

تحلیل رخساره‌ها، محیط رسوبی، و ژئوشیمی مغزه‌های رسوبی واقع در سواحل

جنوبی دریای خزر، شرق استان مازندران

افسانه دهقان چناری: گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

سادات فیض‌نیا*: گروه احیای مناطق خشک، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

سید محسن آل‌علی: گروه علوم زمین دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

منوچهر قریشی: گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۰

چکیده

دریای خزر بزرگ‌ترین توده آبی محصور در خشکی است که از حدود سه میلیون سال پیش از دریا‌های جهان جدا شد. مغزه‌های مورد مطالعه در بخش‌های شرقی بابلسر، شمال شرقی جویبار، و شرق زاغمرز در سواحل جنوبی دریای خزر واقع شده است. این پژوهش با هدف تفکیک و بررسی رخساره‌ها و محیط رسوبی و نیز ژئوشیمی عناصر با مطالعه مغزه‌های رسوبی انجام شد. طی بررسی‌های میدانی سه مغزه BAG و AZD و AM با تناوبی از رسوبات آواری ریز تا متوسط دانه به ترتیب با عمق‌های تقریبی ۷۰۰ و ۵۰۰ و ۹۰۰ سانتی‌متری انتخاب شدند. در مجموع ۹۲ نمونه برای مطالعات رسوب‌شناسی (۴۶ نمونه) و ژئوشیمی (۴۶ نمونه) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. دانه‌بندی رسوبات درشت و ریز دانه به ترتیب با الک مرطوب و لیزری صورت پذیرفت. تحلیل ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی رسوبات نیز با استفاده از ICP-OES انجام شد. بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی و بافتی، رخساره‌های گل ماسه‌ای قهوه‌ای، ماسه‌ای تا ماسه‌گلی خاکستری، و گلی تا رس سیلنتی ماسه‌ای سیاه شناسایی شدند. در توالی مغزه‌ای نسبت‌های عنصری Ti/Al و Fe/Al در افق‌های رسوبی دانه‌ریز و Si/Al و Zr/Al در افق‌های رسوبی دانه‌درشت هماهنگی و انطباق خوبی نشان می‌دهند که به ترتیب حاکی از کاهش و افزایش انرژی محیطی است. همچنین انطباق قوی بین Ca و Sr در برخی افق‌های مغزه‌ها حاکی از رسوب‌گذاری کانی‌های کربناته در درون دریا یا دریاچه به صورت زیستی است.

واژه‌های کلیدی: محیط رسوبی، ژئوشیمی، رخساره‌های رسوبی، تغییرات سطح آب دریا، دریای خزر

مقدمه

مطالعه رسوب‌شناسی، یک روش عمومی و اصلی برای تعیین محیط رسوبی، مکانیسم‌های رسوب‌گذاری، و نحوه حمل‌ونقل رسوبات است (فارل^۲ و همکاران؛ ۲۰۱۲^۳، گوان و همکاران؛ ۲۰۱۳^۴). اصلی‌ترین ویژگی فیزیکی رسوبات، اندازه دانه است. اندازه رسوبات تابعی از حداکثر سرعت جریان هنگام رسوب‌گذاری و مسافت حمل‌ونقل است. به گونه ای که تعیین مقدار دانه‌های درشت در رسوبات حتی به مقدار کم نیز برای تفسیر انرژی محیط اهمیت فراوان دارد (سیویتسکی و میلیمان، ۲۰۰۷^۴). همچنین بررسی و تعیین نسبت ذرات ماسه‌ای به گلی نیز مهم است و مقدار انرژی برای خارج کردن ذرات ریز از محیط هنگام رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (فولک ۱۹۷۴)^۵. گفتنی است توزیع اندازه دانه‌ها در رسوبات به عوامل مختلفی از جمله سنگ منشأ، فرایندهای هوازدگی، سایش و جورشدگی انتخابی آن‌ها هنگام حمل‌ونقل بستگی دارد (اسنلدر و همکاران؛ ۲۰۱۱)^۶. مطالعات بافتی رسوبات در طول مغزه‌ها می‌تواند در درک و فهم محیط رسوب‌گذاری مؤثر باشد. دانه‌بندی، یکی از ویژگی‌های اساسی و مهم رسوبات است که طی انتقال و فرسایش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از این رو، تحلیل اندازه دانه‌ها می‌تواند ابزاری مهم برای طبقه‌بندی محیط‌های رسوبی باشد (فولک و وارد؛ ۱۹۵۷)^۷. انطباق بین پارامترهای اندازه و فرایندهای حمل‌ونقل - مکانیسم‌های رسوب‌گذاری رسوبات سواحل، در محیط‌های رسوبی گذشته و امروز، به طور گسترده مطالعه شده است (فولک و وارد ۱۹۵۷؛ وانگ^۸ و همکاران ۱۹۹۸؛ مالوارز^۹ و همکاران ۲۰۰۱؛ راماموهاناراو^{۱۰} و همکاران ۲۰۰۳؛ راماناتان^{۱۱} و همکاران ۲۰۰۹؛ سورش^{۱۲} و همکاران ۲۰۰۸). رسوبات در محیط‌های رسوبی مختلف بر اساس فرایندهای فیزیکی و شیمیایی و زیستی ته‌نشین می‌شوند که بررسی آن‌ها و شناسایی رخساره‌های موجود در تعبیر و تفسیر محیط رسوب‌گذاری از اهمیتی خاص برخوردار است (والکر^{۱۳} ۲۰۰۶). رخساره‌ها توسط آن دسته از فرایندهای رسوبی کنترل می‌شوند که در مناطق رسوبی خاصی عمل می‌کنند و تغییر در رژیم‌های جریانی منجر به تغییر

2 Farrell

3 Guan

4 Syvitski & Milliman

5 Folk

6. Snelder

7. Folk & Ward

8. Wang

9. Malvarez

10. Ramamohanarao

11. Ramanathan

12. Suresh

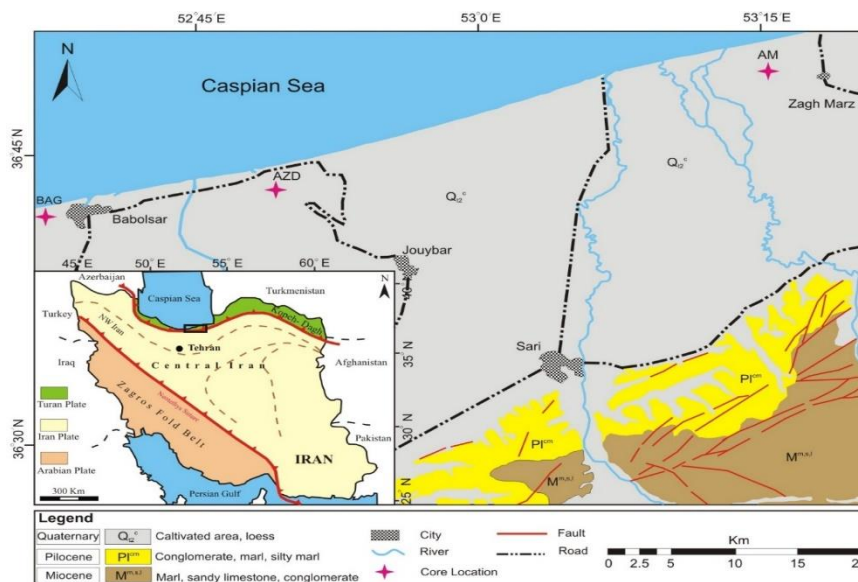
13. Walker

رخساره‌های رسوبی بر اساس شرایط حاکم بر حوضه رسوبی می‌شود. از این رو، با تعیین رخساره‌ها می‌توان به تفسیر شرایط رسوب‌گذاری دیرینه پرداخت (کاتونانو^{۱۴} ۲۰۰۶). همچنین مقایسه میزان غلظت عناصر در رخساره‌های رسوبی در مغزه‌ها اطلاعات مفیدی درباره نحوه رفتار عناصر در محیط‌های مختلف در اختیار ما قرار می‌دهد (لیو و همکاران ۲۰۱۷). تاکنون بررسی‌های گسترده‌ای بر رسوبات ساحلی دریای خزر انجام شده است. یکی از مطالعات مهم در این زمینه مطالعه نادری‌بنی و همکارانش (۱۳۹۲) است. آن‌ها به بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی نهشته‌های هولوسن در سواحل جنوب شرق خزر پرداختند و نشان دادند رسوبات آن بخش عمدتاً دارای دانه‌بندی سیلتی تا سیلت ماسه‌ای است و شامل رخساره‌های لاگونی، آبرفتی-دلتایی، و تبخیری هستند. رضایی و همکارانش (۱۳۹۱) نیز با بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناختی و محیط رسوبی نهشته‌های عهد حاضر در نیمه غربی شبه‌جزیره میانکاله و خلیج گرگان نشان دادند خلیج گرگان در واقع یک محیط لاگون دریاچه‌ای پشت سد میانکاله است. همچنین، حقانی و همکارانش (۱۳۸۷) به بررسی رسوب‌شناسی نهشته‌های دور از ساحل بخش جنوب غربی دریای خزر پرداختند و نشان دادند رسوبات مطالعه‌شده از اجزای رسوبی با منشأ بیرون حوضه‌ای (آواری) و درون حوضه‌ای (شیمیایی و بیوشیمیایی) تشکیل شده‌اند. در این پژوهش ویژگی‌های رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی، رخساره‌های رسوبی، و نیز ژئوشیمی رسوبات در توالی مغزه‌های BAG و AZD و AM، از جنوب غرب تا شمال شرق، به ترتیب واقع در سه منطقه بابلسر و جویبار و زاغمرز، در طول سواحل جنوبی دریای خزر (شرق استان مازندران)، مطالعه شد. در این تحقیق سعی شد ارتباط محیط رسوبی با نوسانات سطح آب دریای خزر و نیز رابطه تغییرات عمقی عناصر با اندازه دانه و رخساره‌های آن‌ها بررسی شود. گفتنی است تا کنون به این موضوع پرداخته نشده است. از این رو، نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در تطابق‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی بخش‌های دیگر سواحل جنوبی دریای خزر مفید و قابل استفاده باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

سه مغزه مورد مطالعه، شامل BAG و AZD و AM، واقع در سواحل جنوبی دریای خزر، به ترتیب در بخش شرقی بابلسر و شمال شرقی جویبار و شرق زاغمرز واقع شده است (شکل ۱). این مناطق به لحاظ اقلیمی دارای آب‌وهوای معتدل مدیترانه‌ای و خزری است (آل احمد ۱۳۷۵). در دوره‌های سرد سال سیکلون‌های سرد و باران‌زای مدیترانه‌ای (غربی)، آنتی سیکلون سرد و خشک سیرری (شمال شرقی)، و پرفشار کانادا-اسکاندیناوی (شمال غرب) مناطق مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به منظور آشنایی با وضعیت بارندگی در ناحیه مورد مطالعه، از آمار بارندگی ایستگاه‌های مستقر در منطقه طی سال‌های ۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۷۹-۱۳۸۰ استفاده شد. بر این اساس متوسط بارش سالیانه منطقه برابر با ۷۶۰ میلی‌متر است. توزیع فصلی بارش به گونه‌ای است که حدود ۳۵/۵ درصد آن در پاییز، ۳۰ درصد در زمستان، ۱۶/۸ درصد در بهار، و ۱۷/۷ درصد در تابستان رخ می‌دهد. آبان پر باران‌ترین ماه و مرداد کم‌باران‌ترین ماه سال در منطقه‌اند (سازمان

هواشناسی ۱۳۸۴). از نظر زمین‌شناسی، مغزه‌های مورد مطالعه در بخش‌های شمالی کوه‌های البرز، به امتداد شمال شرقی - جنوب غربی، قرار دارند. رشته کوه‌های البرز از زمان سنوزوئیک میانی در نتیجه کوتاه‌شدگی بین ورقه عربین و اورازیا ایجاد شده است (آقاباتی ۱۳۸۵) و به نظر می‌رسد منشأ اصلی مواد آواری به حوضه جنوبی دریای خزر باشد (لاهیجانی و توکلی ۲۰۱۲). رشته کوه‌های البرز با شکستگی‌ها و گسل‌ها و رواندگی‌های مهم همراه می‌باشند که با ساحل خطی دریای خزر موازی‌اند (موسوی روح‌بخش ۱۳۸۳). همچنین بخش جنوبی دریای خزر شامل نهشته‌های رسوبی، لس و تراس‌های آبرفتی، سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی (پرکامبرین)، و سنگ آهک‌های توده‌ای (ژوراسیک) است. در حالی که محدوده مطالعاتی فقط با رسوبات کواترنری پوشیده شده است (شکل ۱). رسوبات جوان کواترنری بر پایه منشأ شکل‌گیری به دو بخش عمده قابل تفکیک است که شامل نهشته‌های آبرفتی و بادرفتی درون خشکی و نهشته‌های دریایی در پهنه ساحلی می‌باشد (سعیدی و وحدتی دانشمند ۱۳۶۹).



