

ژئوشیمی تبخیری های بخش چهل سازند گچساران (میوسن پیشین) در خاوربندر خمیر، فروافتادگی بندر لنگه با نگرش ویژه به اقلیم دیرینه

پیمان رضائی^{۱*}، سیده اکرم جویباری^۲، فاروق عالیان^۳

۱- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- دکترای رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- دانشجوی دکتری رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

*P.rezaee@hormozgan.ac.ir

دریافت آبان ۱۴۰۳، پذیرش آذر ۱۴۰۳

چکیده

سازند تبخیری گچساران (میوسن پیشین) به عنوان مهمترین پوش سنگ مخازن هیدروکربوری ترشیری در خاورمیانه شناخته می شود. این سازند در جنوب فروافتادگی بندر لنگه در جنوب خاوری زاگرس چین خورده رخنمون های خوبی داشته و در خاور بندر خمیر شامل سه بخش چهل، چمپه و مول می باشد. در این گستره، دو برش از بخش چهل سازند گچساران که شامل نهشته های تبخیری است از دیدگاه ژئوشیمی با تاکید بر اقلیم دیرینه و منشا مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور تعداد ۲۳ نمونه از تبخیری های هر دو برش برداشت شده و مورد آنالیزهای XRF و ICP قرار گرفتند. نتایج حاصل از تغییرات اکسیدهای اصلی نشان دهنده همبستگی منفی Fe_2O_3, K_2O, Al_2O_3 و همبستگی مثبت CaO با SO_3 بوده که این مهم حاکی از غالب بودن شرایط برای سولفات ها بوده و از طرفی دیگر افزایش میزان شوری در حوضه است. بررسی ها همچنین بیانگر همبستگی منفی عناصر فرعی با اکسید SO_3 می باشد که بیانگر وجود ۲ مرحله خشک شدگی و پسروی شاخص در بازه زمانی ته نشست این تبخیری ها است. رخنمون های دیابیرهای سری هرمز در بالادست و نزدیک به گستره مورد مطالعه، شاهدی از تاثیر نهشته های سری هرمز بر افزایش میزان عناصر فرعی در توالی مورد مطالعه است.

کلمات کلیدی: ژئوشیمی، سازند گچساران، اقلیم دیرینه، فروافتادگی بندر لنگه، بخش چهل

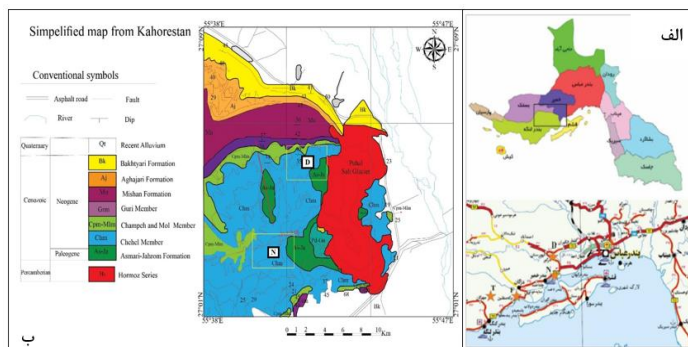
۱- مقدمه

نهشته های تبخیری در توالی های رسوبی پرکامبرین پسین تا کواترنری سراسر دنیا حضور قابل توجهی دارند [۵۴-۲۶،۵۳]. تبخیری ها در مناطقی تشکیل می شوند که میزان تبخیر در حوضه ها بر مجموع نزولات جوی و جریان های سطحی و زیر زمینی به حوضه برتری داشته باشد [۵۴-۵۳]. بدین ترتیب می توان انتظار داشت که بسیاری از این نوع نهشته ها در نواحی با آب و هوای خشک و نیمه خشک یافت شوند. پیشرفت علم ژئوشیمی در چند دهه اخیر و بهره گیری از آن در علوم زمین، محققان علوم زمین را قادر ساخته تا بتوانند با مطالعه رفتار های عناصر در محیط های مختلف، به سازوکار تشکیل انواع سنگ ها پی ببرند [۴۴،۵۸]. سنگ های رسوبی نیز از این قاعده مستثنی نیستند و یک رسوب شناس نیز قاعدتاً با مطالعه دقیق رفتار عناصر در محیط های رسوبی مورد نظر خود قادر خواهد بود تاریخچه، تحولات دیاژنتیک نهشته های مورد مطالعه را ارزیابی کند. مطالعات ژئوشیمی بر روی نهشته های تبخیری همواره در تحلیل محیط های رسوبی دیرینه مفید بوده است. توزیع عناصر از جنبه ژئوشیمیایی در رسوبات، تابع عواملی چون دما، فشار، پتانسیل یونی و پتانسیل اکسایش و کاهش است [۲۳،۳۱]. عوامل دیگری چون هوازدگی نیز در تحرک یا عدم تحرک عناصر مختلف در سنگ های رسوبی تاثیر گذارند [۲۴،۴۱]. عناصر با ظرفیت های متفاوت دارای رفتارهای متفاوت یا مشابه به یکدیگر، در برخی محیط های رسوبی هستند، که این امر به تفسیر محیط های رسوبی دیرینه کمک می نماید [۶۱]. سازند گچساران (میوسن پیشین) اولین سازند گروه فارس است. سازند گچساران (میوسن پیشین) به عنوان مهم ترین پوش سنگ مخازن هیدروکربوری زاگرس از یک سو و برخوردار از نمک، گوگرد و گچ از سوی دیگر، اهمیت فراوانی در زمین شناسی ایران دارد [۱-۲]. روی سازند گچساران مطالعات زیادی انجام شده از این جمله می توان به سن سنجی سازند گچساران و سازندهای معادل آن بر مبنای فرامنیفرها [۴۷]، زمین ساخت رسوبی سازند گچساران در حوضه پیش بوم زاگرس [۱۵]، تاریخچه رسوبگذاری سازند گچساران (پوش سنگ مخزن آسماری) در میدان نفتی آب تیمور [۴]، مطالعه سنگ رخساره ها و محیط رسوبی سازند گچساران در باختر بندرعباس، برش کوه نمکی خمیر [۷]، بررسی اثرهای محیط زیستی سازند گچساران در دشت میداوود، شرق خوزستان [۱۰] و تفسیر ساختاری و محیط رسوبی سازند گچساران با تاکید بر توالی بخش ۱ این سازند در میدان نفتی گچساران، فروافتادگی دزفول جنوبی [۹] اشاره نمود. در راستای تکمیل این یافته ها پژوهش حاضر با تاکید بر تحلیل اقلیم دیرینه نهشته های تبخیری بخش چهل سازند گچساران در گستره بندر خمیر، با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی انجام شد.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

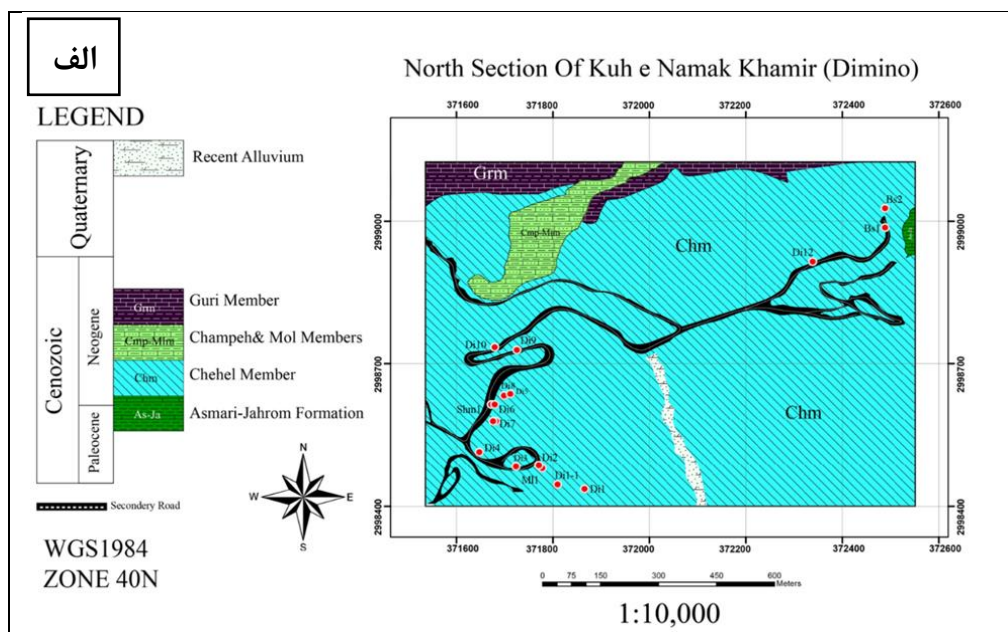
گستره مورد مطالعه به لحاظ جغرافیایی در استان هرمزگان و در محدوده بندر خمیر قرار دارد (شکل ۱-الف). از جنبه ساختاری، این گستره در فروافتادگی بندر لنگه و پس خشکی بندرعباس، در جنوب زاگرس چین خورده قرار دارد. زیرپهنه پس خشکی بندرعباس محدوده ای از پایانه جنوب خاوری زاگرس است که مرز خاوری آن گسل میناب و مرز جنوبی آن جبهه چین های زاگرس است که از درون خلیج فارس می گذرد و مرز شمالی آن منطبق بر گسل رازک و یا خطواره نخیلو- فینو است [۲۵]. در فروافتادگی بندر لنگه نهشته هایی از پرکامبرین پسین تا عهد حاضر دیده می شوند که از تنوع زیادی

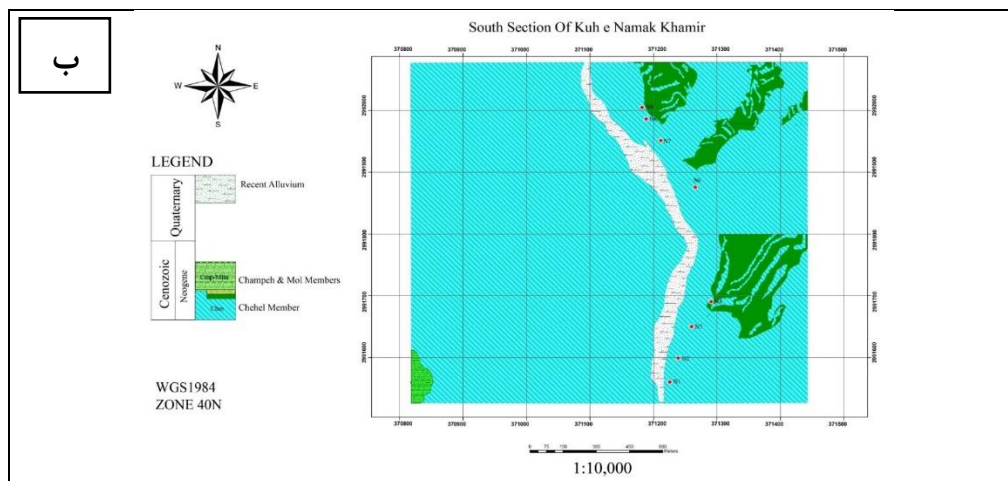
برخوردار هستند. مهمترین واحدهای موجود شامل سری هرمز و سازندهای سروک، گوری، پابده، آسماری- جهرم، گچساران و میشان و آجاجاری هستند [۵].



