

بررسی فرایندهای کنترل‌کننده رسوب‌گذاری و تأثیر آنها بر توزیع جانداران و آثار زیستی در بخش دور از ساحل دریای خزر (سواحل لنگرود تا رودسر)

هدیه عباسیان^(۱*)، عبدالحسین امینی^۲ و حمید علیزاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۲- دانشیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۳- استادیار موسسه ملی اقیانوس‌شناسی، تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۱۶

چکیده

مطالعه همزمان رسوب‌شناسی، محتوای فسیلی و ساختارهای رسوبی در رسوبات سخت نشده بستر دریای خزر باعث فهم بهتر شرایط محیطی و نقش آنها در توزیع جانداران و آثار زیستی می‌شود. در این مطالعه با بررسی این پارامترها در داده‌های مغزه‌ها، شرایط محیطی در یکی از محیط‌های عهد حاضر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مطالعه برای نخستین بار در ایران نتایج حاصل از روش سی تی اسکن^۱ در مطالعات رسوب‌شناسی را در بازسازی محیط رسوبی در طول مغزه‌های به دست آمده از بخش دور از ساحل دریای خزر در سواحل لنگرود، مورد استفاده قرار می‌دهد. نتایج به دست آمده از این مطالعه، منجر به شناسایی سه رخساره رسوبی و یک ایکنورخساره^۲ در رسوبات بستر دریای خزر شده که تناوبی از شرایط پر انرژی (جریان‌های توربیدیتی با چگالی پایین) و شرایط آرام را نشان می‌دهند. شرایط مذکور منجر به گسترش نهشته‌های همی پلاژیک همراه با میان لایه‌های گل سیلنتی در آنها شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که فرایندهای رسوب‌گذاری تأثیر قابل توجهی بر روی شرایط محیطی، توزیع جانداران و آثار زیستی دارند.

واژه‌های کلیدی: آثار زیستی، دریای خزر، روش سی تی اسکن در رسوب‌شناسی، سواحل لنگرود، فرایندهای کنترل‌کننده رسوب‌گذاری

مقدمه

بعضی از موجودات کف‌زی ایجاد می‌شود، باعث فهم دقیق‌تر شرایط محیطی می‌شود. این گونه مطالعات در نهشته‌های قدیمی، به ویژه در رسوبات دریایی بسیار صورت گرفته است، در حالی که در رسوبات سخت نشده عهد حاضر، به دلیل محدودیت‌های روش‌های بررسی، به ویژه در تشخیص ساختارهای زیستی، مقدور نبوده است. با این وجود، مطالعاتی درباره ارتباط آثار زیستی با اندازه ذرات در بخش‌های ساحلی (Dashtgard et al., 2008)، برقراری ارتباط بین توزیع ساختارهای زیستی و عوامل محیطی

تغییر شرایط محیطی و ناپایداری این شرایط در طول رسوب‌گذاری با تغییر در تنوع، توزیع و فراوانی موجودات کف‌زی، نحوه فعالیت آنها و در نتیجه تغییر در ساختارهای زیستی همراه است (Pearson and Rosenberg, 1978; Roads and Boycr, 1982; Aller, 1989; Michaud et al., 2003; Taylor et al., 2003). بر این اساس، مطالعه همزمان رسوب‌شناسی، محتوای فسیلی، ساخت و بافت‌هایی که در بستر زیست توسط

* نویسنده مرتبط abasian@khayam.ut.ac.ir

1. Ct-Scan
2. Ichnofacies

حوضه خزر انجام شده که هدف از این مطالعات فهم سازوکار و دلیل تغییرات سطح آب دریا است، با این وجود هنوز به طور دقیق عوامل کنترل کننده سطح آب دریا مشخص نشده است (Renssen et al., 2007; Alizadeh et al., 2008b). دریای خزر بزرگترین توده آبی درون خشکی در جهان به شمار می آید. این دریا با مساحت $3/9 \times 10^5$ کیلومتر مربع و حجم $7/8 \times 10^4$ کیلومتر مکعب، و ۴۴ درصد حجم کل آب های دریاچه ای جهان را به خود اختصاص می دهد (Boomer et al., 2005). دریای خزر از نظر ژرفا، محدوده جغرافیایی، ریخت شناسی بستر و ویژگی های آبشناختی به سه بخش شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می شود (Chicherina et al., 2004; Marret et al., 2004). منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی سواحل خزر در محدوده ورودی رودخانه پلرود به دریا واقع است (شکل ۱). شوری در بخش جنوبی حدود ۱۳٪ است (Parr et al., 2007) و میزان اکسیژن در بخش های عمیق آن به کمتر از ۲ میلی لیتر بر لیتر می رسد (Diaz and Rosenberg, 1995). مطالعات در بخش جنوبی دریای خزر نشان می دهد که میزان درشت جانداران^۲ از نظر فراوانی به ترتیب شامل کرم های آنلید (۴۴ درصد)، خرچنگ سانان (۳۷ درصد) و نرم تنان (۱۸ درصد) است. تراکم گونه ها و توده های زیستی با افزایش عمق کاهش می یابد، که این کاهش در فراوانی گونه ها به شرایط کم اکسیژنی و بی اکسیژنی نسبت داده می شود (Parr et al., 2007).

کمترین فراوانی بادهای توفانی در بخش خزر جنوبی روی می دهد، امواج حاصل از باد در انتهای بخش جنوبی در کرانه های ایران با وجود ضعیف شدن سرعت باد، دارای مقادیر قابل ملاحظه ای است. به گونه ای که امواج با ارتفاع ۳ متر هر ساله در آب های نزدیک ساحل ایران ایجاد می شوند (Koshinskii, 1975). جریان های آبی دریای خزر از سیستم معینی پیروی می کنند. این جریان ها در کرانه های جنوبی (سواحل کشورمان) به سمت خاور منحرف می شوند و در طول کرانه های خاوری به طرف شمال می روند و به همین ترتیب گردش دورانی خود را ادامه می دهند. مسیر این جریان ها به دلیل وزش باد، غلظت آب و نیروی انحراف در چرخش زمین تغییر می کنند (Koshinskii, 1975).

برای مطالعه حاضر مغزه های تهیه شده از نواحی برون کرانه ای^۳ بخش مرکزی سواحل جنوبی خزر (سواحل لنگرود) مورد استفاده قرار گرفته است. مغزه های مذکور در راستای ورودی رودخانه های پلرود و شلمان رود در دو بخش تهیه شده اند (شکل ۱- الف).