شکل ۱. نقشه ایران (ویلسن و همکاران ۲۰۰۹) (با تغییر) و نقشه زمین‌شناسی بخش شرقی سواحل جنوبی دریای خزر (سعیدی و وحدتی دانشمند ۱۳۶۹) با موقعیت سه مغزه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

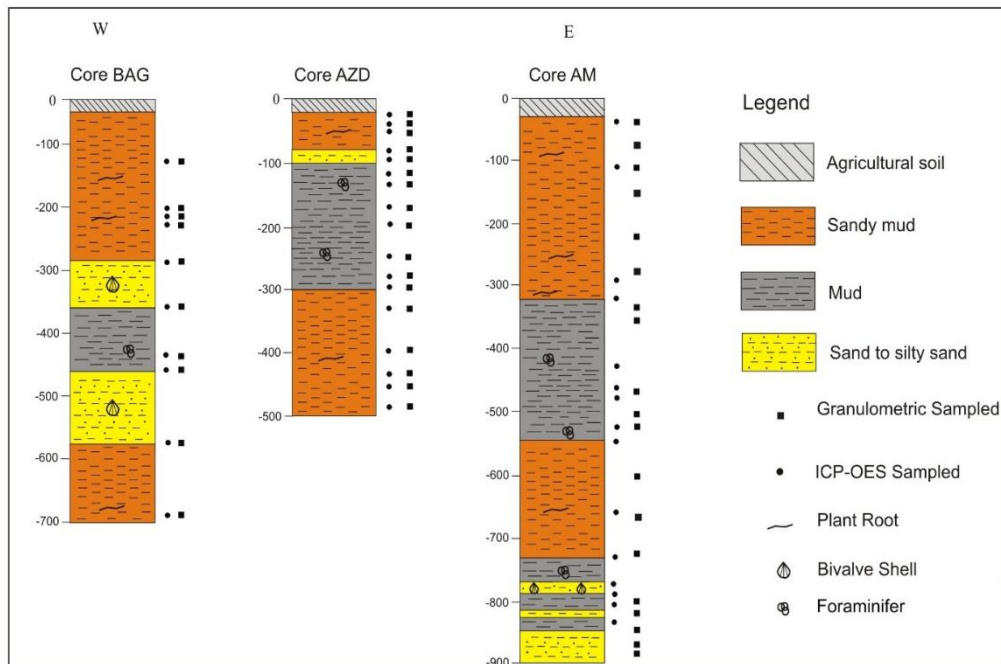
بررسی‌های میدانی و مطالعات آزمایشگاهی دقیقی به منظور تعیین رخساره‌های رسوبی و ژئوشیمی رسوبات روی مغزه‌های BAG و AZD و AM صورت گرفت. با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر دستی^{۱۵}، مغزه‌های BAG و AZD و AM به ترتیب با عمق‌های تقریبی ۷۰۰ و ۵۰۰ و ۹۰۰ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۵ حفاری شدند (شکل ۲). تعداد ۴۶ نمونه (۱۰ نمونه از مغزه BAG، ۱۷ نمونه از مغزه AZD، ۱۹ نمونه از مغزه AM) از عمق‌ها و رخساره‌های مختلف بر اساس تغییر در اندازه دانه‌ها و رنگ برای مطالعات رسوب‌شناسی و بافتی

15. handy auger

برداشت شد (جدول ۱). دانه‌بندی رسوبات درشت‌تر به روش الک مرطوب با دستگاه شیکر (مدل Vibratory Sieve Shaker) و سیلت و رس با دستگاه لیزری (مدل Laser Particulate Sizer 22) در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. دانه‌های در اندازه گراول اغلب شامل خرده‌های صدفی است و به مقدار جزئی از خرده‌های آواری تشکیل شده‌اند. سپس نمونه‌های رسوبی دانه‌بندی شده به روش فولک (۱۹۷۴) نام‌گذاری شدند. همچنین، به منظور آنالیز ژئوشیمی سنگ کل، تعداد ۴۲ نمونه از سه مغزه (۱۰ نمونه از مغزه BAG، ۱۷ نمونه از مغزه AZD، ۱۵ نمونه از مغزه AM)، بر اساس تغییر در اندازه دانه‌ها و رنگ، از سطح به عمق انتخاب شدند (شکل ۲). نمونه‌ها به منظور جلوگیری از آلودگی در کیسه‌های پلی‌اتیلن قرار داده شدند. سپس در هوای معمولی خشک و به اندازه ریزتر از الک ۲۰۰ مش با هاون آگات پودر شدند. نمونه‌های پودر شده برای تعیین غلظت برخی عناصر اصلی و فرعی، با استفاده از ICP-OES، به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور فرستاده شدند.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و مشخصات اصلی مغزه‌ها

نام مغزه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق (m)	تعداد آنالیز	
				دانه‌بندی	ICP-OES
BAG	36, 42, 2.7	52, 36, 50.9	7	10	10
AZD	36, 43, 7.3	52, 49, 37.5	5	17	17
AM	36, 47, 34.5	53, 19, 42.7	9	19	15



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی مغزه‌های BAG و AZD و AM همراه نقاط نمونه‌برداری

نتایج و بحث

دانه‌بندی

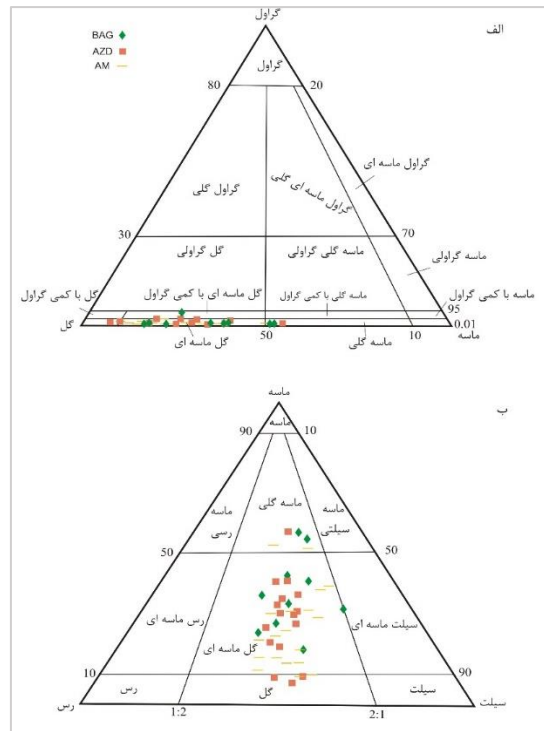
همان گونه که مشخص است، نمونه‌های مورد مطالعه دارای مقادیر میانگین بالاتر گل در مغزه‌های BAG و AZD و AM، به ترتیب ۶۵/۲۱ و ۷۲/۱۵ و ۷۴/۴۱، هستند. مقادیر ماسه میانگین نسبتاً پایین تری در مغزه‌های یادشده دارند که به ترتیب ۳۴/۲۹ و ۲۷/۴۲ و ۲۵/۰۲ می باشد. از طرفی مقادیر میانگین گراول در رسوبات مغزه‌های BAG و AZD و AM بسیار پایین (۰/۵ و ۱/۸۱ و ۰/۵۵) و اغلب شامل خرده‌های صدف است. در برخی افق‌های مغزه‌ها، رسوبات بدون ذرات گراول هستند (جدول‌های ۲ تا ۴). بنابراین، بر اساس نتایج دانه‌بندی رسوبات و طبق دیاگرام مثلثی فولک (۱۹۷۴) ارتباط بین سه ترکیب اصلی رسوب و نسبت درصد هر یک از اجزای اصلی در رسوبات مربوط به هر مغزه نام‌گذاری شدند. بر اساس شکل ۳ الف، رسوبات مغزه‌های BAG و AZD و AM به طور غالب در محدوده گل ماسه‌ای و نمونه‌های اندکی نیز در محدوده ماسه‌گلی و گل و گل ماسه‌ای با کمی گراول واقع شده‌اند. با توجه به اینکه اکثر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ماسه و گل قرار می‌گیرند و دانه‌های درشت گراول درصد ناچیزی را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۳ الف)، برای تعیین بافت رسوبات مورد مطالعه از نمودار مثلثی فولک (۱۹۷۴)، برای رسوبات دانه‌ریز، استفاده شد (شکل ۳ ب). بر اساس دیاگرام مثلثی فولک (۱۹۷۴) برای رسوبات دانه‌ریز غالب نمونه‌ها در محدوده گل ماسه‌ای و نمونه‌های اندکی نیز در محدوده گل و ماسه‌گلی قرار گرفته‌اند.

پارامترهای آماری

پارامترهای مورد استفاده برای توصیف توزیع دانه‌بندی رسوبات به چهار گروه اصلی میانگین اندازه ذرات، پراکندگی اندازه پیرامون میانگین (جورشدگی)، وجود یا فقدان تقارن تابع توزیع (کج‌شدگی)، و تیزی منحنی در نقطه حداکثری (کشیدگی) تقسیم می‌شوند که به طور گسترده جهت بازسازی محیط رسوب‌گذاری رسوبات کاربرد دارند (آنکوسامی و راجامانیکام ۲۰۰۶)^{۱۶}. مقادیر پارامترهای آماری برای مغزه‌های BAG و AZD و AM در جدول‌های ۲ تا ۴ و شکل ۴ قابل مشاهده است.

میانگین اندازه ذرات

میانگین اندازه ذرات رسوبات به منشأ رسوب و نوع عامل حمل و شرایط رسوب‌گذاری بستگی دارد. در واقع، میانگین ذرات متوسط دانه‌های رسوب و شرایط انرژی محیطی را نشان می‌دهد (فولک ۱۹۶۶)؛ حداکثر مقدار میانگین اندازه ذرات در مغزه‌های BAG و AZD و AM به ترتیب برابر با ۶/۱۷ فی و ۶/۹۸ فی و ۶/۵۸ فی است. کمترین مقدار آن نیز برای مغزه‌های یادشده به ترتیب برابر با ۳/۴۴ فی و ۳/۹۴ فی و ۴/۰۹ فی است. همچنین، بر اساس شکل ۴ میانگین غالب اندازه ذرات رسوبات مورد مطالعه از ۴ فی بیشتر است و در محدوده گل قرار می‌گیرند.



شکل ۳. پراکندگی رسوبات سه مغزۀ مورد مطالعه روی مثلث بافتی فولک (۱۹۷۴): الف) مثلث بافتی رسوبات دانه درشت؛ ب) مثلث بافتی رسوبات ریزدانه

جورشدگی

جورشدگی رسوبات شدت انرژی محیط رسوبی و شرایط حاکم بر رسوب گذاری را نشان می دهد (فولک ۱۹۷۴). مقدار جورشدگی برای رسوبات مورد مطالعه در مغزه های BAG و AZD و AM از سطح به عمق به ترتیب از ۲/۲۹ تا ۳/۴۶ (میانگین ۲/۹۲ فی)، ۱/۸۲ تا ۳/۲۹ (میانگین ۲/۹۵ فی)، و ۲/۲۲ تا ۳/۳۱ (میانگین ۲/۷۶ فی) در تغییر است (جدول های ۲ تا ۴). زمانی که این مقادیر جورشدگی با درجه های گوناگون جورشدگی، پیشنهاد شده توسط فولک و وارد (۱۹۵۷)، مقایسه شود مشخص می شود که غالب رسوبات مورد مطالعه دارای جورشدگی خیلی بد تا بد هستند (شکل ۴ الف).

