شرق به غرب افزایش می‌یابد (۴۵۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال) (احمدی، ۱۳۸۱). بالاترین میزان بارندگی سالیانه در آذر ماه و کمترین میزان آن در خرداد ماه گزارش شده است (احمدی، ۱۳۸۱). دمای محدوده‌ی مورد مطالعه به‌طور کلی از ۴۳ درجه سانتی‌گراد در تابستان تا ۲- درجه سانتی‌گراد در زمستان در تغییر می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۱). این خلیج توسط دهانه‌ای درحد فاصل شبه جزیره‌ی آشوراده و زبانه‌ی میانکاله، و نیز کانال خوزینی که میانکاله را قطع می‌کند، با دریای خزر در ارتباط است (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹). شبه جزیره میانکاله، منطقه‌ی حفاظت شده زیست‌محیطی است و فعالیت‌های انسانی در اطراف آن بیشتر به بندر ترکمن، گز و امیرآباد مربوط می‌شود. کرانه‌های خلیج گرگان کم شیب و اغلب باتلاقی هستند و تراکم جمعیتی از باختر به خاور آن کاهش می‌یابد (آمارنامه استان مازندران، ۱۳۷۵). از نظر روند

۱). نمونه‌های برداشت شده در ظرف‌های پلی اتیلنی ۵۰۰ میلی لیتری که قبلاً با اسید نیتریک ۲ مولار و آب دیونیزه شسته شده بودند، ریخته شد و نمونه‌ها تا رسیدن به آزمایشگاه در محفظه خنک کننده نگهداری شدند. به جز یون‌های سدیم و پتاسیم، که با روش جذب اتمی اندازه‌گیری شدند، سایر کاتیون‌ها و همه آنیون‌ها با روش تیتراسیون، در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد مورد آنالیز قرار گرفتند.

بعد از اندازه‌گیری، داده‌های حاصل جهت تعیین نسبت‌های یونی مختلف، تعیین تیپ و رخساره‌ی ژئوشیمیایی آب خلیج و رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز خلیج گرگان به‌وسیله دی‌گرام‌های پایپر و نرم‌افزارهای Aq.QA و Aquachem مورد مطالعه قرار گرفتند. عوامل اصلی تأثیرگذار بر شیمی آب خلیج گرگان و سهم هر یک از عوامل تبخیر، واکنش آب-سنگ و یا بارش‌های جوی بر آن نیز به‌وسیله ترسیم نمودار گیس مورد مطالعه قرار گرفت. نمایه‌های اشباع‌شدگی نمونه‌های مورد مطالعه برای کانی‌های مختلف با استفاده از نرم افزار PHREEQC2.15 تعیین گردید. برای تعیین نقش رسوبات در کنترل شیمی آب خلیج گرگان، کانی‌شناسی نمونه‌های رسوب برداشت شده از بستر خلیج که توسط پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی در پاییز ۱۳۹۱ برداشت شده بود به‌وسیله روش پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی غرب کشور در تبریز مورد سنجش قرار گرفت. در نهایت، داده‌های حاصل از بررسی نمونه‌های آب خلیج گرگان و رودخانه‌های ورودی به آن از نظر پارامترهای مذکور با هم مقایسه شدند تا تأثیر احتمالی شیمی آب دریای خزر، رسوب‌شناسی بستر خلیج و رودخانه‌ها در کنترل شیمی آب خلیج گرگان و تغییرات هیدروشیمیایی درون حوضه‌ای این خلیج مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرد.

۳. نتایج

مقادیر یون‌های اصلی در آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده، فراوانی آنیون‌های محلول در آب خلیج گرگان به‌صورت $Cl^- > SO_4^{2-} > CO_3^{2-} > HCO_3^-$ بوده و مقادیر نسبی کاتیون‌های اصلی محلول در آب نیز به‌صورت $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ به‌دست آمده است.

دشت‌های ساحلی تشکیل می‌دهند (لاهیجانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۱). بخش عمده‌ای از این حوضه آبریز، شامل رودخانه‌های گرگانرود، قره سو، باغو و شاخه‌هایی از نکارود است که از این میان، گرگانرود از بخش خاوری خلیج، به درون دریای خزر تخلیه می‌شود. تعداد اندکی رودخانه‌های فصلی نیز از باختر به خاور در حاشیه جنوبی خلیج گرگان وجود دارند که آب و رسوب را از مناطق کوهستانی به‌سمت خلیج هدایت می‌کنند. این رودخانه‌ها با توجه به فصلی بودن و بهره‌برداری بی‌رویه جهت اهداف مصرفی کشاورزی، سهم ناچیزی در تأمین آب خلیج گرگان دارند. از رودخانه‌هایی که به خلیج گرگان منتهی می‌شوند، رودخانه قره سو سهم عمده را در آورد رسوب برعهده دارند. دبی ورودی آب به خلیج گرگان از دریای خزر و گذرگاه آبی حد فاصل جزیره آشوراده و بندر ترکمن، در حدود ۳۵ مترمکعب بر ثانیه و مجموع دبی آب رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج گرگان، حدود ۵۰۰ مترمکعب در ثانیه و دبی رسوب آنها بیش از ۳/۵ میلیون تن در سال می‌باشد (امینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ شربتی و همکاران، ۱۳۸۹؛ لاهیجانی، ۱۳۸۱).

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه، نمونه‌های آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن از لحاظ غلظت یون‌های اصلی (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), $(K^+$, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نمونه‌برداری از رودخانه‌ها در فروردین‌ماه ۱۳۹۲ انجام شد و طی آن تعداد ۱۰ نمونه‌ی آب سطحی از رودخانه‌های مورد مطالعه برداشت شد (جدول ۱).

جدول ۱: رودخانه‌های مورد نمونه‌برداری منتهی به خلیج گرگان

شماره نمونه	نام مکان نمونه‌برداری
RS1	رودخانه نوکیله
RS2	ورودی رودخانه نوکیله به خلیج گرگان
RS3	رودخانه تسکروند
RS4	رودخانه خلیل شهر
RS5	رودخانه گلوگاه
RS6	رودخانه گلوگاه
RS7	رودخانه قره سو
RS8	ورودی قره سو به خلیج گرگان
RS9	ورودی رودخانه گلوگاه به خلیج گرگان
RS10	شهر نکا

نمونه‌برداری آب خلیج نیز در مهر ماه ۱۳۹۲ به کمک پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی ایران انجام و در طی آن ۱۱ نمونه‌ی آب از شرق تا غرب خلیج برداشته شد (شکل

جدول ۲: یون‌های اصلی محلول در آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن و برخی ویژگی‌های شیمیایی آنها (مقادیر غلظت یون‌ها و TDS بر حسب mg/l است، هدایت الکتریکی نیز بر حسب میلی زیمنس بر سانتی‌متر محاسبه شده است). GB = نمونه‌های برداشت شده از خلیج گرگان، RS = نمونه‌های برداشت شده از رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان. Total Dissolved Solid = TDS (میزان کل جامدات محلول) و Electrical Conductivity = EC (هدایت الکتریکی).

