

استفاده از حساسیت مغناطیسی نهشته‌های هولوسن در بررسی تغییرات سطح آب دریا در حاشیه جنوبی دریای خزر

صفیه حقانی^{۱*}، عبدالحسین امینی^۲، حمید علیزاده کتک لاهیجانی^۳، سوزان لروی^۴

۱. دانشجوی دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۲. استاد دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۳. مرکز ملی اقیانوس‌شناسی

۴. موسسه علوم محیطی، دانشگاه بروئل، لندن، انگلستان

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

بسیاری از مطالعات قبلی مربوط به تغییرات سطح آب دریای خزر، به نهشته‌های نزدیک ساحل این دریا محدود شده است که عمدتاً متأثر از فرایندهای خشکی، از جمله فعالیت‌های انسانی هستند. در این مقاله بررسی تغییرات سطح آب این حوضه بر اساس مشخصات رسوب‌شناسی ۷ مغزه تهیه شده از بخش دور از ساحل مورد ارزیابی قرار گرفته تا تاثیر فرایندهای موثر از خشکی در بررسی تغییرات سطح آب دریا کمیته شود. در این مطالعه تکیه اساسی بر روی حساسیت مغناطیسی، به عنوان پارامتری موثر در بررسی تغییرات سطح آب دریا در نهشته‌های دور از ساحل است. به منظور ارزیابی تغییرات حساسیت مغناطیسی در توالی‌های مورد مطالعه، میانگین حساسیت مغناطیسی در رسوبات دریایی مبنای ارزیابی قرار گرفته و مقدار حساسیت مغناطیسی محاسبه شده برای نمونه‌های مورد مطالعه با میانگین یاد شده مقایسه شده است. مقادیر مثبت به دست آمده، معرف متأثر شدن نمونه‌ها از مواد آواری و مقادیر منفی نمایانگر کاهش در مقدار مواد آواری حمل شده به محل رسوب‌گذاری است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حساسیت مغناطیسی در این رسوبات، رابطه مستقیمی با میزان ورود مواد آواری حمل شده از خشکی دارد. به دلیل حمل بیشتر ذرات آواری حمل شده از خشکی به بخش‌های دور از ساحل در زمان‌های پایین‌افتادگی سطح آب دریا، بالا بودن مقدار حساسیت مغناطیسی در آنها به دوره‌های پایین افتادگی سطح آب دریا و پایین بودن مقدار حساسیت مغناطیسی به دوره‌های بالاآمدگی سطح آب دریا نسبت داده شده است.

واژه‌های کلیدی: خزر جنوبی، تغییرات سطح آب دریا، حساسیت مغناطیسی، رسوب‌شناسی دور از ساحل

مقدمه

(۱۰۰ سال گذشته) سطح آب این دریا، تغییرات شدیدی تری نسبت به گذشته نشان داده است (Kronenberg et al., 2000) که این امر روند مطالعات در این زمینه را سرعت بخشیده است. اندازه‌گیری‌های دستگاهی پایین‌افتادگی شدید (حدود ۳ متر) در

دریای خزر پس از جدا شدن از دریای سیاه در پلیوسن میانی (حدود ۵ میلیون سال پیش)، چرخه‌های متعدد نوسان تراز آب را تجربه کرده است (Rychagov, 1997). در سال‌های اخیر

* نویسنده مرتبط safiyeh.haghani@brunel.ac.uk

مسیر ورود مواد آواری و برخاستگاه آنها و حرکت این مواد در داخل حوضه را مورد بررسی قرار دهد (Ellwood et al., 2006a). مطالعات متعددی نشان داده است که برخی تغییرات حساسیت مغناطیسی در توالی‌های رسوبی مربوط به چرخه‌های میلانکوویچ است (Crick et al., 2001)، بنابراین می‌تواند در مطالعه آب و هوای دیرینه نیز مورد استفاده قرار گیرد (Ellwood et al., 2008). این روش برای انطباق‌های چینه‌نگاری در مقیاس ناحیه‌ای (Crick et al., 2001; Ellwood et al., 2000; et al., 1997) و جهانی (Ellwood et al., 2000; 2001) نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

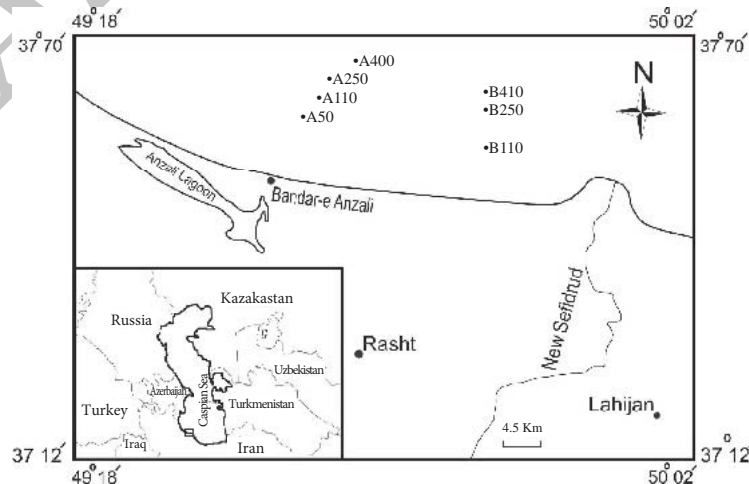
با وجود مطالعات متعدد بر روی مشخصه‌های متفاوت دریای خزر، سهم مطالعات رسوب‌شناسی بر روی نهشته‌های دور از ساحل کرانه‌های جنوبی این دریا (سواحل ایران) اندک تا بسیار ناچیز است. این مطالعه برای پاسخگویی به این نیاز در این بخش از دریا و با هدف بررسی مشخصات رسوب‌شناسی و استفاده از حساسیت مغناطیسی ثبت شده در آنها برای تحلیل تغییرات سطح آب دریا برنامه‌ریزی شده است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دریای خزر با طول حدود ۱۲۰۰ کیلومتر و عرض حدود ۴۰۰ کیلومتر در جهت شمالی جنوبی کشیده شده است. مساحت این دریاچه (در تراز ۲۸- متر) حدود ۳۶۰ هزار کیلومتر مربع و حجم آب درون آن فراتر از ۷۸ هزار کیلومتر مکعب است (Nikolaeva, 1971). منطقه مورد مطالعه در نواحی دور از ساحل بخش جنوب غربی دریای خزر واقع شده است (شکل ۱). این منطقه تا حدودی متأثر از دلتای رودخانه سفیدرود است که سالانه مقادیر زیادی رسوب وارد دریای خزر می‌کند. برای مثال بار رسوبی سالانه در ایستگاه آستانه در فاصله ۲۵ کیلومتری دریا حدود ۲۶ میلیون تن رسوب به صورت بار معلق و ۶ میلیون تن به صورت بار بستر گزارش شده است (علیزاده، ۱۳۸۳).