شکل ۱: الف: موقعیت جغرافیایی برش های مورد مطالعه بر روی نقشه جغرافیایی و نقشه راه های کشور [۱۱] ب: موقعیت برش های مورد مطالعه بر روی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ کهورستان [۶]

سازند گچساران اولین سازند گروه فارس بوده که با مرز تدریجی و همشیب بر روی سازند آسماری قرار میگیرد [۲]. این سازند با رخساره تبخیری نشان از پسروری عمومی پس از بسته شدن کامل اقیانوس نئوتتیس دارد [۲۵]. سازند گچساران (میوسن پیشین) در گستره جنوبی فروافتادگی بندر لنگه به ویژه محدوده بندر خمیر برونزدهای خوبی داشته و مشتمل بر عضوهای چهل، چمپه و مول است و از رخساره های ژپیس، انیدریت، مارن و آهک تشکیل شده است [۴۳]. بخش چهل، بخش زیرین سازند گچساران (میوسن پیشین) است. سبترای آن در محل نمونه ۵۱۶ متر است و از نظر سنگ شناسی شامل انیدریت یا گچ است که در آن آهک و مارن به صورت لایه های نازک دیده می شود. این بخش به طور همشیب بر روی سازند آسماری قرار می گیرد. سن این بخش بر اساس فسیل های موجود، میوسن پیشین در نظر گرفته می شود [۲۵].





شکل ۲: الف: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ از برش خمیر در بخش D یا برش شمالی ب: نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰,۰۰۰ از برش خمیر در بخش N یا برش جنوبی

۳- مواد و روش ها

پس از بررسی های مقدماتی و در راستای تحقق اهداف این پژوهش بازدیدهای صحرایی برای اندازه گیری ستبرای واحدهای سنگی به کمک متر، کمپاس و میله ژاکوب، مشخص کردن مرزهای تحتانی و فوقانی، بررسی سنگ های متشکله نهشته های تبخیری سازند گچساران (میوسن پیشین) در برش های سنگ چینه نگاری مورد نظر و برداشت نمونه های لازم بر مبنای زمین شناسی رسوبی صورت گرفت. به منظور این مطالعه ۲ برش از سازند گچساران (N برش جنوبی و D برش شمالی) در محدوده بندر خمیر انتخاب گردید (شکل ۱-ب). پس از پیمایش های صحرایی، با تاکید بر نهشته های تبخیری، ۲۳ نمونه از بخش چهل سازند گچساران هر دو برش مذکور برداشت شده و در آزمایشگاه زرآما مورد آنالیز عنصری ICP-OES به منظور تشخیص عناصر فرعی و XRF برای تشخیص عناصر اصلی قرار گرفت.

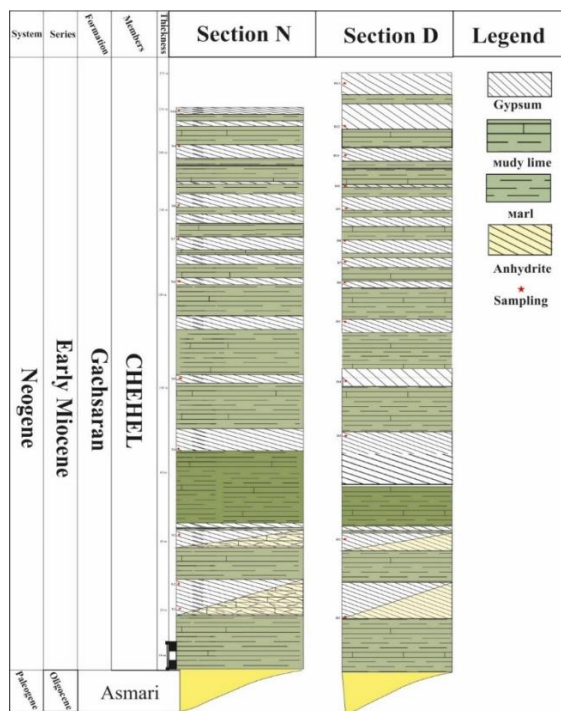


شکل ۳: الف: نمای عمومی سازند گچساران و بخش چهل در برش N (دید به سمت جنوب باختری)، ب: لایه های انیدریت و ژیبس در برش N، پ: تناوب لایه های ژیبسی بخش چهل با لایه های مارنی و بخش چمپه در برش D

۴- بحث و نتایج

۴-۱- سنگ چینه نگاری

سازند گچساران (میوسن پیشین) در خاور بندر خمیر با تناوب بیشتر لایه‌های تبخیری ژپس، انیدریت، لایه‌های آهکی مشخص می‌گردد. رخساره‌های تبخیری در هر دو برش، شامل رخساره‌های ژپسی با بافت آلاباسترین و پورفیروبلاستی است و رخساره‌های انیدریتی با بافت‌های شعاعی، دندریتی، منشوری و پرمانند می‌باشد. شکل ۳- الف نمایی عمومی از سازند گچساران در برش N (جنوبی) و بخش‌های مختلف آن را به نمایش می‌گذارد. بخش چهل سازند گچساران در برش جنوبی (N) دارای ۲۳۹/۳ متر ستبرا می‌باشد.



شکل ۴: ستون سنگ چینه نگاری بخش چهل سازند گچساران در خاور بندر خمیر

در این توالی ستبرای نهشته‌های مارن-آهک ۱۱۵ / ۳ متر و لایه‌های ژپس انیدریت ۱۲۳ / ۶ متر می‌باشد. شروع این توالی با لایه نسبتاً ستبری از مارن خاکستری تا سبز می‌باشد (شکل ۴) و در ادامه توالی لایه‌های ژپس و انیدریت در تناوب با لایه‌های مارن تا مارن-مادستون مشاهده می‌شوند (شکل ۳-ب) و در انتهای توالی نیز با لایه‌های مارن قرمز و ژپس به پایان می‌رسد. این بخش در برش شمالی (D) دارای ستبرای ۲۱۶/۳ متر می‌باشد که ۱۳۹/۳ متر از آن دارای لایه‌های تبخیری ژپس و انیدریت است (شکل ۳-پ) و ۷۷ متر نیز لایه‌های مارن-آهک می‌باشد (شکل ۴).

۴-۲- ژئوشیمی عناصر اصلی نهشته‌های تبخیری

ژئوشیمی عناصر اصلی در نهشته‌های تبخیری نقش مهمی در فهم شرایط تشکیل و تکامل این رسوبات دارد [۵۳]. مطالعه ژئوشیمی این نهشته‌ها می‌تواند داده‌های مهمی درباره شرایط محیطی گذشته، نوسان‌های اقلیمی و فرآیندهای دیاژنزی ارائه دهد [۱۴].

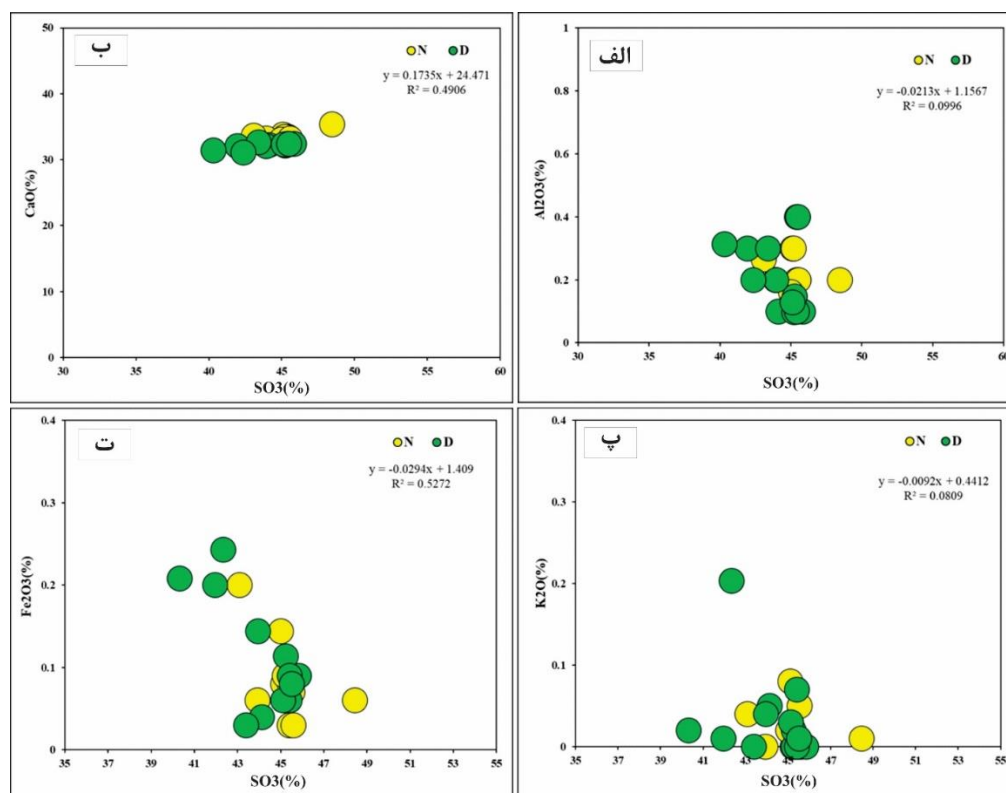
نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ‌های تبخیری واحد چهل در دو برش مورد مطالعه، نشان داد که اکسید کلسیم (CaO) در گستره خمیر ۳۴/۲ درصد و بیشترین میزان اکسید در این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که آنیون SO_3^{2-} در سنگ‌های ژپیس و انیدریت در این دو برش غالب بوده و به طور میانگین در پهنه بندر خمیر ۶/۶ درصد را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۱). CaO از اکسیدهای اصلی و فراوان در نمونه‌ها است که می‌توان آن را به دخالت همزمان عوامل آواری و شیمیایی در رسوب‌گذاری نسبت داد که نتیجه تکرار باز و بسته شدن حوضه رسوبی است [۵۱]. بر این اساس و با توجه به توالی لایه‌های تبخیری با کربنات‌ها و مشاهده کربنات در نمونه‌ها بخشی از CaO در نمونه‌های موجود مربوط به کانی‌های کربناته و بقیه مربوط به سولفات‌ها می‌باشد و از آنجاکه جریان‌های بادی که از دریا به سمت خشکی می‌وزند، می‌توانند سبب انتقال کربنات‌های لاگون به منطقه سبخا شوند [۳]، بنابراین بخشی از کربنات موجود در نمونه‌ها کربنات‌های حمل شده از قسمت‌های عمیق تر به محیط سبخا می‌باشد.

