

بازسازی تغییرات تراز دریا با استفاده از نوسانات پذیرفتاری مغناطیسی در بخش جنوب شرقی دریای خزر

حسین باقری^{۱*}، عبدالمجید نادری‌بنی^۲، محمدحسین محمودی‌قرایی^۳، کاظم درویش بسطامی^۴

۱- مربی پژوهشی گروه علوم غیر زیستی، پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایران، پست الکترونیکی: hosseinbagheri@inio.ac.ir

۲- استادیار گروه علوم غیر زیستی، پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایران، پست الکترونیکی: amnaderi@inio.ac.ir

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، پست الکترونیکی: mhmgharaie@um.ac.ir

۴- کارشناس پژوهشی گروه علوم غیر زیستی، پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایران، پست الکترونیکی: darvish.bastami@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۳

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۷

چکیده

مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای پایش تغییرات ترکیب رسوب در بررسی‌های محیطی است. در این مطالعه به منظور بازسازی تغییرات تراز دریا با استفاده از نوسانات پذیرفتاری مغناطیسی در بخش جنوب شرقی دریای خزر، پنج مغزه رسوبی (K1, K3, K5, K7, N1) از رسوبات بستر خلیج گرگان در امتداد شرق به غرب خلیج برداشت شد. مغزه‌ها ابتدا از نظر میزان پذیرفتاری مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفتند. سپس ماده آلی، کربنات کلسیم، و دانه‌بندی نمونه‌های برداشت شده از مغزه‌ها مشخص گردید. نتایج این مطالعه نشان داد، پذیرفتاری مغناطیسی در این رسوبات، رابطه مستقیمی با میزان اندازه رسوبات حمل شده از خشکی دارد. در زمان‌های پایین آمدن سطح دریا در نتیجه ورود مواد آواری دانه درشت (افزایش درصد ماسه)، میزان پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات افزایش نشان می‌دهد و در زمان‌های بالا آمدن سطح آب دریا در نتیجه افزایش مواد آلی و کاهش اندازه دانه‌ها (افزایش درصد گل) میزان پذیرفتاری مغناطیسی کاهش یافته است. همچنین ارتباطی بین پذیرفتاری مغناطیسی و تغییرات میزان کربنات کلسیم در رسوبات مشاهده نشد. نتایج این پژوهش نشان داد، استفاده از منحنی‌های پذیرفتاری مغناطیسی در کنار سایر داده‌ها از جمله داده‌های زمین‌شناسی و تاریخی در بخش‌هایی که امکان بازسازی تغییرات دریا با چالش رو به رو است می‌تواند ایده‌ای مناسب جهت بازسازی محیط‌های دریایی خصوصاً مناطق نزدیک به ساحل ارایه نماید.

کلمات کلیدی: مغزه رسوبی، تغییرات تراز آب دریا، پذیرفتاری مغناطیسی، خلیج گرگان، دریای خزر.

۱. مقدمه

پذیرفتاری مغناطیسی می‌گردد. با وجود این که سهم این کانی‌ها به نسبت کانی‌های فرومغناطیس و پارامغناطیس بسیار ناچیز است اما وجود این کانی‌ها در رسوبات باعث کاهش پذیرفتاری مغناطیسی می‌گردد (Febo et al., 2007).

پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات دریایی حاصل تقابل اجزای آواری و کربناته زیستی است. از آن‌جا که اجزای زیستی دیامغناطیس بوده و دارای مقادیر منفی و ضعیف پذیرفتاری مغناطیسی هستند، اجزای آواری کنترل‌کننده اصلی میزان پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات در نظر گرفته می‌شوند. بدین سبب معمولاً فرآیندهایی که کنترل‌کننده ورود ذرات آواری به محیط دریایی هستند، عامل تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی رسوبات محسوب می‌شوند (Febo et al., 2007).

در این مطالعه با توجه به اهمیت خلیج گرگان از نظر بوم‌شناختی و گردشگری سعی گردیده با استفاده از مطالعات پذیرفتاری مغناطیسی بر مغزه‌های رسوبی برداشت شده از بستر خلیج گرگان و انتخاب بهترین مغزه جهت انطباق، تغییرات تراز دریای خزر در هزاره اخیر بازسازی گردد.

۲. روش کار

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

خلیج گرگان حوضه نیمه‌بسته‌ای است که در منتهی‌الیه جنوب خاوری دریای خزر به مختصات عرض جغرافیایی $36^{\circ}49'33''$ و طول جغرافیایی $54^{\circ}14'28''$ واقع شده است (شکل ۱). طول خلیج گرگان ۶۰ کیلومتر و عرض آن ۱۲ کیلومتر و بیشینه ژرفای آن در تراز ۲۸- متری سطح آب دریای خزر ۴ متر است (Lahijani et al., 2009). این حوضه توسط بار ماسه‌ای میانکاله از دریای خزر جدا می‌شود. اکنون اتصال آبی خلیج گرگان با دریای خزر از طریق دهانه‌ای در حد فاصل آشوراده با سرزمین اصلی (چاپاقلی) برقرار است (شکل ۱). این ارتباط به گونه‌ای نیست که خلیج گرگان انرژی امواج دریای خزر را دریافت کند، بنابراین خلیج گرگان از این نظر بیشتر متأثر از فرآیندهای داخل حوضه است (Bagheri et al., 2012). رودخانه‌هایی که خلیج گرگان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عبارتند از: قره سو و باغو که مستقیم وارد خلیج می‌شوند و گرگان‌رود، که در این میان از نزدیک دهانه خلیج وارد دریا می‌شود؛ اما در گذشته ورود این رودخانه نیز در

مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی یا حساسیت مغناطیسی^۱ یکی از روش‌های مفید و سریع برای بررسی تغییرات ویژگی‌های رسوبی نظیر ترکیب کانی‌شناسی توالی‌های رسوبی فاقد رخنمون و تعیین موقعیت دقیق مرزهای زمانی در توالی‌های رسوبی فاقد فسیل شاخص است (Crick et al., 2002; Ellwood et al., 2008).