سطح آب دریای خزر از سال ۱۹۳۰ تا سال ۱۹۷۷ و سپس افزایش سریع در سطح آب این دریا از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۵ را نشان داده‌اند (Frolov, 2003). این تغییرات طی تحقیقات متعددی، بررسی و تحلیل شده و با وجود توافق کلی در اصل تغییرات، زمان و بزرگی نوسانات در بخش‌های مختلف حوضه متفاوت ذکر شده است (Mamedov, 1997; Rychagov, 1997; Hoogendoorn et al., 2005). در بسیاری از مطالعات پیشین، عمدتاً از نهشته‌های نزدیک ساحل برای بررسی نوسانات سطح آب دریا استفاده شده است (Zenkovich, 1963; Voropaev et al., 1998; Kazanci et al., 2009). به دلیل متأثر شدن رسوبات نزدیک ساحل از خشکی، دست‌کم بخشی از تفاوت‌های یاد شده در گزارش‌های پیشین، به متفاوت بودن فرایندهای خشکی (از قبیل ماهیت جریان‌های رودخانه‌ای، بادی و دخالت‌های انسانی) مربوط است. بر این اساس به نظر می‌رسد رسوبات دور از ساحل نتایج یکنواخت‌تری از تغییرات سطح آب دریا به دست دهند، گرچه فهم تغییرات سطح آب دریا در آنها دشوار است. در راستای دسترسی به این هدف، در این مطالعه بخشی از رسوبات نواحی دور از ساحل دریای خزر در کرانه جنوب غربی آن (شکل ۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

این مطالعه سعی دارد استفاده حساسیت مغناطیسی را به عنوان روشی موثر در بررسی تغییرات سطح آب دریا، در این بخش از حوضه مورد ارزیابی قرار دهد. مزیت استفاده از حساسیت مغناطیسی در بررسی تغییرات سطح آب دریا، قابلیت اندازه‌گیری آن با دقت بالا در روی ذرات کوچک و مواد خردشده و همچنین مغزه‌ها و خرده‌های حفاری است (Crick et al., 2002). این روش در تشخیص ناپیوستگی^۱ در توالی‌های رسوبی فاقد رخنمون (Crick et al., 2002; Ellwood et al., 2008)، ارزیابی موقعیت چینه‌شناسی سکانس‌های زمین‌شناسی (Ellwood et al., 2006b) و تعیین موقعیت دقیق مرزهای زمانی در توالی‌هایی رسوبی فاقد فسیل شاخص بسیار مفیدی است (e.g. Ellwood et al., 2003). استفاده از حساسیت مغناطیسی در نقاط عمیق یک حوضه می‌تواند



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های برداشت مغزه در آن (موقعیت راه‌ها اقتباس از علیزاده ۱۳۸۳).

1- unconformity

مفاهیم اساسی و روش‌های مطالعه

ساختی‌متری انجام شده است. حساسیت مغناطیسی که در اینجا مورد استفاده قرار گرفته به صورت نسبت گشتاور القایی (J_i) یا (M_i) است که به صورت یک میدان مغناطیسی بسیار کم شدت (H_j) تعریف شده است:

$$J_i = X_{ij} H_j \text{ (density-specific)}$$

$$M_i = K_{ij} H_j \text{ (volum-specific)}$$

در این معادله‌ها i و j عناصر یک بردار میدان مغناطیسی هستند و X_{ij} و K_{ij} میزان حساسیت مغناطیسی را نشان می‌دهند. در این معادله‌ها (در واحد SI) زمانی که میزان حساسیت مغناطیسی برابر K باشد، نشان‌دهنده این است که اندازه‌گیری نسبت به حجم یک متر مکعب (m^3) تعیین شده است، بنابراین حساسیت مغناطیسی بدون واحد است. زمانی که مقدار حساسیت مغناطیسی X گرفته شود نشان می‌دهد که اندازه‌گیری نسبت به جرم یک کیلوگرم انجام گرفته و واحد آن m^3/kg است (Ellwood et al., 2006b, 2008). اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در این مطالعه، نسبت به حجم یک متر مکعب صورت گرفته است، بنابراین حساسیت مغناطیسی به‌دست آمده بدون واحد است.

میزان حساسیت مغناطیسی به‌دست آمده برای یک نمونه متأثر از دو عامل تغییر در تمرکز کانی‌های مغناطیسی و اثرات ورود کانی‌های دیامغناطیس است (Watkins and Maher, 2003) که به صورت روابط زیر بیان می‌شود:

$$MS_f + MS_p + MS_a + MS_d = (MS)$$

در این روابط MS_f حساسیت مثبت و قوی است که توسط کانی‌های فرامغناطیس مانند ماگنیت، پیروتیت و گریگیت ایجاد می‌شود. مؤلفه MS_p حساسیت مثبت و ضعیف است که توسط کانی‌های پارامغناطیس مانند کلریت، ایلیت و اسمکتیت و سیلیکات‌های آهن متیزیم مانند بیوتیت، پیروکسن و آمفیبول، و سولفیدهای آهن مانند پیریت و مارکاسیت و کربنات‌های آهن مانند سیدریت و آنکرایت ایجاد می‌شود. مؤلفه MS_a حساسیت مثبت و ضعیف است که به وسیله کانی‌های با وادارندگی بالا جدول ۱- موقعیت جغرافیایی مغزه‌ها، طول هر مغزه و فاصله افقی آنها از ساحل در راستای عمود بر ساحل.

از آنجا که منطقه مورد مطالعه در نواحی دور از ساحل دریای خزر قرار دارد و عمق آب در منطقه زیاد است، به‌کار بردن روش مغزه‌گیری در آن اجتناب‌ناپذیر است. از سویی با روش مغزه‌گیری، نمونه‌های دست نخورده از موقعیت‌های به دقت تعیین شده تهیه می‌شوند (مزیت اصلی نسبت به روش‌هایی مانند نمونه‌برداری چنگی). دستگاه مغزه‌گیری که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته از نوع مغزه‌گیر ثقلی^۱ (شکل ۲) است که با استفاده از یک دستگاه جرثقیل نصب شده بر روی شناور قابل استفاده می‌شود. با استفاده از این دستگاه و ضمن ثبت موقعیت دقیق محل‌های نمونه‌برداری، ۷ مغزه از رسوبات بستر تهیه شد که طول مغزه‌ها، عمق آب و موقعیت جغرافیایی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. مغزه‌گیری در امتداد عمود بر ساحل و در نقاطی که تغییر محسوس در عمق احساس می‌شود، صورت گرفته است.

آزمایش‌های اولیه رسوب‌شناسی، شامل سنجش میزان کربنات کلسیم و تعیین میزان ماده آلی بر روی نمونه‌های با فواصل ۱۰ سانتی‌متری انجام شده است. به‌منظور اندازه‌گیری میزان کربنات کلسیم، از روش اندازه‌گیری حجمی و برای سنجش میزان ماده آلی، از اکسید کردن ماده آلی (Lewis and McConchie, 1994) استفاده شده است. شکل و بافت رسوبات تعدادی از رسوبات دانه ریز توسط میکروسکوپ الکترونی (در دانشگاه تهران) مطالعه شده‌اند. از آنجا که استفاده از هسته‌های پرتوزا روش مناسبی برای تعیین آهنگ رسوب‌گذاری به شمار می‌رود (Jouannaeanu et al., 2002)، برای تعیین سن رسوبات و مشخص کردن آهنگ رسوب‌گذاری در منطقه از روش سن‌سنجی توسط هسته‌های پرتوزا^۲ با استفاده از ^{210}Pb بر روی مغزه A250 استفاده شده است. حساسیت مغناطیسی رسوبات در آزمایشگاه ژئوفیزیک دانشگاه برونل^۳ لندن اندازه‌گیری شده است. به منظور افزایش دقت مطالعه همه اندازه‌گیری‌های مغناطیسی با فواصل ۲

شماره مغزه	عمق آب (m)	فاصله افقی عمود بر ساحل (km)	طول مغزه (cm)	موقعیت جغرافیایی
A50	۵۰	۱۲/۳	۱۵۰	N37 34.241 E49 32.531
A110	۱۲۰	۱۴	۱۵۷	N37 34.910 E49 33.317
A250	۲۵۰	۱۵/۲	۱۶۶	N37 35.472 E49 34.276
A400	۴۰۰	۱۷/۴	۱۷۳	N37 36.563 E49 35.590
B110	۱۱۰	۱۰/۹	۱۲۴	N37 32.463 E49 46.247
B250	۲۵۰	۱۴/۴	۸۵	N37 33.860 E49 46.411
B410	۴۱۰	۱۷/۷	۱۷۲	N37 34.460 E49 46.463