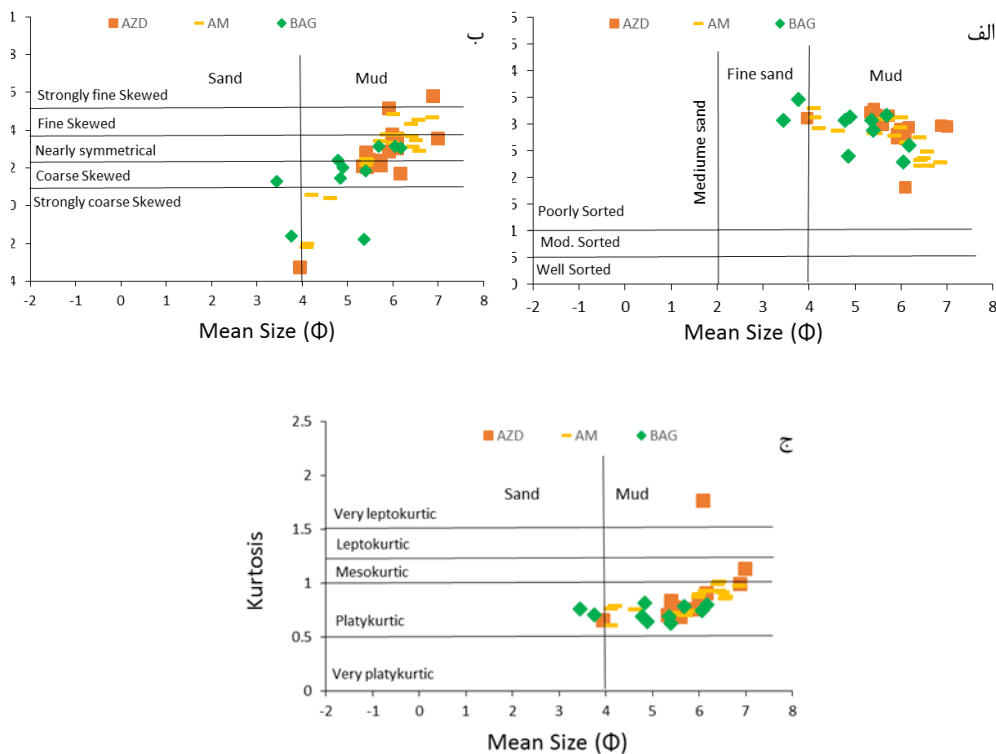
کج شدگی ترسیمی جامع

کج شدگی عدم تقارن توزیع فراوانی را اندازه می گیرد و بر اساس کج شدگی رسوبات می توان انرژی محیط رسوبی و نیز فرایندهای حمل کننده رسوبات را مشخص کرد. در رسوبات مورد مطالعه حداقل و حداکثر میزان کج شدگی برای رسوبات مغزه های BAG و AZD و AM به ترتیب از ۰/۱۸- تا ۰/۳۲ (میانگین ۰/۱۵) و ۰/۳۲- تا ۰/۵۸ (میانگین ۰/۲۶) و ۰/۲۲- تا ۰/۴۹ (میانگین ۰/۲۷) در تغییر است (جدول های ۲ تا ۴). این مقدار کج شدگی وقتی با درجه های گوناگون کج شدگی پیشنهادی فولک و وارد (۱۹۵۷) مقایسه می شود نشان می دهد رسوبات مورد مطالعه دارای کج شدگی غالب مثبت (به سمت راست) هستند یا رسوبات دانه ریز غالب اند. برخی نمونه ها نیز کج شدگی منفی (به سمت چپ) دارند (شکل ۴ ب). رسوباتی که کج شدگی مثبت (کمیت بیشتر رسوبات دانه ریز) نشان می دهند از غلبه شرایط انرژی پایین و تمایل به ته نشست رسوبات حکایت

می‌کنند؛ درحالی که کج‌شدگی منفی رسوبات یا افزایش رسوبات درشت‌دانه غلبه شرایط پیرانرژی و تهی‌سازی و تخلیه دانه‌های ریز همراه با فرایندهای فرسایشی را نمایان می‌سازند. بنابراین، می‌توان دریافت که در غالب افق‌های رسوبی شرایط انرژی محیطی پایین و در برخی بخش‌ها انرژی محیطی بالا در زمان رسوب‌گذاری رسوبات مورد مطالعه در بخش‌های یادشده حاکم بوده است.

کشیدگی

کشیدگی منحنی‌ها نیز همچون جورشدگی و کج‌شدگی منعکس‌کننده مکانیسم‌های مختلف رسوب‌گذاری است (فولک ۱۹۷۴). در منطقه مورد مطالعه حداقل و حداکثر میزان کشیدگی برای رسوبات مغزه‌های BAG و AZD و AM به ترتیب برابر با ۰/۶۳ و ۰/۸۲ (میانگین ۰/۷۲) و ۰/۶۶ و ۱/۷۷ (میانگین ۰/۸۶) و ۰/۶۱ و ۱/۰۲ (میانگین ۰/۸۳) به دست آمد (جدول‌های ۲ تا ۴)؛ که نشان‌دهنده غالب بودن کشیدگی پهن برای رسوبات مورد مطالعه است (شکل ۴ ج). بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه پارامترهای آماری سه مغزه چنین برمی‌آید که به دلیل غالب بودن اندازه ذرات در حد سیلت-رس و ماسه و نبود یا کم بودن ذرات گراولی جورشدگی بسیار بد و کشیدگی پهن رسوبات (جدول‌های ۲ تا ۴ و شکل‌های ۳ و ۴) توأمأ حاکمی از غلبه شرایط انرژی پایین در ایجاد یا حمل‌ونقل رسوبات همراه فرایندهای فرسایشی اندک است.



شکل ۴. نمودارهای دومتغیره پارامترهای آماری: الف) میانگین اندازه ذرات (بر حسب فی) در برابر جورشدگی (بر حسب فی)؛ ب) میانگین اندازه ذرات در برابر کج‌شدگی؛ ج) میانگین اندازه ذرات در برابر کشیدگی؛ د) جورشدگی در برابر کج‌شدگی

جدول ۲. درصد ذرات گراول، ماسه، سیلت، و رس و پارامترهای آماری در نمونه‌های عمقی مغزه BAG

شماره نمونه	عمق (m)	نوع رسوب	رس	سیلت	گل	ماسه	گراول	میانگین	جورشدگی	کج‌شدگی	کشیدگی
BAG1	1.20	sandy mud	36.51	45.39	81.90	18.11	0	6.05	2.29	0.32	0.75
BAG2	2.00	sandy mud	24.55	37.11	61.66	38.30	0	4.77	3.07	0.24	0.69
BAG3	2.10	sandy mud	44.85	32.50	77.35	22.70	0	6.17	2.61	0.31	0.80
BAG4	2.30	sandy mud	36.92	33.64	70.56	24.40	5.04	5.69	3.17	0.32	0.79
BAG5	2.70	sandy mud	28.91	31.24	60.15	39.90	0	4.89	3.13	0.20	0.65
BAG6	3.60	muddy sand	18.80	30.16	48.96	51.04	0	5.36	3.08	-0.18	0.69
BAG7	4.40	sandy mud	20.16	49.86	70.02	29.98	0	4.84	2.40	0.15	0.82
BAG8	4.60	muddy sand	19.89	27.46	47.35	52.70	0	3.75	3.46	-0.16	0.71
BAG9	5.70	sandy mud	38.12	27.66	65.78	34.22	0	3.44	3.07	0.13	0.76
BAG10	6.90	sandy mud	32.90	35.46	68.36	31.64	0	5.39	2.89	0.19	0.63
Max	-	-	44.85	49.86	81.90	52.70	5.04	6.17	3.46	0.32	0.82
Min	-	-	18.80	27.46	47.35	18.11	0	3.44	2.29	-0.18	0.63
Mean	-	-	30.16	35.04	65.21	34.29	0.50	5.03	2.92	0.15	0.72

جدول ۳. درصد ذرات گراول، ماسه، سیلت، و رس و پارامترهای آماری در نمونه‌های عمقی مغزه AZD

شماره نمونه	عمق (m)	نوع رسوب	رس	سیلت	گل	ماسه	گراول	میانگین	جورشدگی	کج‌شدگی	کشیدگی
AZD1	0.30	sandy mud	40.86	33.25	74.11	25.89	0	6.08	1.82	0.36	1.77
AZD2	0.41	sandy mud	42.73	36.74	79.47	20.53	0	5.98	2.91	0.38	0.84
AZD3	0.50	sandy mud	32.05	29.01	61.06	38.94	0	5.72	3.17	0.22	0.75
AZD4	0.73	sandy mud	28.27	30.49	58.76	39.35	1.89	6.16	2.95	0.17	0.91
AZD5	0.98	sandy mud	32.60	39.07	71.67	25.80	2.53	5.40	3.29	0.29	0.84
AZD6	1.20	sandy mud	32.62	36.78	69.40	29.48	1.12	5.46	3.19	0.24	0.78
AZD7	1.35	sandy mud	40.22	49.78	90.00	10.10	0	5.90	2.75	0.52	0.76
AZD8	1.70	muddy sand	21.65	24.04	45.69	54.31	0	3.94	3.13	-0.32	0.66
AZD9	2.00	mud	46.94	43.24	90.18	9.82	0	6.98	2.97	0.36	1.13
AZD10	2.50	sandy mud	28.91	36.48	65.39	34.61	0	5.91	2.83	0.29	0.76
AZD11	2.70	mud	43.61	48.27	91.88	8.12	0	6.87	2.98	0.58	1.00
AZD12	2.90	sandy mud	41.11	39.84	80.95	19.05	0	6.08	2.73	0.31	0.82
AZD13	3.27	sandy mud	33.74	32.54	66.28	33.72	0	5.32	3.23	0.21	0.71
AZD14	3.90	sandy mud	31.97	38.11	70.08	29.92	0	5.47	3.00	0.25	0.71
AZD15	4.40	sandy mud	39.04	35.16	74.20	25.80	0	5.41	3.14	0.21	0.71
AZD16	4.50	sandy mud	35.73	34.52	70.25	29.75	0	5.60	2.99	0.24	0.69
AZD17	4.90	sandy mud	34.77	32.54	67.31	30.99	1.70	5.51	3.14	0.22	0.71
Max	-	-	46.94	49.78	91.88	54.31	2.53	6.98	3.29	0.58	1.77
Min	-	-	21.65	24.04	45.69	40.86	1.12	3.94	1.82	-0.32	0.66
Mean	-	-	35.70	36.46	72.15	27.42	1.81	5.75	2.95	0.26	0.86

جدول ۴. درصد ذرات گراول، ماسه، سیلت، و رس و پارامترهای آماری در نمونه‌های عمقی مغزه AM

شماره نمونه	عمق (m)	نوع رسوب	رس	سیلت	گل	ماسه	گراول	میانگین	جورشدگی	کج‌شدگی	کشیدگی
AM1	0.40	sandy mud	37.10	43.50	80.60	18.35	1.05	6.11	2.66	0.38	0.93
AM2	0.75	sandy mud	40.03	37.15	77.18	21.85	0.97	5.97	2.95	0.34	0.88
AM3	1.10	sandy mud	43.31	39.70	83.01	15.87	1.10	6.39	2.76	0.44	1.00
AM4	1.55	sandy mud	44.13	32.43	76.56	20.93	2.49	6.00	3.13	0.49	0.90
AM5	2.20	sandy mud	50.25	37.48	87.73	12.27	0	6.85	2.29	0.47	0.98
AM6	2.60	sandy mud	37.85	32.19	70.04	29.96	0	5.70	3.10	0.34	0.71
AM7	3.40	sandy mud	32.70	35.90	68.60	31.40	0	5.40	3.10	0.22	0.71
AM8	3.50	sandy mud	47.68	36.09	83.77	16.23	0	6.55	2.50	0.46	0.86
AM9	4.60	sandy mud	28.17	42.70	70.87	28.13	1	5.44	2.84	0.24	0.73
AM10	5.00	sandy mud	28.04	40.53	68.57	30.45	0.98	5.41	2.83	0.25	0.72
AM11	5.20	sandy mud	21.20	40.65	61.85	37.25	0.90	4.19	2.93	0.06	0.79
AM12	6.00	sandy mud	20.40	41.06	61.46	37.62	0.90	4.61	2.89	0.04	0.76
AM13	6.60	sandy mud	38.40	50.79	89.19	10.81	0	6.42	2.23	0.31	0.93
AM14	7.30	sandy mud	40.54	48.63	89.17	10.02	0.80	6.57	2.22	0.29	0.88
AM15	8.00	sandy mud	39.35	45.39	84.74	14.90	0.36	6.42	2.34	0.37	1.02
AM16	8.10	sandy mud	42.38	43.48	85.86	14.13	0	6.49	2.36	0.35	0.91
AM17	8.40	sandy mud	19.42	30.71	50.13	49.85	0	4.11	3.14	-0.20	0.77
AM18	8.70	muddy sand	36.81	38.10	74.91	25.08	0	5.86	2.80	0.38	0.74
AM19	8.90	muddy sand	27.12	22.50	49.62	50.38	0	4.09	3.31	-0.22	0.61
Max	-	-	47.68	50.79	89.19	50.38	2.49	6.85	3.31	0.49	1.02
Min	-	-	19.42	22.50	49.62	10.02	0.36	4.09	2.22	-0.22	0.61
Mean	-	-	35.52	38.89	74.41	25.03	0.56	6.16	2.76	0.27	0.83

رخساره‌ها و محیط رسوبی

رسوبات مورد مطالعه در هر مغزه بر اساس ویژگی‌های رسوبی، نظیر اندازه ذرات و رنگ و میزان ماده آلی، به رخساره‌های مختلف تفکیک و سپس انواع محیط‌های رسوبی تعریف شدند. در سه مغزه مورد مطالعه به طور کلی سه رخساره رسوبی شناسایی و به طور جداگانه برای هر مغزه بررسی شد.