تغییرات محیطی در اثر دگرگونی‌های اقلیمی با فرآیندهای فرسایش و هوازدگی مختلف و همچنین شرایط متنوع انتقال و ته نشست ذرات، همراه هستند. این تغییرات به نوبه خود موجب تنوع در ترکیب رسوب مانند تغییر در میزان و یا ترکیب کانی‌های مغناطیسی به عنوان کانی‌های معمول در رسوبات می‌گردد که از طریق بررسی‌های پذیرفتاری مغناطیسی قابل شناسایی است. از این روش به ویژه در مطالعه مقاطع چینه نگاری و مغزه رسوبات محیط‌های دریایی، دریاچه‌ای و خشکی استفاده می‌شود و کاربرد زیادی در بررسی مغزه‌های رسوبی دارد. (Mead et al., 1986; Williams et al., 1996; Sun et al., 1998). مزیت این روش، اندازه‌گیری سریع و آسان نمونه‌های کوچک و فاقد جهت یافتگی به وسیله ابزارهای موجود همچون سیستم سیم پیچ القایی متوازن^۲ است. قابلیت مغناطیس‌پذیری تنها مختص کانی‌های فرومغناطیس و آنتی فرومغناطیس نظیر کانی‌های اکسیدی، سولفیدی و سولفات‌ها آهن شامل مگنتیت، پیریت و ... نیست و اجزای مغناطیسی ضعیف‌تر را نیز شامل می‌گردد. کانی‌های رسی و به طور ویژه کلریت، اسمکتیت و ایلیت، سیلیکات‌های آهن منیزیم نظیر بیوتیت، پیروکسن و آمفیبول، سولفیدهای آهن از جمله پیریت و مارکازیت و همچنین کربنات‌های آهن همچون سیدریت و آنکریت می‌توانند در تغییر مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات مؤثر باشند. علاوه بر این حضور کانی‌های دیامغناطیس نظیر کلسیت، کوارتز و همچنین ترکیبات آلی که به طور معمول دارای مقادیر بسیار ضعیف و منفی مغناطیس‌پذیری هستند می‌توانند عاملی در جهت کاهش این پارامتر در رسوبات باشند (Ellwood et al., 2006b). این ترکیبات زمانی که در میدان مغناطیسی القایی قرار می‌گیرند پذیرفتاری مغناطیسی منفی بسیار ضعیفی پیدا می‌کنند و پذیرفتاری مغناطیسی کسب شده در آن‌ها بر خلاف میدان مغناطیسی اعمال شده عمل می‌کند و باعث کاهش

¹ Magnetic Susceptibility

² Bridge Susceptibility

ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی ارسال شدند و به منظور دقت بیشتر اندازه گیری با فواصل ۲ سانتی متری انجام گردید. حساسیت مغناطیسی که در اینجا محاسبه گردیده به صورت نسبت گشتاور القایی (Mi یا Ji) است که به صورت یک میدان مغناطیسی بسیار کم شدت تعریف شده است (Hj):

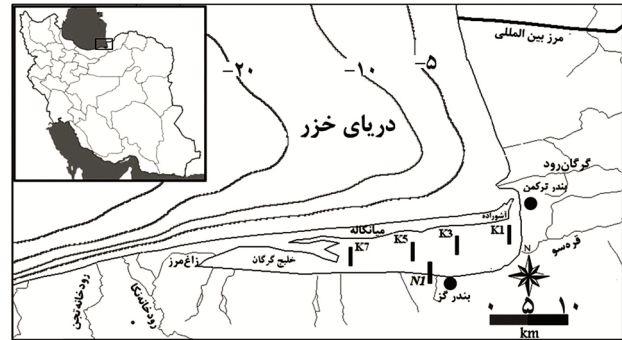
$$J_i = X_{ij} H_j (\text{density} - \text{specific})$$

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

در معادلات فوق z و i عناصر یک بردار میدان مغناطیسی هستند و X_{ij} , K_{ij} میزان پذیرفتاری مغناطیسی را نشان می دهند. در این معادلات (در واحد SI) زمانی که میزان پذیرفتاری مغناطیسی برابر K باشد، نشان دهنده این است که اندازه گیری نسبت به حجم یک مترمکعب (m^3) صورت گرفته است و لذا پذیرفتاری مغناطیسی بدون واحد است. زمانی که مقدار پذیرفتاری مغناطیسی X در نظر گرفته شود نشان می دهد که اندازه گیری نسبت به جرم یک کیلوگرم انجام گرفته و واحد آن m^3/kg است (Ellwood et al., 2006a, 2008). در این مطالعه، از فرمول دوم استفاده شده است؛ بنابراین حساسیت مغناطیسی به دست آمده بدون واحد است. لازم به ذکر است به منظور سهولت در بررسی تغییرات منحنی های پذیرفتاری مغناطیسی، نمونه ها به صورت بهنجار شده ارائه شده اند (شکل ۲) و بدین منظور هریک از داده های متغیر وابسته (مغناطیس پذیری) به بیشینه مقدار مغناطیس پذیری در طول مغزه تقسیم گردیده تا داده های حاصله در بازه ۱- تا ۱ قرار گیرند.

به منظور دانه بندی نمونه ها، پس از باز نمودن مغزه ها و برداشت نمونه با فواصل معین، به کمک دستگاه دانه بندی لیزری (Horbia LA-950) دانه بندی نمونه ها مشخص گردید (جدول ۲). همچنین جهت مشخص نمودن محتوای کل مواد آلی (TOM) از روش سوزاندن (L.O.I) استفاده شد و درصد ماده آلی برای هر نمونه تعیین گردید. بدین منظور مقداری از هر نمونه (حدود ۳ گرم) را در داخل یک بوته چینی ریخته و به مدت ۴-۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده و پس از توزین مجدد درصد ماده آلی گزارش گردید (Abrantes et al., 1999). همچنین جهت تعیین درصد کربنات نمونه ها از روش کوره الکتریکی (۱ ساعت در دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد) استفاده شد و پس از تعیین تغییر وزن نمونه ها، درصد کربنات کلسیم نمونه ها مشخص شد (Heiri et al., 2001).

مقاطع به خلیج گرگان بوده است (Naderi Beni et al., 2014). کرانه های خلیج گرگان کم شیب و اغلب باتلاقی هستند و جهت گردش آب در این محیط پادساعت گرد بوده و سرعت آن تا حد زیادی تحت تاثیر سرعت باد موجود در منطقه قرار دارد (آمارنامه استان مازندران، ۱۳۷۵).