1. Gravity Corer
2. Radio nuclide Dating
3. Brunel



شکل ۲- دستگاه مغزه‌گیر ثقلی استفاده شده در این مطالعه

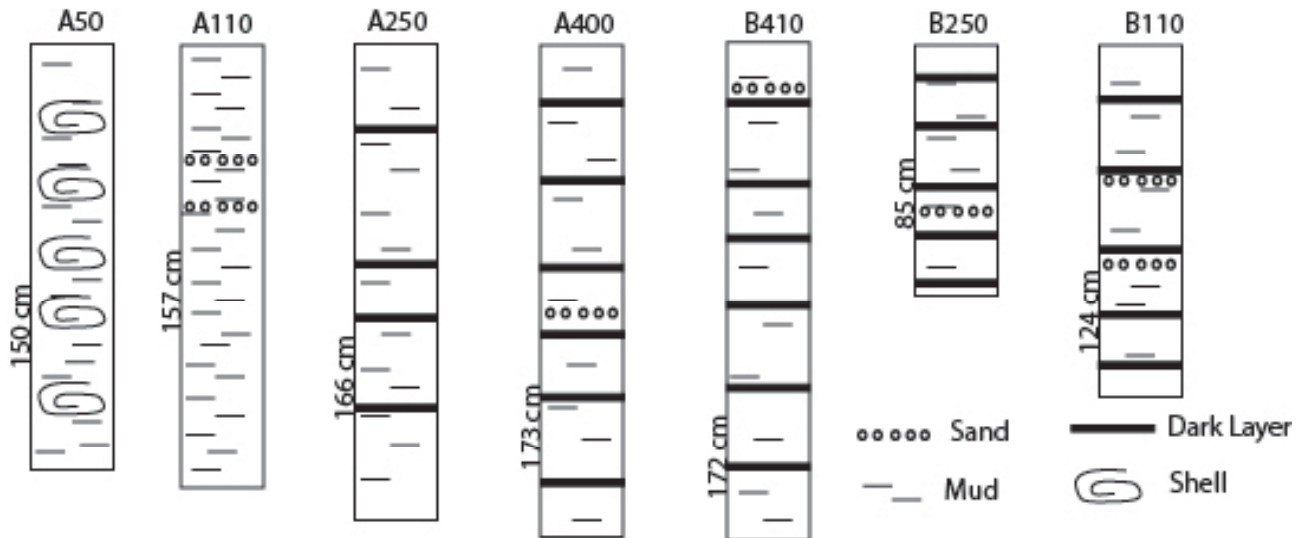
و پایین آمدن سطح آب دریا که متأثر از آب و هوا و زمین‌ساخت یا هر دو است، بیشترین تأثیر را روی تأمین آهن به محیط دریایی دارد (Crick et al., 1997).

در طول دوره‌های پسروی سطح آب دریا، سطح اساس پایین‌تر می‌آید و افزایش در آهنگ فرسایش سبب انتقال رسوبات آواری بیشتری به محیط‌های دریایی می‌شود. این مواد توسط جریان‌های دریایی در سراسر حوضه پراکنده می‌شوند (Crick et al., 2002) و در نتیجه مقدار حساسیت مغناطیسی در رسوبات ناحیه افزایش می‌یابد. در زمان پیشروی، مقدار حساسیت مغناطیسی در نتیجه بالا آمدن سطح اساس و ورود اندک مواد آواری به حوضه کاهش می‌یابد (Ellwood et al., 2000).

مشخصات رسوب‌شناسی و حساسیت مغناطیسی

توالی‌های مورد مطالعه از رسوبات سیلنتی رسی با جورشدگی بد تشکیل شده‌اند که در بعضی افق‌ها حاوی درصد بسیار ناچیزی ماسه هستند (شکل ۳) و بوی شدید سولفید هیدروژن^۱ از آنها استشمام می‌شود. این رسوبات که دارای رنگ خاکستری تیره

مانند هماتیت و گوتیت ایجاد می‌شود. مولفه MSd حساسیت منفی و ضعیفی است که کانی‌های دیامغناطیس مانند کربنات کلسیم و کوارتز یا ترکیبات آلی آن را ایجاد می‌کنند. این ترکیبات زمانی که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، حساسیت مغناطیسی کسب‌شده در آنها، خلاف میدان مغناطیسی اعمال‌شده، عمل می‌کند و وجود این کانی‌ها در رسوبات باعث کاهش حساسیت مغناطیسی می‌شود. به علت اینکه بزرگی حساسیت مغناطیسی در کانی‌های دیامغناطیس نسبت به کانی‌های فری‌مغناطیس و پارامغناطیس بسیار ضعیف است، سهم کانی‌های دیامغناطیس در مقدار حساسیت مغناطیسی به طور کلی اندک است (Febo et al., 2007). در واقع در یک میدان مغناطیسی تحت نیروی مغناطیس کم‌شدت، حساسیت مغناطیسی رسوب تابعی از تمرکز کانی‌های مغناطیس‌پذیر در یک نمونه است. این کانی‌ها در واقع کانی‌های حاوی آهن هستند که نماینده ذرات آواری در رسوبات دریایی هستند (Crick et al., 2001). بنابراین تغییر در مقدار حساسیت مغناطیسی در یک توالی رسوبی، نشان‌دهنده تغییر در تأمین قطعات آواری دارای آهن به محیط‌های دریایی است. اثرات بالا



شکل ۳- مشخصات کلی رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه (خط مبنا بستر دریا در نظر گرفته شده است). برای مشاهده عمق بستر در نقاط ذکر شده به جدول ۱ مراجعه شود).

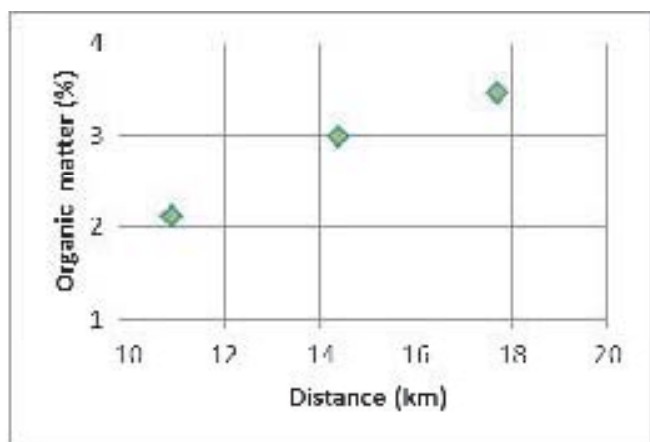
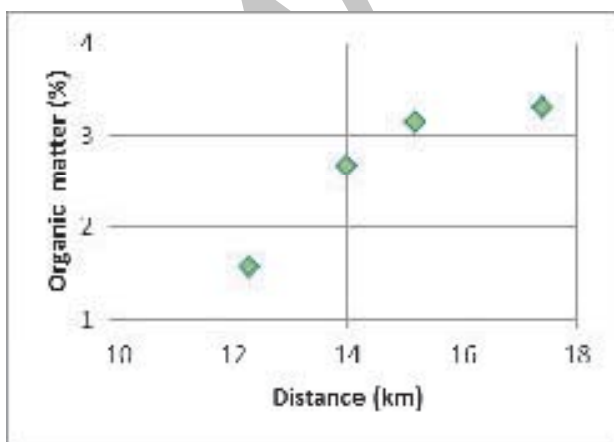
که بیشترین درشت جانوران موجود در منطقه را کرم‌های حلقوی تشکیل می‌دهند که با افزایش عمق بر مقدار آنها افزوده می‌شود (حقانی، ۱۳۸۷). مطالعات انجام شده بر روی رسوبات دور از ساحل دریای خزر در ناحیه باکو نیز نشان داده است که بیشترین درشت جانوران در این منطقه را نیز کرم‌های حلقوی (۴۴٪ از کل موجودات) تشکیل می‌دهند که مقدار آنها در رسوبات، ارتباط مستقیمی با افزایش عمق دارد (Parr, 2007).