جدول ۱: پارامترهای آماری میزان اکسیدهای اصلی (%) و درصد افت وزنی در نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه‌ها	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SrO	SO ₃	L.O.I.*	
برش شمالی	بیشینه	۲/۰۸۶	۰/۴	۰/۲۴	۳۲/۶۱	۲/۵۱	۰/۳۰	۰/۹۵	۴۵/۸۵	۲۳/۴۴
	کمینه	۰/۱۵۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۳۱/۱۰	۰/۱۱	۰/۱	۰/۴۲	۴۰/۳۲	۲۰/۹۵
	میانگین	۰/۵۹	۰/۲۱	۰/۱۱	۳۲/۱۳	۰/۷۲	۰/۰۳	۰/۶۹	۴۴/۱۵	۲۱/۷۴
برش جنوبی	بیشینه	۱/۲۱	۰/۳	۰/۲۰	۳۵/۳۶	۱/۷۶	۰/۸	۰/۵۰	۴۸/۴۵	۲۱/۹۵
	کمینه	۰/۱۳	۰/۱	۰/۰۳	۳۳/۰۴	۰/۱۰	۰/۱	۰/۱۱	۴۳/۰۹	۱۵/۱۵
	میانگین	۰/۴۳	۰/۲	۰/۰۸	۳۳/۵۴	۰/۵۴	۰/۲	۰/۲۶	۴۵/۲۸	۱۹/۸۶
میانگین کل	۰/۵۱	۰/۲	۰/۰۹	۳۲/۸۵	۰/۶۳	۰/۲	۰/۴۷	۴۴/۷۲	۲۰/۸۰	

میانگین مقدار MgO در نمونه‌های تبخیری دو برش خاور بندر خمیر، ۰/۷ درصد می‌باشد. منیزیم در کانی‌های زیادی شامل کارنالیت، کیزریت، کائیت، پلی‌هالیت و دولومیت جمع می‌شود [۱۷، ۳۵]. با توجه به نتایج آنالیزپراش اشعه ایکس در تبخیری های برش خاور بندر خمیر فقط کانی دولومیت مشاهده شده است [۸]. بنابراین مقدار ناچیز منیزیم در نمونه‌ها مربوط به این کانی است. و بخشی نیز در ترکیب کانی‌های رسی وارد می‌شود. میزان منیزیم به شوری و موقعیت جغرافیایی حوضه نیز بستگی دارد [۱۸، ۳۷، ۴۰]. Al₂O₃ از دیگر اکسیدهای موجود در نمونه‌ها است که بین ۰/۱ تا ۰/۶ درصد و میانگین آن در هر دو برش خمیر ۰/۲ درصد می‌باشد. Al در ساختمان کانی‌های رسی وجود دارد و در نهشته‌های تبخیری در دو برش مورد مطالعه وجود کانی رسی پالی گورسیت گزارش گردید [۸]، از سویی دیگر وجود میان لایه‌های مارنی می‌تواند نشان‌دهنده دیگر منشا این مقدار بسیار ناچیز کانی‌های رسی در نمونه‌ها باشد. Fe₂O₃ در نمونه‌ها بین ۰ تا ۰/۱۱ درصد متغیر و میانگین آن در هر دو برش ۰/۱ درصد است. آهن یک عنصر سیدروفیل است. همه تبخیری‌ها منابع بزرگ عناصر سیدروفیل و کالکوفیل هستند [۵۲]. تجمع رسوبی این عناصر تابع نرخ رسوب‌گذاری است [۲۰، ۴۰، ۴۷]. با توجه به اینکه در آنالیزهای XRD بخش چهل بندر خمیر، هیچ کانی آهن‌دار به صورت سولفید و یا سولفات مشاهده نشده [۸] می‌توان گفت که حضور Fe₂O₃ در این نمونه‌ها بیانگر شرایط اکسیدی در محیط است [۵۶] و نشان می‌دهد که عنصر Fe به صورت فاز مستقل رسوب کرده و وارد شبکه سولفات نشده است. حضور آهن می‌تواند در نتیجه دو عامل مرتبط باشد: (۱) جریان ورودی آب به حوضه تبخیری بالا است که عدم تشکیل هالیت می‌تواند به این دلیل باشد. (۲) حوضه تبخیری خیلی عمیق نبوده است و

تبادل اتمسفر با هیدروسفر به خوبی انجام می‌شده است و به این دلیل اکسیژن به اندازه کافی در آب موجود بوده است. این دو یافته، در شرایطی به دست می‌آید که میزان آهن با سولفور همبستگی مثبت نداشته باشد [۱۵،۳۹]. در نهشته‌های سولفاته، مقدار SiO_2 بین ۰/۳ تا ۲/۳ درصد و میانگین آن در دو برش مورد مطالعه ۰/۵ درصد است. وزش بادهای غالب معمولاً سرعت تبخیر را در سبخای ساحلی افزایش می‌دهد. بادهایی که از خشکی به سمت دریا می‌وزند قادرند ماسه‌ها را به سبخا منتقل نمایند [۳] و یا جریان آب های جاری از بالادست نیز می‌توانند سیلیس را خود وارد حوضه نمایند [۲۸]. بنابراین، وجود سیلیس در میان تبخیری‌های مورد مطالعه شاهدهی بر منشأ نزدیک به ساحل منطقه مورد مطالعه است. بنابراین بخشی از رسوبات سبخا رسوبات آواری هستند که از سوی خشکی و دور از ساحل، وارد سبخا می‌شوند. لازم به ذکر است که بارش باران و ورود آب های جاری نیز می‌تواند در انتقال رسوبات قاره‌ای به داخل سبخای ساحلی تأثیرگذار باشد. در منطقه مورد مطالعه میزان SiO_2 بسیار ناچیز بوده که با توجه به ترکیب شیمیایی ایده آل ژئیس (۳۲/۵۷٪ CaO ، $\text{SO}_3 = 50/46\%$ و $\text{H}_2\text{O} = 20/93\%$) نشان می‌دهد درجه خلوص نهشته‌های تبخیری مورد مطالعه بالا است. همچنین میزان ناچیز نسبت SiO_2/CaO در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که میزان کانی‌های رسی و کوارتز آنها بسیار ناچیز است. در راستای تعیین همبستگی میان اکسیدهای اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه با آنیون غالب SO_3^{2-} ضریب همبستگی تعیین گردید. نتایج نشان داد که اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، K_2O دارای همبستگی منفی و اکسید کلسیم CaO دارای همبستگی مثبت با SO_3 می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵: الف: تغییرات میزان CaO در مقابل SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی مثبت می‌باشند، ب: تغییرات میزان Al_2O_3 نسبت به SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند، پ: تغییرات میزان Fe_2O_3 در مقابل SO_3 بیشتر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند، ت: تغییرات میزان K_2O نسبت به SO_3 اکثر نمونه‌ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می‌دهند.

در مجموع کاهش میزان اکسیدهای Al_2O_3, Fe_2O_3 را می توان از پیامدهای ناشی از افزایش شوری آب دریا و همچنین کاهش یا عدم ورود کانی های رسی به حوضه دانست. این مساله از سویی دیگر با کاهش K_2O در مقابل SO_3 کاملاً قابل توجیه است [۲۱، ۴۱، ۵۴]. این همبستگی منفی، بصورت قابل ملاحظه ای مساله تبخیر آب حوضه (دریا) و افزایش میزان شوری در محیط را بازگو می کند. از سوی دیگر، این موضوع بازگو کننده غالب بودن نهشته های سولفات به نسبت به دیگر نهشته ها در حوضه است [۳۳، ۵۸]. در برش های مورد مطالعه، این مهم با افزایش میزان CaO در پی افزایش میزان SO_3 غلبه نهشته های سولفات با وجود کانی ژئپس و انیدریت کاملاً مشهود بوده و مطابقت دارد (شکل ۵).

۳-۴- ژئوشیمی عناصر فرعی نهشته های تبخیری

ژئوشیمی عناصر فرعی در نهشته های تبخیری، داده های مهمی درباره فرآیندهای تشکیل و شرایط محیطی حاکم در زمان رسوب گذاری ارائه می دهد [۵۴]. عناصر فرعی مانند استرانسیم، باریوم و دیگر عناصر فرعی در مقادیر کمتری نسبت به عناصر اصلی حضور دارند، اما نقش کلیدی در درک تحولات شیمیایی محلول های تبخیری و تأثیر عوامل خارجی مانند تغییرات اقلیمی و ورود سیالات آتشفشانی یا هیدروترمال ایفا می کنند [۵۴، ۱۴]. بررسی این عناصر به محققان امکان می دهد تا تاریخچه محیط های رسوبی و فرآیندهای موثر بر آن را با دقت بیشتری تحلیل کنند.