شکل ۱: موقعیت خلیج گرگان و محل برداشت مغزه های رسوبی

۲-۲ نمونه برداری و مطالعات آزمایشگاهی

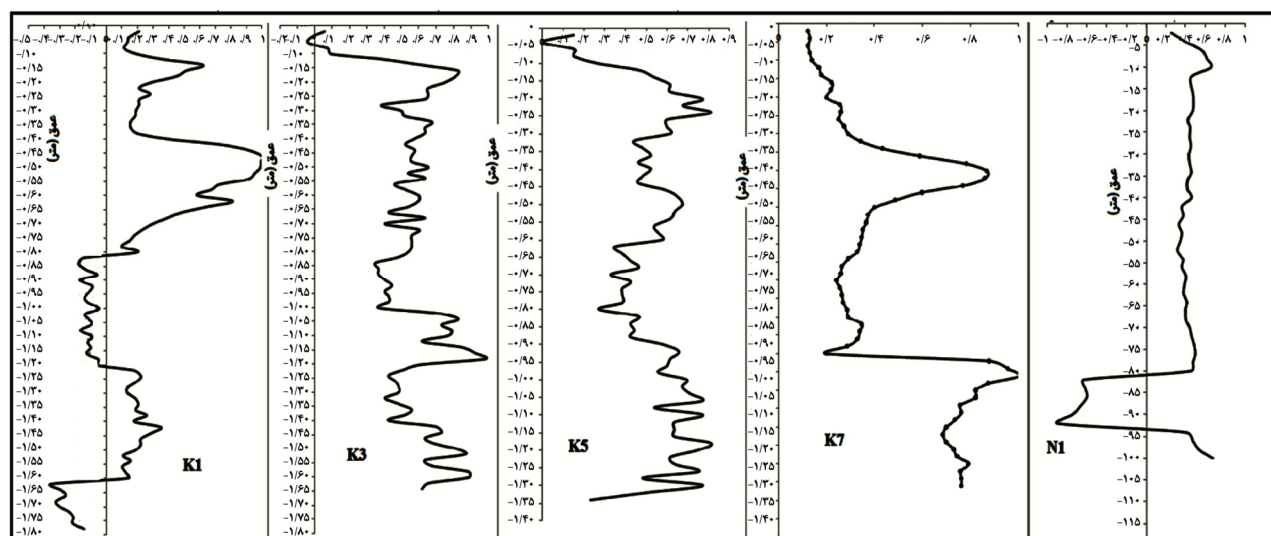
در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات تراز آب دریا در بخش جنوب شرقی دریای خزر (خلیج گرگان) با استفاده از تغییرات میزان پذیرفتاری مغناطیسی از رسوبات بستر، پنج مغزه رسوبی در امتداد شرق به غرب خلیج برداشت شد (جدول ۱) و برای نمونه برداری از دستگاه مغزه گیر ثقلی^۱ استفاده گردید. این دستگاه به روش سقوط آزاد در آب رها شده و در اثر وزن خود وارد رسوبات بستر می شود. پس از برداشت نمونه ها ابتدا و انتهای نمونه ها و موقعیت برداشت نمونه روی آن ها یادداشت شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی مغزه ها، طول هر مغزه و عمق برداشت آن در خلیج گرگان

شماره مغزه	عمق (m)	طول مغزه (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
K1	۲/۶۰	۱/۷۸	۵۴° ۴۲' ۳۴"	۳۶° ۵۱' ۴۹.۹۰"
K3	۳/۲۴	۱/۶۴	۵۳° ۵۴' ۳۸.۸۶"	۳۶° ۵۰' ۳۳.۰۵"
K5	۲/۸	۱/۳۴	۵۳° ۴۸' ۲۹.۰۵"	۳۶° ۵۰' ۲۱.۳۵"
K7	۰/۴	۱/۳۰	۵۳° ۳۶' ۱۸.۷۷"	۳۶° ۴۸' ۲۶.۳۱"
N1	۰/۱	۱/۰۰	۵۳° ۵۴' ۶۲.۵۲"	۳۶° ۴۷' ۶.۱۹"

جهت بررسی رسوبات از نظر پذیرفتاری مغناطیسی (MS)، مغزه ها به صورت مرطوب به آزمایشگاه رسوب شناسی پژوهشگاه

^۱ Gravity Corer



شکل ۲: مقایسه تغییرات حساسیت مغناطیسی در مغزه‌ها (نمودارهای MS بهنجار شده‌اند).

۳. نتایج و بحث

نتایج دانه‌بندی، میزان ماده آلی، کربنات (جدول ۳) و تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های برداشت شده در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه نمونه‌ها از اعماق مختلف برداشت شده‌اند (خصوصاً مغزه‌های K7, N1)، بنابراین روند تغییرات نمودارها متفاوت هستند. بیشترین میزان ماسه (بیشترین ورود ذرات آواری به حوضه) و به پیروی از آن بیشترین مغناطیس‌پذیری مربوط به اعماق ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متری در مغزه K1 و K3، ۲۰ تا ۵۵ سانتی‌متری در K5، ۵۵-۶۰ سانتی‌متری در مغزه K7 و ۱۵-۴۵ سانتی‌متری در مغزه N1 مشاهده گردید. همچنین میزان ماده آلی روند تقریباً ثابتی نشان داد. در مقابل میزان کربنات کلسیم بسیار متغیر بود و بیشترین مقادیر آن در عمق ۵۵ سانتی‌متری (۶۱/۴۴٪) مغزه K3 مشاهده گردید. برای بررسی دقیق‌تر اثر تغییر تراز دریا بر تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی از منحنی که تغییرات شدیدتری دارد (مغزه K1) استفاده گردید. در این منحنی، تغییرات متناوبی از مغناطیس‌پذیری رسوبات در طول توالی مشاهده گردید (شکل ۳). در برخی تحقیقات پیشین، ارتباط بین تمرکز کربنات کلسیم در رسوبات و بزرگی حساسیت مغناطیسی گزارش شده است (Crick et al., 2002; Ellwood et al., 1997). در این مطالعه نیز این رابطه مورد بررسی قرار گرفت، اما رابطه معنی‌داری بین فراوانی کربنات کلسیم موجود در رسوبات خلیج گرگان و مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در آن‌ها به دست نیامد.

جهت محاسبه سرعت رسوب‌گذاری در منطقه از مطالعات پیشین انجام شده (نزدیکترین فاصله با محل مغزه‌های این تحقیق داشتند) توسط دیگر محققین استفاده گردید (Karbassi and Amirnezhad, 2004; Kakroodi et al., 2012; Amini et al., 2012). با استناد به این مطالعات میزان رسوب‌گذاری در این ناحیه ۰/۵ تا ۸ میلی‌متر در سال گزارش شده است (جدول ۲). همچنین جهت تطابق و صحت‌سنجی، از نمودارها، داده‌های تاریخی و زمین‌شناسی محققین مختلف جهت بازسازی تراز دریا در این منطقه استفاده شد.