میزان کربنات کلسیم در منطقه مورد مطالعه بین ۱۵/۱ تا ۲۴/۰۴ درصد و مقدار ماده آلی بین ۱ تا ۴ درصد تغییر می‌کنند. میانگین مواد آلی و کربنات کلسیم به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

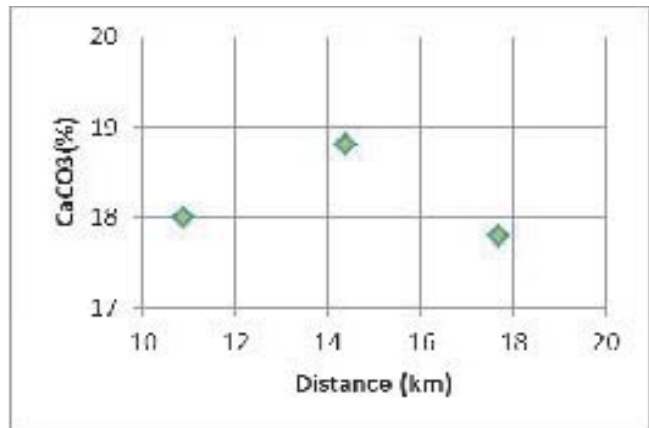
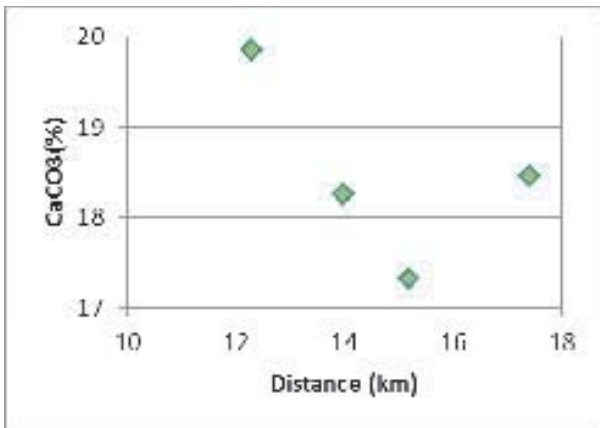
همان‌گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود با دور شدن از ساحل و افزایش عمق آب میزان ماده آلی موجود در رسوبات افزایش می‌یابد، در حالی که فراوانی کربنات کلسیم،

مایل به سبز هستند، با تناوب منظم لایه‌های سیاه و خاکستری مشخص می‌شوند که به سرعت در شرایط اکسید شونده از بین می‌رود. شرایط مشابه در سایر مناطق دریای خزر از جمله مناطق نزدیک به برآمدگی آبشوران نیز گزارش شده است (Jelinowska et al., 1999). مطالعات متعدد نشان داده است که تغییر در رنگ این لایه‌ها و در واقع از بین رفتن افق‌ها در هوای آزاد به دلیل تغییر در مقدار سولفیدهای تغییرپذیر در طی دیاژنز زود هنگام است و از آنجا که این سولفیدها هنوز نیمه پایدارند، در شرایط اکسیدی از بین می‌روند (Jelinowska et al., 1999).

در مغزه‌های مورد مطالعه آثار لوله‌مانندی به چشم می‌خورد که با افزایش عمق آب، میزان آنها افزایش می‌یابد (حقانی، ۱۳۸۷). این آثار مربوط به کرم‌های حلقوی از گونه نرئیس^۱ است که قادر به حفر رسوبات تا عمق زیاد را دارد و به عنوان غذای ماهی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعات اولیه نشان می‌دهد



شکل ۴- تغییرات میزان ماده آلی موجود در رسوبات مورد مطالعه. شکل سمت چپ این تغییرات را در مسیر A و در مغزه‌های A50, A110, A250, A400 (به ترتیب از چپ به راست) و شکل سمت راست در مسیر B و در مغزه‌های B110, B250, B410 (به ترتیب از چپ به راست) نشان می‌دهند.



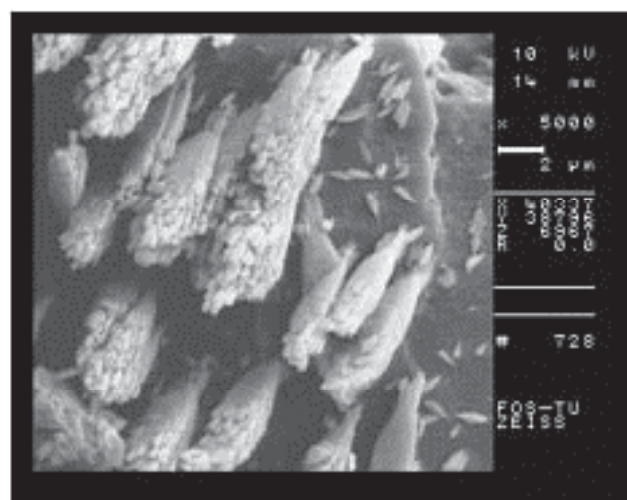
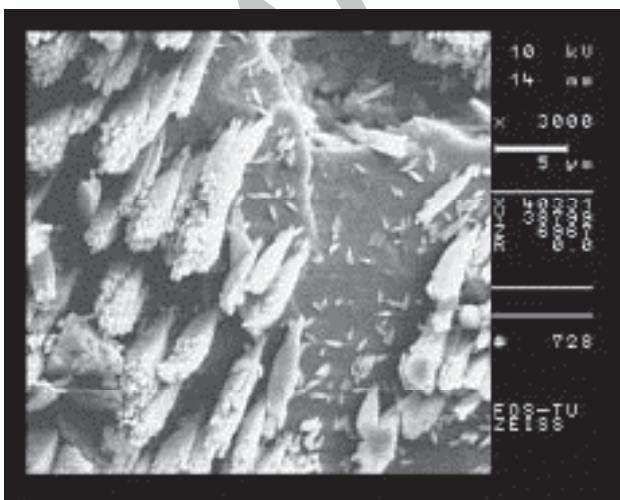
شکل ۵- تغییرات مقدار کربنات کلسیم موجود در رسوبات مورد مطالعه. شکل سمت چپ این تغییرات را در مسیر A و در مغزه‌های A50، A110، A250، A400 (به ترتیب از چپ به راست) و شکل سمت راست در مسیر B و در مغزه‌های B110، B250، B410 (به ترتیب از چپ به راست) نشان می‌دهند.

و ته‌نشست مواد آلی است. در منطقه مورد مطالعه، مقادیر زیادی رسوب به حالت معلق توسط رودخانه سفیدرود به حوضه حمل شده است که در نواحی دور از ساحل ته‌نشین می‌شوند. این رسوبات، مواد آلی تشکیل شده در نواحی کم عمق و همچنین مواد آلی با خاستگاه برون‌حوضه‌ای را به بخش‌های عمیق حمل می‌کنند. افزون بر این، با افزایش عمق آب میزان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد، بنابراین شرایط مطلوب برای حفظ مواد آلی در بخش‌های عمیق آب مهیاتر است. بوی شدید سولفید هیدروژن و وجود پیریت در این رسوبات، بیانگر وجود شرایط بی‌اکسیژنی و کاهش یافته در رسوبات است که نشان می‌دهد شرایط لازم برای حفظ مواد آلی در رسوبات برقرار است (شکل ۷).

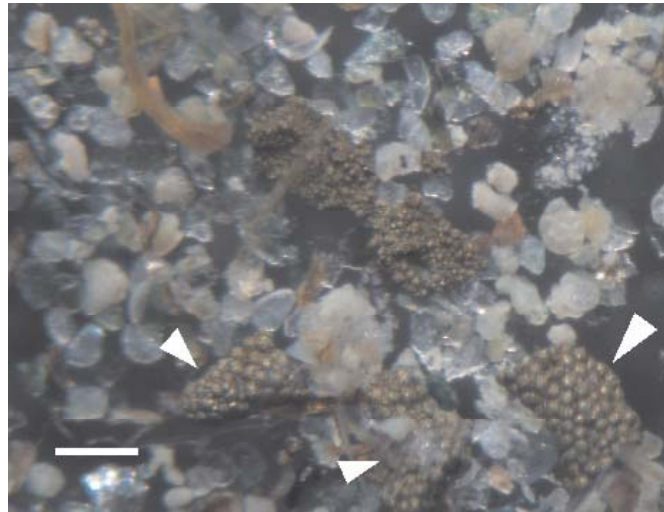
نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها سن‌سنجی به روش هسته‌های پرتوزا بر روی مغزه A250 در شکل ۸ ارائه شده است. شیب منحنی در این شکل، نشان‌دهنده آهنگ رسوب‌گذاری در منطقه است. بر این اساس آهنگ رسوب‌گذاری در این منطقه حدود ۲ سانتی‌متر در سال به دست می‌آید که قابل مقایسه با آهنگ

روند مشخصی را با فاصله از ساحل دنبال نمی‌کند. کربنات‌های موجود در رسوبات منطقه، شامل خرده‌سنگ‌های کربناته آواری، گل‌های آراگونیتی و پلت‌های دفعی هستند (شکل ۶) که از فرسایش سازندهای کربناتی اطراف دریاچه حاصل شده یا به روش شیمیایی و زیست‌شیمیایی در محیط تشکیل شده‌اند. از آنجا که امکان جدایش کربنات‌های درون حوضه‌ای و برون‌حوضه‌ای در این مطالعه وجود نداشت، بنابراین از روی نمودار تغییرات فراوانی کربنات‌ها در طول مغزه نمی‌توان اطلاعاتی در مورد تغییرات سطح آب دریا به دست آورد. به همین دلیل است که تغییرات میزان کربنات کلسیم با دور شدن از ساحل نیز از روند خاصی پیروی نمی‌کند.