در این منطقه دشت های ساحلی در حدفاصل بین دریا و رشته کوه های مجاور وسعت کمی دارند و فلات قاره و بخش های نزدیک خط ساحلی دارای شیب های تندی هستند (شکل ۱- ب و ج). چنان که بخش عمیق بستر (عمق ۱۰۰ متر) تقریباً در فاصله ۱۴ کیلومتری از ساحل واقع است (شکل ۱- ج) و بخش کم عمق نیز تا حدودی به پیروی از وضعیت عمومی بستر دریا دارای

در منطقه بین کشندی (Michaud et al., 2005)، در منطقه فلات قاره (Martin et al., 2005)، در منطقه شیب قاره (Handerson et al., 1999) و آثار پای پرندگان در تالاب های آب شیرین ساحلی (Genise et al., 2009) صورت گرفته است.

توصیف محیط های رسوبی با استفاده از داده های مغزه به دلیل عدم امکان بررسی پارامترهایی مانند ساختارهای رسوبی، شکل هندسی، آثار فسیلی و سطوح لایه بندی دشوار است. امروزه استفاده از تصاویر سی تی اسکن تهیه شده از مغزه ها، به منظور بررسی ساختارهای رسوبی به ویژه ساختارهای زیستی و تعیین پارامتر شماره سی تی^۱ به عنوان ابزاری بسیار حساس نسبت به تغییرات چگالی، ترکیب و اندازه ذرات باعث بالا بردن دقت کیفی و کمی مطالعات رسوب شناسی و استفاده از داده های مغزه در بررسی های محیط رسوبی شده است (Boespflug et al., 1995; Michaud et al., 2003; Mermillod-Blondin, 2003; Gagnoud et al., 2009).

در مطالعه حاضر سعی شده است تا با بررسی مشخصات رسوب شناسی، ساختارهای رسوبی و محتویات زیستی رسوبات عهد حاضر، بر روی مغزه های تهیه شده از بستر دریای خزر در سواحل لنگرود، ضمن ارائه تفسیر کاملی از محیط ته نشست رسوبات در بخش دور از ساحل دریای خزر، فرایندهای مؤثر در رسوب گذاری، توزیع جانداران و آثار زیستی نیز در آنها بررسی شود. مطالعه حاضر سعی دارد تا با استفاده از روش های سی تی اسکن در روی مغزه ها، محدودیت های استفاده از این داده ها را در مطالعات محیط رسوبی بر طرف نماید.

موقعیت جغرافیایی و هیدرودینامیکی منطقه مورد مطالعه

دریای خزر، آرال و سیاه بقایای دریای وسیع تتیس هستند که از اواخر مزوزویک تا اوایل ترشیری، همزمان با تکوین کوه های آلپ، به دو حوضه جدا از هم تقسیم شده که حوضه جنوبی دریای مدیترانه کنونی را تشکیل می دهد و حوضه شمالی که محیطی لب شور بوده، حوضه بسته پاراتتیس را به وجود آورده است (Golanka, 2004). با تکوین و تحول کوه های آلپ، کارپات، بالکان، قفقاز و کوه های آسیای صغیر پاراتتیس نیز به سه حوضه کوچک تر باختری، مرکزی و خاوری تقسیم شد که از میان آنها پاراتتیس خاوری دریا های سیاه، خزر و آرال را زیر پوشش داشته است (Brunet and Cloetingh, 2003; Brunet et al., 2003). دریای خزر پس از جدا شدن از دریای سیاه در دوره پلیوسن (حدود ۵/۵ میلیون سال پیش) چرخه های متعدد نوسان تراز آب را تجربه کرده است، سطح آب دریای خزر در دوره کواترنری بین ۵۰+ تا ۱۱۳- متر تغییر کرده و در طول هولوسن بین ۳۲- تا ۱۸- متر در نوسان بوده (Mamedov, 1997). در نیم قرن گذشته، مطالعات زیادی بر روی نوسانات سطح دریا در

1. Ct-Number
2. Macrofauna
3. Offshore

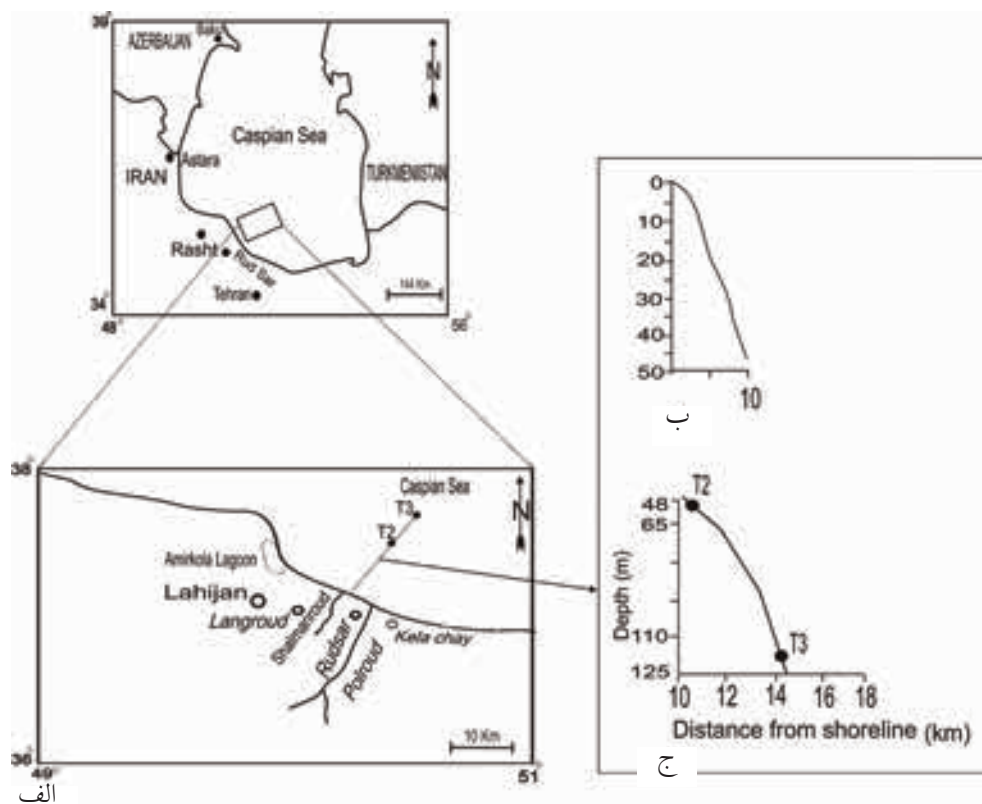
۳۰۰ متر سرچشمه می‌گیرند و عواملی چون دبی رودخانه، شیب ساحل و جریان‌های ناشی از موج شکل دهانه رودخانه‌ها را کنترل می‌کنند (Azimov et al., 1986; Mikhailov, 1997; Voropaev et al., 1998). پلرود از رودخانه‌های با اندازه متوسط است و بیشترین آبدهی آن در ماه‌های فروردین و اردیبهشت است (شکل ۲-الف). بخش‌های بالادست این رودخانه در مناطق کوهستانی واقع است که دارای پوشش گیاهی کمی است و به تدریج در بخش‌های پائین دست تبدیل به مناطقی پوشیده از جنگل می‌شود (Alizadeh et al., 2008a). توپوگرافی و شیب زیاد، حساسیت شدید سازندهای زمین‌شناسی موجود در برابر فرسایش (سازند شمشک، سنگ‌های پالئوژن)، نفوذ پذیری پائین خاک، آب و هوای منطقه (وقوع رگبارهای شدید و کوتاه مدت و بارندگی‌های طولانی مدت در بهار همزمان با ذوب شدن برف‌ها) و نحوه کاربری اراضی، در حوضه آبخیز پلرود از مهمترین عوامل تسهیل و تشدیدکننده پدیده فرسایش است (امینی و شعبانی گورجی، ۱۳۷۹).