جدول ۲: سرعت رسوب‌گذاری در دوره‌های مختلف در خلیج گرگان (اقتباس از (Amini et al., 2012)

سرعت رسوب‌گذاری (میلی‌متر در سال)	زمان (سال)	عمق (سانتی‌متر)	دوره	منبع
۸/۶	۲۲۲۵	۱۹۱۷	نوکاسپین بالایی	Amini et al., 2012
۰/۵۹	۸۸۰	۵۲	نوکاسپین بالایی	Amini et al., 2012
۱/۴	۵۰۰	۷۰	نوکاسپین بالایی	Karbassi and Amirnezhad, 2004
۲/۱	۲۴۰۰	۵۲۰	نوکاسپین بالایی	Lahijani et al., 2009
۰/۸۴	۲۲۸۰	۲۰۰	نوکاسپین بالایی	Kakroodi, 2012
۴/۶	۶۵۰	۳۴۰		
۱/۳	۵۹۹۰	۸۰۰	نوکاسپین بالایی	Kakroodi, 2012
۱/۵	۸۹۹۰	۱۴۰۰		
۰/۷۸	۲۲۰۳	۱۸۰	نوکاسپین بالایی	Kakroodi, 2012
۱/۲	۳۶۶۹	۴۵۰		
۲/۹	۹۵۶	۲۵۰	نوکاسپین بالایی	Kakroodi, 2012

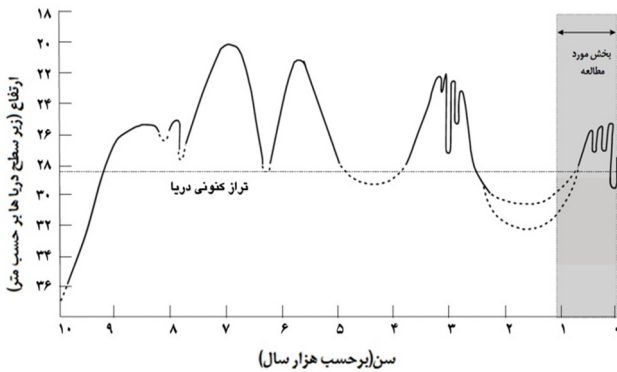
جدول ۳: نتایج دانه‌بندی و مقادیر ماده آلی و کربنات در مغزه‌ها