مغزه BAG

این مغزه با عمق ۷ متری از سطح به عمق شامل سه رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای، ماسه‌ای تا ماسه‌رسی / سیلتی خاکستری، گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه است. رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای واقع در اعماق ۰/۳ تا ۲/۸ و ۵/۷ تا ۷ متری ضخامت قابل توجهی را در توالی رسوبی (از سطح به عمق) مغزه مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲). از نظر اندازه دانه، رسوبات این رخساره اغلب در محدوده سیلت و رس با مقادیر متوسط ماسه قرار می‌گیرند. بر اساس پارامترهای بافتی نیز رسوبات این رخساره کج‌شدگی مثبت و جورشدگی بسیار بد با کشیدگی پهن تا خیلی پهن دارند (جدول ۲). این رخساره به لحاظ محتوای فسیل جانوری رخساره‌ای فقیر از فسیل است که از ویژگی‌های منحصر به فرد آن به شمار می‌رود. رخساره گل ماسه‌ای با رنگ قهوه‌ای روشن و با لکه‌های قهوه‌ای تیره و گاه سفیدرنگ و در برخی بخش‌ها با لامیناسیون ظریف مشخص می‌شود (شکل ۶ الف). در برخی موارد، در رسوبات این رخساره بلورهای ژیبس، خرده‌های فسیل، صدف منفرد دوکفه‌ای، و خرده‌های گیاهی به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. از عمق ۳/۶ تا ۴/۶ متری رخساره گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه‌رنگ مشخص می‌شود. این رخساره ضخامت کمی نسبت به رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای دارد (شکل ۲). این رخساره به لحاظ اندازه دانه در محدوده سیلت و رس قرار می‌گیرد. بر اساس پارامترهای بافتی، رسوبات این رخساره کج‌شدگی به شدت مثبت و جورشدگی بسیار بد با کشیدگی پهن دارد (جدول ۲). در بسیاری از موارد این رخساره با لامیناسیون‌های ظریف مشخص می‌شود. رخساره گلی از نظر محتوای فسیلی غنی است و در آن انواع فسیل جانوری و گیاهی یافت می‌شود (شکل ۵ ج). گاه در این رخساره کانی‌های تبخیری نیز مشاهده می‌شود. رنگ آن عموماً از خاکستری تیره تا سبز و سیاه در تغییر است که فراوانی ماده آلی در این رخساره را نشان می‌دهد. از عمق ۲/۸ تا ۳/۵۵ و ۴/۶ تا ۵/۸ متری رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری‌رنگ مشخص می‌شود. این رخساره، از نظر پارامترهای رسوب‌شناسی، جورشدگی متوسط تا خوب و کشیدگی کمی پهن دارد. کج‌شدگی غالب آن‌ها منفی و به سمت رسوبات دانه‌درشت است (جدول ۲). مطالعات مورفوسکوپی از رسوبات رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی نیز نشان می‌دهد ذرات رسوبی در اندازه ماسه متوسط تا ریز و دارای گردشدگی ضعیف تا خوب هستند (شکل ۵ الف و ب).

مغزه AZD

این مغزه با عمق ۵ متری از سطح به عمق شامل سه رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای، ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری، گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه است. رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای واقع در اعماق ۰/۲ تا ۰/۸ و ۳ تا ۵ متری ضخامت قابل توجهی را در توالی رسوبی (از سطح به عمق) مغزه مورد مطالعه به خود

اختصاص می‌دهد (شکل ۲). ویژگی‌های این رخساره در مغزه AZD همانند مغزه BAG است؛ طوری که این رخساره کج‌شدگی مثبت و جورشدگی بسیار بد با کشیدگی پهن تا خیلی پهن دارد (جدول ۳). این رخساره فقیر از فسیل است که از ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن به شمار می‌رود. رخساره گل ماسه‌ای با رنگ قهوه‌ای روشن و لکه‌های قهوه‌ای تیره در افق‌هایی با لامیناسیون ظریف (در حد چند میلی‌متر) مشخص می‌شود. از عمق ۱ تا ۳ متری رخساره گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه‌رنگ قابل مشاهده است. این رخساره ضخامت تقریباً یکسانی نسبت به رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای دارد (شکل ۲). این رخساره به لحاظ اندازه دانه در محدوده سیلت و رس قرار می‌گیرد. طبق پارامترهای بافتی، رسوبات این رخساره کج‌شدگی به شدت مثبت و جورشدگی بسیار بد با کشیدگی پهن دارد (جدول ۳). از ویژگی‌های شاخص این رخساره حضور لامیناسیون‌های ظریف و غنی بودن از نظر محتوای فسیلی است و در آن انواع فسیل‌های جانوری و گیاهی یافت می‌شود (شکل ۵ د). از عمق ۰/۸ تا ۱ متری رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری‌رنگ مشخص می‌شود (شکل ۲). این رخساره نسبت به دو رخساره پیشین ضخامت بسیار کمی دارد و از نظر پارامترهای رسوب‌شناسی دارای جورشدگی متوسط تا خوب و کشیدگی کمی پهن است. کج‌شدگی غالب این رخساره ها منفی و به سمت رسوبات دانه‌درشت است (جدول ۳). مطالعات مورفوسکوپی بر رسوبات رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی نیز نشان می‌دهد که ذرات رسوبی در اندازه ماسه متوسط تا ریز است و گردشدگی ضعیف تا خوب دارند.

مغزه AM

این مغزه با عمق ۹ متری از سطح به عمق شامل سه رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای، ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری، گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه است. بین رخساره‌های یادشده رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای بیشترین و رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری کمترین ضخامت را در مغزه AM دارد (شکل ۲). رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای اعماق ۰/۴ تا ۳/۲ و ۵/۵ تا ۷/۵ متری را در توالی رسوبی (از سطح به عمق) مغزه مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲). ویژگی‌های این رخساره در مغزه مورد مطالعه همانند مغزه‌های AZD و BAG است؛ طوری که این رخساره کج‌شدگی مثبت و جورشدگی بسیار بد با کشیدگی پهن تا خیلی پهن دارد (جدول ۴). از اعماق ۳/۲ تا ۵/۵ و ۷/۴ تا ۷/۷ و ۷/۹ تا ۸/۱ و ۸/۲ تا ۸/۵ متری رخساره گلی تا رس / سیلتی ماسه‌ای سیاه‌رنگ مشخص می‌شود. همچنین از اعماق ۷/۷ تا ۷/۹ و ۸/۱ تا ۸/۲ و ۸/۴ تا ۹ متری رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی خاکستری مشخص می‌شود (شکل ۲).

زیر محیط دشت سیلابی

چنانکه در بخش پارامترهای آماری آمد، کج‌شدگی مثبت و اندازه ریز رسوبات در رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای نشان‌دهنده غلبه شرایط کم‌انرژی و ته‌نشست در محیط آرام است که از ویژگی‌های رخساره‌های دشت سیلابی به شمار می‌رود. این وضعیت به دلیل وجود مقدار زیادی مواد معلق، از قبیل سیلت و رس، در محیط رودخانه است که پس از رسوب‌گذاری مقدار زیادی از این مواد داخل این نهشته‌ها باقی مانده و باعث جورشدگی بد و کج‌شدگی مثبت این نهشته‌ها شده است. رنگ قهوه‌ای رسوبات زمانی ایجاد می‌شود که سطح آب دریا یا

دریاچه پایین رفته و شرایط خشکی و اکسیدان حاکم شده است (عبدالعزیز و همکاران ۲۰۰۳، ریتالاک ۲۰۰۸). از طرفی با حضور کم‌تبخیری‌ها در این رخساره می‌توان نتیجه گرفت محیط رسوبی ارتباط خود را با دریا و جریان‌های دریایی از دست داده و در شرایط آب‌وهوایی گرم و نیمه‌خشک فرایند تبخیر را پشت سر گذاشته است. شرایط این‌چنینی در مواقع کاهش تراز آب دریای خزر محتمل‌تر است. بر اساس شواهد رسوب‌شناسی و فسیلی، رخساره گل ماسه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره تا روشن با خرده‌های گیاهی، بلورهای ژئوپس، آثار ریشه، میزان کم ماده آلی، و بدون شواهدی از فسیل‌های جانوری احتمالاً نشان‌دهندهٔ تنه‌نشست در زیرمحیط دشت سیلابی از یک محیط رودخانه‌ای-دلتایی است. بنابراین رخساره گل ماسه‌ای در زیرمحیط دشت سیلابی، با ضخامت زیاد در توالی‌های سه مغزه، نشان‌دهندهٔ تنه‌نشست بر اثر پس‌روی آب دریاست.

زیرمحیط لاگون

کج‌شدگی مثبت و اندازه ریز رسوبات در رخساره گلی تا رس/سیلتی ماسه‌ای سیاه غلبهٔ شرایط کم‌انرژی و تنه‌نشست در محیط آرام را نشان می‌دهد. رنگ خاکستری تیره تا سبز گل‌ها می‌تواند به دلیل حضور آهن فرو و شرایط احیایی باشد. رنگ سیاه رخساره گلی نیز حضور فراوان ماده آلی و شرایط احیایی در یک محیط آرام، از قبیل لاگون، را نشان می‌دهد (ریتالاک^{۱۷} ۲۰۰۸). یکی از شواهد بسیار مهم که به تشخیص ماهیت محیط رسوب‌گذاری کمک می‌کند وجود مجموعه فسیل‌هایی از قبیل دوکفه‌ها، استراکودها، فرامینی‌فرها، و خرده‌های گیاهی است (شکل ۵ ج و د). بنابراین، رخساره گلی با حضور فسیل‌هایی از قبیل دوکفه‌ای‌ها معرف یک محیط لاگونی است (بیرستین^{۱۸} و همکاران ۱۹۶۸؛ استاروبوگاتو^{۱۹} و آندریوا^{۲۰} ۱۹۹۴). دوکفه‌ای‌ها شاخص محیط دریایی و لاگون بازند و در شوری‌های متفاوت آب دریا زندگی می‌کنند (بیرستین و همکاران ۱۹۶۸). استراکودها از موجودات ریز کف‌زی هستند که در همهٔ محیط‌های آب شیرین و لب‌شور و شور دریایی تا اعماق اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند (بیرستین و همکاران ۱۹۶۸). فرامینی‌فرها یا روزنه‌داران دریایی خزر عمدتاً از گونه‌های با ساختار ماریپچی (شکل ۵ د) هستند که قابلیت تحمل شوری مختلف آب دریا را دارند. بنابراین، حضور فسیل دوکفه‌ای در این رخساره همراه گونه‌هایی از استراکود و فرامینی‌فر حاکی از باز بودن محیط لاگون و ارتباط آن با دریاچه یا دریاست (لروی^{۲۱} و همکاران ۲۰۱۱). تجزیه و تحلیل‌های رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی نشان می‌دهد با افزایش تراز آب دریا سدهای ماسه‌ای تشکیل می‌شود و به علت شیب کم سواحل دریای خزر و جمع شدن آب در پشت آن‌ها لاگون‌هایی به صورت محلی شکل می‌گیرند. وجود رخساره گلی تیره یا به عبارتی زیرمحیط لاگون در عمق گوناگون مغزه‌ها (شکل ۲) می‌تواند حاکی از پیشروی‌های مکرر آب دریا در منطقهٔ مورد مطالعه باشد.