پهنای کمی است (شکل ۱-ب). بنابراین امواج و جریان‌های ناشی از آنها از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار در شکل دلتاها هستند (Azimov et al., 1986; Lahijani, 1997). جریان‌های موازی ساحل در منطقه مورد مطالعه تنها باعث تشکیل پشته‌های دهانه‌ای زیر آبی و لاگون‌های جانبی می‌شوند و بر موقعیت دهانه رودخانه‌ها تأثیری نمی‌گذارند (Alizadeh et al., 2008a). بررسی‌ها نشان می‌دهند که سواحل گیلان از نوع ماسه‌ای است و متناسب با رسوبات ساحل، با افزایش عمق رسوبات بستر دانه ریزتر می‌شوند (Alizadeh et al., 2008a).

مشخصات حجم رسوب و آبدهی آب رودخانه‌های ورودی به منطقه، شامل شلمان رود و پلرود در جدول ۱ ارائه شده است. شلمان رود جزو رودخانه‌های کوچک به شمار می‌رود که بیشترین آبدهی آن در پائیز و همچنین در ماه‌های اسفند و فروردین صورت می‌گیرد (شکل ۲-ب). در این منطقه، رودخانه‌های کوچک از تپه‌های پوشیده از جنگل با ارتفاع متوسط ۲۰۰ تا

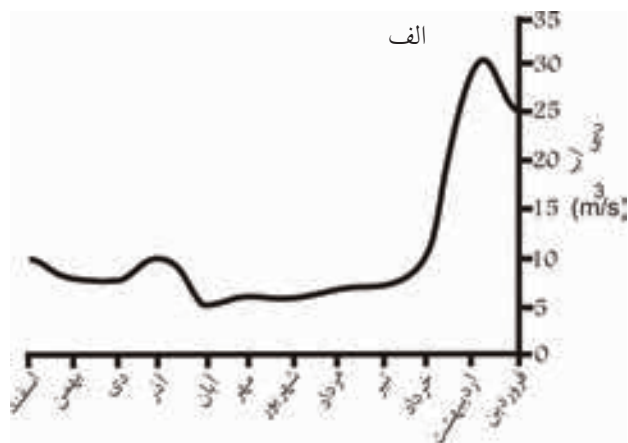
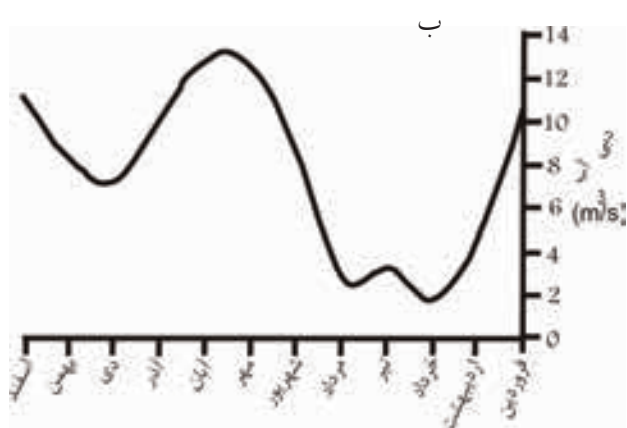
جدول ۱- مشخصات رودخانه‌های پلرود و شلمان رود

نام رودخانه	طول رودخانه (km)	آبدهی آب (m ³ /y)	حجم رسوب (tons/y)
رودخانه پلرود	۸۰	۴۷۶۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
رودخانه شلمان رود	۵۴	۲۲۲۰۰۰۰۰	۳۷۲۹/۶



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محل‌های نمونه‌برداری. (الف) نیم رخ توپوگرافی مربوط به محیط‌های پیش ساحلی^۱ و جلوی ساحلی^۲ (ب) و برون کرانه‌ای (ج) در طول مسیر نمونه‌برداری

1. Foreshore
2. Shoreface



شکل ۲- تغییرات میانگین ماهانه آبدهی آب در رودخانه‌های پرلود (الف) و شلمان رود (ب)

غربال‌های استاندارد به روش مرطوب (۱۲۵ میکرون) فسیل‌ها جدا شده و سپس از خشک کردن در آون در زیر بینوکولار بررسی و شمارش شده‌اند (Lewis and McConchi, 1994). به منظور بررسی دقیق‌تر نمونه‌های میکروفسیلی از میکروسکوپ الکترونی دانشکده علوم زمین دانشگاه تهران مدل Ziess DSM ۹۶۲، استفاده شده است.

فرایندهای کنترل کننده رسوبگذاری

فهم دقیق فرایندهای کنترل کننده رسوبگذاری با تکیه بر مطالعه بافت، ترکیب و ساخت رسوبات امکان پذیر است. مغزه‌های مورد مطالعه از منطقه دور از ساحل فلات قاره تهیه شده‌اند. وجود جریان‌های دریایی در این منطقه موجب جابجایی رسوبات و ته‌نشینی آنها در بخش‌های دیگر حوضه می‌شود. بر این اساس مطالعه ترکیب به منظور تعیین دقیق منشأ قاره‌ای یا دریایی بودن رسوبات اطلاعات کلیدی به دست نمی‌دهد (Friedman and Sanders, 1978). از این رو به منظور فهم فرایندهای کنترل کننده رسوبگذاری تکیه اساسی بر روی اندازه ذرات و ساختارهای اولیه بوده است.