جدول ۲: پارامترهای آماری میزان عناصر فرعی (میکروگرم بر کیلوگرم) در نمونه های مورد مطالعه

نمونه ها		P	S	Sr	V	Ba	Zr
برش شمالی	بیشینه	۸۹/۴	۲۲۰۹۹۷	۹۱۷۳	۳۸/۲	۲۴۳/۳	۱۹/۴
	کمینه	۳۴/۳	۱۳۰۴۸۲	۱۱۴۴	۰/۵	۳/۹	۲/۸
	میانگین	۵۱/۷	۱۹۲۶۷۵	۲۹۷۵	۱۳/۴	۶۰/۱	۵/۳
برش جنوبی	بیشینه	۵۹/۷	۱۶۳۷۰	۴۳۷۷	۷/۱	۴۶/۱	۱۱۵/۱
	کمینه	۲۱/۹	۱۰۰۵۸	۸۷۷	۱	۵/۹	۹۵/۶
	میانگین	۳۶	۱۱۷۳۰	۲۰۸۲	۴	۲۴/۷	۱۰۲/۹
میانگین کل		۴۴/۹	۱۱۴۰۰۳	۲۵۸۷	۹/۳	۴۴/۷	۴۷/۷

پارامترهای آماری عنصر فرعی در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین مقدار عنصر کمیاب به ترتیب متعلق به عناصر استرانسیم، گوگرد، زیرکونیوم، فسفر، باریوم و وانادیوم می باشد. گوگرد معمولاً به شکل سولفات ها (مانند ژئپس و انیدریت) در سازندهای تبخیری وجود دارد و مستقیماً به شرایط تبخیری و ترکیب آب های دریایی در زمان تشکیل مرتبط است [۱۷، ۵۴]. فسفر نیز ممکن است ناشی از تغییرات شیمیایی در حوضه های تبخیری باشد [۵۴]. میانگین غلظت وانادیوم در تبخیریهای بخش چهل سازند گچساران خاور بندر خمیر، ۹/۳ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر در برش شمالی بندر خمیر (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) است. احتمال دارد غنی سازی وانادیوم به شرایط اکسیژن زدایی در محیط رسوب گذاری و نیز تغییرات ژئوشیمیایی منطقه وابسته باشد [۵۴، ۲۹]. ضریب همبستگی این عنصر در مقابل SO_3 در برش های مورد مطالعه، همبستگی منفی اما تدریجی این عنصر را در هر دو منطقه را اثبات نمود (شکل ۶-الف). عنصر وانادیوم یک عنصر متحرک در فرآیندهای همچون هوازدگی است، بر طبق گفته هولسر^۱ [۲۹] عناصر با پتانسیل یونی بالاتر ۲ در آب

^۱ Holser

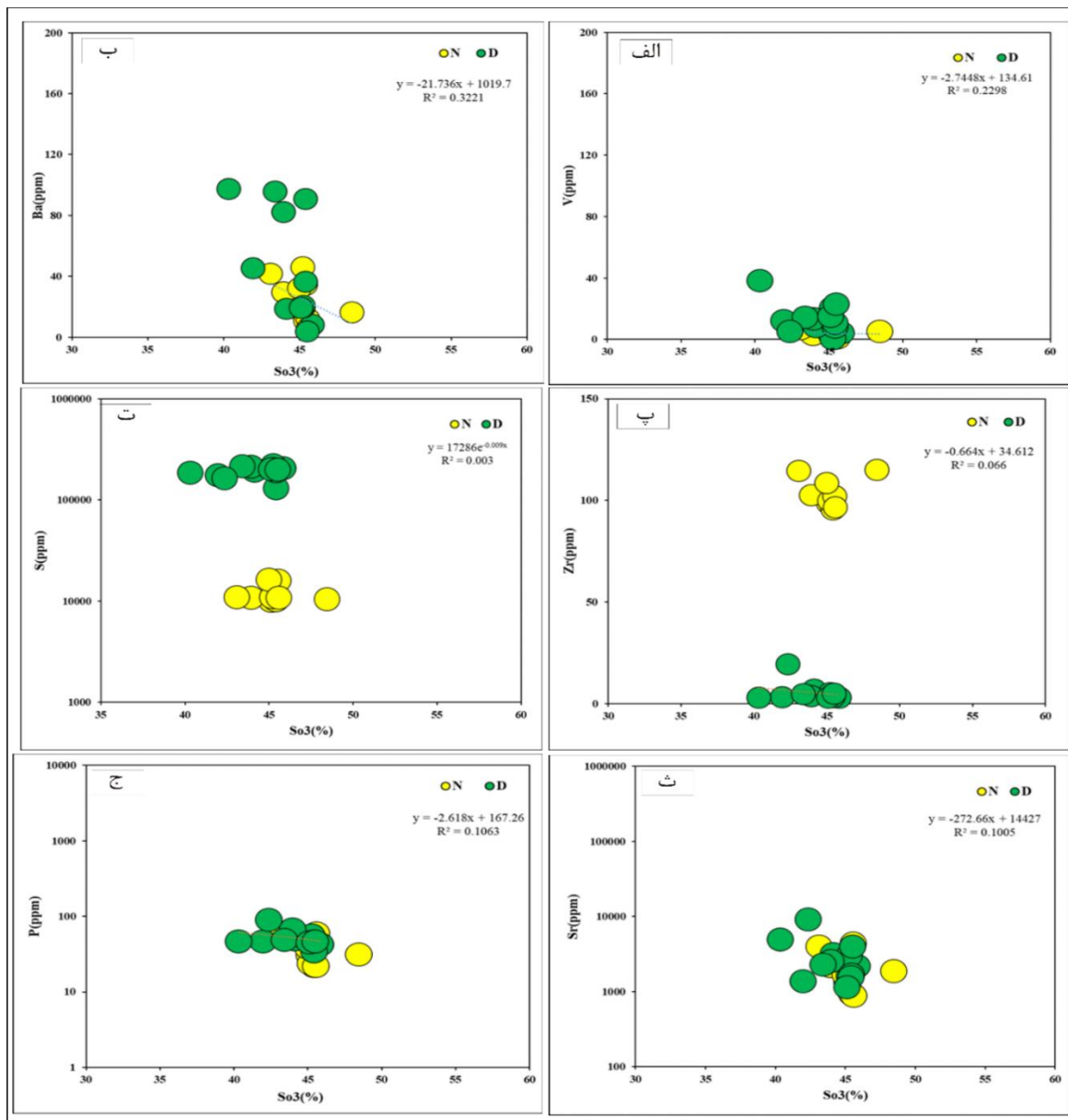
محلول بوده و محترک می‌باشند [۲۹]. عنصر وانادیوم دارای همبستگی منفی بوده که می‌توان این سیر نزولی را به فرآیندهای هوازگی در این مناطق نسبت داد.

میانگین غلظت عنصر باریم در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۴/۷ میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد. این عنصر نیز در برش شمالی بندر خمیر (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی می‌باشد. وجود باریم در نهشته های تبخیری نشان‌دهنده شرایط خاص شیمیایی آب و غلظت بالای سولفات یا کربنات‌ها در محیط است که باعث تشکیل کانی‌های حاوی باریم می‌شود. نمودار عنصر Ba در مقابل SO_3 همبستگی منفی را از خود نشان می‌دهد (شکل ۶-ب). با توجه به اینکه این عنصر از دیدگاه ژئوشیمیایی به پتاسیم K شباهت زیادی دارد انتظار می‌رود که رفتاری شبیه به آن را از خود نشان دهد [۲۹]. از آنجاکه اکسید پتاسیم K_2O در نهشته های تبخیری به علت بالا رفتن میزان شوری آب حوضه (دریا) روند کاهشی را دارد. عنصر باریم نیز رفتاری مشابه این اکسید دارد و با افزایش شوری مقدار آن کمتر می‌گردد. غلظت این عنصر در نهشته های تبخیری برش N کمتر است که حاکی از شوری بیشتر می‌باشد.

میانگین غلظت عنصر زیرکونیوم در تبخیری های بخش چهل سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۷/۷ میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد. این عنصر در برش جنوبی خاور بندر خمیر (N) دارای غلظت بسیار بالاتری نسبت به برش شمالی (D) می‌باشد عنصر زیرکونیوم از عناصر فرعی با درصد پایین در این سنگ‌ها محسوب می‌شود. اما گاهی با توجه به منشا درجا خود در این سنگ‌ها درصد بالایی را نشان می‌دهد. زیرکونیوم به‌طور معمول به دلیل پایداری شیمیایی در رسوبات آواری یافت می‌شود. وجود آن در نهشته‌های تبخیری ممکن است به دلیل حمل و نقل و ورود رسوبات آواری از مناطق دیگر باشد (شکل ۶-پ). میانگین غلظت عنصر گوگرد نیز در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۱۱۴۰۰۳ میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد. این عنصر نیز در برش شمالی (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) در خاور بندر خمیر است. عنصر گوگرد یکی از مهمترین عناصر در بحث تشکیل کانی‌های ژئوپس و انیدریت است به طبع افزایش میزان SO_3 با افزایش میزان گوگرد که نشان از چیرگی سولفات‌ها در درون حوضه است همراه خواهد بود. در برش‌های مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها با شیبی خطی در پی افزایش میزان SO_3 در حال افزایش هستند (شکل ۶-ت).