17. Retallack

18 Birstein

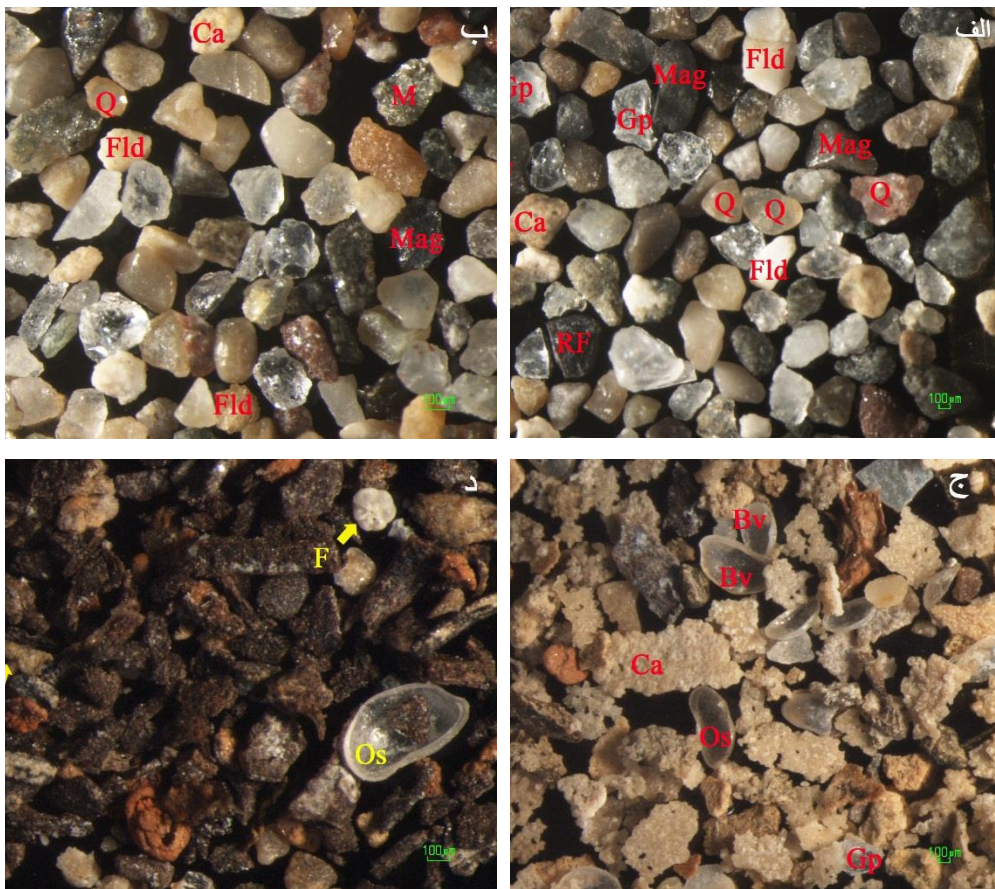
19 Starobogatov

20 Andreeva

21 Leroy

زیر محیط ساحل

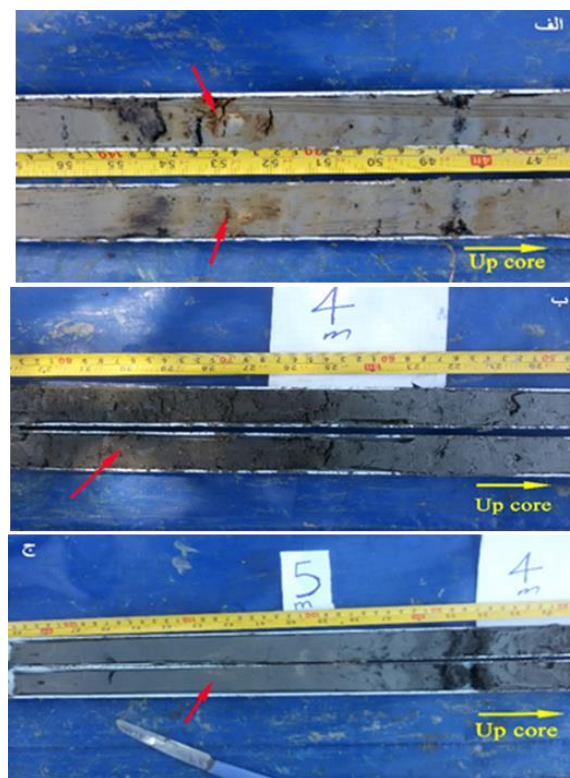
بر اساس شواهد رسوب‌شناسی، حضور رسوبات دانه‌درشت ماسه‌ای در رخساره ماسه‌ای تا ماسه رسی - سیلتی خاکستری می‌تواند حاکی از افزایش انرژی یا رسوب‌گذاری در محیط نسبتاً پراانرژی باشد. این رخساره نسبت به رخساره‌های دیگر ضخامت کمی (حداکثر ۱ متر) را، از سطح به عمق در مغزه‌های مورد مطالعه، به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲). در زمان مغزه‌گیری، رنگ غالب این رخساره خاکستری روشن و بسیار سست بود (شکل ۶ ب). گفتنی است در برخی افق‌های این رخساره آثاری از ریپل‌مارک‌های جریان‌ی نیز مشاهده شد. این رخساره، برخلاف رخساره گل ماسه‌ای، به لحاظ محتوای فسیل جانوری، دارای فسیل دوکفه‌ای است (شکل‌های ۲ و ۶ ب). بنابراین گسترش رخساره‌های ماسه‌ای تا ماسه رسی / سیلتی می‌تواند نشان‌دهنده پس‌روی آب دریا در عمق‌های گوناگون و گسترش ساحل و ته‌نشست رسوبات ماسه‌ای ساحلی باشد.



شکل ۵. تصاویر مورفوسکوپی اجزای رسوبی آواری و شیمیایی و بیوشیمیایی در زیر بیناکولار: الف و ب) اجزای رسوب آواری از مغزه BAG (عمق ۵۰۰ سانتی‌متری)، به ترتیب در فراکسیون‌های ۲۵۰ و ۱۲۵ میکرون؛ ج) خرده‌های کربنات کلسیم و خرده‌های فسیلی دوکفه‌ای و استراکود در مغزه BAG (عمق ۱۳۰ سانتی‌متری)، در فراکسیون ۲۵۰ میکرون؛ د) خرده‌های گیاهی همراه استراکود و فرامینی‌فر از مغزه AZD (عمق ۱۱۰ سانتی‌متری)، در فراکسیون ۱۲۵ میکرون (Q: کوارتز، Fld: فلدسپات، RF: خرده‌سنگ، Mag: مگنتیت، M: میکا، Ca: کربنات، Gp: ژپیس، Bv: دوکفه‌ای، Os: استراکود، F: فرامینی‌فر، R: آثار ریشه).

تغییرات تراز آب دریای خزر

تغییرات تراز آب دریاچه در نتیجه تغییر مقادیر آب‌های ورودی به حوضه و خروجی (تبخیر) از آن ایجاد می‌شود. تجزیه و تحلیل اندازه ذرات در حد رس، سیلت، ماسه، و گراول نشان می‌دهد افزایش درصد ماسه نسبت به گل به سبب ورودی آب و پایین آمدن سطح دریاست. به عبارت دیگر، وجود رسوبات دانه درشت در حد گراول و ماسه نشان‌دهنده دوره‌های افزایش فعالیت رودخانه‌ای و پس‌روی دوره‌ای آب دریا و امکان ورود رسوبات آواری به حوضه رسوب‌گذاری است که در نهایت می‌تواند بر دانه‌بندی رسوبات تأثیر بگذارد. همچنین، تغییر نسبت سیلت به رس در طول توالی مغزه‌ها ناشی از تغییر رژیم هیدرودینامیکی حوضه و همچنین تغییر دوره‌ای در فاصله بین ساحل و منشأ مواد آواری تشخیص داده شده است (کوپرین^{۲۲} و همکاران ۲۰۰۳). پایین آمدن سطح آب دریا نیز سبب می‌شود میزان رسوبات آواری در حد سیلت، که از خشکی به حوضه حمل می‌شوند، افزایش یابد. بنابراین افزایش نسبت سیلت به رس ناشی از فعال‌تر شدن فرایندهای هیدرودینامیکی حوضه و پایین آمدن سطح آب دانسته شده است (کوپرین و همکاران ۲۰۰۳).



شکل ۶. عکس صحرایی از رخساره‌های مورد مطالعه: الف) رخساره گل ماسه‌ای قهوه‌ای روشن در مغزه BAG (عمق ۱۳۰ سانتی‌متری)؛ ب) رخساره ماسه‌ای سست در مغزه BAG (عمق ۵۰۰ سانتی‌متری)؛ ج) رخساره گلی تا گل ماسه‌ای خاکستری تا سیاه در مغزه AZD (عمق ۱۱۰ سانتی‌متری)

در طول هر سه مغزه از سطح به عمق تغییرات رخساره‌ای (گل ماسه‌ای، ماسه‌گلی، گلی) مشاهده می‌شود (شکل ۲) که نشان‌دهنده توالی دوره‌هایی از نوسانات دیرینه سطح آب دریای خزر است؛ طوری که در دوره‌های آب‌وهوایی مرطوب‌تر و با بالا رفتن سطح آب دریاچه اندازه رسوبات کاهش یافته و بافت رسوبات به گل (سیلت و رس) با جورشدگی ضعیف تبدیل شده است. افزایش درصد گل در رسوبات با افزایش تمرکز رسوبات زیستی و مواد آلی و آثار گیاهی نشان‌دهنده محیط‌های کم‌انرژی، از قبیل محیط لاگونی، است. همچنین حضور رسوبات زیستی به‌ویژه پوسته‌های صدف حاکی از بالا آمدن سطح آب دریاست؛ درحالی‌که در زمان پس‌روی سطح آب دریاچه رسوبات وارده به حوضه دانه‌درشت‌تر می‌شوند و رخساره گل ماسه‌ای به رنگ قهوه‌ای روشن در زیرمحیط دشت سیلابی و رخساره ماسه‌ای تا ماسه‌گلی در بخش ساحلی روی رسوبات دانه‌ریز گلی رسوب‌گذاری می‌کنند. بنابراین با تغییر سطح آب دریاچه تغییرات رخساره‌ای نیز در طول مغزه‌ها، از سطح به عمق، تکرار می‌شود و تناوبی از رخساره‌های دشت سیلابی و ساحلی و لاگون در مغزه‌های BAG و AZD و AM پدید می‌آید (شکل ۲). در امر بازسازی تاریخچه زمانی رسوبات مغزه‌ها بدیهی است روش سن‌سنجی برای تعیین میزان رسوب‌گذاری امری ضروری است. در محدوده‌های شرقی و غربی دریای خزر تا کنون مطالعات متعددی انجام شده است که در این تحقیق، ضمن بررسی همه آن‌ها، معتبرترین و نزدیک‌ترین محدوده به منطقه مورد مطالعه، به منزله میزان رسوب‌گذاری متوسط، استفاده شد. با توجه به ضرورت و اهمیت بالای آنالیز تعیین سن مطلق در مطالعه حاضر و از سوی دیگر به دلیل وجود محدودیت جهت این آنالیزها، با استناد به مطالعات پیشین، در مناطق غربی و شرقی محدوده مورد مطالعه، میانگین میزان رسوب‌گذاری به شرح جدول ۵ در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج سن‌سنجی به‌دست‌آمده از بخش‌های شرقی و غربی و میانگین میزان رسوب‌گذاری آن‌ها چنین برمی‌آید که میزان رسوب‌گذاری حدود ۰/۵ میلی‌متر در سال برای مغزه‌های مورد مطالعه منطقی باشد.

جدول ۵. نتایج سن‌سنجی کربن ۱۴ و میزان متوسط رسوب‌گذاری در مغزه‌های منتخب

شماره مغزه	عمق نمونه زیر سطح (m)	سن‌سنجی کربن ۱۴ (BP)	میزان رسوب‌گذاری (mm)	منطقه مورد مطالعه	محقق
Agh 4	-2.1	2303 ± 30	1.1	Southeast coast of the Caspian Sea	Kakroodi et al. 2012
Cho 7	-3.34	956 ± 24	0.28	Southeast coast of the Caspian Sea	Kakroodi et al. 2012
Poz- 30614	-0.3	484 ± 537	1.61	Central coast of the Caspian Sea	Ramzenai et al. 2016
Poz- 26377	-3.6	2535	0.7	Central coast of the Caspian Sea	Ramzenai et al. 2016

ژئوشیمی

مقایسه میزان غلظت عناصر در رخساره‌های رسوبی واقع در مغزه‌های مطالعه‌شده اطلاعات مفیدی درباره نحوه رفتار عناصر در محیط‌های مختلف در اختیار ما قرار می‌دهد. مقادیر عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های مورد مطالعه از مغزه‌های BAG و AZD و AM به ترتیب در جدول‌های ۶ تا ۸ ارائه شده است.