No.	Id	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	TDS	EC	pH
۱	GB2	۱۸/۱	۱۸۴/۱	۶۳۰۰	۲۲۵۲	۲۷۰۰	۱۲۳/۵	۶۶۰۹	۹۰۸۷	۱۳۲۱۰۳	۲۱۹۲۰	۸/۶۳
۲	GB3	۱۹/۳	۱۷۱/۷	۶۲۰۰	۲۲۲۱	۲۷۰۰	۱۱۸/۶	۳۳۹۷	۸۹۲۱	۱۲۷۲۱۳	۲۱۹۳۰	۸/۶۶
۳	GB4	۱۸/۱	۲۰۱/۴	۶۸۰۰	۳۳۴۰	۲۶۰۰	۱۱۷/۷	۳۷۱۲	۸۵۵۲	۱۳۲۵۹۷	۲۱۴۲۰	۸/۷۵
۴	GB6	۱۶/۸۹	۱۷۹/۱	۶۳۰۰	۳۴۴۰	۲۴۰۰	۱۱۸/۶	۳۶۳	۹۰۶۲	۱۳۷۹۳۱	۲۲۲۵۰	۸/۶۸
۵	GB11	۱۹/۳۱	۱۶۶/۸	۶۳۰۰	۳۴۸۰	۲۶۰۰	۱۳۰/۷	۳۷۰۷	۹۲۰۴	۱۴۰۵۰۴	۲۲۶۴۰	۸/۷۰
۶	GB13	۱۶/۲۹	۱۴۴/۸	۶۴۰۰	۳۵۲۰	۲۴۰۰	۱۲۹/۷	۳۳۲۱	۹۴۴۱	۱۳۹۶۳۹	۲۳۲۲۰	۸/۶۵
۷	GB14	۱۸/۱	۱۶۱/۹	۶۴۰۰	۳۵۲۰	۲۴۰۰	۱۲۰/۷	۳۱۶۶	۹۵۲۹	۱۳۹۷۶۴	۲۲۹۲۰	۸/۶۳
۸	GB17	۱۵/۶۹	۱۷۶/۷	۶۴۰۰	۳۴۸۰	۲۴۰۰	۱۲۱/۵	۳۷۰۷	۹۰۱۶	۱۳۹۳۸۵	۲۳۳۸۰	۸/۶۲
۹	GB18	۱۶/۹۱	۱۴۰	۶۸۰۰	۳۶۹۰	۲۴۰۰	۱۳۰/۴	۳۰۹۲	۹۲۱۲	۱۵۵۰۰۶	۲۴۴۳۰	۸/۷۲
۱۰	GB19	۲۴/۱۴	۳۶/۸۱	۶۴۰۰	۳۳۴۰	۲۵۰۰	۱۲۳/۱	۳۰۹	۹۲۰۶	۱۳۸۱۷	۲۳۲۷۰	۹/۴۴
۱۱	GB20	۲۴/۱۳	۲۰۳/۶	۶۲۰۰	۳۳۴۰	۲۲۰۰	۱۲۰	۳۴۷۴	۸۷۲۳	۱۳۳۹۹۲	۲۱۹۸۰	۸/۶۲
Min	-	۱۵/۶۹	۳۶/۸۱	۶۲۰۰	۲۲۲۱	۲۲۰۰	۱۱۷/۷	۳۰۹	۸۵۵۲	۱۲۷۲۱۳	۲۱۴۲۰	۸/۶۲
Max	-	۲۴/۱۴	۲۰۳/۶	۶۸۰۰	۳۶۹۰	۲۴۰۰	۱۳۰/۴	۳۶۰۹	۹۵۲۹	۱۵۵۰۰۶	۲۴۴۳۰	۹/۴۴
Mean	-	۱۸/۱۵۴۵	۱۶۰/۶۲۸۲	۶۴۰۹/۰۹۱	۳۳۴۸/۴۵۵	۲۵۷۲/۲۲۷	۱۲۲/۲۲۷۳	۳۷۱/۸۶۳	۹۱۰/۴۸	۱۳۷۹۱/۹۱	۲۲۶۰۵/۴۵۴۵	۸/۷۸
ST.DEV.	-	۲/۸۶	۴۵/۶۳	۲۰۷/۱۴۵۱	۵۱۱/۴۴۱	۳۱۲/۳۳۹۸	۴/۲۶	۹۸/۸۷۸	۲۷/۹۵	۷۰۲/۶۹۹	۸۵۵/۷۴	۰/۲۸۶
۱۲	RS1	-	۲۷۰/۳	۱۴۰/۸	۱۶۶/۳	۲۰۰/۷	۶۰/۸۹	۵۲۰/۱	۲۶/۴۵	۵۳۵/۳۵	۵۰/۷	۸/۱
۱۳	RS2	-	۴۳۴/۵	۶۶۱/۹	۶۴۴/۹	۲۹۰/۱	۳۳/۷۲	۱۳۴/۵	۱۰۸/۸	۲۳۳۸/۴	۳۳۲	۷/۸
۱۴	RS3	-	۳۷۷/۴	۲۴۷/۴	۲۴۸/۴	۲۶۱/۹	۶۹/۹۸	۶۰/۴۸	۵۸/۱۸	۱۲۸۷/۸	۱۵۰/۰	۸/۱
۱۵	RS4	-	۲۷۹/۹	۱۱/۴۷	۱۳۱/۷	۱۱۴/۹	۳۳/۹۷	۷۰/۴۲	۲۰/۸۸	۱۲۸۷/۸	۵۴/۱	۸/۲
۱۶	RS5	۲۳/۶۶	۲۴/۱	۶۷/۸۲	۱۷۲/۸	۶۷/۸۸	۲/۲۹۶	۶۰/۳۹	۲۴/۶۶	۱۲۸۷/۸	۱۵۳/۲	۸
۱۷	RS6	-	۲۶۷/۷	۱۰/۵۷	۱۲۲/۵	۱۳/۴۷	۷/۹۷۹	۷۳/۷۱	۲۰/۳۵	۵۲۹/۲۳	۵۷/۱	۸/۲
۱۸	RS7	-	۳۷۷/۴	۱۴۰/۷	۴۲۴/۳	۱۱۰/۸	۷/۹۸۴	۱۱۷/۴	۶۹/۲۶	۵۱۶/۹۸	۱۵۹/۸	۷/۹
۱۹	RS8	-	۳۷۷/۴	۱۶۱/۴	۳۷۷/۴	۱۱۵	۷/۸۸۴	۱۰/۵۶	۶۲/۱۷	۵۱۶/۲۶	۶۵۲	۸/۳
۲۰	RS9	۲۳/۹۶	۲۴۸/۳	۲۱۰/۵	۱۷۰/۲	۲۰/۸۵	۴/۳۸۹	۵۸/۶۵	۲۳/۴۴	۱۲۴۷/۹	۵۰/۴	۸/۲
۲۱	RS10	-	۲۵۰/۷	۱۴۰/۶	۱۷۱	۲۰/۱۵	۲/۹۹۲	۵۰/۲۷	۲۵/۳۳	۵۳۴/۵۳	۴۷۸	۸/۱
Min	-	-	۲۴/۱	۶۷/۸۲	۱۲۲/۵	۶/۷۸۸	۲/۳۹۶	۵۰/۳۷	۲۰/۳۵	۵۱۶/۲۶	۳۳۲	۷/۸
Max	-	۲۳/۹۶	۴۳۴/۵	۶۶۱/۹	۶۴۷/۹	۲۹۰/۱	۳۳/۷۲	۱۳۴/۵	۱۰۸/۸	۲۳۳۸/۴	۵۷۱/۰	۸/۳
Mean	-	۰/۴۷۹۲	۳۱۲/۴۶	۱۳۱/۶۹۱۲	۲۶۳/۹۵	۸۷۰/۶۱۸	۸/۳۸۲۸	۷۸/۳۴۳	۴۳/۹۴۲	۱۰۰۸/۲۰۵	۲۴۴۱/۶۵	۸/۰۹
ST.DEV.	-	۱۰/۱	۷۱۰/۴	۲۰۷/۳۹	۱۷۷/۸۸	۱۰۷/۵۳	۹/۱۶	۲۹/۸۴	۲۹/۶۶	۵۹۸/۳۳	۲۶۲۸/۹۵	۰/۱۵۲

واکنش‌های شیمیایی تولید کننده یون بی‌کربنات در محیط آرام آن ارتباط داشته باشد (ایبای، ۱۳۹۰).

برای بررسی ترکیب شیمیایی آب‌های خلیج گرگان و رودخانه‌های مورد مطالعه که به‌صورت دائمی و یا فصلی به خلیج وارد می‌شوند از نرم افزار Aquachem و دیاگرام Piper (1944) استفاده شده است. دیاگرام پایپر نمایش مثلی کاتیون‌ها، آنیون‌ها و نسبت مجموع آنهاست که اغلب برای رده‌بندی نوع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (ایبای، ۱۳۹۰). در این دیاگرام‌ها (شکل ۲) مثلی‌های یونی به میدان‌های مختلف که با نوع آب یا رخساره‌های شیمیایی متناظر هستند تقسیم می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، نمونه‌های آب خلیج گرگان، همگی در ناحیه‌ی آب سدیم- منیزیم کله قرار گرفته‌اند. یون‌های کلر و سدیم، انواعی هستند که بیشترین زمان ماندگاری^۱ و کمترین واکنش‌پذیری را در بین گونه‌های محلول در آب دارا بوده و در آب‌های دریایی تمرکز بیشتری نسبت به رودخانه‌ها دارند

با توجه به ارتباط خلیج گرگان با دریای خزر و محدود بودن تغذیه‌ی این خلیج از منابع آب رودخانه‌ای، بالا بودن غلظت یون‌های Cl⁻ و Na⁺ به‌عنوان اصلی‌ترین یون‌های محلول در آب محیط‌های دریایی، بدیهی به‌نظر می‌رسد. تفاوت قابل توجه سایر کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب خلیج نسبت به نمونه‌های آب رودخانه‌ها را نیز می‌توان به همین علت نسبت داد (جدول ۳).

جدول ۳: مقایسه‌ی مقادیر غلظت یون‌های اصلی محلول در آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن (غلظت‌ها برحسب میلی گرم بر لیتر است).