عمق m	K1			K3			K5			گراول	K7			N1		
	ماسه %	ماده آلی %	کربنات %	ماسه %	ماده آلی %	کربنات %	ماسه %	ماده آلی %	کربنات %		ماسه %	ماده آلی %	کربنات %	ماسه %	ماده آلی %	کربنات %
۵	۱۶/۴۷	۱۰/۲۹	۲۴/۶۷	۰	۱۱/۲۵	۱۹/۵۶	۴/۴۴	۷/۶۷	۴۷/۷۴	۰	۵۲/۰۲	۶/۵۱	۶۲/۱۱	۳۰/۳	۲/۰۱	۶/۶۵
۱۰	۳۶/۸۹	۶/۵۹	۲۴/۴۲	۰/۲۶	۹/۶۵	۲۱/۷۰	۱۵/۵۴	۶/۸	۴۷/۸۶	۱۲/۷	۱۵/۵۲	۶/۵۱	۶۲/۱۱	۶۵/۲۵	۱۲/۷۱	۲۸/۷۶
۱۵	۱۸/۹۴	۶/۲۴	۲۸/۶۲	۴/۸۴	۱۲/۴۴	۲۷/۰۲	۱۵/۲۷	۷/۰۴	۲۴/۶۹	۰	۶۲/۵۱	۲/۶۶	۶۸/۲۸	۷۵/۱۳	۱۵/۵۹	۲۵/۲۲
۲۰	۲۵/۱۷	۶/۸۷	۲۷/۱۲	۱۴/۲۴	۱۲/۰۸	۲۹/۲۶	۱۶/۰۵	۷/۱۹	۵۲/۸۵	۰	۴۲/۹۴	۵/۵۷	۶۱/۰	۳۳/۳۹	۸/۶	۱۹/۴۶
۲۵	۴/۰۲	۷/۶۲	۲۵/۴۷	۱۰/۰۸	۱۰/۴۸	۲۵/۰۲	۲۴/۰۸	۱۲/۲۲	۴۱/۴۱	۰/۲۴	۵۹/۹۶	۴/۷۸	۵۲/۴۰	۷۶/۳۴	۱۲/۲۲	۲۰/۱۹
۳۰	۲۹/۴۱	۶/۴۲	۲۶/۸۴	۰	۱۰/۰۵	۲۵/۴۲	۱۸/۷۱	۹/۱۷	۲۹/۴۱	۰	۱۲/۳۲	۷/۱۸	۲۷/۶۱	۵۷/۵۶	۷/۴۹	۱۷
۳۵	۵۴/۷۹	۱۰/۶۹	۲۰/۴۲	۰	۱۲/۲۵	۲۱/۷۱	۲۰/۲۹	۹/۹۶	۴۰/۹۵	۰	۴/۰۴	۷/۱۶	۲۷/۸۷	۴۱/۱۸	۹/۹۵	۲۲/۴
۴۰	۴۸/۵۵	۵/۷۸	۲۲/۷۹	۲۰/۶۲	۹/۰۴	۲۴/۲۸	۲۱/۶۶	۹/۴۸	۲۵/۶۲	۰	۲۲/۱۱	۶/۲۰	۲۵/۰۶	۴۹/۰۹	۱۲/۸۷	۲۱/۴۲
۴۵	۵۲/۰۹	۷/۰۲	۲۰/۹۷	۶/۲۹	۸/۰۲	۲۶/۴۰	۲۴/۴۱	۸/۵۵	۲۱/۴۶	۰	۲۶/۴۹	۶/۲۶	۲۱/۶۰	۵۹/۸۱	۱۰/۱۴	۲۲/۰۱
۵۰	۴۱/۵۸	۵/۲۲	۲۱/۵۴	۲۷/۷۵	۱۰/۴۶	۲۰/۰	۱۶/۰۲	۷/۶۱	۴۲/۴۸	۰	۱۲/۷۶	۹/۸۸	۲۴/۱۲	۶۴/۸۷	۱۱/۲۶	۲۵/۴۶
۵۵	۲۴/۱	۵/۷۵	۲۱/۰۵	۱۹/۸۶	۹/۷۸	۴۱/۴۴	۲۱/۸۶	۴/۸۵	۱۵/۵۳	۰	۱۵/۲۹	۹/۲۹	۲۶/۱۶	۲۳/۰۲	۱۲/۴۹	۲۸/۲۴
۶۰	۴۴/۲۸	۶/۰۱	۲۲/۴۹	۲۴/۵۴	۹/۶۶	۲۵/۲۲	۴/۵۲	۸/۷۶	۴۳/۵۲	۰	۷۴/۲۲	۱۰/۹۶	۱۴/۴۴	۴۴/۴۴	۱۱/۷۵	۲۶/۵۲
۶۵	۱۸/۱۴	۵/۷۱	۲۹/۶۸	۶۰/۲۲	۱۱/۲۸	۲۱/۶۸	۱۰/۱۷	۱۰/۵۲	۲۱/۵۷	۰	۱۲/۷۸	۱۰/۹۴	۱۱/۴۱	۱۴/۰۳	۱۰/۲۲	۲۲/۲۴
۷۰	۰	۶/۲۷	۲۲/۲۵	۶/۲۸	۱۱/۲۲	۲۵/۵۱	۷/۶۹	۱۰/۱۴	۴۴/۶۸	۰	۲/۵۸	۹/۶۹	۷/۵۲	۹/۵۹	۱۲/۱۸	۲۷/۷
۷۵	۹/۹۱	۶/۷۲	۴۰/۱۴	۴۱/۲۲	۱۱/۰۸	۴۱/۲۱	۷/۴۵	۱۰/۰۸	۴۲/۸۲	۰	۰	۷/۷۵	۱۱/۷۴	۵/۸۱	۱۴/۶۹	۲۲/۱۴
۸۰	۱۰/۸	۷/۱۵	۲۵/۴۶	۱۶/۱۹	۷/۸۶	۴۰/۲۰	۵/۷۴	۹/۷۲	۴۲/۶۵	۰	۸/۸۹	۵/۸۷	۲۶/۰۷	۱۴/۶	۱۲/۲	۲۷/۵۱
۸۵	۲۰/۲۸	۶/۹۷	۲۲/۹۴	۸/۱۱	۷/۹۲	۴۱/۵۰	۱۱/۵۱	۱۰/۸۴	۲۴/۲۵	۰	۱۴/۲۸	۵/۹۵	۲۵/۲۵	۴/۵۷	۲۱/۵۶	۴۸/۸
۹۰	۵/۹	۸/۶۴	۲۴/۶۱	۴/۶۲	۱۰/۷۸	۴۱/۵۲	۶/۹۵	۹/۴	۲۴/۶۴	۰	۱۲/۸۱	۵/۸۹	۲۷/۵۹	۰/۱۱	۱۵/۲۲	۲۴/۲۵
۹۵	۴۲/۷۲	۶/۱۲	۲۲/۲۷	۱۲/۹	۸/۲۸	۴۵/۱۷	۱۰/۴۱	۱۱/۴۶	۳۲/۶۶	۰	۱۰/۸۱	۵/۲۲	۲۲/۲۲	۵۰/۴	۱۵/۴۹	۲۵/۲۱
۱۰۰	۱۹/۲۶	۸/۵۲	۲۸/۶۵	۱۶/۴۵	۷/۴۱	۴۲/۱۶	۰/۲۴	۸/۸۵	۳۳/۲۹	۰	۱۷/۷۳	۵/۱۷	۲۶/۱۴	۰	۰	۰
۱۰۵	۶/۱۲	۷/۶۶	۲۱/۰۱	۵/۲۴	۱۱/۹۸	۲۴/۲۷	۷/۴۱	۸/۹۱	۲۶/۹۹	۰	۱۴/۵	۵/۱۷	۲۶/۴۸	۰	۰	۰
۱۱۰	۹/۶۲	۹/۲۰	۲۸/۶۲	۴/۲۶	۸/۸۲	۴۱/۵۴	۰	۱۰/۲	۳۴/۲۸	۰	۱۴/۴۵	۵/۴۸	۲۲/۱۷	۰	۰	۰
۱۱۵	۲/۶۱	۱۰/۸۷	۲۶/۲۲	۵/۹۷	۱۲/۵۴	۲۸/۶۷	۶/۹۱	۸/۹۱	۲۷/۱۲	۰	۱۷/۰۱	۴/۷۷	۲۰/۲۰	۰	۰	۰
۱۲۰	۲۴/۰۹	۱۶/۲۵	۲۱/۶۱	۲۱/۹۹	۱۲/۱۹	۲۷/۹۷	۵/۲۱	۸/۷۲	۲۷/۶۴	۰	۲۲/۵۶	۴/۷۷	۲۹/۵۰	۰	۰	۰
۱۲۵	۴/۱۴	۹/۰۲	۲۲/۱۴	۱۲/۲۴	۱۱/۵۸	۲۱/۴۲	۰	۱۰/۸۲	۲۲/۰۵	۰	۲/۷۵	۷/۶۱	۲۵/۴۵	۰	۰	۰
۱۳۰	۱۰/۷۱	۹/۵۹	۲۴/۲۰	۱/۹۲	۱۰/۹۴	۲۲/۰۴	۱۰/۵۲	۱۱/۶۱	۲۷/۷۴	۰	۰	۷/۶۴	۲۲/۸۵	۰	۰	۰
۱۳۵	۵/۲۲	۷/۸۱	۲۱/۲۲	۶/۲	۹/۲۶	۲۲/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴۰	۱۱/۰۱	۸/۶۴	۲۱/۵۷	۱۴/۹۶	۹/۵۲	۲۰/۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۴۵	۰	۷/۷۹	۲۵/۵۲	۱۱/۵۶	۸/۰۹	۲۹/۸۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵۰	۱/۴۷	۷/۱۸	۲۶/۰۸	۱۶/۶۶	۱/۲۸	۲۶/۵۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۵۵	۶/۱	۷/۴۵	۲۴/۰۵	۲۲/۵۹	۶/۲۲	۲۲/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶۰	۴۶/۱۵	۸/۵۰	۲۵/۷۱	۱۷/۴۴	۴/۲۹	۲۱/۰۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۶۵	۲/۱۸	۷/۸۱	۲۹/۲۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷۰	۶۴/۶۹	۶/۵۸	۲۸/۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

آواری و خرده سنگ شیمیایی/زیست شیمیایی در رسوبات (است). همچنین رابطه معنی‌داری بین میزان ماده آلی موجود در رسوبات و پذیرفتاری مغناطیسی در رسوبات دیده می‌شود (شکل ۴).

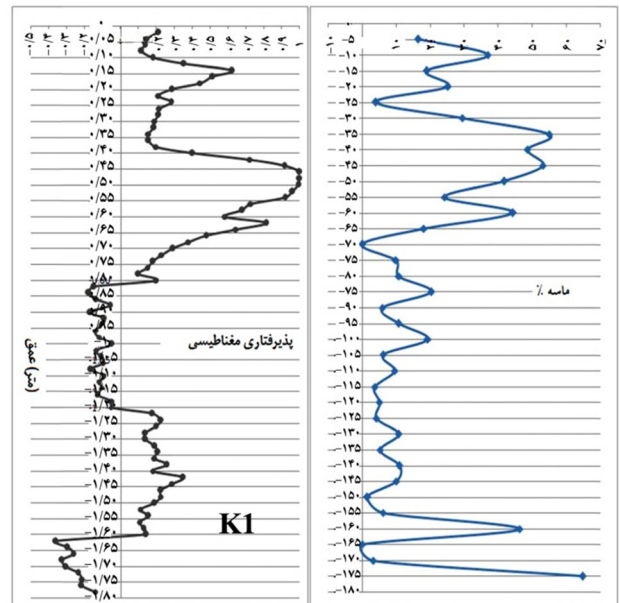
با این وجود، به دلیل رابطه مستقیم بین مقدار پذیرفتاری مغناطیسی و ذرات آواری می‌توان گفت روند تغییرات حساسیت مغناطیسی رابطه معکوسی با فراوانی کربنات کلسیم نشان می‌دهند (احتمالاً به دلیل حضور همزمان کربنات کلسیم به صورت

et al., 2009; Leroy et al., 2011; Kakroodi et al., 2012; (Naderi Beni et al., 2013). این پژوهش‌ها اغلب بر پایه‌ی تفسیر ویژگی‌ها و داده‌های مختلفی است که به طور غیر مستقیم اطلاعاتی را از گذشته زمین‌شناسی در اختیار محققین قرار می‌دهند.