میزان مواد آلی رسوبات در منطقه مورد مطالعه با دور شدن از ساحل افزایش می‌یابد. این وضعیت، مشابه گسترش مواد آلی در سواحل آبهای اقیانوس اطلس، سواحل شمال غربی ایالات متحده آمریکا و دلتای رودخانه آمازون است (کمالی و قربانی، ۱۳۸۵). به نظر می‌رسد علت این امر نقش مواد معلق در انتقال



شکل ۶- چپ: تشکیل بلورهای آراگونیت بر روی ذرات آواری موجود در رسوبات بستر. راست: ماهیت خوشه‌ای بلورهای آراگونیت که در شکل سمت چپ نمایش داده شده‌اند.



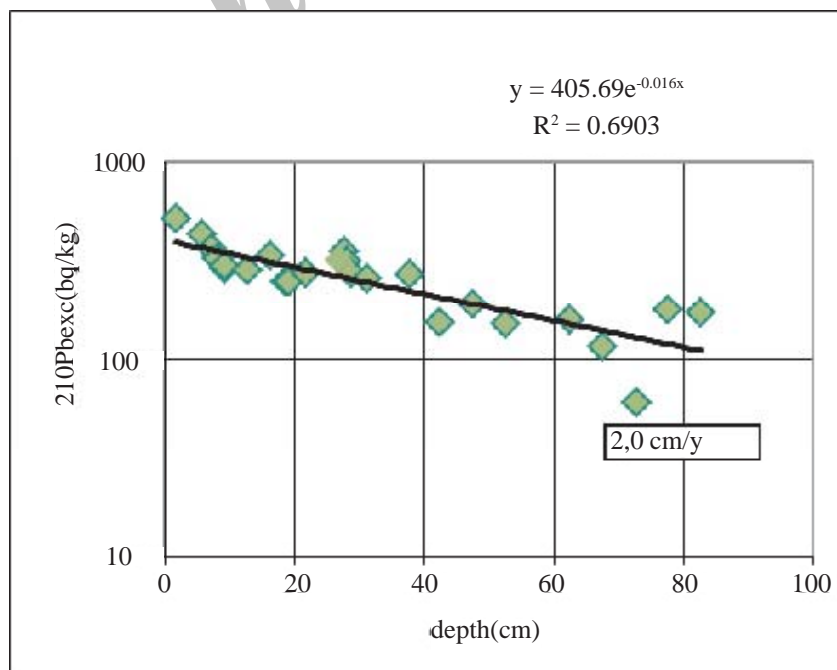
شکل ۷- تصویر تهیه شده از پیریت دانه تمشکی (محل پیکان‌ها) موجود در رسوبات عمق ۴۰۰ متری آب توسط میکروسکپ دوچشمی (مقیاس پایین شکل به طول ۲ میلی‌متر است).

به دلیل ارتباط مستقیم مقدار حساسیت مغناطیسی با مقدار ذرات آواری موجود در رسوبات (Crick et al., 2002)، این تغییرات به دلیل تغییر در آهنگ ورود ذرات آواری به محیط دریایی است که عمدتاً توسط تغییرات سطح آب دریا کنترل شده است.

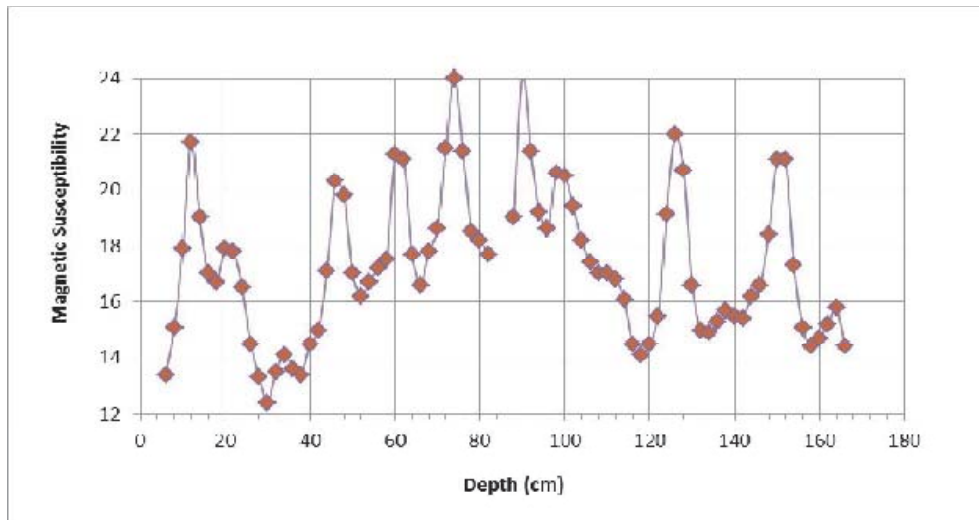
به منظور سهولت در تفسیر این تغییرات، منحنی به صورت بهنجار شده در شکل ۱۰ ارائه شده است. به منظور بهنجار کردن این منحنی هریک از داده‌های متغیر وابسته (مغناطیس پذیری) به بیشینه مقدار مغناطیس‌پذیری در طول مغزه (۲۴/۱) تقسیم شده است. بدین صورت داده‌های حاصله در بازه ۰ تا ۱ قرار می‌گیرند. افزایش در مقدار حساسیت مغناطیسی در ارتباط با پایین افتادن سطح آب و کاهش آن در ارتباط با بالا آمدن سطح آب دریا است،

رسوب‌گذاری ذکر شده در منابع پیشین است (Kronenberg et al., 2000; Lahijani et al., 2009). بر این اساس، توالی مورد مطالعه، مربوط به قرن بیستم میلادی (نهشته‌های بعد از سال ۱۹۰۸) است.

تغییرات حساسیت مغناطیسی در طول توالی A250 در شکل ۹ ارائه شده است. در این منحنی، تغییرات متناوبی از مغناطیس‌پذیری رسوبات در طول توالی مشاهده می‌شود و چنین به نظر می‌رسد که کانی‌های فعال از نظر مغناطیسی به طور متناوب وارد حوضه شده‌اند. بیشترین مغناطیس‌پذیری و به پیروی آن بیشترین ورود ذرات آواری به حوضه مربوط به اعماق ۷۴ و ۹۰ سانتی‌متری مغزه و کمترین میزان آن مربوط به عمق ۳۰ سانتی‌متری مغزه است.