لایه‌بندی‌های بسیار نازک تا نازک تیره و روشن از ساختارهای رسوبی اولیه بسیار مهم در مغزه‌ها هستند که در تصاویر حاصل از سی تی اسکن نیز قابل مشاهده هستند (شکل‌های ۵ و ۶) از جمله عوامل مؤثر در تشکیل لایه بندی‌ها در رسوبات تغییر در ترکیب و اندازه رسوبات است (Reineck and Singh, 1980). بنابراین میانگین فراوانی ذرات در حد ماسه ($> 63 \mu\text{m}$)، سیلت متوسط و درشت ($63-10 \mu\text{m}$)، و سیلت ریز تا رس رس ($10-0 \mu\text{m}$) به طور مجزا در لایه بندی‌های تیره و روشن محاسبه شد (جدول ۲) (شکل‌های ۳ و ۴).

بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه میانگین فراوانی ذرات در حد ماسه و به ویژه سیلت متوسط و درشت در لایه‌های روشن نسبت به تیره افزایش می‌یابد، در حالی که میانگین میزان ماده آلی، کربنات کلسیم و تبخیری در آنها، اختلاف چندانی با

روش‌های مطالعه

به منظور بررسی رسوبات بستر دریا در منطقه مورد مطالعه، دو مغزه رسوبی، با طول ۱۴۰ و ۱۳۲ سانتی‌متر تهیه شد. مغزه اول (T2) از منطقه‌ای با موقعیت جغرافیایی 37°N ، $151.03''$ / $22.38''$ ، 50°E در عمق ۵۱ متری دریا و مغزه دوم (T3) از منطقه‌ای با موقعیت جغرافیایی 37°N ، $16.53''$ / $24.93''$ ، 50°E در عمق ۱۷ متری دریا تهیه شد. از مغزه‌های تهیه شده از بستر تصویرهایی با طول ۸۰۰ میلیمتر توسط دستگاه سی تی اسکن با ولتاژ ۱۲۰ کیلو ولتاژ و شدت ۲۱۰ و ۴۵ میلی آمپر تهیه شد. ابعاد مقاطع طولی 916×367 پیکسل، و مقاطع عرضی 512×512 پیکسل است که با فواصل ۸۰ میلیمتری تهیه شده‌اند. تصاویر تهیه شده توسط نرم‌افزار ای فیلم لایت^۱ بازسازی شدند سپس شماره سی تی بر اساس ضریب جذب خطی ماده (μ) نسبت به آب ($\mu_{\text{H}_2\text{O}}$) با فواصل ۴ سانتی‌متری محاسبه شد (رابطه ۱) (Wellington and Vinegar, 1987).

$$\text{CT (Hounsfield units)} = (\mu/\mu_{\text{H}_2\text{O}} - 1) \times 1000 \quad (1)$$

در تصاویر حاصل از سی تی اسکن نقاط تیره نشاندهنده جذب پائین اشعه ایکس و نقاط روشن، نشاندهنده جذب بالای اشعه ایکس هستند (Boespflug et al., 1995). برای انجام آزمایش‌های اولیه رسوب شناسی، مغزه‌ها به فواصل ۴ سانتی‌متری تقسیم شدند و در مجموع بر روی ۷۶ نمونه مورد آزمایش دانه‌بندی، اندازه‌گیری مقدار کربنات کلسیم، اندازه‌گیری میزان ماده آلی، سنجش میزان تبخیری‌ها و بررسی محتوای فسیلی صورت گرفت. تحلیل دانه‌بندی به وسیله دستگاه دانه‌سنجی لیزری صورت گرفت. مقدار کربنات کلسیم موجود در نمونه‌ها به روش حجمی و با اسید کلریدریک یک نرمال صورت گرفت (Lamas et al., 2005). اندازه‌گیری میزان ماده آلی در نمونه‌ها به روش نیمه کمی با اکسید کردن توسط آب اکسیژنه ۳۰ درصد انجام شد (Schumacher, 2002). اندازه‌گیری تبخیری‌ها به روش آبشویی توسط آب مقطر صورت گرفت (Lewis and McConchi, 1994).

به منظور بررسی جانداران موجود در نمونه‌ها، با استفاده از

1. Pixel
2. Efilm Lite™

جدول ۲- مشخصات رسوب شناسی لایه بندی‌های تیره و روشن (جزئیات در شکل ۳ و ۴)

Core No	T2	T3	
Size distribution			
0-10 (µm)			
Dark V.T Bed	95.17	96.15	
Light V.T Bed	77.34	81.55	
Light T Bed	80	82	
10-63 (µm)			
Dark V.T Bed	4.34	3.39	
Light V.T Bed	21.54	17.57	
Light T Bed	19.9	19.79	
>63 (µm)			
Dark V.T Bed	0.48	0.45	
Light V.T Bed	1.11	0.82	
Light T Bed	0.8	3.4	
Grain Size Mean (φ)			
Dark V.T Bed	7.89	8.39	
Light V.T Bed	7.3	7.71	
Light T Bed	7.20	7.4	
Caco ₃ % Om% Eva%			
(D)	16.69	3.07 1.18	15 2.07 2.75
(L)	16.74	3.55 0.95	16 2.17 2.12

به طور کلی توالی‌های رسوبی در مغزه‌های مورد مطالعه شامل نهشته‌های همی پلاژیک همراه با میان لایه‌های نازک گل سیلنتی هستند. در این نوع توالی‌ها، میان لایه‌های گل سیلنتی، نتیجه عملکرد جریان‌های با چگالی پائین (قسمت انتهایی یا دنباله جریان‌های توریدیتی با چگالی بالا، جریان‌های هایپرپیکنال و جریان‌های نفلویدی) هستند که ساز و کار حمل ذرات در آنها غالباً به صورت معلق است.

پیدایش چنین جریان‌هایی با توجه به اندازه رودخانه‌های ورودی در منطقه مورد مطالعه که متوسط (پلرود) تا کوچک (شلمان رود) هستند، دور از انتظار نیست. یکی از مشخصه‌های رودخانه‌های متوسط و کوچک، افزایش میزان آب و رسوب همزمان با وقوع سیلاب‌هایی است که به دلیل بارندگی‌های شدید و ذوب برف‌ها رخ می‌دهند. به دنبال این پدیده، تنوره‌های آب شیرین حاوی مواد معلق وارد دریا شده و بسته به شرایط محیط می‌توانند رسوبات معلق را تا مسافت‌های طولانی دور از ساحل حمل کنند. با توجه به اینکه آب دریای خزر دارای ماهیت لب شور و در نتیجه چگالی پائین نسبت به آب‌های اقیانوسی است، بنابراین مقدار ذرات لازم برای ایجاد جریان‌های هایپرپیکنال در این محیط پائین است (Wheatcroft and Borgeld, 2000; Mulder et al., 2003). افزون بر این، وقوع شرایط توفانی، سامانه‌های بادی قوی در