میانگین غلظت عنصر استرانسیوم در نهشته های تبخیری سازند گچساران خاور بندر خمیر ۲۵۸۷ میکروگرم بر کیلوگرم است. این عنصر نیز در برش شمالی (D) دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) می‌باشد. عنصر استرانسیوم یکی از پرکاربردترین عناصر در جهت تشخیص محیط‌های قدیمی زمین شناسی بلاخص محیط‌های رسوبی است استرانسیوم به‌عنوان یک عنصر کمیاب، در محیط‌های تبخیری به دلیل تمایل به جایگزینی در ساختار کانی‌هایی مثل کلسیت و انیدریت حضور دارد همچنین، می‌تواند نشان‌دهنده شرایط تبخیر شدید و رسوب‌گذاری کربناته باشد [۲۹-۳۰] (شکل ۶-ث). در شرایط مساعد عنصر استرانسیوم از لحاظ قرار گیری در ساختار بلوری میل جایگزینی بیشتری نسبت به کانی ژئوپس داشته و به مقدار کمتری وارد انیدریت‌ها می‌شود. البته این شرایط تنها برای محیط‌های آبدار پایدار بوده و در شرایط دیاژنز این موضوع کمی متفاوت خواهد بود [۳۳، ۵۷]. ررسی‌های ژئوشیمی این عنصر در در برش های مورد مطالعه نشان داده است که با کاهش میزان SO_3 بر طبق شکل (۶-ث) میزان Sr افزایش می‌یابد. این موضوع را شاید بتوان به منشا اتوزنیک و غالب نبودن شرایط برای تشکیل سولفات‌ها نسبت داد، به طوری که با ورود استرانسیم به محیط به علت مناسب نبودن شرایط برای تشکیل کانی ژئوپس و انیدریت استرانسیوم جایگاه کلسیم را اشغال کرده، اما پس از افزایش میزان سولفات‌ها و همچنین فراهم شدن شرایط

برای تشکیل ژئیس و انیدریت و جایگزینی Ca در کنار SO₃ همانطور که در نمودار مشاهده می شود این عنصر با یک روند خطی اما نزولی کاهش می یابد. میانگین غلظت عنصر فسفر در تبخیری های بخش چهل سازند گچساران خاور بندر خمیر ۴۴/۹ میکروگرم بر کیلوگرم می باشد. این عنصر نیز در برش شمالی (D) بندر خمیر دارای غلظت بالاتری نسبت به برش جنوبی (N) می باشد. داده های ژئوشیمیایی نشان می دهد که عنصر فسفر در برش های مورد بررسی همبستگی منفی و خطی را با افزایش میزان SO₃ نشان می دهد (شکل ۶-ج).



شکل ۶: الف: تغییرات میزان V نسبت به SO₃ اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می دهند. ب: تغییرات میزان Ba نسبت به SO₃ اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی را نمایش می دهند. پ: تغییرات میزان S در مقابل SO₃ اکثر نمونه ها دارای همبستگی مثبت و سیر صعودی را نمایش می دهند. ت: تغییرات میزان Sr نسبت به SO₃ اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر خطی را نشان می دهند. ج: تغییرات میزان P نسبت به SO₃ اکثر نمونه ها دارای همبستگی منفی و سیر نزولی هستند.

این روند کاهش به نظر می‌رسد به علت غالب بودن فازهای سولفات در آب حوضه (دریا) در زمان تشکیل کانی‌های ژئیس و انیدریت باشد. البته در نمودار تغییرات این عنصر با افزایش میزان SO_3 و افزایش عمل تبخیر رفته رفته شاهد روند خطی این عنصر هستیم، که بیانگر کاهش پایداری فازهای غالب سولفات‌ها در پی تشکیل کانی‌هایی ازچون ژئیس و انیدریت است.

البته باید در نظر داشته باشیم در برش‌های مورد مطالعه به علت آرام تر بودن حوضه به طبع لایه‌های ستر ژئیس به نظر می‌رسد چرخه رسوبگذاری دارای تلاطم کمتری است، این موضوع با پراکندگی کمتر نمونه‌ها قابل تشخیص است. در مجموع بررسی غلظت عناصر فرعی نشان دهنده غنی‌شدگی بیشتر عناصر در تبخیری‌های گچساران در شمال بندر خمیر (D) به علت قرارگیری این برش در کنار و مسیر گنبد‌های نمکی سری هرمز است که سبب شده غنی‌شدگی و آنومالی مثبت در این نمونه‌ها مرتبط با تاثیرات گنبد‌ها باشد.

۴-۴- اقلیم دیرینه

در میان کاتیون‌ها، کاتیون Na^+ و Mg^{2+} از نظر قابلیت انحلال و رسوب‌گذاری (Fe^{2+} و Mn^{2+} در محیط‌هایی با Eh منفی) مناسب‌تر هستند [۲۲، ۲۹، ۶۱]. سدیم در کل، حلالیت بالاتری داشته و در محیط‌های خشک فراوان است. رفتار عناصر انحلال‌پذیر مانند Na و Mg یا K با عناصر مقاوم در برابر هوازدگی مانند Ti, Al و Fe متفاوت است.

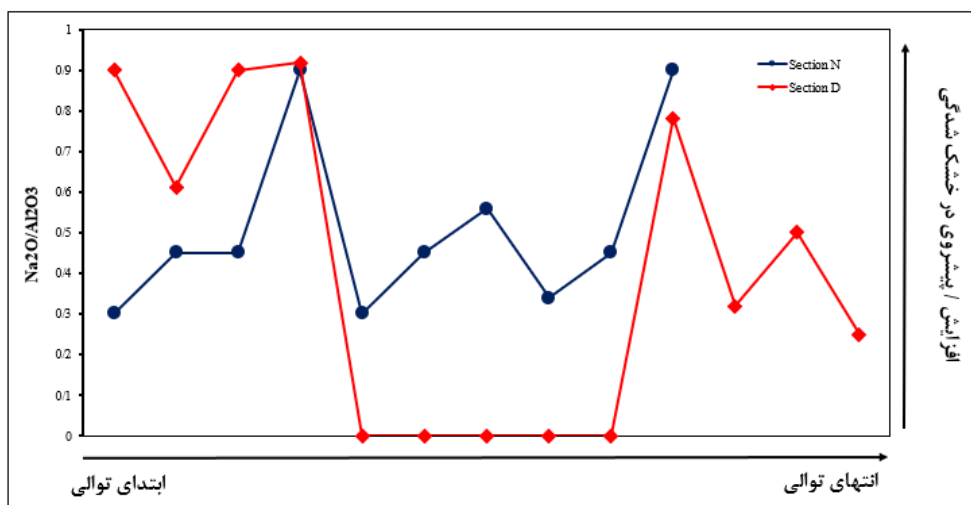
در محیط‌های آبی عناصر محلول حل شده و از محیط خارج می‌شوند درحالی‌که عناصر مقاوم در برابر هوازدگی در محیط باقی‌مانده و افزایش می‌یابند [۳۶]. به دلیل شعاع یونی بزرگ‌تر و عدم تحرک جزئی، رفتار K در بین عناصر محلول متفاوت است. اگرچه K نیز مانند Na انحلال‌پذیر است، ولی به‌سرعت جذب شده و ترکیبات جدیدی تشکیل می‌دهد [۳۸، ۴۱، ۵۴]. بنابراین، نسبت Na/K به‌طور پیوسته باگذشت زمان کاهش می‌یابد. بر این اساس نسبت عناصر انحلال‌پذیر به عناصر مقاوم می‌تواند وضعیت اقلیم دیرینه را در محیط نشان دهد [۵۰، ۶۱].

استفاده از چنین نسبت‌هایی محققانی چون [۲۳، ۴۶، ۴۴، ۴۹، ۵۵، ۱۵] پیشگام بودند. از نسبت اکسیدهای مانند Na_2O/K_2O ، Na_2O/Al_2O_3 ، Na_2O/Fe_2O_3 ، Na_2O/TiO_2 در کانی‌های تبخیری برای تعیین شرایط اقلیم دیرینه در مناطق خشک استفاده کردند. سه نسبت اکسیدی اول با افزایش میزان خشکی (یا کاهش فعالیت آب) در محیط، به‌سرعت افزایش می‌یابند و بالعکس. نوسان‌ها در میزان اکسیدها در بخش‌های مختلف می‌تواند بیانگر نوسان سطح آب در حوضه تبخیری باشد. هرچند این تغییرات در نسبت‌های اکسید ممکن است ناشی از تغییرات شورا به در اثر جریان‌هایی از منشأ غیر دریایی باشد [۵۰].

تغییرات نسبت Na_2O/Al_2O_3 در نهشته‌های بخش چهل خاور بندر خمیر در شکل ۷ ارائه شده است. ضریب تغییرات کم است و این موضوع نشان دهنده نوسان‌های محدودتر خشک‌شدگی محیط در این نهشته‌ها می‌باشد. در بخش چهل سازند گچساران در خاور بندر خمیر، در نمونه‌های مورد مطالعه ۲ پیشروی واضح در خشک‌شدگی محیط و ۲ پسروی یا کاهش خشک‌شدگی محیط وجود دارد، همچنین تغییرات این نمودار در هر دو برش دارای همپوشانی بالایی است که خود نشان دهنده شرایط محیطی مشابه دو برش مذکور می‌باشد (شکل ۷).

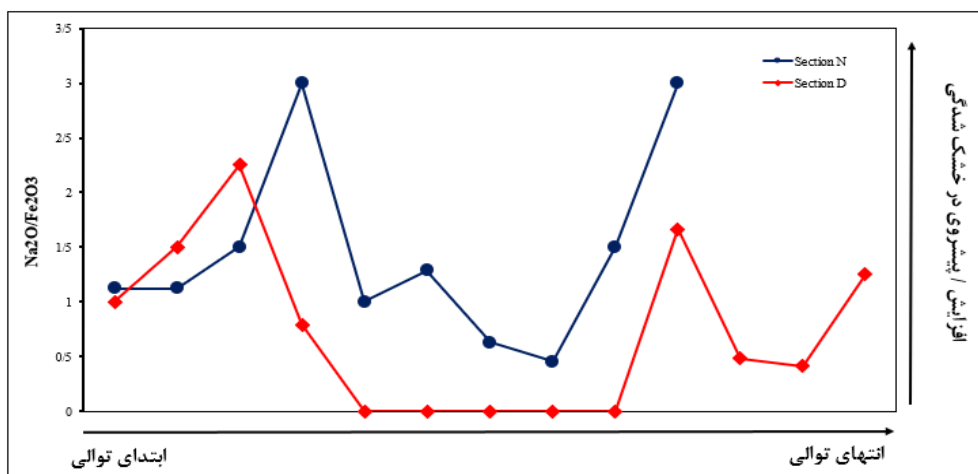
ضریب تغییرات نسبت Na_2O/Fe_2O_3 در این نهشته‌ها نشان دهنده چندین پیشروی و پسروی خشک‌شدگی در حوضه می‌باشد. بیشترین خشک‌شدگی در بخش ابتدایی و ماقبل انتهایی توالی بخش چهل رخ داده و کمترین خشک‌شدگی نیز در

بخش میانی توالی در هر دو برش رخ داده است هرچند این تغییرات در برش N واضح تر می باشد (شکل ۸). نتایج تغییرات این نسبت با نسبت $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ همخوانی دارد. نمودار تغییرات نسبت اکسیدهای $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ نیز در شکل ۹ ارائه شده است.