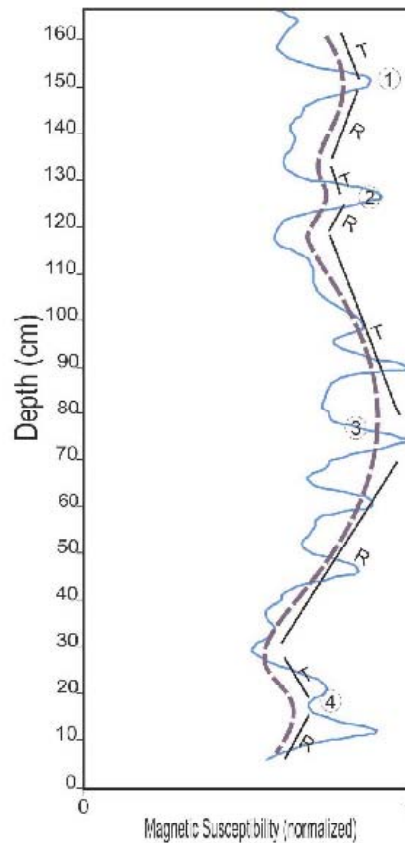
شکل ۸- تغییرات مقدار ^{210}Pb در مقابل عمق در ۸۳ سانتی‌متر بالایی مغزه A250



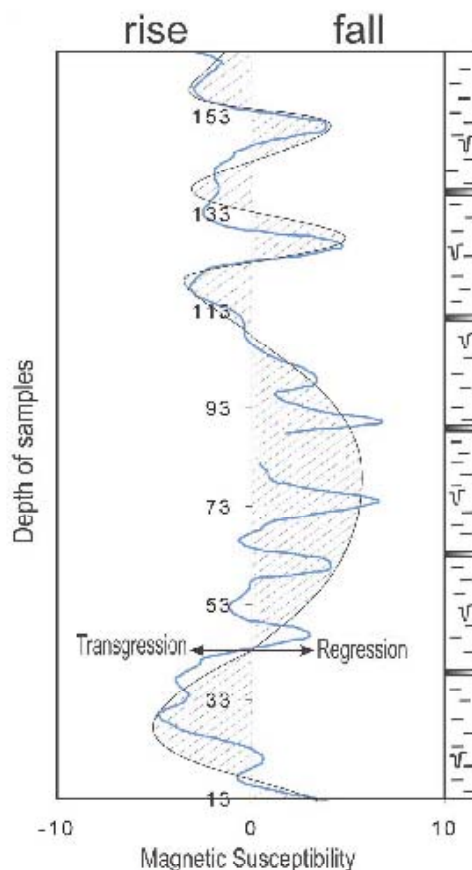
شکل ۹- تغییرات حساسیت مغناطیسی در طول توالی مغزه A250

افزایش فرسایش قاره‌ای است. این افزایش در فرسایش، با افزایش ورود مواد آواری به بخش دور از ساحل همراه بوده است که در زمان پایین افتادن سطح آب دریا رخ داده است. این مرحله با افزایش مقادیر کانی‌های رسی و حضور کانی‌هایی مانند هماتیت در رسوبات منطقه مشخص است. بعد از آن در مرحله ۳ مقدار حساسیت مغناطیسی مجدداً افزایش یافته است. این روند، نشان‌دهنده یک فاز پسروری از یک چرخه پیشروی پسروری است

بنابراین بالاترین مقدار آن نشان‌دهنده بیشترین پایین افتادگی و کمترین مقدار آن نشان‌دهنده بیشترین بالا آمدن سطح آب دریا است. بر این اساس، می‌توان چرخه‌های تغییرات سطح آب دریای خزر را در زمان ته‌نشست رسوبات مشخص کرد (شکل ۱۰). بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۱۰، در بخش‌های عمیق‌تر توالی، دو افزایش مهم در مقدار حساسیت مغناطیسی وجود دارد (مراحل ۱ و ۲) که نشان‌دهنده یک دوره سریع اما کوتاه مدت



شکل ۱۰- تعیین چرخه‌های پسرورده (R) و پیشرونده (T) در رسوبات مورد مطالعه بر اساس تغییرات حساسیت مغناطیسی.



شکل ۱۱- منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر بر اساس تغییرات حساسیت مغناطیسی در طول توالی‌های مورد مطالعه

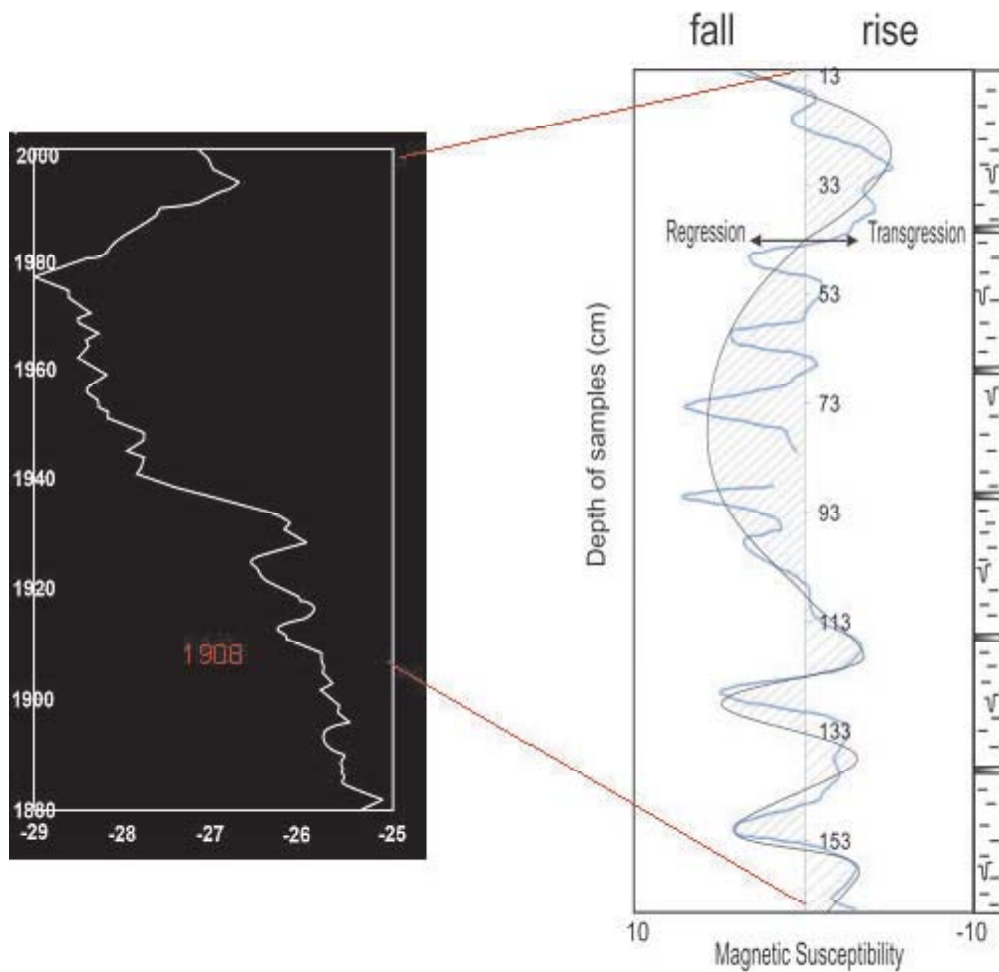
سطح آب دریا بر اساس روش ارائه شده در این مقاله، با هم مقایسه شده اند (شکل ۱۲). این مقایسه، به خوبی قابلیت اطمینان بالای استفاده از حساسیت مغناطیسی در بررسی‌های تغییرات سطح آب دریای خزر در این بخش از حوضه را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). از آنجا که در بسیاری از مناطق دریای خزر اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری‌های دستگاهی در دسترس نیست، به نظر می‌رسد که استفاده از این روش، راهکار مناسبی برای بررسی تغییرات سطح آب دریاست.

در برخی تحقیقات پیشین از ارتباط بین تمرکز کربنات کلسیم در رسوبات و بزرگی حساسیت مغناطیسی در آنها صحبت شده است (Crick et al., 2001; Ellwood et al., 1997). در این مطالعه نیز این رابطه مورد بررسی قرار گرفت، اما رابطه معنی‌داری بین فراوانی کربنات کلسیم موجود در رسوبات بخش جنوبی دریای خزر و مقدار حساسیت مغناطیسی در آنها به دست نیامد (شکل ۱۳). این نتیجه به دلیل حضور همزمان کربنات کلسیم به صورت آواری (خرده‌سنگ) و شیمیایی/زیست‌شیمیایی در رسوبات است. با این وجود، به دلیل رابطه مستقیم بین مقدار حساسیت مغناطیسی و ذرات آواری می‌توان در شرایطی که تغییرات حساسیت مغناطیسی رابطه معکوسی با فراوانی کربنات کلسیم نشان می‌دهد به شیمیایی و زیست‌شیمیایی (درون حوضه‌ای) بودن کربنات کلسیم موجود در رسوبات اشاره کرد.