اندازه ذرات و تغییرات عمقی عناصر

ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آواری ممکن است با تغییر در اندازه دانه‌ها تحت تأثیر قرار گیرد (بوچز^{۲۳} و همکاران ۲۰۱۱). شیمی رسوبات به شدت توسط اندازه دانه و جورشدگی و منشأ کنترل می‌شود (داس و هاگ^{۲۴} ۲۰۰۳؛ کواینینگ^{۲۵} و همکاران ۲۰۰۳؛ جین^{۲۶} و همکاران ۲۰۰۶). بین عناصر اصلی، عناصر سیلیسیم (Si) و زیرکونیوم (Zr) در ارتباط با رسوبات درشت‌تر (ماسه ریز و سیلت) هستند و در کل نشان‌دهنده ورودی مواد آواری به دریا یا دریاچه‌اند (کالورت و پدرسون^{۲۷} ۲۰۰۷). عنصر روبیدیم (Rb) و تیتانیم (Ti) نیز از عناصر مرتبط با رسوبات ریزدانه و کانی‌های رسی‌اند. همچنین Al و Ti شاخص‌های مناسبی هستند که می‌توانند برای تغییرات انرژی حمل‌ونقل استفاده شوند (چن^{۲۸} و همکاران ۲۰۰۱). طوری که با ریز شدن اندازه دانه‌ها مقادیر نسبت Ti/Al افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده منشأ آواری رسوب است. از طرفی بر اساس رفتار نسبت‌های عنصری Si/Al، Zr/Al و Fe/Al می‌توان انرژی محیط رسوبی یا هیدرودینامیک رسوبات را شناسایی کرد؛ طوری که با افزایش انرژی محیط رسوبی مقادیر Si/Al و Zr/Al افزایش و مقدار Fe/Al کاهش می‌یابد (لیو^{۲۹} ۲۰۱۷). انطباق عمقی عناصر در طول سه مغزه و تغییرات عنصری نشان می‌دهد نسبت‌های Fe/Al و Ti/Al در رخساره‌های گلی و در برخی افق‌های رخساره گل ماسه‌ای انطباق خوبی با هم دارند (شکل‌های ۷ تا ۹) که نشان‌دهنده افق‌ها یا رسوبات با دانه‌بندی ریز و به تبع آن انرژی محیطی پایین است. همچنین رفتار نسبت‌های عنصری Si/Al و Zr/Al در طول سه مغزه مطالعه‌شده نشان می‌دهد این نسبت‌ها در برخی افق‌ها هماهنگی قوی و خوبی با هم دارند؛ طوری که در رخساره‌های ماسه‌گلی و برخی افق‌های گل ماسه‌ای افزایش و در رخساره‌های گلی به وضوح کاهش می‌یابند. این افزایش و کاهش به ترتیب افزایش و کاهش اندازه دانه و نوسانات (افزایش و کاهش) در انرژی محیطی را به نمایش می‌گذارند. همچنین رفتار عناصر روبیدیم (Rb) و زیرکونیوم (Zr) بر اساس اندازه دانه تعیین می‌شود. روبیدیم در چندین کانی، از قبیل میکا و فلدسپارهای پتاسیم و کانی‌های رسی، حضور دارد و به علت جذب خیلی قوی به کانی‌های رسی تحرک پایینی دارد. نسبت

23. Bouchez

24. Das & Haake

25. Koinig

26. Jin

27. Calvert & Pedersen

28. Chen

29. Liu

Zr/Rb در رسوبات ریزدانه نشانه‌ای از تغییر در اندازه دانه است، طوری که مقادیر پایین آن نشان‌دهنده رسوبات ریزدانه (رس) و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده غلبه رسوبات درشت‌دانه (ماسه‌ای و سیلتی) است (دییویک و هاریس ۲۰۰۱). بر اساس آنچه در شکل‌های ۷ تا ۹ مشاهده می‌شود، نسبت Zr/Rb در توالی رسوبی از سطح به عمق در سه مغزه مورد مطالعه نشان می‌دهد که این نسبت در رخساره‌های ریزدانه گلی و برخی افق‌های گل ماسه‌ای کاهش و در رخساره‌های دانه‌درشت ماسه‌ای تا ماسه‌گلی افزایش می‌یابد که به ترتیب کاهش و افزایش در اندازه دانه و انرژی محیط را به نمایش می‌گذارد. عناصر کلسیم (Ca) و استرنسیم (Sr) هم می‌توانند منشأ بیرونی یا آواری (هوازدگی کربنات در حوضه زهکشی دریا یا دریاچه) داشته باشند هم طی رسوب‌گذاری مستقیم داخل حوضه رسوب‌گذاری کنند (چن و همکاران ۲۰۰۱). عنصر Ca می‌تواند به عنوان تغییرات تراز آب دریا و تغییرات محیطی رسوبی مورد استفاده قرار گیرد؛ یعنی با بالا آمدن سطح آب دریا مقدار عنصر Ca افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان افزایش محتوی بیولوژیکی، از جمله پوسته‌های صدف موجودات، میان رسوبات فرض کرد، درحالی که کاهش Ca را می‌توان به دلیل مقادیر کم رسوبات بیولوژیکی و پوسته صدف‌ها در رسوبات و بالاتر بودن نقش رسوبات آواری حمل‌شده در مغزه‌ها دانست. همچنین، تغییرات مقادیر Sr در نمونه‌های مورد مطالعه عمدتاً به دلیل تغییرات نسبی مقدار کربنات و کانی‌های رسی است؛ طوری که انطباق قوی بین Ca و Sr در برخی از بخش‌ها حاکی از رسوب‌گذاری کانی‌های کربناته درون دریا یا دریاچه به صورت زیستی است. گفتنی است Sr در کانی‌های سیلیکاته (به‌ویژه پلاژیوکلازها) نیز حضور دارد و انطباق آن با عناصر Ti، Rb، Si، و Zr این موضوع را ثابت می‌کند. چنانکه در شکل‌های ۷ تا ۹ مشخص است در بخش‌هایی از توالی مغزه‌ها عنصر Sr انطباق و هماهنگی قوی با عنصر Ca نشان می‌دهد و در برخی افق‌ها این انطباق مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶. مقادیر برخی عناصر اصلی و فرعی (بر حسب پی پی ام) و نسبت‌های آن‌ها در رسوبات مغزه BAG

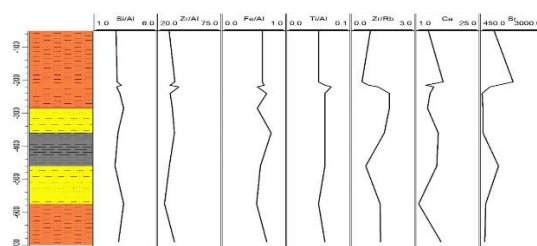
شماره نمونه	عمق (m)	Al	Si	Ca	Fe	Ti	Sr	Zr	Rb	Si/Al	Fe/Al	Ti/Al	Zr/Al	Zr/Rb
BAG1	1.20	8.27	20.48	5.72	5.21	0.48	1000.78	246.29	274.23	2.48	0.63	0.06	29.79	0.90
BAG2	2.00	6.99	17.35	11.30	4.43	0.40	1762.43	242.68	485.66	2.48	0.63	0.06	34.71	0.50
BAG3	2.10	8.61	21.99	4.76	5.67	0.99	1148.06	262.51	320.01	2.55	0.66	0.11	30.49	0.82
BAG4	2.30	7.39	21.06	7.80	4.03	0.56	823.85	282.51	224.98	2.85	0.55	0.08	38.21	1.26
BAG5	2.70	8.37	21.16	6.31	5.88	0.56	512.26	258.02	143.17	2.53	0.70	0.07	30.81	1.80
BAG6	3.60	8.17	22.53	5.37	4.52	0.54	543.31	265.34	147.26	2.76	0.55	0.07	32.49	1.80
BAG7	4.40	6.73	20.33	9.46	5.19	0.48	547.24	231.44	148.65	3.02	0.77	0.07	34.40	1.56
BAG8	4.60	7.31	19.15	8.92	4.40	0.49	1179.18	218.87	320.62	2.62	0.60	0.07	29.93	0.68
BAG9	5.70	9.59	23.10	2.03	5.15	0.52	655.04	247.77	181.53	2.41	0.54	0.05	25.83	1.36
BAG10	6.90	6.74	20.34	10.46	4.73	0.47	625.97	232.58	168.55	3.02	0.70	0.07	34.49	1.38
Mean	-	7.82	20.75	7.21	4.92	0.55	879.11	248.80	241.47	2.67	0.63	0.07	32.11	1.21

جدول ۷. مقادیر برخی عناصر اصلی و فرعی (بر حسب پی‌ام) و نسبت‌های آن‌ها در رسوبات مغزه AZD

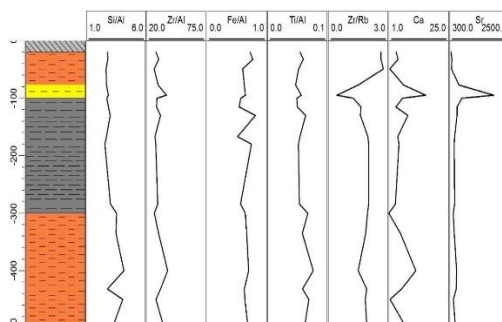
شماره نمونه	عمق (m)	Al	Si	Fe	Ca	Ti	Sr	Zr	Rb	Si/Al	Fe/Al	Ti/Al	Zr/Al	Zr/Rb
AZD1	0.30	9.06	22.67	6.52	3.81	0.56	350.41	259.55	98.14	2.50	0.72	0.06	28.65	2.64
AZD2	0.41	8.84	22.19	6.79	4.55	0.60	378.69	277.00	104.68	2.51	0.77	0.07	31.34	2.65
AZD3	0.50	10.32	24.6	6.17	1.32	0.60	360.08	279.68	101.15	2.38	0.60	0.06	27.10	2.76
AZD4	0.73	8.69	20.98	5.43	6.83	0.46	641.39	266.94	178.12	2.41	0.62	0.05	30.72	1.50
AZD5	0.98	5.76	14.77	3.72	15.76	0.37	1921.65	221.47	524.64	2.56	0.65	0.06	38.45	0.42
AZD6	1.20	8.76	21.35	4.95	6.43	0.48	749.14	259.01	207.08	2.44	0.57	0.05	29.57	1.25
AZD7	1.35	8.93	22.87	4.81	3.69	0.50	568.59	261.51	159.73	2.56	0.54	0.06	29.28	1.64
AZD8	1.70	7.58	20.35	6.14	8.58	0.55	566.62	249.65	155.18	2.68	0.81	0.07	32.94	1.61
AZD9	2.00	9.42	22.66	4.82	4.49	0.58	475.95	261.37	131.28	2.41	0.51	0.06	27.75	1.99
AZD10	2.50	9.15	20.98	6.82	4.96	0.53	463.92	261.01	128.87	2.29	0.75	0.06	28.53	2.03
AZD11	2.70	8.87	23.95	4.97	3.51	0.53	477.85	270.04	132.94	2.70	0.56	0.06	30.44	2.03
AZD12	2.90	8.66	27.36	5.54	0.89	0.66	427.67	236.30	119.73	3.16	0.64	0.08	27.29	1.97
AZD13	3.27	7.63	23.82	5.08	5.52	0.50	464.19	237.13	126.03	3.12	0.67	0.07	31.08	1.88
AZD14	3.90	5.65	20.91	3.95	11.74	0.49	553.20	223.42	148.63	3.70	0.70	0.09	39.54	1.50
AZD15	4.40	8.71	21.66	5.43	5.97	0.58	538.90	287.06	149.04	2.49	0.62	0.07	32.96	1.93
AZD16	4.50	7.78	28.23	4.93	1.34	0.61	434.81	224.10	120.88	3.63	0.63	0.08	28.80	1.85
AZD17	4.90	7.38	21.1	5.07	7.98	0.51	510.62	267.66	138.16	2.86	0.69	0.07	36.27	1.94
Mean	-	8.31	22.38	5.36	5.73	0.54	581.39	255.46	160.25	2.73	0.65	0.06	31.22	1.86

جدول ۸. مقادیر برخی عناصر اصلی و فرعی (بر حسب پی پی ام) و نسبت‌های آن‌ها در رسوبات مغزه AM

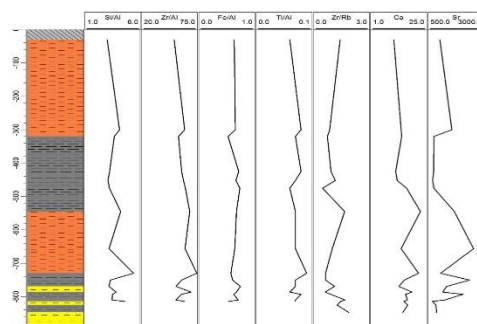
شماره نمونه	عمق (m)	Al	Si	Ca	Fe	Ti	Sr	Zr	Rb	Si/Al	Fe/Al	Ti/Al	Zr/Al	Zr/Rb
AM1	0.40	6.75	18.21	10.86	4.25	0.46	1028.77	351.39	246.43	2.70	0.63	0.07	52.06	1.43
AM2	1.10	5.23	19.2	14.05	3.41	0.47	1565.21	326.10	377.29	3.67	0.65	0.09	62.35	0.86
AM3	3.00	5.52	17.99	14.23	2.85	0.42	764.08	310.30	184.59	3.26	0.52	0.08	56.21	1.68
AM4	3.20	6.49	18.74	11.70	4.62	0.58	699.84	385.19	171.35	2.89	0.71	0.09	59.35	2.25
AM5	4.25	6.6	18.15	12.36	4.38	0.50	765.47	403.36	188.14	2.75	0.66	0.08	61.12	2.14
AM6	4.50	5.28	15.19	16.32	3.85	0.36	1673.82	333.16	417.85	2.88	0.73	0.07	63.10	0.80
AM7	4.85	3.29	12.38	22.25	2.21	0.27	2530.74	221.45	626.86	3.76	0.67	0.08	67.31	0.35
AM8	5.20	6.11	37.04	14.00	3.94	0.50	1060.06	382.80	267.63	6.06	0.64	0.08	62.65	1.43
AM9	5.50	2.99	14.26	21.47	1.69	0.32	2350.09	222.00	593.49	4.77	0.57	0.11	74.25	0.37
AM10	6.60	5.6	16.51	15.37	3.36	0.44	1324.22	331.88	341.14	2.95	0.60	0.08	59.26	0.97
AM11	7.30	6.22	17.61	13.04	4.61	0.47	1154.76	334.40	295.01	2.83	0.74	0.08	53.76	1.13
AM12	7.75	4.32	14.68	18.65	2.88	0.31	2058.87	296.04	529.02	3.40	0.67	0.07	68.53	0.56
AM13	7.90	5.29	16.4	15.95	3.27	0.46	1242.89	313.16	317.62	3.10	0.62	0.09	59.20	0.99
AM14	8.00	6.64	20.47	10.56	4.62	0.54	690.88	356.25	185.03	3.08	0.70	0.08	53.65	1.93
AM15	8.29	5.12	20.78	13.12	2.72	0.38	855.52	317.62	236.22	4.06	0.53	0.07	62.04	1.34
Mean	-	5.43	18.51	14.93	3.51	0.43	1317.68	325.67	331.84	3.48	0.64	0.08	60.99	1.22