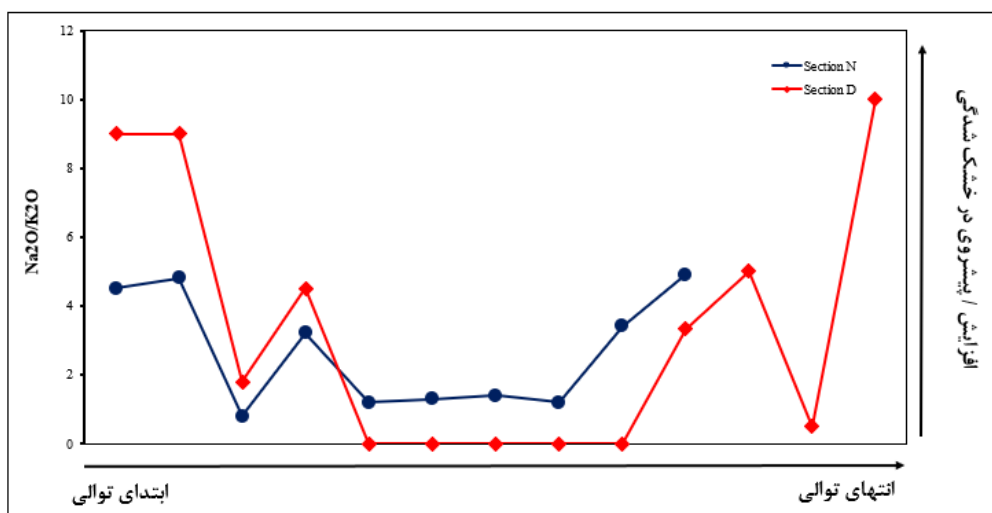


شکل ۷: نمودار نسبت های $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در نهشته های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.

نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی (شکل ۱۰) در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده وضعیت های پیشرونده و پسرونده با توجه به نسبت های اکسیدها در نمونه ها می باشد. شرایط پیشرونده نتیجه وضعیت کمی خشک (خشکی بیشتر) و ورود قابل توجه K_2O و TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 از منابع غیر دریایی به درون حوضه است و از سوی دیگر، شرایط پسرونده حاصل وضعیت خشک و افزایش قابل توجه Na_2O و ورود خیلی کم رسوبات حاوی K_2O و TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 از منابع غیر دریایی می باشد [۵۱]. نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی در تبخیری های بخش چهل سازند گچساران، در هر دو برش ۲ تغییر از وضعیت خشک به شرایط خشکی بیشتر را نشان می دهد.



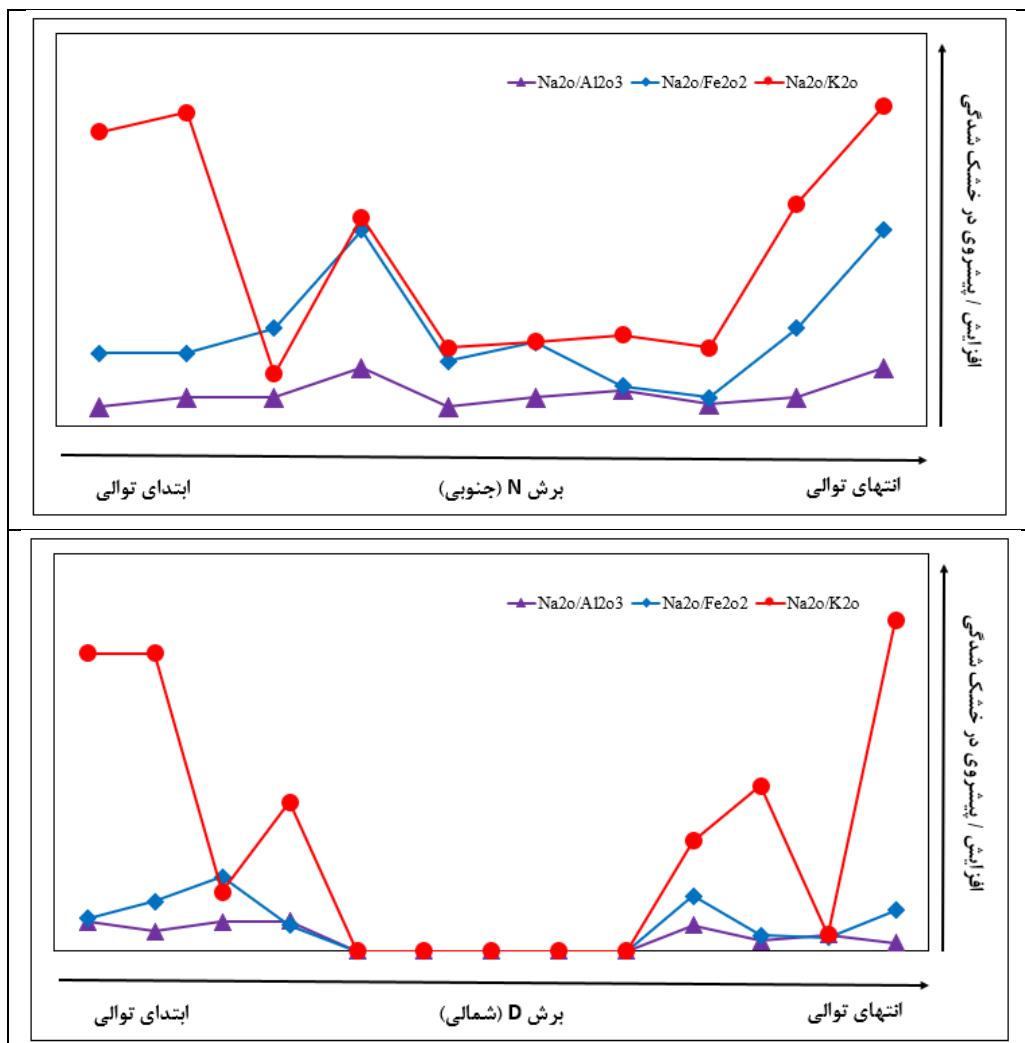
شکل ۸: نمودار نسبت های $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ در نهشته های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.



شکل ۹: نمودار نسبت‌های $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ در نهشته های بخش چهل سازند گچساران، خاور بندر خمیر.

با وجود همبستگی در نمودارهای سنگ چینه نگاری شیمیایی، این نمودارها به خوبی تفاوت موقعیت دیرینه را در نمونه‌های مختلف نشان می‌دهند. در نمونه هایی که نسبت اکسیدهای بیشتری را در نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهند، ورود اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و K_2O در زمان شکل‌گیری این نمونه از منابع غیر دریایی به حوضه کمتر از سایر نمونه‌ها بوده است. با این وجود نسبت‌های پایین‌تر اکسیدها در سایر نمونه‌ها لزوماً مربوط به ورود قابل توجه اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 و K_2O از منابع غیر دریایی نیست. بلکه این داده‌ها نشان می‌دهد که رسوب‌گذاری کانی‌های تبخیری در شرایط خشک قابل توجه‌تر است. این نتیجه‌گیری زمانی محتمل است که موقعیت دیرینه نمونه‌های با نسبت اکسیدهای بیشتر، نزدیکی بیشتری به خشکی داشته باشد تا به دریای باز، و به‌طور مشابه موقعیت دیرینه سایر نمونه‌ها نزدیک‌تر به دریا باشد [۵۱]. بنابراین با توجه به شکل ۱۰ میزان خشک‌شدگی و تغییرات حوضه در برش N (جنوبی) بسیار بیشتر می‌باشد.

در ابتدای توالی کاهش شدید خشک‌شدگی وجود دارد در ادامه چندین افزایش و کاهش خشک‌شدگی کوچک‌تر قابل مشاهده است و بخش انتهایی توالی با افزایش شدید خشک‌شدگی مشخص می‌باشد، که می‌تواند نشان‌دهنده این مهم باشد که ارتباط حوضه نهشت تبخیری‌ها به‌طور موقت با دریا قطع شده است (شرایط پس‌رونده) اما عدم تشکیل هالیت نشان می‌دهد که حوضه در شرایط تشکیل سولفات باقی‌مانده است. از آنجاکه مقدار TiO_2 در نمونه‌های بندر خمیر ثابت است، تغییرات میزان K_2O ، Fe_2O_3 و Al_2O_3 تعیین‌کننده اقلیم دیرینه است. بدین ترتیب نمودار سنگ چینه نگاری شیمیایی تبخیری های بخش چهل سازند گچساران، دو مرحله پسروی آب دریا را در محیط نشان می‌دهد. با توجه به آنچه اشاره شد می‌توان گفت در زمان ته‌نشینی این تبخیری‌ها، گستره خاوری بندر خمیر، شرایط یک حوضه کم‌عمق حاشیه دریا را داشته است. رسوب‌گذاری کربنات‌ها در مرحله پیش روی دریا صورت گرفته است. شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و افزایش تبخیر، باعث ایجاد سیکل پسروی شده و محیط سیخایی گسترش یافته است. ولی ارتباط حوضه با دریا کاملاً قطع نشده و قبل از تشکیل هالیت مجدداً به مرحله تشکیل کربنات بازگشته است. بنابراین در حوضه مورد مطالعه و در این بازه زمانی، شرایط خیلی گرم و خشک حاکم نبوده است. به نظر می‌رسد پسروی عمومی پس از بسته شدن کامل اقیانوس نئوتتیس که بزرگترین رویداد کوهزایی سنوزوئیک بوده، سبب ایجاد چرخه های خشک‌شدگی شدید و خفیف در توالی سازند گچساران شده است.