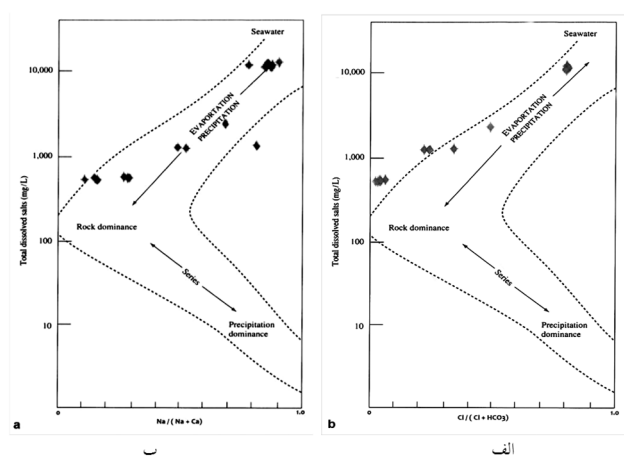
یون/محبوب رسوبی	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
متوسط خلیج گرگان	۱۶۰/۶۲	۱۸/۸۱	۶۶۰۹/۰۹	۳۳۴۸/۴۵	۲۵۷۲/۲۲	۱۲۲/۲۲	۳۷۱/۸۶	۹۱۰/۴۸
متوسط رودخانه‌ها	۳۱۲/۴۶	۰/۴۷۹۲	۱۳۱/۶۹۱۲	۲۶۳/۹۵	۷۸/۳۴۳	۴۳/۹۴۲	۸/۳۸۲	۸۷۰/۶۲

تنها در مورد یون بی‌کربنات، مقدار ثبت شده در خلیج کمتر از مقدار میانگین ورودی از رودخانه‌هاست که این پدیده می‌تواند با فعالیت‌های زیستی بیشتر در خلیج، فرایندهای اتوبیوژنیک و

¹ Residence Time

نسبت موجود بین TDS و کاتیون‌ها یا آنیون‌های اصلی نماینده آب‌های شیرین تا بسیار شور سطحی، می‌توان سه فرآیند اصلی را به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده شیمی آب‌های سطحی بیان کرد:

(۱) بارش‌های جوی (بخش پایین و سمت راست نمودار گیبس)، (۲) واکنش آب-سنگ (بخش میانی و سمت چپ نمودار)، (۳) تبخیر-تبلور (بخش بالا و سمت راست نمودار). همان‌طور که در شکل ۳ (الف و ب) مشخص شده است، آب رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان با توجه به آب و هوا و اقلیم کلی منطقه، شیب نسبتاً کم و طول قابل توجه حوضه‌ی آبریز، بیشتر تحت تأثیر فرآیند واکنش آب و سنگ و متأثر از فرسایش و هوازدگی واحدهای زمین‌شناسی قرار داشته است. نمونه‌های آب خلیج نیز با توجه به میزان کل جامدات محلول (TDS) و نسبت‌های یونی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی، به‌خوبی با مدل (1970) Gibbs هماهنگ بوده و در محدوده آب دریای خزر قرار گرفته‌اند.



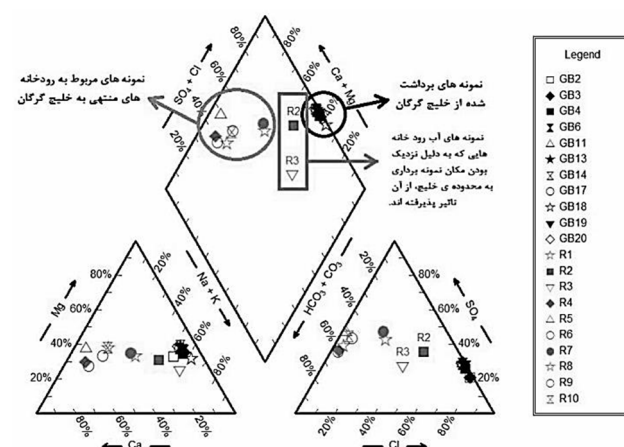
شکل ۳: نمودار (1970) Gibbs نمونه‌های مورد مطالعه از خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن برای کاتیون‌ها (a) و آنیون‌ها (b). تأثیر فرآیندهای تبخیر و واکنش آب-سنگ بر روی نمونه‌های آب رودخانه‌های مورد مطالعه و منشأ دریایی آب نمونه‌های خلیج گرگان را می‌توان به وضوح در تصویر مشاهده نمود. نمونه‌های مربوط به خلیج گرگان، در قسمت بالا و راست نمودار قرار گرفته‌اند و سایر نقاط مربوط به نمونه‌های آب رودخانه‌های منتهی به این خلیج است.

در مطالعه‌ی منشأ آب‌ها می‌توان از نسبت‌های یونی مختلفی استفاده کرد که هرکدام از این نسبت‌ها با توجه به واکنش‌های شیمیایی و pH محیط آبی می‌توانند نشانگر منشأ یون‌های محلول موجود در آب باشند. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، نسبت‌های یونی برای آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن محاسبه شده است.

(Langmuir, 1997). تیپ دقیق‌تر ژئوشیمیایی نمونه‌های آبی مورد مطالعه نیز در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴: نمایش تیپ (گونه‌های) آب به‌دست آمده از خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن

ID	تیپ آب
GB2	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB3	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB4	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB6	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB11	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB13	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB14	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB17	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB18	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB19	Na-Mg-Cl-SO ₄
GB20	Na-Mg-Cl-SO ₄
RS1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
RS2	Na-Mg-Cl-SO ₄ -HCO ₃
RS3	Na-Mg-Cl-HCO ₃ -SO ₄
RS4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
RS5	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
RS6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
RS7	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
RS8	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
RS9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
RS10	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄



شکل ۴: دیاگرام پایپر نمونه‌های آب مورد مطالعه از خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن. نمونه‌های درون دایره‌ی کوچک متعلق به آب خلیج می‌باشند که همگی در دسته‌ی آب سدیم-منیزیم کلره سولفات قرار گرفته‌اند. نقاط درون دایره‌ی بزرگ نیز مربوط به آب‌های رودخانه‌ها هستند. نمونه‌های RS3 و RS2 همان‌طور که با فلش در تصویر مشخص شده است به‌دلیل نزدیک بودن به آب دریا (RS2) و اثرات انسان‌زاد در تغییر مقادیر سدیم و کلر (RS3)، به‌سمت نمونه‌های آب خلیج متمایل هستند.

برای بررسی ترکیب شیمیایی نمونه‌های آبی مورد مطالعه از لحاظ فرآیندهای اثرگذار بر شیمی آب، می‌توان از مدل ارائه شده توسط (1970) Gibbs استفاده کرد. او با خلاصه کردن داده‌های شیمیایی نمونه‌های متعددی از آب باران، رودها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها، روشی ساده برای توضیح شیمی کلی این آب‌ها ارائه داد (ایبای، ۱۳۹۰؛ Longmuir, 1997). بر طبق مدل (1970) Gibbs، بر اساس

جدول ۵: الف) دسته‌بندی و تفسیر نسبت‌های یونی (Haunslow, 1995). ب) نسبت‌های یونی به‌دست آمده از نمونه‌های آبی خلیج گرگان و رودهای منتهی به آن. (نسبت‌ها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر هستند).

مشا	مقدار	نسبت‌های یونی
منبع سدیم دیگری از حالت-آلیت، تبادل یونی	> -/۵	
انحلال هالیت	= -/۵	
تبادل یونی معکوس	< -/۵ TDS>۵۰۰	Na/(Na+Cl)
خطای آنالیز	< -/۵ TDS<۵۰۰>۵۰	
آب باران	< -/۵ TDS<۵۰	
هوازدمی دولومیت	= -/۵	
هوازدمی سنگ دولومیت-سنگ آهک	< -/۵	Mg/(Ca+Mg)
انحلال دولومیت، ته نشست کلسیت یا آب دریا	> -/۵	
آب دریا، شورابه یا تخییر	> -/۸ TDS>۵۰۰	
آب بارش	> -/۸ TDS<۱۰۰	Cl/(Sum anions)
هوازدمی سنگ	< -/۸	
هوازدمی سیلیکات یا کربنات	> -/۸	
انحلال ژپس	< -/۸ sulfate high	HCO ₃ /(Sum anions)
شورابه یا آب دریا	< -/۸ sulfate low	
انحلال ژپس	Ca=SO ₄	Ca/SO ₄
انحلال سیلیکات‌ها و کربنات‌ها	Ca>SO ₄	
تبادل کاتیونی	Ca<SO ₄	

(الف)