یکدیگر ندارند (جدول ۲). با این وجود، پارامتر شماره سی تی که تابعی از اندازه ذرات و ترکیب است (Boespflug et al., 1995) در طول لایه بندی‌های نازک روشن (فواصل ۷۲ تا ۶۸ و ۳۲ تا ۲۸ سانتی‌متری از مغزه T2، فواصل ۸۸ تا ۸۰ و ۴۰ تا ۳۶ سانتی‌متری از مغزه T3) نسبت به لایه‌بندی‌های بسیار نازک روشن افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵ و ۶). به رغم تغییر در لایه بندی، میانگین فراوانی اندازه ذرات در آنها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد، بنابراین احتمالاً اختلاف ترکیب رسوبات در لایه‌بندی‌های نازک نسبت به لایه بندی‌های بسیار نازک باعث افزایش شماره سی تی می‌شود که ناشی از نحوه توزیع و پراکندگی کانی‌های تشکیل دهنده رسوبات است و خود تحت تأثیر نیروهای هیدرودینامیکی محیط، شکل، وزن مخصوص و خصوصیات الکتروشیمیایی کانی هاست (Chamley, 1989). افزایش فراوانی سیلت درشت و متوسط و تا حدی ماسه در لایه بندی‌های روشن، شاهدی بر وجود جریان در زمان تشکیل این نهشته‌ها است، در حالی که لایه‌های تیره دارای ظاهری توده ای و همگن هستند. میزان رس در لایه‌های تیره افزایش می‌یابد (شکل‌های ۳ و ۴) بنابراین لایه‌های تیره احتمالاً در شرایط آرام رسوب کرده اند به این نوع از نهشته‌ها، در اصطلاح همی پلاژیک گفته می‌شود (Selley, 1996).

بخش‌های ساحلی و فلات قاره داخلی و وجود لایه بندی در ستون آب نیز موجب تشکیل جریان‌ها و امواج بزرگ مقیاسی می‌شوند که موجب حمل دوباره رسوبات به بخش‌های میانی و خارجی فلات قاره می‌شود.

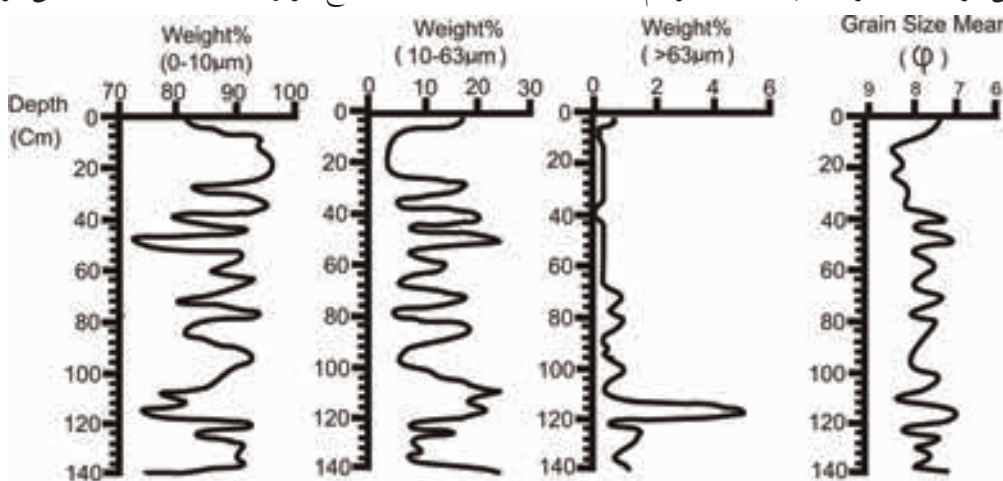
توزیع ارگانسیم‌ها و آثار زیستی

اگر چه در این مطالعه فقط دو مغزه نسبتاً کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است، اما شواهد کافی برای مطالعه توزیع جانداران و آثار زیستی در رخساره‌های رسوبی وجود دارد. بر این اساس تفکیک رخساره‌ها بر اساس مشخصات رسوب شناسی، محتویات زیستی، ساختارهای رسوبی اولیه و نوع آثار زیستی در این محیط امکان پذیر است. مقاطع عرضی تهیه شده از مغزه T2 در اعماق ۶۲ و ۸۰ سانتی متری از بستر دریاچه دارای تراکم بالای آثار

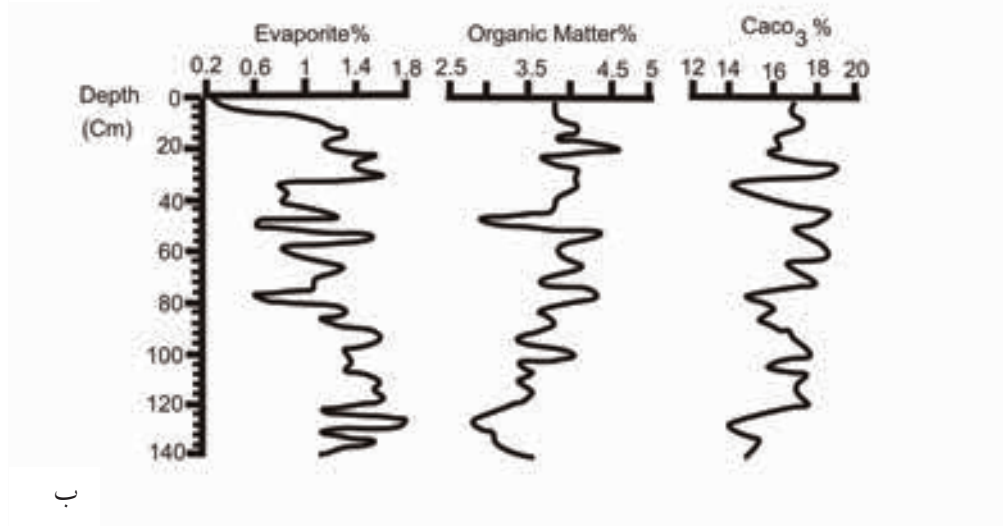
حفاری با ابعاد کوچک هستند (شکل ۵).

در عمق ۶۲ سانتی متری، سه نوع حفاری پلانولیتس^۱، کوکلیکنوس^۲، هلمینتوایدیکنیتس^۳ مشاهده می‌شود (شکل ۵e) در حالی که در عمق ۸۰ سانتی متری حفاری، عمدتاً از نوع پلانولیتس است (شکل ۵h). در سایر مقاطع تهیه شده از اعماق ۳۶، ۴۴، ۵۸، ۶۸، ۹۲ و ۱۰۴ سانتی متری هم آثار زیستی عمدتاً از نوع پلانولیتس ولی با تراکم بسیار پائین تر در مقایسه با عمق ۸۰ سانتی متری است (شکل ۵). در عمق ۲۸ سانتی متری یک اثر حفاری مربوط به دوکفه ای نیز دیده می‌شود (شکل ۵a).