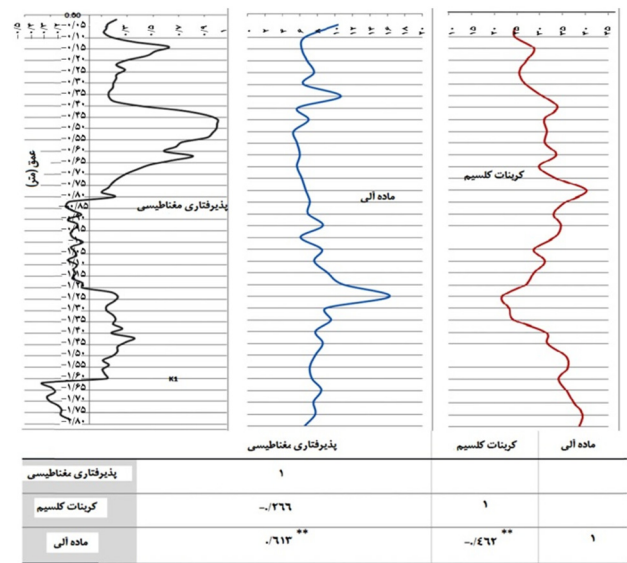


شکل ۵: نوسان تراز آب دریای خزر طی ده هزار سال اخیر (اقتباس از Rychagov, 1997). دوره مطالعه تحقیقات حاضر با سایه خاکستری نشان داده شده است.

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). بسیاری از مطالعات، عمدتاً از نهشته‌های نزدیک ساحل برای بررسی نوسانات سطح آب دریا استفاده شده است (Zenkovich, 1957; Voropaev et al., 1998; Kazanci et al., 2004; Lahijani et al., 2009; kakroodi et al., 2012). در طی ۱۸۰۰ سال گذشته حداقل چهار افزایش عمده تراز آب خزر در قرون پنجم، نهم، پانزدهم و نوزدهم میلادی رخ داده است (Mamedov, 1997) و آخرین نوسان تراز آب دریای خزر در قرن بیستم رخ داد و طی کمتر از صد سال دریای خزر یک چرخه کامل پیشروی و پسروی با ارتفاع سه متر را تجربه نمود (Kroonenberg et al., 2000). علی‌رغم این‌که بسیاری از گزارش‌های تاریخی در خصوص تغییرات تراز دریای خزر بین پژوهشگران مشترک است ولی در بسیاری موارد استنتاج آنان از سطح تراز آب خزر در گذشته با یکدیگر همخوانی ندارد. این اختلاف به ویژه درباره‌ی قرون نخست هزاره‌ی اخیر چشمگیرتر است و هرچه به زمان‌های اخیر نزدیک‌تر می‌شویم، این اختلاف کمتر می‌شود. در برخی از زمان‌ها نظیر پیشروی آب در ابتدای قرن هفدهم و پسروی ناگهانی ابتدای قرن هجدهم این نتایج به هم نزدیک‌تر و توافق



شکل ۳: انطباق تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی و مقادیر ماسه در مغزه K1



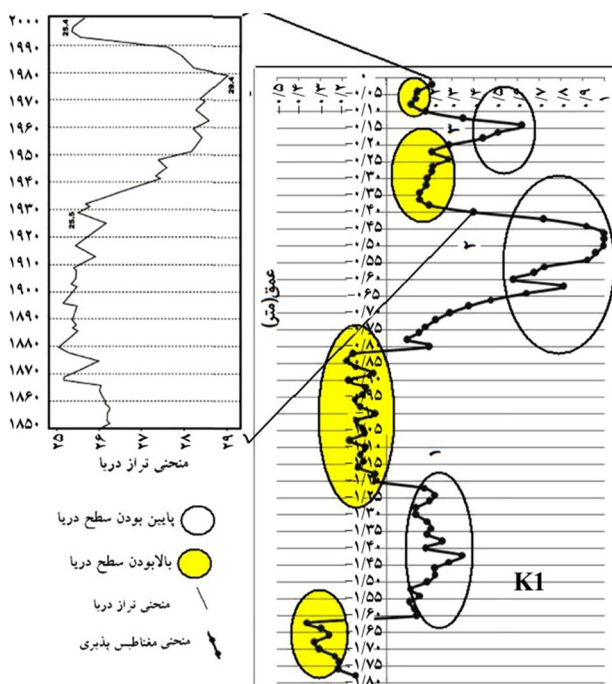
شکل ۴: روند تغییرات کربنات کلسیم، ماده آلی، حساسیت مغناطیسی در مغزه K1 و ارتباط بین آن‌ها

۳-۱ تغییرات تراز دریای خزر

در طی هولوسن سطح آب دریای خزر نوساناتی را با بزرگی گوناگون تجربه کرده است (شکل ۵). این نوسانات موضوع مطالعات بسیاری به ویژه در حوزه علوم زمین بوده است (Varushchenko et al., 1987; Mamedov, 1997; Rychagov, 1997; Kroonenberg et al., 2000; Leroy et al., 2007; Lahijani

۲۰ سانتی‌متری و چرخه سوم از ۲۰ تا ۵ سانتی‌متری مغزه را شامل می‌شود (شکل ۶).

بر اساس تغییرات منحنی پسروری و پیشروی در دهه‌های اخیر (منحنی تغییرات تراز دستگاهی ۱۵۰ ساله) و تطبیق تغییرات با نمودار پذیرفتاری مغناطیسی در مغزه K1 نیز می‌توان نسبت رسوب‌گذاری^۱ را در خلیج گرگان بدست آورد. براین اساس در طی ۱۲۰-۱۵۰ سال گذشته حدود ۴۲-۴۰ سانتی‌متر رسوب‌گذاری در این مغزه صورت گرفته است. بنابراین سرعت رسوب‌گذاری در این منطقه (مغزه K1) ۲/۶-۳/۳ میلی‌متر بر سال بدست می‌آید (شکل ۵). در واقع این مغزه سنی حدود ۶۰۰ سال را مشخص می‌کند که با نمودارهای تغییرات تراز ارایه شده توسط Varushchenko و همکاران (۱۹۸۷)، Brückner (1890) و Karpychev (1998) که حاصل مشاهدات تاریخی و زمین‌شناسی است، همخوانی دارد.