ID	Na / (Na+Cl)	Mg / (Ca+Mg)	Cl / (Sumanions)	HCO ₃ / (Sumanions)	Ca / SO ₄	TDS (mg/L)
GB2	۰/۶۹۸	۰/۶۹۴	-/۰/۷۳	-/۰/۱۲۴۵	-/۰/۱۴۷	۱۳۱۵۱
GB3	۰/۴۰۲	۰/۸۱۲	-/۰/۷۳	-/۰/۰۱۷۸	-/۰/۰۷۷	۱۲۶۶۷
GB4	۰/۳۷۱	۰/۷۹۲	-/۰/۵۶	-/۰/۰۰۹۶۵۸	-/۰/۰۵۷	۱۴۲۲۰
GB6	۰/۳۷۰	۰/۸۰۴	-/۰/۴۹	-/۰/۰۰۸۱۴۵	-/۰/۰۵۳	۱۳۷۲۷
GB11	۰/۳۸۹	۰/۸۰۴	-/۰/۴۹	-/۰/۰۰۷۵۰۵	-/۰/۰۵۳	۱۳۹۸۲
GB13	۰/۳۶۶	۰/۸۲۴	-/۰/۴۹	-/۰/۰۰۶۴۲۴	-/۰/۰۴۷	۱۳۹۰۶
GB14	۰/۳۶۶	۰/۸۳۳	-/۰/۴۹	-/۰/۰۰۷۱۷۸	-/۰/۰۴۴۹۹	۱۳۹۱۰
GB17	۰/۳۶۶	۰/۸	-/۰/۴۹	-/۰/۰۰۷۹۴۵	-/۰/۰۵۳۴۵	۱۳۸۶۸
GB18	۰/۴۳۵	۰/۸۳۱	-/۰/۵۰	-/۰/۰۰۵۹۳۹	-/۰/۰۴۲۰۷	۱۵۴۱۴
GB19	۰/۳۷۶	۰/۸۳۱	-/۰/۵۰	-/۰/۰۰۱۶۷۳	-/۰/۰۴۵۰۵	۱۳۷۶۴
GB20	۰/۳۵۴	۰/۸۰۸	-/۰/۴۸	-/۰/۰۰۹۲۳۰	-/۰/۰۵۰۸۲	۱۳۴۱۳
میانگین	۰/۳۸۲	۰/۸۰۴	-/۰/۵۴	-/۰/۰۰۷۸۳۴	-/۰/۰۶۱۰۳	۱۳۸۲۰
RS1	۰/۶۸۷	۰/۴۵۶	-/۰/۵	۰/۵۶۲	-/۰/۵۱	۵۳۶
RS2	۰/۴۰۳	۰/۵۷۱	-/۴۶۹	-/۱۷۸	-/۴۷۶	۲۳۳۹/۵
RS3	۰/۵۹۵	۰/۶۱۳	-/۴۰۵	-/۳۲۴	-/۵۸۲	۱۲۹۰
RS4	۰/۵۵۷	۰/۳۲۸	-/۰/۵۱	-/۵۹۴	-/۲۸۴	۵۳۳
RS5	۰/۵۹۶	۰/۴	-/۰/۲۶	-/۵۱۰	-/۸۳۸	۵۱۸
RS6	۰/۵۶۰	۰/۲۱۶	-/۰/۲۶	-/۶۶۸	-/۶۰۲	۵۱۵
RS7	۰/۴۴۰	۰/۳۷۱	-/۱/۴۹	-/۴۰۰	-/۲۷۶	۱۲۵۰
RS8	۰/۴۱۵	۰/۳۷۱	-/۱/۷۶	-/۴۱۲	-/۲۸۰	۱۲۱۰
RS9	۰/۴۸۸	۰/۲۸۵	-/۰/۴۸	-/۵۶۵	-/۲۴۵	۵۵۱
RS10	۰/۵۸۹	۰/۳۳۶	-/۰/۳۲	-/۵۷۵	-/۲۹۴	۵۳۶
میانگین	۰/۵۲۴	۰/۳۹۵	-/۱/۴۳	-/۴۷۹	-/۵۸۳	۹۲۸

(ب)

بیشتری از آن ماده را در خود حل کند و به همین طریق اگر آب از نظر میزان یک ترکیب محلول به‌صورت فوق اشباع درآمده باشد، مقادیر بیشتر آن ماده محلول را به‌صورت ترکیب جامد رسوب می‌دهد که در واقع همان فرآیند ته‌نشینی (Precipitation) است (Deutsh, 1997). به‌منظور تعیین شرایط شیمی آب خلیج گرگان از این منظر، نمایه‌های اشباع‌شدگی^۱ برای کانی‌های مختلف در آب خلیج و رودخانه‌های منتهی به آن مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۶). اگر مقادیر SI کمتر از صفر باشد، مقادیر بیشتری از کانی مورد نظر می‌تواند به‌صورت محلول وارد فاز آبی شود که انحلال^۲ نامیده می‌شود و اگر مقدار SI مثبت باشد، کانی مورد نظر در حال تبدیل به رسوب و ته‌نشینی است (Sarker and Datta, 2007). نمایه اشباع‌شدگی از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$SI = \log IAP / K_s \quad (۱)$$

که در آن IAP، محصول فعالیت یونی و K_s، محصول انحلال‌پذیری کانی مورد نظر است (Sarker and Datta, 2007). مقادیر محاسبه شده‌ی SI برای نمونه‌های آبی مورد مطالعه در جدول ۶ آمده است. در بررسی نمایه‌های اشباع‌شدگی نمونه‌های آب خلیج گرگان، مقادیر به‌دست آمده برای کانی‌های آراگونیت، کلسیت، دولومیت، هالیت، ژپس، مگنزیت، بروسیت، آرتینیت، اپسومیت، هونتیت، میرابلیت، ناکولیت، پورتلندیت، تاردریت و ترونا، نشان می‌دهند که این آب‌ها از نظر کانی‌های آراگونیت، کلسیت، دولومیت، مگنزیت و هونتیت اشباع شده است که این اشباع‌شدگی برای کانی دولومیت و هونتیت از میزان بالاتری نسبت به سایر کانی‌های مورد مطالعه برخوردار است. البته با توجه به نتایج به‌دست آمده از آنالیز کانی‌شناسی رسوبات بستر خلیج (جدول ۹)، مقادیر به‌دست آمده SI در حدی نیست که آب خلیج از نظر این کانی‌ها به حالت فوق اشباع درآمده و باعث راسب شدن این کانی‌ها در خلیج گرگان شود. همچنین این خلیج از بابت کانی‌های هالیت، ژپس و بروسیت در حالت تحت اشباع قرار دارد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات مقادیر یون‌های اصلی محلول در آب خلیج گرگان منهای یون کلرید در شکل ۳ آمده است. یون کلرید به‌دلیل غلظت بالاتر نسبت به سایر یون‌های مورد مطالعه در این شکل آورده نشده است.

از دیگر عوامل کنترل‌کننده شیمی آب خلیج می‌توان به فرآیندهای شیمیایی مختلف در حین واکنش آب-سنگ (رسوب بستر) اشاره کرد که شامل انحلال/ته‌نشینی، فرآیندهای تبادل یونی، و اکسیداسیون-احیا می‌شود (Sarker and Datta, 2007). انحلال مواد معدنی و کانی‌ها و یا ته‌نشین شدن و رسوب‌گذاری آنها با انتقال ماده از یک فاز به فاز دیگر صورت می‌گیرد (Deutsh, 1997). در محیط آبی خلیج گرگان، این فازها همان آب خلیج و رسوباتی هستند که توسط آب‌های جاری به محیط رسوبی آورده می‌شوند. اگر آب از یک ترکیب خاص اشباع نشده باشد، برای رسیدن به تعادل شیمیایی با رسوب، می‌تواند مقادیر

¹ Saturation Indexes

² Dissolution

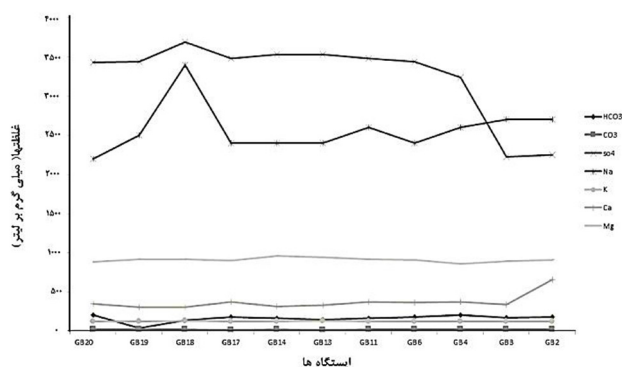
جدول ۶: نمایه‌های اشباع‌شدگی (Saturation Index) نمونه‌های آبی خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن برای برخی کانی‌ها