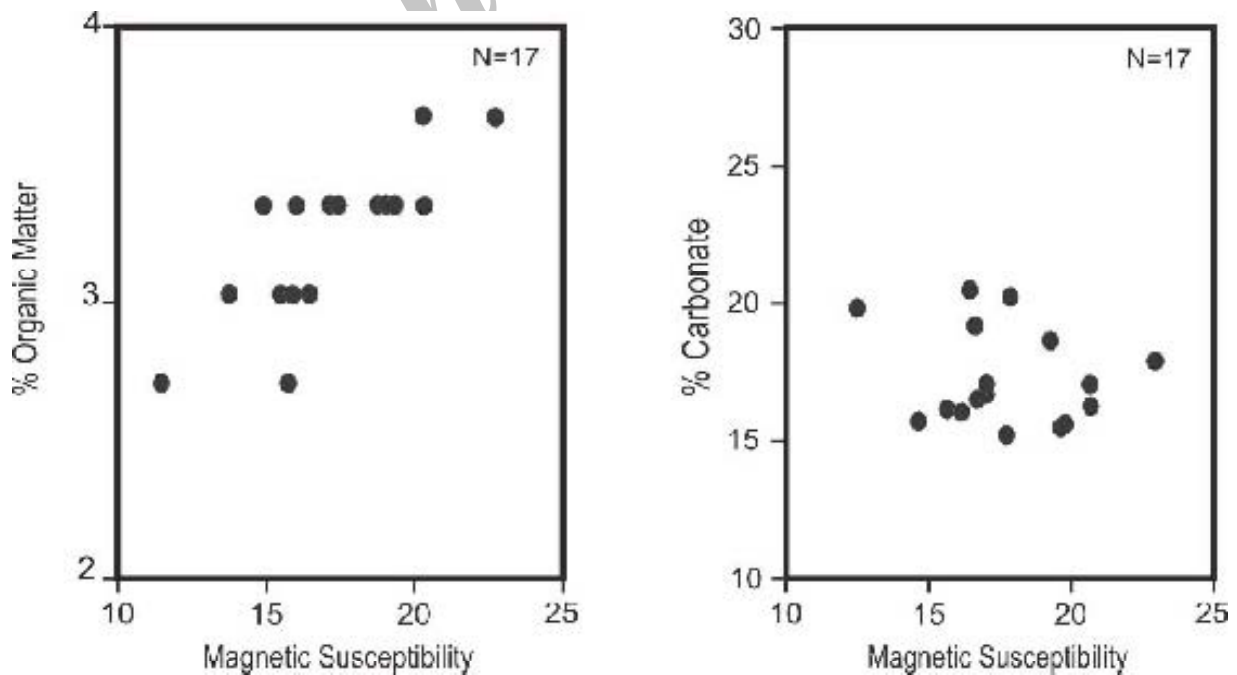
که به افزایش فرسایش قاره‌ای و ورود رسوبات آواری به حوضه نسبت داده می‌شود. مقدار کم حساسیت مغناطیسی در نمونه ۳۰ نشان‌دهنده زمان بیشترین بالا آمدن سطح آب دریا است که پس از آن دوباره یک چرخه پسروی - پیشروی کوتاه مدت رخ داده است (شکل ۱۰).

منحنی تغییرات سطح آب دریا بر اساس مقادیر حساسیت مغناطیسی موجود در رسوبات مورد مطالعه در شکل ۱۱ ارائه شده است. این منحنی بر اساس این اصل کلی رسم شده است که متوسط مقدار حساسیت مغناطیسی برای توالی نماینده میانگین سطح آب دریاست (Crick et al., 2001)، بنابراین میانگین حساسیت مغناطیسی از هر یک از داده‌ها تفریق شده است. بنابراین معقول به نظر می‌رسد که مقادیر مثبت (سمت راست صفر) در ارتباط با تمرکز بیشتر آهن و ناشی از پسروی یا پایین افتادن سطح آب دریا باشد. مقادیر منفی (سمت چپ صفر) مرتبط با تمرکز کمتر آهن و ناشی از پیشروی یا بالا آمدن سطح آب دریاست. بنابراین در صورتی که بزرگی حساسیت مغناطیسی شاخص میزان نوسانات سطح آب دریا باشد، روند منحنی حساسیت مغناطیسی در شکل ۱۱ دیدگاهی از روند کلی نوسانات تراز آب دریا ارائه می‌دهد.

به منظور ارزیابی دقت مطالعه و قابلیت اطمینان روش مورد استفاده، منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر بر اساس اندازه‌گیری‌های دستگاهی (Frolov, 2003) و منحنی تغییرات



شکل ۱۲- منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر بر اساس تغییرات حساسیت‌پذیری مغناطیسی (راست) و اندازه‌گیری‌های دستگاهی (چپ) برای محدوده مورد مطالعه (داده‌های مربوط به اندازه‌گیری دستگاهی از (Frolov, 2003)).



شکل ۱۳- ارتباط بین محتوی کربنات کلسیم و حساسیت مغناطیسی (راست) و محتوی ماده آلی و حساسیت مغناطیسی (چپ) در رسوبات مورد مطالعه.

و ارائه پیشنهادات بسیار مفید ما را در پر بار کردن این مقاله یاری نمودند، بسیار سپاسگزاریم. از ویراستار محترم مقاله به دلیل ویرایش ادبی مقاله کمال تشکر را داریم.

منابع

- حقانی ص. (۱۳۸۷) رسوب شناسی نهشته های دور از ساحل بخش جنوب غربی دریای خزر و بررسی عوامل کنترل کننده رسوب گذاری در آنها. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۴۲.

- علیزاده کتک لاهیجانی، ح. (۱۳۸۳) مقدمه ای بر ویژگی های دریای خزر. تهران: انتشارات نوربخش، ۱۱۹.
- کمالی، م. و قربانی، ب. (۱۳۸۵) ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت. تهران: انتشارات آراین زمین، ۳۲۴.

- Crick R.E., Ellwood B.B., Feist R., El Hassani A., Schindler E., Dreesen R., Over D.j. and Girard C. 2002. Magnetostratigraphy susceptibility of the Frasnian/Famennian boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 181: 67-90.

- Crick, R.E., Ellwood B.B., El Hassani A., Hladil J., Hroudá F. and Chlupac I. 2001. Magnetostratigraphy susceptibility of the Pridoli-Lochkovian (Silurian-Devonian) GSSP (Klonk, Czech Republic) and a coeval sequence in Anti-atlas Morocco. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 167: 73-100.

- Crick, R.E., Ellwood B.B., El Hassani A., Feist R. and Hladil J. 1997. Magnetostratigraphy (MSEC) of the Eifelian-Givetian GSSP and associated boundary sequences in North Africa and Europe. *Episodes* 20(3): 167-175.

- Ellwood, B.B., Tomkin J.H., Ratcliffe K.T., Wright M. and Kafafy A.M. 2008. High-resolution magnetic susceptibility and geochemistry for the Cenomanian/Turonian boundary GSSP with correlation to time equivalent core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 261: 105-126.

- Ellwood, B.B., Balsam, W.L. and Roberts, H.H. 2006a. Gulf of Mexico sediment sources and sediment transport trend from magnetic susceptibility measurements of surface samples. *Marine Geology*. 230: 237-248.