مقاطع تهیه شده از مغزه T3، تراکم بالای آثار حفاری در عمق ۱۱۶ سانتی متری از بستر دریاچه را نشان می‌دهد (شکل ۵j). آثار حفاری در رسوبات این عمق عمدتاً از نوع تریپتیکنوس^۴ است. در مقاطع مربوط به اعماق ۱۰۸ سانتی متری (شکل ۵i)



الف



ب

شکل ۳- تغییرات اندازه ذرات (الف) و میزان ماده آلی، تبخیری و کربنات کلسیم (ب) در طول مغزه T2

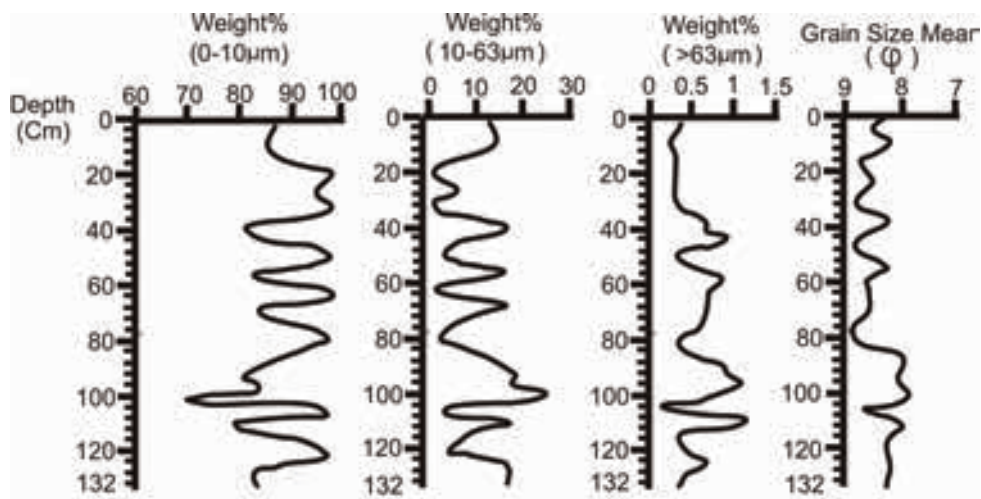
1. Planolites
2. Cochlichnus
3. Helminthoidichnits
4. Treptichnus

(شکل ۴-ب). رسوبات این بازه بر اساس رده بندی بافتی فولک (Folk, 1980) در محدوده گل رسی قرار می گیرد (شکل ۸-ب). تغییر نوع و تراکم حفاری با عمق نشان می دهد که گسترش این آثار در رسوبات مورد مطالعه به شدت تحت تأثیر اندازه ذرات، شوری، کاهش ماده آلی و کاهش اکسیژن است. طبیعی است که هر یک از این عوامل در گسترش موجودات ایجاد کننده آثار حفاری نقش دارند (Miller, 2007).

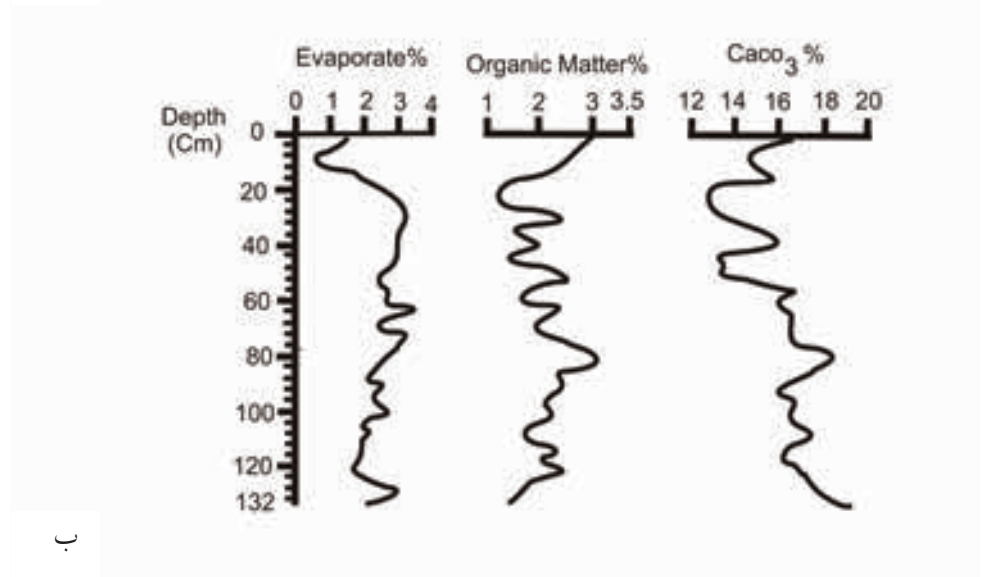
تغییرات سریع در میزان تراکم آثار زیستی و کم بودن این تراکم در بیشتر مقاطع مطالعه شده، نشان دهنده ناپایداری شرایط برای گسترش موجودات ایجاد کننده این آثار است. به نظر می رسد که جریان های چگال، به عنوان فرآیندهای اصلی کنترل کننده رسوب گذاری در این بخش از حوضه، تغییرات سریع در پارامترهای فیزیکوشیمیایی را سبب شده اند. تغییر در مؤلفه های فیزیکوشیمیایی محیط در اثر تناوب این جریان ها منجر به تغییر

و ۱۰۰ سانتی متری (شکل h۶) به ترتیب تراکم حفاری کاهش می یابد. نوع حفاری در قسمت های اخیر از نوع تریپتیکنوس است (شکل ۶). بررسی دقیق آثار زیستی در این مغزه نشان می دهد که لامیناسیون های اولیه در طول مغزه T3 به دلیل تراکم پائین آثار حفاری حفظ شده اند. حفظ لامیناسیون ها و اشکال افقی آثار (شکل j۶) احتمالاً نشان دهنده گسترش آنها در شرایط کم اکسیژنی است (Miller, 2007) (شکل ۷).