ID	آراگونیت	کلسیت	دولومیت	هالیت	ژیپس	مگنیزیت	بروسیت	آرتینیت	اپسومیت	هونتیت	میرابلیت	ناکولیت	پورتلندیت	تاردیت	ترونا
RS1	-۰/۵۱	-۰/۶۶	۱/۳۳	-۸/۱۲	-۱/۶۱	-۰/۱	-۴/۰۷	-۴/۷۲	-۴/۱۰	-۱/۶۹	-۸	-۴/۹۴	-۹/۹۹	-۹/۱۰	-۱۵/۷۷
RS2	-۰/۸۴	-۰/۹۹	۲/۱۳	-۵/۳۶	-۰/۸۹	۰/۵۹	-۳/۹۴	-۴/۰۵	-۳/۱۴	-۰/۰۴	-۵/۰۶	-۳/۶۲	-۱۰/۱۱	-۶/۳۸	-۱۲/۳۴
RS3	-۰/۵۵	-۰/۷	۱/۶۴	-۵/۷۵	-۱/۴۸	۰/۳۸	-۴/۱۱	-۴/۴۳	-۳/۶۶	-۰/۸۷	-۵/۴۵	-۳/۶۸	-۱۰/۳۶	-۶/۷۸	-۱۲/۴۹
RS4	-۰/۷	-۰/۸۴	۱/۴۱	-۸/۴۴	-۱/۵۱	۰	-۴/۲۷	-۴/۹۷	-۴/۲۱	-۱/۸۴	-۸/۳۱	-۵/۱۳	-۱۰	-۹/۶۴	-۱۶/۶۲
RS5	-۰/۴۳	-۰/۵۸	۱/۰۷	-۸/۹۱	-۱/۴۸	-۰/۰۸	-۴/۳۰	-۵/۱۴	-۴/۰۷	-۲/۳۱	-۸/۸۸	-۵/۴۶	-۱۰/۱۲	-۹/۹۷	-۱۷/۳۷
RS6	-۰/۶۹	-۰/۸۴	۱/۳۶	-۸/۴۱	-۱/۵۲	-۰/۰۳	-۴/۳۱	-۵-۰۴	-۴/۲۴	-۱/۹۷	-۸/۱۸	-۵/۰۷	-۱۰/۰۲	-۹/۵۳	-۱۶/۴۸
RS7	-۰/۶۲	-۰/۷۷	۱/۵۵	-۶/۴۰	-۱/۰۱	۰/۲۳	-۴/۴۶	-۴/۹۳	-۳/۴	-۱/۲۵	-۵/۹۵	-۴/۰۴	-۱۰/۴۹	-۷/۲۸	-۱۳/۷۶
RS8	۱/۰۲	۱/۱۷	۲/۲۴	-۶/۳۴	-۱/۱۰	۰/۶۷	-۳/۴۰	-۳/۴۸	-۳/۵۳	۰/۵۵	-۶/۲۲	-۴/۱۰	-۹/۳۸	-۷/۳۲	-۱۳/۱۴
RS9	-۰/۵۵	-۰/۷	۱/۲۳	-۷/۹۴	-۱/۴۹	-۰/۰۲	-۴/۲۷	-۴/۹۸	-۴/۰۵	-۲/۰۷	-۷/۶۹	-۴/۹۳	-۱۰/۱۳	-۹/۰۴	-۱۶/۰۲
RS10	-۰/۴	-۰/۵۵	۱/۰۶	-۸/۱۱	-۱/۵۵	-۰/۰۴	-۴/۳۷	-۵/۱۲	-۴	-۲/۲۸	-۷/۷۱	-۴/۹۳	-۱۰/۳۵	-۹/۰۳	-۱۶/۰۷
GB2	۱/۳۵	۱/۴۹	۳/۵۱	-۳/۵۶	-۰/۳	۱/۴۳	-۱/۵۲	-۰/۰۹	-۲/۳۹	۳/۱۹	-۳/۶	-۳/۴۵	-۷/۸۴	-۴/۴۵	-۹/۹۰
GB3	۱/۰۹	۱/۲۳	۳/۲۶	-۳/۵۶	-۰/۵۶	۱/۴۴	-۱/۴۶	-۰/۸۳	-۲/۳۸	۲/۹۷	-۳/۵۷	-۳/۴۶	-۸/۰۶	-۴/۴۲	-۹/۸۸
GB4	۱/۲۳	۱/۳۸	۳/۴۹	-۳/۵۵	-۰/۳۹	۱/۵۳	-۱/۳۲	-۰/۶۱	-۲/۲۷	-۳/۳۸	-۳/۴۶	-۳/۴۳	-۷/۵۸	-۴/۲۹	-۹/۷۲
GB6	۱/۱۲	۱/۲۶	۳/۲۹	-۳/۶۱	-۰/۳۷	۱/۴۴	-۱/۴۷	-۰/۸۴	-۲/۲۱	۳	-۳/۴۷	-۳/۴۹	-۸/۰۴	-۴/۳۳	-۹/۹۷
GB11	۱/۱۱	۱/۲۵	۳/۲۶	-۳/۵۸	-۰/۳۶	۱/۴۳	-۱/۴۲	-۰/۸	-۲/۲۱	۲/۹۵	-۳/۴۲	-۳/۵۰	-۷/۹۸	-۴/۲۶	-۹/۹۳
GB13	-۰/۹۸	۱/۱۲	۳/۰۷	-۳/۶۱	-۰/۴۱	۱/۳۶	-۱/۱۲	-۱/۰۹	-۲/۲۰	۲/۶۴	-۳/۵۳	-۳/۵۹	-۸/۰۵	-۴/۳۲	-۱۰/۱۲
GB14	-۰/۹۸	۱/۱۲	۳/۱۰	-۳/۶۱	-۰/۴۲	۱/۳۹	-۱/۵۳	-۰/۹۶	-۲/۱۹	۲/۷۱	-۴/۴۸	-۳/۵۲	-۸/۱۸	-۴/۳۲	-۱۰/۰۷
GB17	۱/۰۸	۱/۲۲	۳/۱۹	-۳/۶۰	-۰/۳۵	۱/۳۸	-۱/۶۳	-۱/۰۵	-۲/۲۰	۲/۷۸	-۳/۴۴	-۳/۴۷	-۸/۱۹	-۴/۳۲	-۱۰/۰۳
GB18	۱/۹۶	۱/۱۰	۳/۰۴	-۳/۴۴	-۰/۴۴	۱/۳۶	-۱/۳۶	-۰/۸۲	-۲/۲۱	۲/۶۰	-۳/۱۹	-۳/۴۷	-۸/۰۱	-۴/۰۲	-۹/۷۳
GB20	۱/۱۱	۱/۳۶	۳/۲۸	-۳/۶۵	-۰/۳۸	۱/۴۴	-۱/۶۵	-۱/۰۱	-۲/۲۰	۲/۹۹	-۳/۵	-۳/۴۳	-۸/۲۳	-۴/۳۹	-۱۰/۰۱

جدول ۷: میزان متوسط غلظت یون‌های اصلی محلول در آب‌های سطحی آسیا (Livingstone, 1963) و مقایسه‌ی آن با مقادیر به‌دست آمده از رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان (غلظت‌ها بر حسب ppm هستند).

آب‌های سطحی	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
متوسط آب‌های سطحی آسیا	۷۹	۸/۷	۸/۴	۹/۳	۱۸/۴	۵/۶
متوسط رودخانه‌های مورد مطالعه	۳۱۳/۰۵	۱۳۲/۱۹	۲۶۴/۴۴	۹۵/۸۳	۷۸/۴۶	۴۳/۹۹

مقایسه‌ی آب رودخانه‌ها با آب خلیج گرگان در دیاگرام پایپر (شکل ۲ و جدول ۴) نشان می‌دهد که شیمی کلی یون‌های محلول در آب خلیج، به‌طور عمده به‌وسیله آب دریای خزر کنترل می‌شود و رودخانه‌ها در این پدیده تأثیر زیادی نداشته‌اند. همچنین نمونه‌های آبی RS2 و RS3 که از رودخانه‌های بخش غربی حوضه آبریز خلیج برداشته شده‌اند، با توجه به نزدیکی نسبی محل نمونه‌برداری به آب خلیج، ترکیبی نسبتاً مشابه با آن را نشان می‌دهند. این مسئله نیز غلبه‌ی شیمی آب دریای خزر بر شیمی آب خلیج گرگان را نشان می‌دهد. البته در مورد نمونه‌ی RS3 به نظر می‌رسد که اثرات انسان‌زاد با توجه به تخلیه‌ی حجم قابل توجه فاضلاب‌های کشاورزی و شهری به رودخانه‌ی تسکرو، عامل اصلی تغییرات میزان یون‌های سدیم و کلر آن باشند.