- Ellwood, B.B., Garcia-Alcalde J.L., El Hassani A., Hladil J., Soto F.M., Truyols-Massoni M., Weddige K., and Koptikova L. 2006b. Stratigraphy of the Middle Devonian boundary: formal definition of the susceptibility magnetostratotype in Germany with comparisons to sec-

بر همین اساس رابطه مستقیم بین میزان ماده آلی موجود در رسوبات و بزرگی حساسیت مغناطیسی در آنها یا به بیان دیگر افزایش میزان ماده آلی در رسوبات همراه با افزایش مقدار حساسیت مغناطیسی (شکل ۱۳) نشان می دهد که عمده مواد آلی موجود در رسوبات از منشا آواری هستند و در دوره های پایین افتادگی سطح آب دریا که حوضه به شدت از خشکی تغذیه شده است، به این بخش حمل شده اند.

نتیجه گیری

مقایسه نتایج حاصل از مطالعات رسوب شناسی و میزان حساسیت مغناطیسی، ارتباط مستقیم فراوانی اجزای آواری (حمل شده از خشکی) با میزان حساسیت مغناطیسی را به خوبی آشکار می سازد. بر این اساس، در این بخش از حوضه، افزایش حساسیت مغناطیسی معرف فراوانی ذرات حمل شده از خشکی است و چون حمل ذرات آواری به این بخش (دور از ساحل) عمدتاً در دوره های پایین بودن سطح آب صورت می گیرد، بنابر این تغییرات حساسیت مغناطیسی، پارامتر مناسبی برای بررسی تغییرات سطح آب دریا است.

ارتباط ضعیف و نامشخص بین میزان حساسیت مغناطیسی و فراوانی کربنات کلسیم در رسوبات مورد مطالعه، به دلیل حضور کربنات کلسیم از دو منشأ آواری (خرده های کربناته) و شیمیایی/زیست شیمیایی است که در این سطح از مطالعه تفکیکی این دو گروه میسر نبود. بر این اساس رابطه معکوس بین میزان حساسیت مغناطیسی و فراوانی کربنات کلسیم در تعدادی از نمونه ها پارامتر مناسبی برای اظهار نظر در باره منشأ شیمیایی/زیست شیمیایی این ذرات است گرچه برای تفکیکی ذرات شیمیایی و زیست شیمیایی کربناته از انواع آواری نیاز به بررسی های بیشتر و روش های تکمیلی تر هست.

ارتباط خوب بین میزان حساسیت مغناطیسی و فراوانی مواد آلی در رسوبات، نشان می دهد که بخش قابل توجهی از مواد آلی از منشأ آواری هستند. این ذرات همراه ذرات آواری از خشکی به درون حوضه حمل شده یا بر اثر ورود مواد آواری از بخش های کم عمق تر حوضه فرسایش یافته و به محل مورد مطالعه حمل شده اند. با توجه به اندازه ذرات و نبود ذرات آلی با مشخص های خشکی حالت دوم محتمل تر است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه، بخشی از طرح پژوهشی مصوب مرکز ملی اقیانوس شناسی است و با حمایت معاونت پژوهشی این مرکز انجام شده است. نمونه برداری با سفارش مرکز ملی اقیانوس شناسی و زیر نظر آقایان وحید توکلی و مجید شاه حسینی انجام شده است. علاوه بر تأمین نمونه، همه مراحل آزمایشگاهی با مساعدت مدیریت و کارکنان محترم مرکز ملی اقیانوس شناسی به ویژه آقایان وحید توکلی و مجید شاه حسینی انجام شده که از ایشان تشکر و قدردانی می شود. از داوران محترم (ناشناس) که با مطالعه دقیق

tions in the Czech Republic, Morocco and Spain. *Tectonophysics*. 418: 31-49.

- Ellwood, B.B., MacDonald W.D., Wheeler C., and Benoist S.L. 2003. The K-T Boundary in Oman: identified using magnetic susceptibility field measurements with geochemical confirmation. *Earth and Planetary Science Letters*. 206: 529-540.

- Ellwood, B.B., Crick R.E., Garcia-Alcalde Fernandez J.L., Soto F.M., Truyols-Massoni M., EL Hassani A., and Kovas E.J. 2001. Global correlation using magnetic susceptibility data from Lower Devonian rocks. *Geology*. 29: 583-586.

- Ellwood, B.B., R.E. Crick, A. El Hassani, S.L.R.H. Benoist and R.H. Young. 2000. The magnetosusceptibility event and cyclostratigraphy (MSEC) method applied to marine rocks: detrital input versus carbonate productivity. *Geology*. 28: 1134-1138.

- Ellwood, B.B., Petruso K.M. and Harrold F.B. 1997. The utility of magnetic susceptibility for detecting palaeoclimate trends and as a stratigraphic correlation tool. *Journal Field Archaeol*. 23: 263-272.

- Febo, L.A., Ellwood B.B. and Watkins D.K. 2007. Detrital controls on magnetosusceptibility and cyclostratigraphy records. In: Ellwood, B.B., Tomkin, J.H. Ratcliffe K.T., Wright M. and Kafafy A.M. (Eds.). High-resolution magnetic susceptibility and geochemistry for the Cenomanian/Turonian boundary GSSP with correlation to time equivalent core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 261: 105-126.

- Federov, P.V. (1995). Modern geology of the Caspian Sea. *Russian Academy of Science Bulletin*. 65(7): 622-625.

- Frolov, A.V. (2003). Modeling of the Long-Term Fluctuations of the Caspian Sea Level; Theory and Applications. Moscow: GEOS.

- Hoogendoorn, R.M., Boels J.F., Kroonenberg S.B., Simmons M.D., Aliyeva E., Babazadeh A.D. and Huseynov D. (2005). Development of the Kura delta, Azerbaijan: a record of Holocene Caspian sea-level change. *Marine Geology*. 222: 359-380.

- Jelinowska, A., Tucholka P. and Badaut-Trauth D. (1999). Magnetic Mineral variation of south Caspian Sea sediments at laminate scale. *Phys. Chem. Earth*. 24 (9):

823-828.

- Jouannaeau, J.M.; Weber, O.; Drago, T.; Rodrigues, A.; Oliveria, A.; Dias, J.M.A; Garcia, C.; Schimdt, S.; Reyss, J.L. 2002. Recent sedimentation and sedimentary budgets on the Western Iberian shelf. *Progress in Oceanography* 52, 261-275

- Kazanci, N., Gulbabazadeh T. and Ileri O. 2004. Sedimentology and Environmental characteristics at the Guilan-Mazenderan plain, northern Iran; influence of long- and short-term Caspian level fluctuations on geomorphology. *Marine Systems*. 46: 154-168.

- Kroonenberg S.B., Badyukova E.N., Storms J.E.A., Ignatov E.I., and Kasimov N.S. 2000: A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores. *Sedimentary Geology*. 134: 257-274.

- Lahijani, H., Rahim pour H., Tavakoli V. and Hosseindoost M. 2009. Evidence for late Holocene highstands in Central Guilan-East Mazandaran, South Caspian coast, Iran. *Quaternary International*. 197: 55-71.

- Lewis, D.W. and McConchie D. 1994. Analytical sedimentology. New York: Chapman and Hall.

- Mamedov, A.V. 1997. The Late Pleistocene-Holocene history of the Caspian Sea. *Quaternary International*. 41/42: 161-166

- Nikolaeva, P.V. 1971. New morphometric characteristics of the Caspian Sea. Moscow: MOIP Bulletin.

- Parr, T.D. 2007. A descriptive account of benthic macrofauna and sediment from an area of planned petroleum exploration in the southern Caspian Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 71: 170-180.

- Rychagov, G.I. 1997. Holocene oscillations of the Caspian Sea and forecasts based on palaeogeographical reconstructions. *Quaternary International*. 41/42:167-172.

- Voropaev, G.V., Krasnozhon G.E. and Lahijani H. 1998. Riverine sediments and stability of the Iranian coast of the Caspian Sea. *Water Resources*. 25 (6):747-758.

- Watkins, S.J. and Maher B.A. (2003) Magnetic characterization of present-day deep-sea sediments and sources in the North Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*. 214:379-394

- Zenkevitch, L.A. 1963. Biology of the Seas of the USSR. London: George Allen and Unwin Ltd.