شکل ۱۰: رابطه بین نسبت اکسیدها و میزان خشکی در نهشته های بخش چهل سازند گچساران در دو برش مورد مطالعه، خاور بندر خمیر.

۵- نتیجه گیری

سازند گچساران در خاور بندر خمیر شامل تناوب رخساره های تبخیری (ژپس و انیدریت)، سنگ آهک و مارن است. تناوب موجود در این سازند نشان دهنده نوسان های سطح آب دریا است. نتایج ژئوشیمیایی نشان داد که اکسیدهای CaO همبستگی منفی و Fe_2O_3, K_2O, Al_2O_3 همبستگی مثبت را با SO_3 نشان می دهد. در مجموع چنین استنباط می شود که افزایش میزان CaO نشان دهنده غالب بودن شرایط برای سولفات ها بوده و از طرفی دیگر همبستگی منفی دیگر اکسیدها موید افزایش میزان شوری در حوضه است. بررسی نسبت اکسیدهای اصلی با میزان خشک شدگی محیط حاکی از نوسان زیاد آب و پسروری و پیشروی های متعدد می باشد. به نظر می رسد در زمان نهشته شدن تبخیری های بخش چهل سازند گچساران درگستره خاور بندر خمیر ۲ خشک شدگی یا پسروری واضح رخ داده است که در برش جنوبی این خشک شدگی شدیدتر بوده است. شرایط آب و هوایی گرم و خشک و افزایش تبخیر، باعث ایجاد سیکل پسروری شده و محیط سبخایی گسترش یافته است. ولی ارتباط حوضه با دریا کاملاً قطع نشده و قبل از تشکیل هالیت مجدداً به مرحله تشکیل کربنات بازگشته است. بنابراین در حوضه مورد مطالعه شرایط خیلی گرم و خشک حاکم نبوده است. داده های ژئوشیمیایی همچنین همبستگی منفی عناصر Zr, V, P, Ba را با افزایش میزان SO_3 نشان می دهد که این مهم نشان دهنده شرایط محیطی مناسب و

آرام حوضه به طبع آن تشکیل لایه‌های ستبر ژیبسی می باشد. غلظت عناصر در برش شمالی نزدیک به نهشته های سری هرمز دارای غنی شدگی و تغلیظ بالاتری نسبت به برش جنوبی می باشد که این نشان دهنده تاثیر مستقیم سنگ های متشکله سری هرمز بر ترکیب کمی و کیفی عنصر در تبخیری های بخش چهل گچساران است.

سپاس و قدردانی

از داوران مقاله آقای دکتر بهمن سلیمانی (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز) و خانم دکتر فروغ عباساکی (دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد) تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [۱] امیری بختیار، ح.، نورائی نژاد، خ.، ۱۳۹۳. بازنگری چینه شناسی زاگرس: سازند های گچساران. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۱۱، ص ۴۰-۴۵.
- [۲] امیری بختیار، ح.، نورائی نژاد، خ.، ۱۴۰۰. چینه شناسی زاگرس، انتشارات شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب. ۱۰۹۱ص.
- [۳] آدابی، م. ح. ۱۳۹۰. ژئوشیمی رسوبی، انتشارات ارین زمین، ۴۴۸ص.
- [۴] باوی، ع.، موسوی حرمی، ا.، محبوبی، ا.، امیری بختیار، ح. ۱۳۸۸. تاریخچه رسوبگذاری سازند گچساران (پوش سنگ مخزن آسماری) در میدان نفتی آب تیمور، پژوهش نفت، شماره ۶۰، ص ۳۰-۴۳.
- [۵] بیابانگرد، ح.، عالیان، ف.، بازآمد، م.، ۱۳۹۷. کانی شناسی، ژئوشیمی و منشأ کانه‌زایی آهن و مس در توالی آتشفشانی -رسوبی هرمز، گنبد نمکی زندان، بندر لنگه. مجله زمین شناسی اقتصادی جلد ۱۰، ص ۱۹۵ تا ۲۱۶.
- [۶] گماشی، ا. افشاریان نژاد، ا. ۱۳۸۴. نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ کهورستان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۷] سالاری سرگرو، ش.، رضائی، پ. ۱۳۹۴. (مطالعه سنگ رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند گچساران در باختر بندرعباس (برش کوه نمکی خمیر). پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ۳۱، دوره ۲، ص ۲۱-۳۴.
- [۸] عالیان، ف. ۱۳۹۹. مطالعه ژئوشیمی نهشته های تبخیری سازند گچساران در جنوب خاوری زاگرس چین خورده، فروافتادگی بندر لنگه، رساله کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه هرمزگان، ۱۲۲ص.
- [۹] لیاقت، م.، نورائی نژاد، م. ر.، آدابی، م. ح.، اقبال پورا، ا. ۱۳۹۹. تفسیر ساختاری و محیط رسوبی سازند گچساران با تاکید بر توالی بخش ۱ این سازند در میدان نفتی گچساران، فروافتادگی دزفول جنوبی، مجله رسوب شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۶۷-۹۱.
- [۱۰] محمدیان، م.، لشگری پور، غ.، حافظی مقدس، ن.، غفوری، م. ۱۳۹۸. بررسی اثرهای محیط زیستی سازند گچساران در دشت میداود، شرق خوزستان، فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۷، شماره ۱، ص ۵۷ تا ۷۲.
- [۱۱] موسسه گیتاشناسی، ۱۳۹۸، اطلس راه های ایران، موسسه گیتاشناسی، ۳۲۴ص.
- [۱۲] موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا.، امیری بختیار، ح.، باوی عویدی، ع. ۱۳۸۸، تاریخچه رسوب گذاری سازند گچساران (میوسن پیشین)) پوش سنگ مخزن آسماری (در میدان نفتی آب تیمور، پژوهش نفت، سال نوزدهم، شماره ۶۳، ۴ ص.
- [13] ABDIOĞLU, E., ARSLAN, M., AYDINÇAKIR, D., GÜNDOĞAN, İ., & HELVACI, C. 2015. Stratigraphy, mineralogy and depositional environment of the evaporite unit in the Aşkale (Erzurum) sub-basin, Eastern Anatolia (Turkey). *Journal of African Earth Sciences*, **111**: 100-112.
- [14] ABDIOĞLU, E., ARSLAN, M., HELVACI, C., GÜNDOĞAN, İ., TEMIZEL, İ., & AYDINÇAKIR, D. 2021. Geochemistry of Miocene evaporites from the Aşkale (Erzurum, Eastern Turkey) area: constraints for paleo-environment. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **165**(165): 113-140.
- [15] AREF, M. A., & TAJ, R. J. 2018. Recent evaporite deposition associated with microbial mats, Al-Kharrar supratidal-intertidal sabkha, Rabigh area, Red Sea coastal plain of Saudi Arabia. *Facies*, **64**(4): 1-23.
- [16] BAHROUDI, A., & KOYL, H. A. 2004. Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Marine and Petroleum Geology*, **21**(10): 1295-1310.
- [17] BERNASCONI, S. M., MEIER, I., WOHLWEND, S., BRACK, P., HOCHULI, P. A., BLÄSI, H., ... & RAMSEYER, K. 2017. An evaporite-based high-resolution sulfur isotope record of Late Permian and Triassic seawater sulfate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **204**: 331-349.
- [18] BRAITSCHE, O. 1971. Salt Deposits: Their Origin and Compositions (p.297). *Springer-Verlag*.