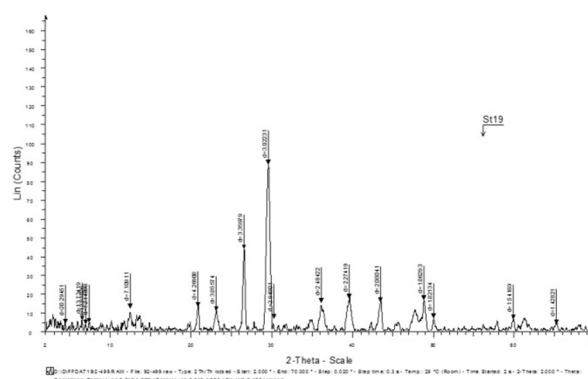


شکل ۳: نمایش تغییرات مقادیر غلظت یون‌های محلول در آب خلیج گرگان (نمونه‌ها از غرب - نمونه GB20 - به شرق - نمونه GB2 - نشان داده شده‌اند).

مقایسه میانگین ترکیب آب رودخانه‌ها با میانگین رودخانه‌های آسیا (جدول ۷) نیز نشان می‌دهد که شیمی آب رودخانه‌های منتهی به خلیج گرگان به‌علت فصلی بودن اغلب آنها، تحت تأثیر فرآیندهای مؤثر بر حوضه‌ی آبریز و اثر این فرآیندها در فرسایش و حمل واحدهای زمین‌شناسی از قبیل سنگ‌های آهکی، شیلی البرز شمالی و مجموعه‌ی فرسایش‌پذیر دگرگونی گرگان و همچنین آلاینده‌های حاصل از محیط‌های شهری منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

محاسبه نسبت‌های یونی (جدول ۵ ب) هم نشان می‌دهد که منشأ اصلی آب خلیج گرگان، دریای خزر است. این مسئله، تیپ و رخساره‌ی شیمیایی به‌دست آمده از بررسی دیاگرام پاپیر را نیز تایید می‌نماید. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تیپ آب نمونه‌های برداشت شده از خلیج گرگان، به‌طور کلی سدیم- منیزیم کلره محسوب می‌شود. اصلی‌ترین منبع کلر در آب، کلرید سدیم است که یا به‌طور مستقیم از انحلال هالیت حاصل می‌شود و یا منشا اقیانوسی دارد (Haunslow, 1995). اما یون سدیم می‌تواند از منابع دیگری چون دگرسانی پلاژیوکلاز و یا تبادلات یونی نیز حاصل شده باشد؛ بنابراین اگر کلر در نمونه‌ی آبی بیشتر از سدیم باشد (در TDSهای بالاتر از ۵۰۰ mg/l) منعکس‌کننده‌ی آب‌های شور دریایی است (جدول ۵ الف). در نمونه‌های آبی خلیج گرگان نسبت $Na/(Na+Cl)$ کمتر از ۰/۵ بوده و با توجه به میانگین TDS (۱۱۵۶۷ mg/l) نشان می‌دهد که دریا منبع اصلی تامین‌کننده یون کلر در آب خلیج گرگان است.

بررسی نسبت یون کلسیم به سولفات در خلیج (جدول ۵ ب) نشان می‌دهد که به‌طور کلی این نسبت در آب خلیج مثبت بوده و تا حد زیادی توسط دریای خزر کنترل می‌شود. اگرچه مقدار میانگین این نسبت برابر ۰/۳ است، اما در نقاطی افزایش و در نقاط دیگری کاهش نشان می‌دهد. افزایش مقادیر نسبت یون کلسیم به سولفات را می‌توان به چند عامل احتمالی نسبت داد: ۱- ته‌نشینی کلسیم و یا تبادلات یونی بین آب و رسوب بستر خلیج و ۲- بالا بودن میزان سولفات آب خزر به‌طور طبیعی. بارش‌ها و زهاب‌های اسیدی و انحلال سازندهای سولفات‌دار مانند واحدهای دارای مقادیر بالای ژپیس و انیدریت، به‌ترتیب عوامل عمده‌ی انسانزاد و طبیعی تولیدکننده سولفات محسوب می‌شوند (Haunslow, 1995، ایبای، ۱۳۹۰). با توجه به مطالعات انجام شده‌ی پیشین در آب خزر (Sverdrup et al., 1942) و داده‌های به‌دست آمده در این مطالعه به‌نظر می‌رسد که ویژگی‌های هیدروشیمیایی طبیعی خزر مانند ترکیب نمک‌های محلول علیرغم تغییرات فصلی و یا سالیانه در طی زمان تقریباً ثابت بوده و از شیمی اولیه‌ی آب خزر پیروی می‌کند. در مقایسه با مقادیر جهانی سولفات، میزان به‌دست آمده در خلیج گرگان مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. چنان‌که میزان سولفات در آب‌های آزاد ۲۷۰۰ ppm است (Sumich, 1999). در کل بررسی‌ها نشان می‌دهند که مقدار نسبی سولفات دریای خزر در مقایسه با آب‌های آزاد بیشتر است (بایرامی و همکاران، ۱۳۸۲). آب دریای



شکل ۴: تصویر گراف حاصل از آنالیز XRD نمونه رسوب برداشت شده از بستر خلیج گرگان

وجود آب‌های سطحی و یا زیرزمینی کاتیون کلره (مانند سدیم- پتاسیم کلره) در محیط‌های آبی نزدیک به حوضه‌های دریایی، مانند خلیج‌ها محتمل و معمول است (Livingstone, 1963). آب رودخانه‌ی نوکیله (نمونه‌های RS1 و RS2) نیز تحت تأثیر شیمی عمومی آب دریای خزر قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که تیپ آب رودخانه‌ی نوکیله (RS1)، قبل از ورود به فرو افتادگی زاغمرز مانند رودخانه‌های گلوگاه، خلیل شهر و شاخه‌ی اصلی نکارود (به‌ترتیب نمونه‌های RS9، RS4، RS6، RS5 و RS10)، از نوع کلسیم بی‌کربناته بوده (جدول ۴)، اما در محل ورود به تالاب میانکاله (RS2) به سدیم- پتاسیم کلره تغییر می‌یابد. با توجه به یکی بودن منشأ آب فرو افتادگی‌های زاغمرز و خلیج گرگان و نیز خشک و نمکین شدن این فرو افتادگی‌ها در اثر تبخیر در فصول کم بارش سال، یون‌های سدیم و کلر می‌توانند از آب این فرو افتادگی‌ها به آب رودخانه‌ی نوکیله اضافه شده و ترکیب آب را به سدیم کلره تغییر دهند. تشابه کلی تیپ آب تمامی این رودخانه‌ها را می‌توان همچنین به یکی بودن حوضه‌ی آبریز منطقه (البرز مرکزی- شرقی) نسبت داد. واحدهای کربناته‌ی بخش‌های شرقی البرز مانند سازند لار و خوش بیلاق می‌توانند منشأ یون کلسیم و بی‌کربنات (و به عبارتی کربنات) این آب‌ها در نظر گرفته شوند (شکل ۱).

تطابق قابل قبول محدوده‌های تعریف شده در نمودار گیبس (شکل ۳) و نمونه‌های مورد مطالعه از آب خلیج گرگان نیز مانند سایر نتایج به‌دست آمده تاکنون، غلبه شیمی آب دریای خزر نسبت به رودخانه‌های اطراف آن را بر ترکیب آب خلیج نشان می‌دهد و تصدیق می‌کند که شیمی کلی آب خلیج گرگان توسط آب دریای خزر کنترل می‌شود.

می‌توان مقادیر نمایه‌های اشباع‌شدگی نمونه‌های آبی خلیج برای کانی‌های مختلف را با مقدار هر یک از این کانی‌ها در رسوبات بستر خلیج مطابقت داد. همان‌طور که در جدول ۹ و شکل ۴ دیده می‌شود، طبق آنالیز XRD انجام شده بر روی رسوبات، کانی‌شناسی عمده رسوبات منطقه، شامل کانی‌های کلسیت، کوآرتز، فلدسپات، کانی‌های رسی، مسکوویت و به مقدار کمتری دولومیت و هماتیت است. مقایسه‌ی کانی‌شناسی رسوبات مورد مطالعه با نمایه‌های اشباع‌شدگی به‌دست آمده در هر نقطه‌ی نمونه‌برداری و یا نقاط مجاور نشان می‌دهد که کانی کلسیت در رسوبات از میزان قابل توجهی برخوردار است، در آب نیز نمایه‌های اشباع‌شدگی مثبت را نشان می‌دهد. البته رابطه خاصی برای حضور کانی دولومیت در رسوبات و مثبت بودن نمایه‌های اشباع‌شدگی متناظر، وجود ندارد. سایر کانی‌ها نیز اثر قابل ملاحظه‌ای بر نمایه‌های اشباع‌شدگی نداشته‌اند. بنابراین، از مجموع مقایسه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که روابط شیمیایی معنی دار آب - رسوب در خلیج گرگان وجود نداشته و نمایه‌های اشباع‌شدگی به‌صورت مستقیم و منحصرأ توسط رسوب کف بستر کنترل نمی‌شوند.