شکل ۷. تغییرات ژئوشیمیایی عناصر و نسبت‌های عنصری (بر حسب پی‌پی‌ام) در توالی رسوبی (از سطح به عمق) در مغزه BAG



شکل ۸. تغییرات ژئوشیمیایی عناصر و نسبت‌های عنصری (بر حسب پی‌پی‌ام) در توالی رسوبی (از سطح به عمق) در مغزه AZD



شکل ۹. تغییرات ژئوشیمیایی عناصر و نسبت‌های عنصری (بر حسب پی‌پی‌ام) در توالی رسوبی (از سطح به عمق) در مغزه AM

تحلیل خوشه‌ای و تفسیر آن

به دلیل اینکه هر گروه از عناصر به یک سری از شرایط محیطی کم‌وبیش به طور مشابه واکنش نشان می‌دهند، شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی به کار گرفته شود. آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چندمتغیره است که عناصر را بر اساس شباهت تغییرپذیری بین آن‌ها در قالب دسته‌ها یا گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند. دلایل زیادی برای ارزشمند بودن آنالیز خوشه‌ای وجود دارد؛ از جمله اینکه تحلیل خوشه‌ای می‌تواند در یافتن گروه‌های واقعی کمک کند و باعث کاهش تراکم داده‌ها در مطالعات ژئوشیمیایی شود (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۸۴). نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه در سه مغزه در جدول ۹ و شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ آمده است. عناصر را می‌توان در دو گروه اصلی تقسیم کرد؛ گروه اول شامل یک شاخه و گروه دوم شامل دو شاخه که بیانگر ارتباط بین متغیرهاست.

جدول ۹. گروه‌بندی عناصر حاصل از تحلیل خوشه‌ای عناصر برای سه مغزه مورد مطالعه

نام مغزه	گروه اول	گروه دوم	
	شاخه اول	شاخه اول	شاخه دوم
BAG	Ca, Rb, Sr	Fe, Ti	Al, Si, Zr
AZD	Ca, Rb, Sr	Si, Ti	Al, Zr, Fe

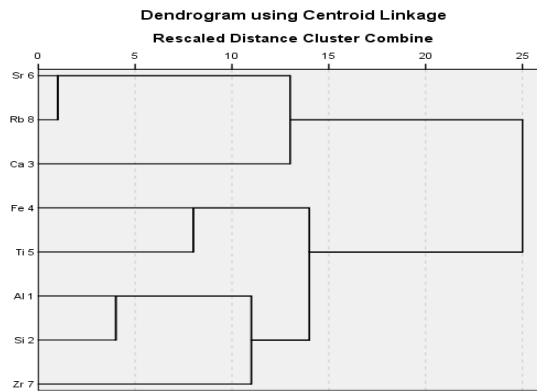
AM

Ca, Rb, Sr

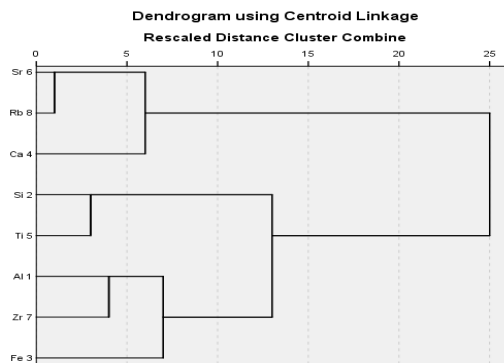
Al, Zr, Fe, Ti

Si

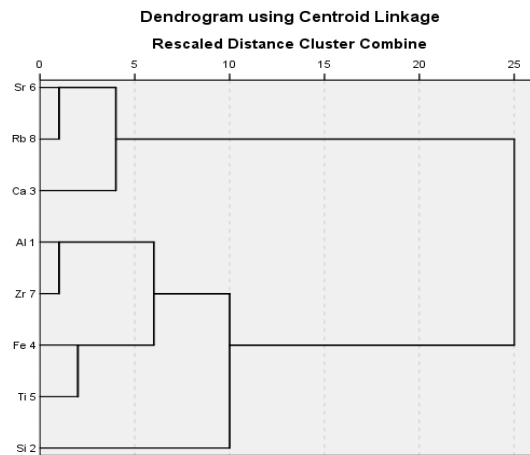
با توجه به جدول ۹ و شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ عناصر از سطح به عمق در سه مغزه در دو گروه همبستگی یا تغییر نشان می‌دهند. در مغزه‌های BAG و AZD و AM عناصر در گروه اول حداکثر همبستگی را نشان می‌دهند که تنها در یک شاخه قرار می‌گیرند و شامل Sr, Rb, Ca هستند. گروه دوم برای هر سه مغزه شامل دو شاخه مجزاست که عناصر شاخه اول و دوم مشابه هم نیستند و تغییر در نوع عناصر را نشان می‌دهند. همبستگی عناصر گروه اول، شامل Sr و Ca، شاخص رسوبات درون حوضه‌ای و بیوشیمیایی به صورت کانی‌های کربناته به صورت زیستی (پوسته‌های صدف) هستند. عناصری که در دومین گروه همبستگی نشان می‌دهند شاخص منشأ آواری رسوبات هستند. در واقع رسوباتی که توسط رودخانه حمل می‌شوند و منشأ برون حوضه‌ای دارند (رسوبات آواری) دارای مقادیر بالاتری از این عناصر هستند؛ طوری که عناصر Si و Zr در ارتباط با رسوبات درشت‌تر (ماسه ریز و سیلت) و در کل نشان‌دهنده ورودی مواد آواری به دریا یا دریاچه‌اند.



شکل ۱۰. نمودار تحلیل خوشه‌ای همبستگی بین عناصر برای مغزه BAG



شکل ۱۱. نمودار تحلیل خوشه‌ای همبستگی بین عناصر برای مغزه AZD



شکل ۱۲. نمودار تحلیل خوشه‌ای همبستگی بین عناصر برای مغزه AM

نتیجه گیری

دریای خزر به واسطه داشتن ذخایر مختلف انرژی و اراضی ساحلی و منابع عظیم دریایی اهمیت خاصی بین کشورهای پیرامون حوضه دارد. در سال‌های اخیر، با هدف مطالعه رسوبات در بخش‌های ساحلی دریای خزر، بررسی‌های گوناگونی صورت گرفته است. بر اساس مطالعات پیشین، در بخش‌های جنوب شرقی سواحل دریای خزر رسوبات عمدتاً دانه‌بندی سیلتی تا سیلت ماسه‌ای دارند که در رخساره‌های لاگونی، آبرفتی-دلتایی، ساحلی، و تبخیری رسوب‌گذاری کرده‌اند. رخساره‌های لاگونی با افزایش محتوای فسیلی و رس و ماده آلی مشخص می‌شوند. رخساره‌های ساحلی نیز با تجمع فسیل دوکفه‌ای و رخساره‌های آبرفتی نیز با فقر فسیلی و دانه‌بندی ناهمگون و عدم جورشدگی رسوبات شناسایی می‌شوند. همچنین بررسی ویژگی‌های رسوبی نهشته‌های دور از ساحل در بخش جنوب غربی دریای خزر نشان می‌دهد رسوبات توالی عمدتاً شامل رسوبات گلی‌اند. نسبت سیلت به رس در طول توالی‌ها تقریباً ثابت است که نشان‌دهنده عدم تغییر در منبع رسوبات آواری حمل‌شده به خشکی است. این رسوبات به طور کلی جورشدگی بد دارند که حاکی از اختلاط رسوبات از منشأهای مختلف است. در مطالعه حاضر، بررسی داده‌های رسوب‌شناسی و دانه‌بندی رسوبات برداشت‌شده از سه مغزه نشان می‌دهد غالب نمونه‌ها اساساً ریزدانه (در اندازه سیلت و رس) و به مقدار متوسط دارای ماسه‌اند. نمودار مثلثی بافتی برای رسوبات دانه‌ریز (فولک ۱۹۷۴) نیز نشان می‌دهد توالی رسوبات در سه مغزه مورد مطالعه به طور غالب دارای بافت گل ماسه‌ای و به مقدار کمتر دارای بافت گلی و ماسه‌گلی است.

پارامترهای آماری به‌دست‌آمده از دانه‌بندی نیز نشان می‌دهد این رسوبات به طور کلی جورشدگی بد تا خیلی بد دارند. جورشدگی بد نشان‌دهنده اختلاط رسوبات از منشأهای مختلف است. همچنین کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز (درحالی‌که نمونه‌های اندکی نیز کج‌شدگی متقارن و به سمت درشت‌دانه دارند) و کشیدگی پهن و به مقدار کمتر کشیدگی متوسط را نشان می‌دهند. بررسی‌های رسوب‌شناسی در توالی رسوبی سه مغزه از سطح به عمق نشان می‌دهد با غلبه رسوبات دانه‌ریز (گلی) با جورشدگی بد، کج‌شدگی غالب به سمت راست یا مثبت و کشیدگی پهن، انرژی در زمان رسوب‌گذاری پایین بوده است. اجزای رسوبی در نمونه‌های مورد مطالعه، بر اساس مطالعات مورفوسکوپی، در دو دسته آواری (نظیر کوارتز، فلدسپار، انواع خرده‌سنگ، کانی‌های سنگین) و غیرآواری (زیستی و شیمیایی)، شامل قطعات پوسته دوکفه‌ای، فسیل استراکود، فرامینی‌فر، خرده‌های گیاهی، و خرده‌های شیمیایی ژئپسی و کلسیتی قرار می‌گیرند. توالی‌های رسوبی در سه مغزه مطالعه‌شده دربرگیرنده رخساره‌های رسوبی گل ماسه‌ای قهوه‌ای،

ماسه‌ای تا ماسه رسی - سیلتی خاکستری، و گلی تا رس - سیلتی ماسه‌ای سیاه هستند. رخساره گل ماسه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره تا روشن همراه خرده‌های گیاهی و بدون فسیل‌های جانوری احتمالاً نشان‌دهنده غلبه شرایط کم‌انرژی و ته‌نشست در زیرمحیط دشت سیلابی است. رخساره ماسه‌ای تا ماسه گلی نیز از رسوب‌گذاری در محیط نسبتاً پرانرژی در محیط ساحلی حکایت می‌کند. رخساره گلی نیز ته‌نشست رسوبات در شرایط کم‌انرژی و احیایی در محیط لاگونی را نشان می‌دهد. از لحاظ ساختار رسوبی، در طول مغزه‌ها از سطح به عمق تغییرات رخساره‌ای مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده توالی دوره‌هایی از نوسانات دیرینه سطح آب دریای خزر است. رخساره گل ماسه‌ای به رنگ قهوه‌ای روشن (محیط دشت سیلابی) و ماسه‌ای تا ماسه گلی (محیط ساحلی) ته‌نشست بر اثر پس‌روی آب دریای خزر در بخش‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ درحالی‌که وجود رخساره گلی تیره یا به عبارتی زیرمحیط لاگون واقع در عمق گوناگون مغزه‌ها حاکی از پیشروی‌های آب دریای خزر در محدوده مطالعاتی است. روند تغییرات رخساره‌ای در طول مغزه‌ها از سطح به عمق تکرار می‌شود و تناوبی از رسوبات رودخانه‌ای و دریایی قابل مشاهده است. انطباق عمقی عناصر در طول سه مغزه و تغییرات عنصری نشان می‌دهد نسبت‌های Ti/Al و Fe/Al در رخساره‌های گلی و در برخی افق‌های رخساره گل ماسه‌ای انطباق خوبی با هم دارند؛ که بیانگر رسوبات با دانه‌بندی ریز و به تبع آن انرژی محیطی پایین است. همچنین رفتار نسبت‌های Zr/Al و Si/Al نشان می‌دهد آن‌ها در رخساره‌های ماسه‌گلی و برخی افق‌های گل ماسه‌ای افزایش و در رخساره‌های گلی به‌وضوح کاهش می‌یابند. این وضعیت نشان‌دهنده افزایش و کاهش در اندازه دانه و انرژی محیطی است. نسبت Zr/Rb در رخساره گلی و برخی افق‌های گل ماسه‌ای کاهش و در رخساره‌های دانه‌درشت ماسه‌ای تا ماسه‌گلی افزایش می‌یابد که به ترتیب کاهش و افزایش در اندازه دانه و انرژی محیطی را نشان می‌دهد. در افق‌هایی از توالی مغزه‌ها، عنصر Sr انطباق و هماهنگی قوی با عنصر Ca نشان می‌دهد که حاکی از رسوب‌گذاری کانی‌های کربناته در درون دریا یا دریاچه به صورت زیستی است. عناصر از سطح به عمق در سه مغزه در دو گروه همبستگی یا تغییر نشان می‌دهند. در مغزه‌های BAG و AZD و AM عناصر در گروه اول حداکثر همبستگی را نشان می‌دهند که تنها در یک شاخه قرار می‌گیرند و شامل Sr و Rb و Ca هستند. گروه دوم برای هر سه مغزه دو شاخه مجزا دارد که عناصر شاخه اول و دوم مشابه هم نیستند و تغییر در نوع عناصر را نشان می‌دهند.