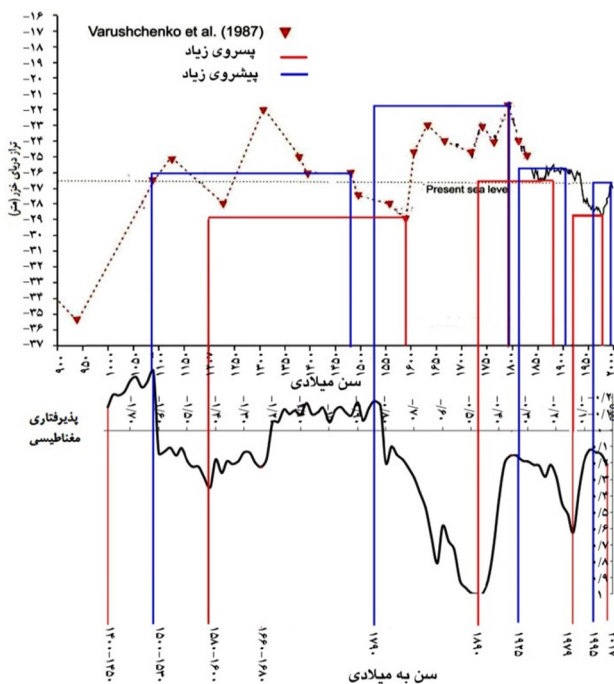
شکل ۶: چرخه‌های پسروری و پیشروی دریا براساس تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی.

بنابراین از سال ۱۴۰۰ تا ۱۵۰۰ سطح دریا شبیه عهد حاضر بوده (۲۶/۷- ~)، از سال ۱۵۰۰ تا ۱۵۸۰ میلادی سطح دریا کاهش چشمگیری داشته (۲۹- ~) و از سال ۱۵۸۰ تا ۱۷۹۰

بیشتری درباره‌ی آن‌ها وجود دارد. با این حال در برخی از دوران‌ها نظیر اواسط قرن پانزدهم اگرچه درباره‌ی تراز مطلق آب دریا توافق نسبی وجود دارد؛ ولی برخی محققین آن را یک بالایستایی (Brückner, 1890) و برخی دیگر نظیر Varushchenko و همکاران (۱۹۸۷) آن را یک پایین‌ایستایی گزارش نموده‌اند. این اختلاف‌ها موجب می‌شود تا در تفسیر دلایل نوسانات خزر و مدل‌های ارایه شده‌ی نوسانات خزر و دلایل آن تحلیل‌های گوناگونی توسط محققین ارایه گردد. از مقایسه منحنی تغییرات تراز دریا و منحنی‌های پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان تغییرات تراز دریا را بازسازی نمود (Wang et al., 2008; Shahkarami et al., 2010; Haghani, 2008).

نتایج این تحقیق نشان داد افزایش در مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی در ارتباط با ورود مواد آواری درشت دانه خصوصاً ماسه به محیط در زمان پایین افتادن سطح آب دریا و کاهش آن در ارتباط با بالا آمدن سطح آب دریا است (با افزایش تراز آب میزان اکسیژن محلول و ورود مواد آواری به محیط کاهش می‌یابد و شرایط مطلوب برای حفظ مواد آلی ایجاد می‌شود). به منظور ارزیابی دقت مطالعه و قابلیت اطمینان روش مورد استفاده، منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر بر اساس داده‌های دستگاهی ثبت تراز آب در منطقه (گیج آشوراده) و منحنی اندازه‌گیری‌های دستگاهی (Frolov, 2003) با تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی (مغزه K1) مقایسه گردید و انطباق آن‌ها، قابلیت اطمینان بالای استفاده از این روش را در بررسی‌های تغییرات سطح آب دریای خزر در این بخش از حوضه به خوبی نشان داد. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، ۳ افزایش مهم در مقدار پذیرفتاری مغناطیسی قابل شناسایی است (شکل ۶) که نشان‌دهنده دوره‌های کاهش سطح آب دریا و افزایش فرسایش رسوبات قاره‌ای است. بالاترین مقدار آن نشان‌دهنده بیشترین پایین افتادگی و کمترین مقدار آن نشان‌دهنده بیشترین بالا آمدن سطح آب دریا است. همچنین ۴ دوره افزایشی نیز قابل شناسایی می‌باشد که مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی به شدت کاهش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده شرایط بالا بودن سطح آب دریا است و به نسبت دوره‌های پایین آمدن، مدت زمان کوتاه‌تری را شامل شده است. به عبارت دیگر می‌توان ۳ چرخه پسروری و پیشروی مهم را بر اساس تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی (مغزه K1) تشخیص داد. چرخه اول از عمق ۱۶۰ تا ۸۵ سانتی‌متری، چرخه دوم از ۸۵ تا

¹ Sedimentation Rate



- Ellwood, B.B.; Petruso, K.M.; Harrold, F.B., 1997. The utility of magnetic susceptibility for detecting 27-palaeoclimate trends and as a stratigraphic correlation tool. *Journal Field Archaeol*, 23: 263-272.
- Ellwood, B.B.; Tomkin, J.H.; Ratcliffe, K.T.; Wright, M.; 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.
- Febo, L.A.; Ellwood, B.B.; Watkins, D.K., 2007. Detrital controls on magneto susceptibility 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.
- Frolov, A.V., 2003. Modeling of the long-term fluctuations of the Caspian Sea level; theory and applications. Moscow, GOES, 172p.
- Gumilev, N., 1980. History of the Caspian sea level changes during the last 2000 years, in: Humidity change in Aral-Caspian region during the Holocene, edited by: Adrianov, B. V., Zorin, L. B., and Nikolaeva, R. V., USSR, Academy of Science, Institute of water problem, NAUKA, Moscow.
- Haghani, S., 2008. Sedimentation of offshore deposits in the southwestern part of the Caspian Sea and contributing factors, MSc thesis, Tehran University, 142p. (In Persian)
- Heiri, O.; Lotter, A.; Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25: 101-110.
- Hoogendoorn, R.M.; Boels, J.F.; Kroonenberg, S.B.; که به نحوی در این پژوهش مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.
- منابع**
- Abrantes, A.; Pinto, F.; Moreira, M., 1999. Ecology of polychaete *Nereis diversicolor*, in the Cannal de Mira (Ria de averio, Portugal). Population dynamics, production and oogenic cycle. *Acta Oceanology*, 20(4): 267-283.
- Amini, A.; Harami, R.M.; Lahijani, H.K.; Mahboubi, A., 2012. Holocene sedimentation rate in Gorgan Bay and adjacent coasts in southeast of Caspian Sea. *Journal of Basic Applied Science Research*, 2(1): 289-297.
- Bagheri, H.; Darvishbastami, K.; Sharmad, T.; Bagheri, Z., 2012. Assessment of heavy metals distribution in Gorgan bay. *Journal of Oceanography*, 11: 65-72. (In Persian)
- Brückner, E., 1890. Klima-Schwankungen seit 1700: nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, E. Holzels.
- Crick, R.E.; Ellwood, B.B.; Feist, R.; El Hassani, A.; Schindler, E.; Dreesen, R.; Over, D.J.; Girard, C., 2002. Magnetostratigraphy susceptibility of the Frasnian/Famennian boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181: 67-90.
- Ellwood, B.B.; Balsam, W.L.; 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.; Koptikova, L., 2006b. Stratigraphy of the Middle Devonian boundary: formal definition of the susceptibility magnetostratotype in Germany with comparisons to sections in the Czech Republic, Morocco and Spain. *Tectonophysics*, 418: 31-49.