البته مطالعات کامل‌تر ژئوشیمیایی، به همراه تطابق‌های عوامل زیست‌محیطی اثرگذار در منطقه، به‌منظور تعیین منابع نقطه‌ای و یا غیر نقطه‌ای وارد کننده‌ی آلاینده‌های احتمالی موثر در تغییر میزان یون‌های محلول در آب رودخانه‌ها می‌تواند در تطابق نمایه‌های اشباع‌شدگی به‌دست آمده در این مطالعه با شرایط محیطی حاکم بر حوضه‌ی آبریز این رودخانه‌ها مفید باشد.

در این مطالعه، شیمی کلی آب خلیج گرگان و رودخانه‌های دائمی و فصلی منتهی به آن بررسی شد که طی آن، غلظت یون‌های اصلی محلول در این آب‌ها مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت. طی این بررسی‌ها تیپ و رخساره‌ی شیمیایی آب خلیج به‌صورت آب سدیم، منیزیم کلره تعیین شد. تیپ آب رودخانه‌های منتهی به خلیج نیز با توجه به زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز هر یک از رودخانه‌ها کنترل می‌شود؛ چنان‌که تیپ آب نمونه‌های آبی برداشت شده از نکا رود (RS10) و رودخانه‌هایی که از آن منشأ می‌گیرند (نمونه‌های RS1، RS4، RS5، RS6 و RS9) شیمی مشابهی نشان می‌دهند. اگرچه نمونه RS3 نیز از شاخه‌های نکارود محسوب می‌شود، اما حجم بالای ورود فاضلاب‌های شهری و کشاورزی به این رودخانه سبب شده تا شیمی آب آن نسبت به نمونه‌های مذکور تفاوت قابل ملاحظه‌ای پیدا کند.

خزر به‌دلیل دارا بودن نمک‌های سولفات، به‌ویژه سولفات سدیم و سولفات منیزیم جزو آب‌های تلخ مزه به شمار می‌رود (کردوانی، ۱۳۷۱). بنابراین بالا بودن میزان سولفات در خلیج گرگان، می‌تواند از شیمی آب خزر متأثر باشد. سایر نسبت‌های یونی ذکر شده در جدول ۵ نیز منشأ دریایی آب خلیج و اثر اندک رودخانه‌ها را در کنترل شیمی آب آن تصدیق می‌کنند.

برای مقایسه‌ی آب خلیج با آب دریای خزر نیز از ترکیب شیمیایی میانگین آب اقیانوس‌ها و نیز میانگین به‌دست آمده از آب خزر جنوبی (Kostianoy and Kosarev, 2005) استفاده شده است (جدول ۸). با مقایسه‌ی مقادیر ارائه شده می‌توان مشاهده کرد که غلظت برخی گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه (کربنات و یون‌های سدیم و پتاسیم) از مقادیری که برای ترکیب میانگین آب اقیانوس‌ها و خزر جنوبی به‌دست آمده کمتر است. اما در مورد یون‌های کلرید، کلسیم و منیزیم این مقادیر از میانگین اقیانوس‌های جهان کمتر اما از مقادیر گزارش شده برای خزر جنوبی بیشتر است.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، سولفات خلیج گرگان از میانگین آب اقیانوس‌ها و نیز میانگین خزر جنوبی بیشتر است. به‌طور کلی آب موجود در خلیج گرگان میزان یون‌های محلول بیشتری نسبت به آب خزر جنوبی دارد که این تغییر و تفاوت می‌تواند با تغییر میزان بارش، تغییر تراز آب خزر و تغییر میزان ورودی آب شیرین به خلیج گرگان و نیز شرایط ریخت‌شناختی خلیج و نیمه بسته بودن آن و در نتیجه بالاتر بودن نرخ تبخیر از حوضه در ارتباط باشد که البته برای فهم دلایل مؤثر بر آن به مطالعات دقیقی همچون تطابق‌های ایزوتوپی نیاز است.

محیط آبی دریایی و شوری بالای آن و توانایی آب دریا در انحلال مقادیر بالای کانی‌های تبخیری باعث شده است که نمایه‌های اشباع‌شدگی برای عمده کانی‌های تبخیری، شرایط تحت اشباع را نشان داده و این کانی‌ها در صورت ورود به خلیج، قابل انحلال باشند. بررسی SI آب رودخانه‌های ورودی به خلیج گرگان نیز نشان می‌دهد که کانی‌های آراگونیت، کلسیت، دولومیت و تا حد زیادی مگنیزیت دارای نمایه‌های اشباع‌شدگی مثبت و سایر کانی‌ها دارای نمایه‌های اشباع‌شدگی منفی هستند. با توجه به شیرین بودن آب‌های سطحی رودخانه‌ای و نبود واحدهای زمین‌شناسی تبخیری عمده در منطقه، مقادیر منفی SI از آب رودخانه‌های مورد بررسی قابل انتظار است. به‌منظور بررسی تأثیر رسوبات بستر خلیج گرگان بر شیمی آب آن،

جدول ۸: مقایسه‌ی میانگین مقادیر یون‌های اصلی محلول در آب خلیج گرگان با میانگین ارائه شده توسط (Sverdrup et al., 1942) و (Pakhomova et al., 1966) برای ترکیب شیمیایی آب اقیانوس‌ها و خزر جنوبی و نیز تالاب انزلی (مقادیر بر حسب mg/l است).

نام و تاریخ مطالعه	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
متوسط اقیانوس‌های جهان (Sverdrup et al., 1942)	۱۴۳/۲	۱۹۴/۴	۲۶۴/۷	۱۱۱۹/۰/۸	۴۱۹/۴	۱۲۹/۹
متوسط خزر جنوبی (Pakhomova et al., 1966)	۲۲۱	۵۴۸/۴	۳۰۴/۸	۳۲۷/۲	۳۶۱/۶	۷۵۳/۳
مطالعه‌ی حاضر (میانگین خلیج گرگان، پاییز ۱۳۹۲)	۱۶۰/۶	۶۳۵/۴	۳۳۴۸/۵۴۴	۳۷۰۹/۲	۳۷۱/۸	۹۱۰/۴
تالاب انزلی مرکزی (پلوجی و همکاران، ۱۳۸۵)	۴۹/۶۵	۵۴۱/۹	۲۷۹/۲۵	۹۷۹۶/۲۵	۰/۷۴	۵۸/۵۲

جدول ۹: نمایش کانی شناسی (%) برخی نمونه‌های رسوب برداشت شده از خلیج گرگان. نقاط هم‌شماره با نمونه‌های آب خلیج، از یک نقطه برداشت شده‌اند. (Mont. = Chlorite, Montmorillonite)

Id	QTZ	Feldspat	Calcite	Dolomite	Muscovite	Clay	Mineralogy Clay	Hematite
St1	۱۸	۱۲	۴۰	-	۱۴	۱۳	Mont. + Chlor. + Illite + Kaol.	-
St3	۲۰	۱۲	۲۲	-	۱۰	۱۴	Mont. + Chlor. + Illite	-
St4	۱۵	۱۰	۳۴	-	۰	۲۲	Mont. + Chlor. + Illite	-
St6	۱۴	۱۴	۵۲	-	۵	۱۳	Chlor. + Mont. + Illite	-
St7	۱۵	۸	۴۹	-	۱۱	۱۴	Mont. + Illite + Chlorite	-
St10	۱۱	۷	۴۲	۹	۱۳	۱۶	Mont. + Chlor. + Illite	-
St11	۱۱	۵	۴۸	-	۱۶	۱۶	Illite + Chlor. + Mont.	۱
St15	۱۴	۶	۵۰	-	۱۳	۱۳	Chlor. + Mont. + Illite	۱
St18	۱۲	۶	۴۹	۴	۱۳	۱۳	Chlor. + Mont. + Illite	۱
St19	۱۳	۳	۶۶	-	۹	۶	Chlor. + Mont. + Illite	-
St20	۱۴	۶	۶۴	-	۴	۱۰	Chlor. + Illite + Mont.	۲
St22	۶	۴	۷۸	۲	۳	۶	.Chlor. + Illite + Mont. + Kaol	۱
St25	۲۵	۸	۵۰	۲	۵	۷	Mont. + Chlor. + Illite	-
St26	۱۵	۱۰	۴۹	۷	۹	۶	Mont. + Chlor. + Illite + Kaol.	-
St30	۲۷	۱۲	۴۰	۶	۵	۷	Mont. + Kaol. + Illite + Chlor.	-
Galugah	۱۰	۰	۸	-	۴۶	۳۱	Kaol. + Mont. + Chlor. + Illite	-
Nokileh	۲۰	۰	۴۶	-	۲۰	۲۲	Mont. + Kaol. + Chlor. + Illite	-

رابطه‌ی خاص و معنی‌داری را با نمایه‌های اشباع‌شدگی در نمونه‌های آب خلیج اثبات نمی‌کند. در مجموع، بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر شیمی آب خلیج گرگان، دریای خزر است. البته به‌منظور تعیین و ارزیابی دقیق‌تر میزان سهم هر یک از عوامل مؤثر بر شیمی آب خلیج گرگان، یعنی دریای خزر، رودخانه‌های منتهی به آن و رسوبات بستر خلیج، مطالعات دقیق و گسترده‌تر از جمله مطالعات ژئوشیمی آلی و ایزوتوپی پیشنهاد می‌گردد.