تغییر در شکل آثار حفاری با افزایش عمق با تغییرات اندازه ذرات، میزان ماده آلی و تبخیری همراه است (شکل های ۳ و ۴). در مغزه T2 میزان ماده آلی و تبخیری به ترتیب بین ۳ تا ۵ درصد و ۰/۲ تا ۱/۸ درصد تغییر می کند (شکل ۳-ب). رسوبات این بازه بر اساس طبقه بندی بافتی فولک (Folk, 1980) در محدوده گل سیلتی قرار می گیرند (شکل ۸-الف). در مغزه T3 میزان ماده آلی و تبخیری به ترتیب بین ۱ تا ۳ درصد و ۱ تا ۴ درصد تغییر می کند

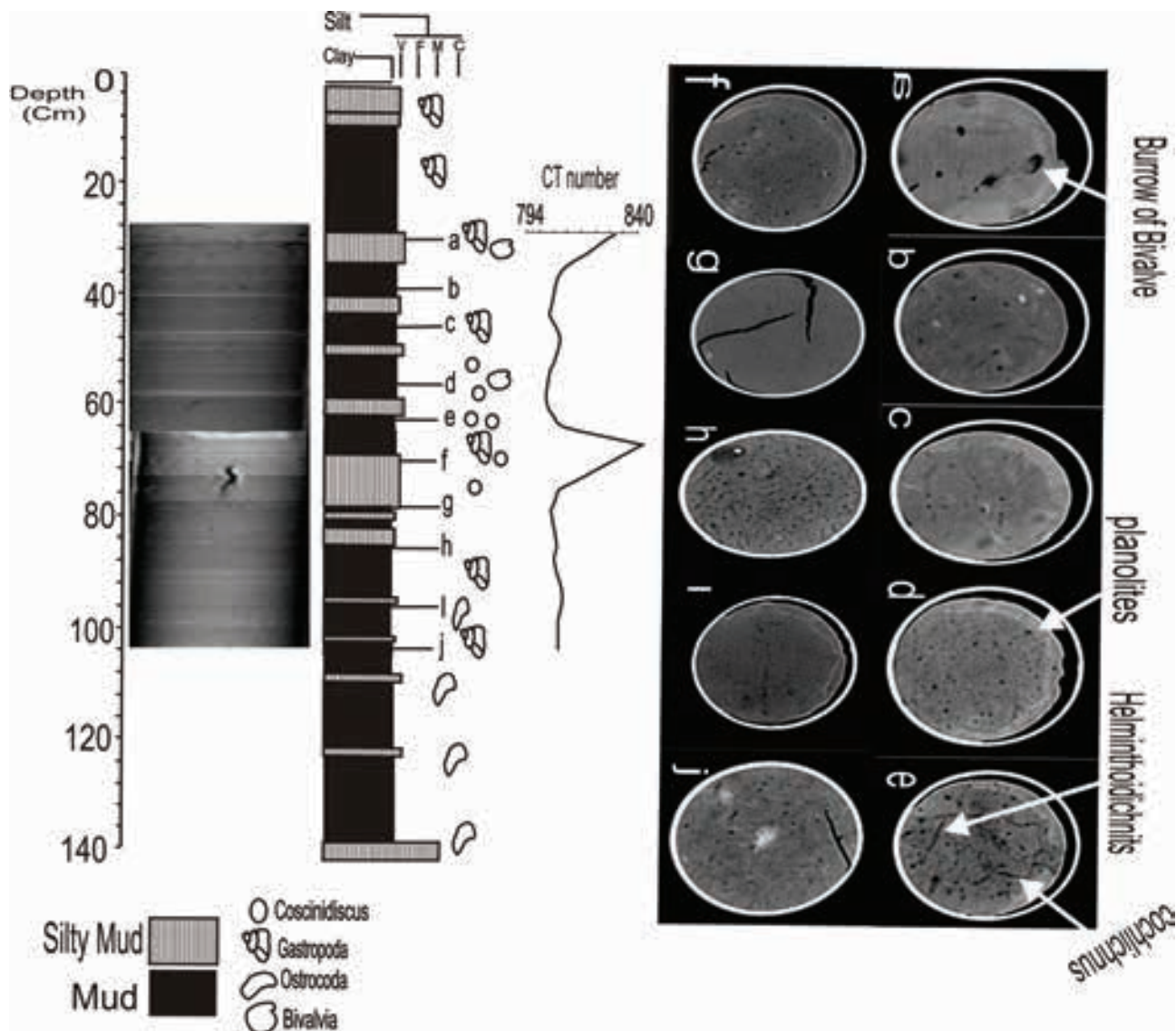


الف



ب

شکل ۴- تغییرات اندازه ذرات (الف) و میزان ماده آلی، تبخیری و کربنات کلسیم (ب) در طول مغزه T3



شکل ۵- تصاویر سی تی اسکن و تغییرات شماره سی تی مغزه T2

مشخصی ندارند (شکل ۳-ب). براساس رده بندی بافتی فولک رسوبات این رخساره، در محدوده گل با درصد بالای سیلت قرار می گیرند (شکل ۹-ب). جانوران غالب در این بخش، استراکد با ابعاد ۰/۵ تا ۱ میلی متر است (شکل ۱۰-الف). تصویر مقاطع تهیه شده در فاصله ۱۰۰ سانتی متری از بستر دریاچه (شکل ۶ج) نشان دهنده آثار زیستی از نوع پلانولیتس با تراکم بسیار پایین در آن است.