- [19] DEAN W.E., G.R., DAVIES AND R.Y., ANDERSON.1975. Sedimentological significance of nodular and laminated anhydrite, *Geology*, **3**: 367-372.
- [20] DEAN, W.E.1978. Trace and minor elements in evaporites. *In: Dean, W.E., Schreiber*
- [21] EL OUAHABI, M., EL IDRISSE, H. E. B., DAOUDI, L., EL HALIM, M., & FAGEL, N. 2019. Moroccan clay deposits: Physico-chemical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. *Applied Clay Science*, **172**: 65-74.
- [22] FAULKNER, S. P., & RICHARDSON, C. J. 2020. Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. *Constructed wetlands for wastewater treatment*, **42**: 41-72.
- [23] GALLET, S., JAHN, B.M., TORII, M.1996. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications, *Chemical Geology*, **133**: 8.67-8.
- [24] GETENET, M., OTÁLORA, F., EMMERLING, F., AL-SABBAGH, D., & GARCÍA-RUIZ, J. M. 2023. Mineral precipitation and hydrochemical evolution through evaporitic processes in soda brines (East African Rift Valley). *Chemical geology*, **616**: 121222.
- [25] GHORBANI, M. 2019. Lithostratigraphy of Iran (p. 296). *Cham: Springer*.
- [26] GIL-MÁRQUEZ, J. M., BARBERÁ, J. A., ANDREO, B., & MUDARRA, M. 2017. Hydrological and geochemical processes constraining groundwater salinity in wetland areas related to evaporitic (karst) systems. A case study from Southern Spain. *Journal of Hydrology*, **544**: 538-554.
- [27] GÜNGÖR YEŞİLOVA, P., & YEŞİLOVA, Ç. 2021. Depositional basin, diagenetic conditions and source of Miocene evaporites in the Tuzluca Basin in Northeastern Anatolia, Turkey: Geochemical evidence. *Geochemistry International*, **59**(13): 1293-1310.
- [28] HÁTÚN, H., AZETSU-SCOTT, K., SOMAVILLA, R., REY, F., JOHNSON, C., MATHIS, M., ... & ÓLAFSSON, J. 2017. The subpolar gyre regulates silicate concentrations in the North Atlantic. *Scientific reports*, **7**(1):1-9.
- [29] HOLSER, W. T. 2018. Trace elements and isotopes in evaporites. *In Marine minerals. De Gruyter*.
- [30] KIRICHENKO, Y., RICKLI, J. D., BONTOGNALI, T. R., & SHALEV, N. 2024. Insights into stable strontium isotope fractionation in marine gypsum and its geochemical implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- [31] KOO, H., LEE, Y., KIM, S., & CHO, H. 2018. Clay mineral distribution and provenance in surface sediments of Central Yellow Sea Mud. *Geosciences Journal*, **22**(6): 989-1000.
- [32] LI, W., QIAN, H., XU, P., HOU, K., QU, W., REN, W., & CHEN, Y. 2023. Insights into mineralogical distribution mechanism and environmental significance from geochemical behavior of sediments in the Yellow River Basin, China. *Science of The Total Environment*, **903**: 166278.
- [33] LIEBERMAN, R. N., IZQUIERDO, M., CÓRDOBA, P., PALMEROLA, N. M., QUEROL, X., DE LA CAMPA, A. M. S., ... & JESÚS, D. 2020. The geochemical evolution of brines from phosphogypsum deposits in Huelva (SW Spain) and its environmental implications. *Science of The Total Environment*, **700**:134444.
- [34] MAHMOODABADI, R. M. 2020. Facies analysis, sedimentary environments and correlative sequence stratigraphy of Gachsaran formation in SW Iran. *Carbonates and Evaporites*, **35**(1): 25.
- [35] MASON, B., MOORE, C.B., 1982. Principles of Geochemistry.p(334). *Wiley, New York*.
- [36] NIEDER, R., & BENBI, D. K. 2024. Potentially toxic elements in the environment—a review of sources, sinks, pathways and mitigation measures. *Reviews on Environmental Health*, **39**(3): 561-575.
- [37] ÖZDEMİR, A., PALABIYIK, Y., KARATAŞ, A., & ŞAHİNOĞLU, A. 2020. Mature petroleum hydrocarbons contamination in surface and subsurface waters of Kızılırmak Graben (Central Anatolia, Turkey): Geochemical evidence for a working petroleum system associated with a possible salt diapir. *Turkish Journal of Engineering*, **6**(1): 1-15.
- [38] PANDARINATH, K., PRASAD, S., GUPTA, S.K.1999. A 75-ka record of Palaeoclimatic changes inferred from crystallinity of illite from Nal Sarovar, western India. *Journal of the Geological Society of India*,v. **54**: 515-522.
- [39] PAUL, A., & LOKIER, S. W. 2017. Holocene marine hardground formation in the Arabian Gulf: Shoreline stabilisation, sea level and early diagenesis in the coastal sabkha of Abu Dhabi. *Sedimentary Geology*, **352**: 1-13.
- [40] PAULO, R. A., FOGG, G. E., GUO, Z., & HARTER, T. 2021. Anthropogenic basin closure and groundwater salinization (ABCSAL). *Journal of Hydrology*, **593**: 125787.
- [41] REHEIS, M.C.1990. Influence of climate and eolian dust on the major element chemistry and clay minerals of soils in the Northern Bighorn basin, USA, *Catena*, **17**:219-248.
- [42] REZAEI, P., KHANEHBAD, M., EZATIFAR, M., JOOYBARI, S. A., & HOSSEINI, K. 2020. Facies analysis, sedimentation conditions and geochemistry of clastic deposits of Ashin formation (Late Ladinian-Early Carnian), Northeast of Nain, East of Central Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, **14**(3):221-240.

- [43] REZAAEE, P., SALARI, SH., 2016. Petrography and mineralogy of Gachsaran formation in west of Bandar -E - Abbas, Kuh- E- Namaki Khamir section, south of Iran. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **8**(2S):956-969.
- [44] RÖGNER, K., KNABE, K., ROSCHER, B., SMYKATZ-KLOSS, W., ZÖLLER, L. 2004. Alluvial loess in the Central Sinai: Occurrence, origin, and palaeoclimatological consideration, in Smykatz-Kloss, W., Felix Henningsen, P. (eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences. Berlin Springer*, **4**: 79-99.
- [45] ROLLINSON, H. R., ROLLINSON, H., & PEASE, V. 2021. Using geochemical data: to understand geological processes. *Cambridge University Press*.
- [46] ROY, P.D., NAGAR, Y.C., JUYAL, N., SMYKATZ-KLOSS, W., SINGHVI, A.K. 2009. Geochemical signatu res of Late Holocene paleo-hydrological changes from Phulera and Pokharan saline playas near the eastern and western margins of the Thar Desert, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, **34**: 275-286
- [47] SAEED, W., SHOUAKAR-STASH, O., WOOD, W., PARKER, B., & UNGER, A. 2020. Groundwater and solute budget (a case study from Sabkha Matti, Saudi Arabia). *Hydrology*, **7**(4): 94.
- [48] SAKHAVATI, B., YOUSEFIRAD, M., MAJIDIFARD, M. R., SOLGI, A., & MALEKI, Z. 2020. Age of the Gachsaran Formation and equivalent formations in the Middle East based on foraminifera. *Micropaleontology*, **66**(5): 441-465.
- [49] SCHÜTT, B. 2004. The chemistry of playa-lake sediments as a tool for the reconstruction of Holocene environmental conditions - a case study from the central Ebro basin, in Smykatz-Kloss, W., Felix-Henningsen, P. (eds.), *Palaeoecology of Quaternary Drylands, Lecture Notes on Earth Sciences: Berlin, Springer*, **5**:5-30.
- [50] SMYKATZ-KLOSS, W., ROY, P.D. 2010. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for paleoclimatic investigations in arid regions: a synthesis, *Bol. Soc. Geológica Mex.*, **62**: 379-390.
- [51] SOLEIMANI, B., BAHADORI, A. 2014. The Miocene Gachsaran Formation evaporite cap rock, Zeloi, oilfield, SW Iran, *Carbonates Evaporites*, **34**:35-89.
- [52] SONNENFELD, P. 1985. Evaporites as oil and gas source rocks. *Journal of Petroleum Geology*, **8**: 253-271.
- [53] SZATMARI, P., DE LIMA, C. M., FONTANETA, G., DE MELO LIMA, N., ZAMBONATO, E., MENEZES, M. R., ... & GONTIJO, R. 2021. Petrography, geochemistry and origin of South Atlantic evaporites: The Brazilian side. *Marine and Petroleum Geology*, **127**:104805.
- [54] WARREN, L. V., DE ANDRADE, A. S. M., VAREJÃO, F. G., PROMENZIO, P., SANTOS, M. G., ALESSANDRETTI, L., & ASSINE, M. L. 2021. Sedimentary evolution of distributive fluvial systems within intraplate tectonic active basins: Case study of the Early Cretaceous Araripina Formation (Araripe Basin, NE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **111**: 103496.
- [55] WARREN, 2016, *Evaporites: A Geological Compendium, Springer*, 2016 M05 18 - 1813 pages
- [56] WEIBEL, R., FRIIS, H. 2004. Opaque minerals as keys for distinguishing oxidising and reducing diagenetic conditions in the Lower Triassic Bunter Sandstone, North German Basin. *Sedimentary Geology*, **169**:129-149.
- [57] WEIGHTMAN, E., CRAW, D., RUFAUT, C., KERR, G., & SCOTT, J. 2020. Chemical evolution and evaporation of shallow groundwaters discharging from a gold mine, southern New Zealand. *Applied Geochemistry*, **122**: 104766.
- [58] WEN, Y., SÁNCHEZ-ROMÁN, M., LI, Y., WANG, C., HAN, Z., ZHANG, L., & GAO, Y. 2020. Nucleation and stabilization of Eocene dolomite in evaporative lacustrine deposits from central Tibetan plateau. *Sedimentology*, **67**(6): 3333-3354.
- [59] WHITE, W. M. 2023. *Isotope geochemistry. John Wiley & Sons*.
- [60] WOOD, W. W. 2021. *A Conceptual Overview of Surface and Near-Surface Brines and Evaporite Minerals The Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada. Domain Editors*.
- [61] ZHANG, L., WANG, H., ZHANG, X., & TANG, Y. 2021. A Review of Emerging Dual-Ion Batteries: Fundamentals and Recent Advances. *Advanced Functional Materials*, **31**(20): 2010958.

Geochemistry of evaporites of Chehel unit of Gachsaran Formation (Early Miocene) in the east of Bandar Khamir, Bandar Lengeh embayment with a special view on paleoclimate

Payman Rezaee^{1*}, Seyedeh Akram Jooybari², Farooq Alian³

1- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- PhD in Sedimentology and Sedimentary Petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- PhD student in sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

[**P.rezaee@hormozgan.ac.ir](mailto:P.rezaee@hormozgan.ac.ir)

Received: October 2024, Accepted: January 2025

Abstract

Gachsaran evaporitic deposits (Early Miocene) is known as the most important caprock of Middle East hydrocarbon reservoirs in Tertiary. This formation is well exposed in some outcrops in the south of Bandar Lange embayment in the south-eastern folded Zagros, and in the east of Bandar Khamir, it includes three members: Chehel, Champeh and Mol. In the study area, two sections of the Chehel member of the Gachsaran Formation, which includes evaporite deposits, were studied from a geochemical point of view, with an emphasis on paleoclimate and origin. For this purpose, 22 samples were taken from the evaporite sediments of both sections and subjected to XRF and ICP analysis. The results obtained from the main oxides show a negative correlation of Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 and a positive correlation between CaO and SO_3 , indicates indicating prevailing conditions for sulfate deposits and an increase within salinity in the basin. Investigations also show a negative correlation of secondary elements with the SO_3 oxide, indicating the existence of two stages of drying and regression during in the period of settling of these evaporites sediments. The outcrops of Hormoz series diapirs at upstream and close to the studied area are proof good evidence for the impact of Hormoz series deposits on increasing the amounts of secondary elements in the studied intervals.

Keywords: Geochemistry, Gachsaran Formation, Paleoclimate, Bandar Lengeh embayment, Chehel unit.