۵. سپاسگزاری

در انتها لازم است از همکاری‌های پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی ایران به ویژه آقایان دکتر عبدالمجید نادری‌بنی در مرکز تهران و مهندس حسین باقری و همکاران ایشان در مرکز اقیانوس‌شناسی دریای خزر پژوهشگاه در نوشهر جهت کمک در انجام نمونه‌برداری از آب خلیج و در اختیار قرار دادن نمونه‌های رسوبی آن، سازمان حفاظت محیط‌زیست استان مازندران، واحد حفاظت محیط‌زیست پناهگاه حیات وحش میانکاله، و نیز آقای جمال ابوطالبی در شورای اسلامی بخش

همچنین شیمی آب رودخانه‌ی قره‌سو در شرق خلیج را نیز می‌توان به واحدهای عمدتاً کربناته‌ی حوضه‌ی آبریز مانند خوش بیلاق، مبارک، لار و دلیچای و نیز منابع انسان‌زاد شیمیایی اطراف حوضه‌ی آبریز قره‌سو نسبت داد.

تعیین و بررسی نسبت‌های یونی مختلف و مقایسه‌ی مقادیر یون‌های محلول در آب خلیج گرگان و رودخانه‌های منتهی به آن با میانگین آب خزر جنوبی و آب‌های آزاد جهانی نشان داد که شیمی آب خلیج به‌طور عمده توسط دریای خزر کنترل می‌شود و اثر رودخانه‌ها بر شیمی آب را می‌توان در این پدیده ناچیز دانست. همچنین مطالعه‌ی نمایه‌های اشباع‌شدگی در آب خلیج و رودخانه‌های مورد مطالعه نشان داد که آب خلیج از نظر کانی‌هایی مانند آراگونیت، کلسیت، دولومیت و منیزیت در حالت نسبتاً اشباع و از نظر کانی‌های تبخیری مانند هالیت، ژپس و بروسیت، در حالت تحت اشباع قرار دارد. ورودی آب شیرین از رودخانه‌ها و همچنین بارش‌های جوی می‌تواند فضا و فرصت انحلال بیشتر کانی‌های تحت اشباع را فراهم آورد و از طرفی نیز باعث شود تا کانی‌هایی که به حالت اشباع در آب وجود دارند به مرحله‌ی فوق اشباع و رسوب‌گذاری مستقیم از آب خلیج نرسند. مقایسه‌ی محتوای کانی شناسی رسوبات بستر خلیج گرگان نیز

شاخص‌های ژئوشیمیایی و رسوب‌شناختی رسوبات خلیج گرگان.
نشریه اقیانوس‌شناسی، سال اول، شماره ۱: ۴۵-۵۵.

Amini, A.; Moussavi Harami, R.; Lahijani, H.; Mahboubi, A., 2012. Holocene sedimentation rate in Gorgan Bay and adjacent coasts in southeast of Caspian Sea, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2 (1): 289-297.

Deutsch, W.J., 1997. Groundwater geochemistry: Fundamentals and applications to contamination. Lewis Publishers, New York. 232p.

Drever, J., 2002. The Geochemistry of natural waters, surface and groundwater environments, Third Edition, 436p.

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

Hounslow, A.W., 1995. Water quality data: analysis and interpretation. CRC Press, LLC, Florida. 416p.

Kostianoy, A.; Kosarev, A., 2005. Handbook of environmental chemistry, the Caspian Sea Environment, Springer, 5: 278p.

Langmuire, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry, Prentice-Hall, New Jersey, 603p.

Livingstone, D.A., 1963. Chemical composition of rivers and lakes In Data of Geochemistry, 6th edition, (M. Fleischer edition), Geological Survey Professional Paper 440, Washington, D.C.; U.S. Governmental Printing Office, 64 p.

Pakhomova M.V.; Zatchnaya, B.M., 1966. Hydrochemiistry of the Caspian Sea, Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).

Perry, C.; Taylor, K., 2007. Environmental Sedimentology, Blackwell Publishing, 441 p.

Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in hydrochemical interpretation or water analysis, AGU Trans, 25: 914-923.

Sarker, D.; Datta, R., 2007. Concepts and applications in environmental geochemistry, Elsevier Ltd., 762p.

زاغمرز و آقای علیرضا طاهری به جهت همکاری‌های صمیمانه کمال تشکر را به‌عمل آوریم.

منابع

احمدی، ر.، ۱۳۸۱. طرح مدیریت پناهگاه حیات وحش میانکاله. جلد ششم، مطالعات اقلیم و هواشناسی، مهندسين مشاور رواناب سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۲۸ صفحه.

آقائاتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۷۰۷ صفحه.

ایبای، ج.ن.، ۱۳۹۰. مبانی زمین‌شناسی زیست محیطی (ترجمه). فرید مر، سروش مدبری، گیتی فرقانی تهرانی، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۶۸۳ صفحه.

باقری، ح.؛ درویش بسطامی، ک.؛ شارمد، ت.؛ باقری، ز.، ۱۳۹۱. ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال سوم، ۱۱: ۶۵-۷۲.

بایرامی، ا.؛ ابطحی، ب.؛ فرج زاده، ا.؛ محمدی، م.؛ رهنما، م.؛ حق-دوست، م.، ۱۳۸۲. سنجش شوری و مقادیر یون‌های اصلی محلول در آب در جنوب شرقی خزر. مجله ی علوم دریایی ایران، ۲ و ۳: ۷۰-۷۳ صفحه.

پالوسکا، آ.؛ وگنز، ا. ت.، ۱۳۷۱. ترجمه شهرابی، م.؛ زمین‌شناسی کواترنر کرانه‌های دریایی خزر. گزارش شماره‌ی ۶ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۰ صفحه.

بلوچی، ش.؛ خارا، ح.؛ جمالزاده فلاح، ف.؛ اکبرزاده، ا.، ۱۳۸۵. مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب تالاب انزلی و رودخانه‌های ورودی و خروجی آن. نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۳: ۷۶-۸۳.

شربت‌ی، س.؛ حسینی، س.؛ تقی زاده، و.؛ ایمانپور، م.؛ گرگین، س.، ۱۳۸۹. مدل‌سازی دو بعدی جریانات در خلیج گرگان تحت تاثیر نوسانات سطح آب و الگوی باد متغیر. خلاصه مقالات اولین همایش ملی - منطقه‌ای اکولوژی دریای خزر، ۲۲۷ صفحه.

کردوانی، پ.، ۱۳۷۱. اکوسیستم‌های آبی ایران؛ دریای خزر. نشر قومس، ۳۵۲ صفحه.

لاهیجانی، ح.، ۱۳۸۱. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی خلیج گرگان. پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ۶۶ صفحه.

لاهیجانی، ح.؛ حایری اردکانی، ا.؛ شریفی، آ.؛ نادری بنی، ع.، ۱۳۸۹.

- oceans, Their physics, chemistry and general biology, Wiley, New York, 1087p.
- Classification System for Wetland Type, 2012. The Ramsar convention Definition of “Wetland” and Classification System for Wetland Type.
- Sharbaty, S., 2012. 3-D simulation flow pattern in the Gorgan Bay in during summer, International Journal of Engineering Research and Applications, 2(3): 700-707.
- Sumich, J.L., 1999. An introduction to the biology of marine life, 7th ed. WBC/McGraw-Hill, 20-23.
- Sverdrup, H.; Johnson, M.; Fleming, R., 1942. The