- Caspian coast, Iran. *Quaternary International*, 197: 55-71.
- Lahijani, H.A.K.; Rahimpour-Bonab, H.; Tavakoli, V.; Hosseindoost, M., 2009. Evidence for Late Holocene high stands in Central Guilan–East Mazanderan, South Caspian coast, Iran. *Quaternary International*, 197: 55-71.
- 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 palaeo environmental records from the Anzali and Amirkola lagoons (south CS): vegetation and sea level changes: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302: 415-434.
- Leroy, S.A.G.; Marret, F.; Gibert, E.; Chalieu, F.; Reyss, J.L.; Arpe, K., 2007. River inflow and salinity change in the Caspian Sea during the last 5500 years. *Quaternary Science Reviews*, 26: 3359-3383.
- Mamedov, A.V., 1997. The late Pleistocene-Holocene history of the Caspian Sea. *Quaternary International*, 41/42: 161-166.
- Mead, G.A., Lisa, T., LaBrecque, J.L., 1986. Oligocene paleoceanography of the South Atlantic: Paleoclimatic implications of sediment accumulation rates and magnetic susceptibility measurements. *Paleoceanography*, 1(3): 273-284.
- Naderi Beni, A.; Lahijan, H.; Pourkerman, M.; Jokar, R.; Hosseindoost, M.; Djamali, M.; Andrieu-Ponel, V.; Marriner, N.; Kamkar, A., 2014. Caspian Sea level changes at the end of Little Ice Age and its impacts on the avulsion of Gorgan River: a multidisciplinary case study from southeastern flank of the Caspian Sea, *Mediterranean*, 22: 145-155.
- Naderi Beni, A.; Lahijani, H.; Moussavi Harami, R.; Leroy, S.A.G.; Shah-hosseini, M.; Kabiri, K.; Tavakoli, V., 2013. Development of spit-lagoon complexes in Simmond, M.D.; Aliyeva, E.; Babazadeh, A.D.; Huseynov, D., 2005. Develop of Kura delta, Azarbaijan; a record of Holocene Caspian Sea-level changes. *Marine Geology*, 222-223: 359-380.
- Kakroodi, A.A., 2012. Rapid Caspian Sea-level change and its impact on Iranian coasts, PhD thesis, Delft University, Netherland, 121p.
- Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B.; Hoogendoorn, R.M.; Mohammad 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: 93-103.
- Karbassi, A.R.; Amirnezhad, R., 2004. Geochemistry of heavy metals and sedimentation rate in a bay adjacent to the Caspian Sea, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(3): 191-198.
- Karpychev, Y.A., 1998. Dating of regressive stages in the Caspian Sea using ¹⁴C. *Vodnye resursy*, 25: 274-278.
- Kazanci, N.; Gulbabazadeh, T.; 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.; Abdurakhmanov, G.M.; Aliyeva, E.G.; Badyukova, E.N.; van der Borg, K.; Hoogendoorn, R.M.; Huseynov, D.; Kalashnikov, A.; Kasimov, N.S.; Rychagov, G.I.; Svitoch, A.A.; Vonhof, H.B.; Wesselingh, F.P., 2007. Solar forced 2600 BP and Little Ice Age high-stands of the CS. *Quaternary International*, 173-174, 137-143.
- Kroonenberg, S.B.; Badyukova, E.N.; Storms, J.E.A.; Ignatov, E.I.; Kasimov N.S., 2000. A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores. *Sedimentary Geology*, 134: 257-274.
- Lahijani, H.A.K.; Rahimpour-Bonab, H.; Tavakoli, V.; Hosseindoost, M., 2009. Evidence for Late Holocene high stands in Central Guilan–East Mazanderan, South

- closed basins in time. Moscow, Nauka, 240p.
- Voropaev, G.V.; Krasnozhan, G.E.; Lahijani, H., 1998. Riverine sediments and stability of the Iranian coast of the Caspian Sea. *Water Resources*, 25: 747-758.
- Wang, X.Y.; WU, L.; Zhang, G.S., 2008. Characteristics and environmental significance of magnetic susceptibility and grain size of lake sediments since Holocene in Chaohu Lake, Anhui Province. *Scientia Geographica Sinica*, 28(4): 548-552.
- Williams, B.C.; Gatti, M.; Goldberg, M.L., 1996. Bipolar spindle attachments affect redistributions of ZW10, a *Drosophila* centromere kinetochore component required for accurate chromosome segregation. *Journal of Cell Biology*, 134(5): 1127-1140.
- Zenkovich, V.P., 1957. Structure of the south-east coast of the Caspian Sea. *USSR Academy of Sciences, Oceanographic Commission Works*, 2: 4-1.
- response to Little Ice Age rapid sea level changes in the central Gilan coast, South CS, Iran. *Geomorphology*, 187: 11-26.
- Rychagov, G.I., 1997. Holocene Oscillations of the Caspian Sea and forecasts based on paleogeographical reconstructions. *Quaternary International*, 41/42: 167-172.
- Shahkarami, S.; Rahimpour Bonab, H.; Lahijani, H.; Leroy, S.; Shahosseini, M., 2010. Reconstruction of Sea level changes using magnetic susceptibility of bed sediments. *Sedimentary facies*, 1: 1-12. (In Persian)
- Sun, F.L.; Cuaycong, M.; Craig, C.A.; Wallrath, L.L.; Elgin, S.C.R., 1998. Toward an analysis of the fourth chromosome: interspersed euchromatic and heterochromatic domains. *National Academy of Sciences. USA*. 39: 775.
- Varushchenko, S.I.; Varushchenko, A.N.; Klige, R.K., 1987. Changes in the regime of the Caspian Sea and