سپاس‌گزاری

از سازمان زمین‌شناسی ایران برای حمایت‌های مالی در جمع‌آوری اطلاعات و همچنین مجوز انتشار این مقاله تشکر می‌کنیم. همچنین از کارکنان گروه رسوب‌شناسی برای کمک‌های ارزنده‌شان در مطالعات میدانی سپاس‌گزاریم.

- آل احمد (۱۳۷۵). «بررسی پیشینه باد و امواج دریای خزر»، خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ج ۳.
- آقایی، س. ع. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران، نشر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حقانی، ص.؛ امینی، ع.؛ علی‌زاده کتک‌لاهیجانی، ح.؛ رحیم‌پور بناب، ح. (۱۳۸۷). «رسوب‌شناسی نهشته‌های دور از ساحل بخش جنوب غربی دریای خزر و بررسی عوامل کنترل‌کننده رسوب‌گذاری در آن‌ها»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- رضایی، ر.؛ اهری‌پور، ر.؛ موسوی، س. م. ج. (۱۳۹۱). «بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناختی و محیط رسوبی نهشته‌های عهد حاضر در نیمه غربی شبه‌جزیره میانکاله و خلیج گرگان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود.
- سازمان زمین‌شناسی (۱۳۸۴). «گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی در محدوده برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تلخاب».
- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۸۴). <http://irimo.ir/farsi>.
- سعیدی، ع.؛ وحدتی دانشمند، ف. (۱۳۶۹). «گزارش زمین‌شناسی چهار گوشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ساری»، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی روح‌بخش، م. (۱۳۸۳). «زمین‌شناسی دریای خزر»، تهران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ج ۱.
- نادری‌بني، ع.؛ موسوی حرمی، ر.؛ محبوبی، الف.؛ علی‌زاده، ح.؛ کامکار روحانی، الف. (۱۳۹۲). «رسوب‌شناسی نهشته‌های هولوسن در سواحل جنوب شرق خزر: دلتای گرگان‌رود-تالاب گمیشان»، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.

- Abdul-Aziz, H., Sanz-Rubio, E., Calvo, J.P., Hilgen, F.J., & Krijgsman, W. (2003). "Palaeoenvironmental reconstruction of a middle Miocene alluvial fan to cyclic shallow lacustrine depositional system in the Calatayud Basin (NE Spain)", *Sedimentology*, No. 2, pp. 211-236.
- Al-Ahmad (1375). "Investigation of the maximum wind and waves of the Caspian Sea", *Caspian, National Center for Studies and Research of the Caspian Sea*, Vol 3.
- Angusamy, N. & Rajamanickam, G.V. (2006). "Depositional environment of sediments along the southern coast of Tamil Nadu, India", *Oceanologia*, 48 (1).
- Birstein, Y.A., Vinogradova, Y.A., Kondakova, L.G., Kun, M.S., Astakchova, T. V., & Romanova, N.N. (1968). *Atlas of the Invertebrates of the Caspian Sea, Izvestiya Pischevaya Promyshlennost, Moscow*. (In Russian)
- Bouchez, J., Lupker, M., Gaillardet, J., France-Lanord, C., & Maurice, L. (2011). "How important is it to integrate riverine suspended sediment chemical composition with depth? Clues from Amazon River depth-profiles", *Geochimica - Cosmochimica Acta*, No. 22, pp. 6955-6970.
- Calvert, S.E. & Pedersen, T.F. (2007). "Chapter fourteen elemental proxies for palaeoclimatic and palaeoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application", *Developments in marine geology*, No.1, pp. 567-644.
- Catuneanu, O. (2006). *Principles of sequence stratigraphy*, Elsevier, New York.
- Chen, J., an, Z., Liu, L., Ji, J., Yang, J., & Chen, Y. (2001). "Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5 Ma and chemical weathering in the Asian inland", *Sci. China Ser. D Earth Sci*, No. 5, pp. 403-413.
- Das, B.K. & Haake, B.G. (2003). "Geochemistry of Rewalsar Lake sediment, Lesser Himalaya, India: implications for source-area weathering, provenance and tectonic setting", *Geosciences Journal*, No. 4, pp. 299-312.
- Dypvik, H. & Harris, N.B. (2001). "Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+Rb)/Sr ratios", *Chemical Geology*, No. 1-4, pp. 131-146.
- Farrell, E.J., Sherman, D.J., Ellis, J.T., & Li, B. (2012). "Vertical distribution of grain size for wind-blown sand", *Aeolian Research*, pp. 51-61.
- Folk, E. (1974). *Petrography of sedimentary rocks*, Hemphill Publishing Company.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). "Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters", *Journal of Sedimentary Petrology*, No. 1, pp. 3-26.
- Folk, R.L. (1966). *Sedimentology*, 6, pp. 73-93.
- Geological Survey (1384). *Report of geochemical explorations in the 1: 100000 Talkhab sheet*.
- Guan, Q., Zhang, J., Wang, L., Pan, B., Gui, H., & Zhang, C. (2013). "Discussion of the relationship between dustfall grain size and the desert border, taking the southern border of the Tengger Desert and the southern dust deposit area as an example", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, pp. 1-7.
- Haqqani, S.; Amini, A.; Alizadeh Katkolahijani, H.; Rahimpour Bonab, H. (2008). "Sedimentology of offshore deposits in the southwestern part of the Caspian Sea and the study of factors controlling sedimentation in them", *M.Sc. Thesis, University of Tehran*.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S., & Yu, J. (2006). "Geochemistry of Daihai lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting, and catchment weathering", *Geomorphology*, No. 3-4, pp. 147-163.

- Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B., Hoogendoorn, R.M., Mohamm Khani, H., Yamani, M., Ghassemi, M.R., & Lahijani, H.A.K. (2012). "Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast", *Quaternary International*, 263, pp. 93-103.
- Koinig, K.A., Shotyky, W., Lotter, A.F., Ohlendorf, C., & Sturm, M. (2003). "9000 years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake—the role of climate, vegetation, and land-use history", *Journal of Paleolimnology*, No. 3, pp. 307-320.
- Kuprin, P.N., Ferronsky, V.I., Popovchak, V.P., Shlykov, V.G., Zolotaya, L.A., & Kalisheva, M.V. (2003). "Bottom sediments of the Caspian Sea as an Indicator of changes in its water regime", *Water Resources*, No. 2, pp. 136-153.
- Lahijani, H. & Tavakoli, V. (2012). "Identifying provenance of South Caspian coastal sediments using mineral distribution pattern", *Quaternary International*, pp. 128-137.
- Leroy, S.A.G., Lahijani, H.A.K., Djamali, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., Shah-Hosseini, M., Hosseindoust, M., Miller, C.S., Tavakoli, V., Habibi, P., & Naderi, M. (2011). "Late Little Ice Age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola lagoons (south CS): vegetation and sea level changes, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology", No. 3-4, pp. 415-434.
- Liu, X.T., Rendle-Bühning, R., Kuhlmann, H., & Li, A. (2017). "Two phases of the Holocene East African Humid Period: inferred from a high-resolution geochemical record off Tanzania", *Earth and Planetary Science Letters*, 460, pp. 123-134.
- Malvarez, G.C., Cooper, J.A.G., & Jackson, D.W.T. (2001). "Relationships between wave-induced currents and sediment grain size on a sandy tidal-flat", *Journal of Sedimentary Research*, No. 5, pp. 705-712.
- Meteorological Organization of Iran (1384). <http://irimo.ir/farsi>.
- Mousavi Rouhbakhsh, M. (1383). *Geology of the Caspian Sea*, Tehran, Publications of the Geological Survey of Iran, Vol 1.
- Naderi Beni, A. ; Mousavi Herami, R. ; Mahboubi, A. ; Alizadeh, H. ; Kamkar Rouhani, a. (1392). "Sedimentology of Holocene deposits on the southeast coast of the Caspian Sea: Gorgan River Delta - Gomishan Wetland", PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad
- Ramamohanarao, T., Sairam, K., Venkateswararao, Y., Nagamalleswararao, B., & Viswanath, K. (2003). "Sedimentological characteristics and depositional environment of Upper Gondwana rocks in the Chintalapudi sub-basin of the Godavari valley, Andhra Pradesh, India", *Journal of Asian Earth Sciences*, No. 6, pp. 691-703.
- Ramanathan, A.L., Rajkumar, K., Majumdar, J., Singh, G., Behera, P.N., Santra, S.C., & Chidambaram, S. (2009). "Textural characteristics of the surface sediments of a tropical mangrove sundarban ecosystem India", *Indian Journal of Marine Sciences*, No. 4, pp. 397-403.
- Ramzenai, E., Mrotzek, A., Mohadjer, M., Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B., & Joosten, H. (2016). "Between the mountains and the sea: Late Holocene Caspian Sea level fluctuations and vegetation history of the lowland forests of northern Iran", *Quaternary International*, pp. 1-13.
- Retallack, G.J. (2008). "Soils of the past: an introduction to paleopedology, John Wiley and Sons".
- Rezaei, R.; Ahari pour, R.; Mousavi, S. M. J. (1391). "Study of sedimentological features and sedimentary environment of the deposits of the present era in the western half of the Miankaleh Peninsula and Gorgan Bay", M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Shahroud Branch.
- Saeedi, A.; Vahdati Daneshmand, F. (1369). "Geological report of 1: 100000 Sari sheet ", Geological Survey of Iran.
- Snelder, T.H., Lamouroux, N., & Pella, H. (2011). "Empirical modelling of large scale patterns in river bed surface grain size", *Geomorphology*, No. 3-4, pp. 189-197.
- Spencer, A.M. (1974). "Mesozoic–Cenozoic orogenic belts data for orogenic studies, Alpine - Himalayan Orogens", *Geological Society [London] Special Publication*, No. 4, pp. 213-234.
- Starobogatov, J. & Andreeva, S. (1994). "Distribution and history: Freshwater zebra mussel *Dreissena polymorpha*", pp. 47-55.
- Suresh Gandhi, M., Solai, A., Chandrasekaran, K., & Rammohan, V. (2008). *E-J Earth Sci India*, I (III), pp. 102-118.
- Syvitski, J.P.M. & Milliman, J.D. (2007). "Geology, geography, and human battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean", *The Journal of Geology*, No. 1, pp. 1-19.
- Udden, J.A. (1914). "Mechanical composition of clastic sediments", *Bulletin of the Geological Society of America*, 25, 1, pp. 655-744.
- Walker, R.G. (2006). "Facies models revisited: Introduction, In: Posamentier", H.W. & Walker, R.G. (Eds.). *Facies Models Revisited*, Society for Sedimentary Geology (SEPM), Special Publication, pp. 1–17.
- Wang, P., Davis, R.A., & Kraus, N.C. (1998). "Cross-shore distribution of sediment texture under breaking waves along low-wave-energy coasts", *Journal of Sedimentary Research*, No. 3, pp. 497-506.
- Wilmsen, M., Fürsich, F.T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M.R., & Taheri, J. (2009). "The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland", *Terra Nova*, No. 3, pp. 211–21.