رخساره ۲

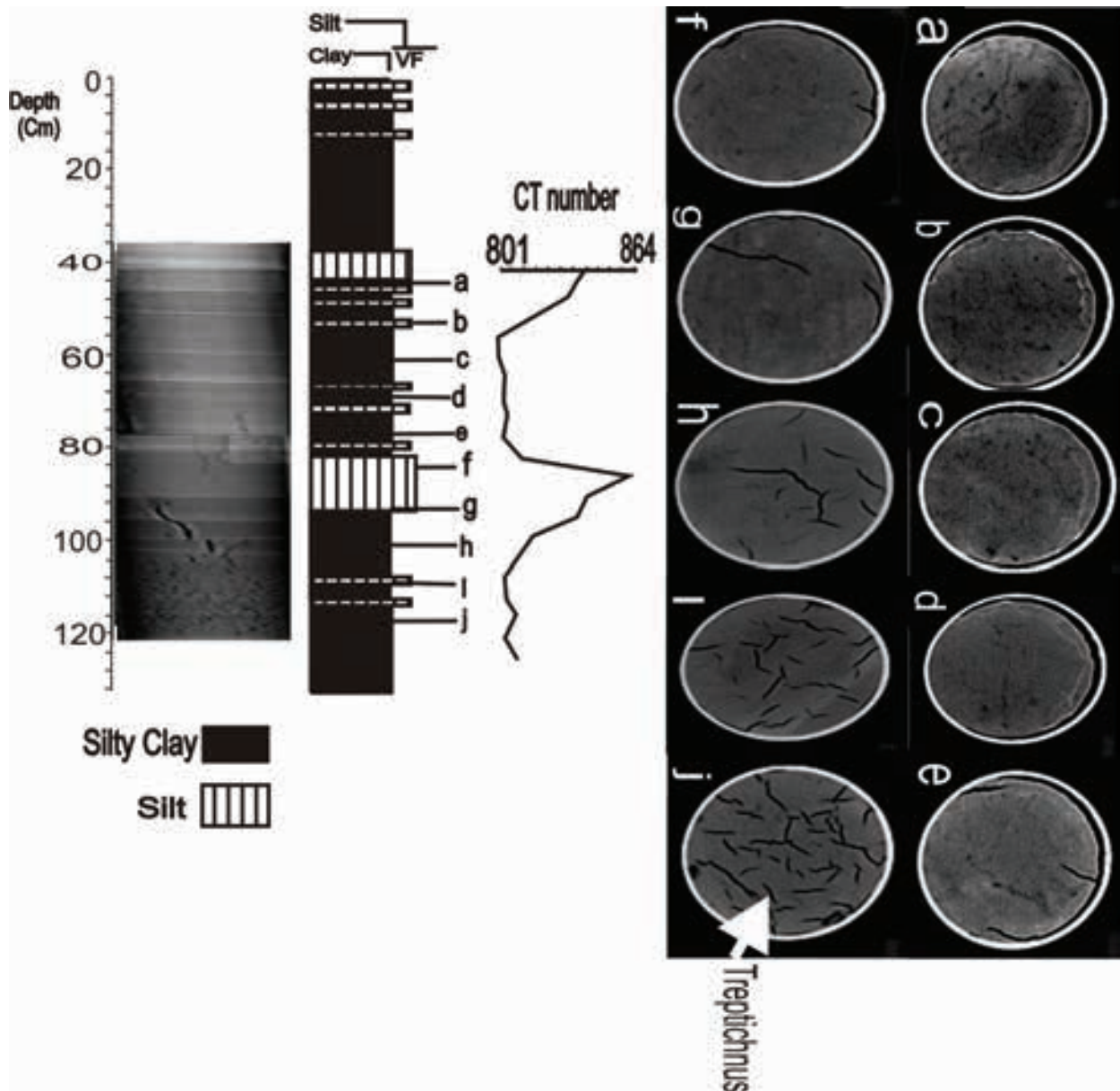
این رخساره در مغزه T2 از عمق ۴ تا ۹۰ سانتی متری از بستر دریاچه گسترش یافته است (شکل ۵) و شامل نهشته های همی پلاژیک همراه با میان لایه های سیلتی گلی است. در این رخساره نیز همانند رخساره ۱ میزان ماده آلی، کربنات کلسیم و تبخیری ها روند مشخصی ندارند (شکل ۳-ب). در این رخساره، فونای

در سطح دسترسی به مواد غذایی شده که مهم ترین عامل تأثیرگذار در گسترش آثار زیستی است. (Taylor et al., 2003). نوع آثار حفاری (پلانولیتس، کولیکنوس، هلمیتوایدیکنیتس، تریپتیکنوس)، ابعاد کوچک آنها و نیز عمق مغزه های مورد مطالعه، مشخصات رخساره موسوم به مرمیا^۱ را نشان می دهد. بر اساس مشخصات رسوب شناسی، نوع، تراکم و نحوه پراکندگی آثار زیستی در رسوبات مورد مطالعه، سه رخساره رسوبی قابل تشخیص است که در زیر به اختصار توصیف می شوند:

رخساره ۱

این رخساره در مغزه T2 از عمق ۱۰۰ تا ۱۴۰ سانتی متری از بستر دریاچه گسترش دارد (شکل ۵) و شامل نهشته های همی پلاژیک همراه با میان لایه های سیلتی تا گلی است. در این بخش از رسوبات، میزان ماده آلی، کربنات کلسیم و تبخیری ها، روند

1. Mermia

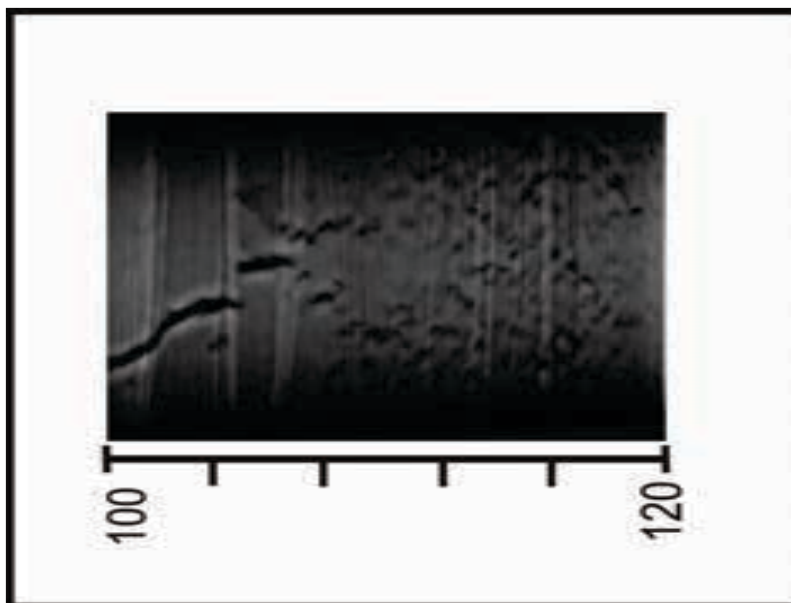


شکل ۶- تصاویر سی تی اسکن و تغییرات شماره سی تی مغزه T3

دیگر مغزه نشان می‌دهد که این خرده صدف‌ها از قسمت‌های کم عمق‌تر حوضه حمل شده‌اند. حضور پوسته دیاتومه‌ها در فواصل ذکر شده، که به نظر می‌رسد عمدتاً به صورت بر جا باشند، معرف وجود شرایط بهینه از نظر میزان شوری، میزان مواد مغذی و دسترسی به نور است (Stoermer and Mattew, 2003).

استراکدها در آن بخش از رخساره ۱ که از نظر بافتی در محدوده گل با در صد بالای سیلت هستند، گسترش دارند در حالی که در رخساره ۲ در بخش‌هایی که از نظر بافتی در محدوده گل با درصد تقریباً مساوی سیلت و رس هستند، شکم پایان گسترش دارند. به نظر می‌رسد در هر دو حالت عامل اصلی کنترل‌کننده گسترش خرده‌های صدف در این رخساره‌ها اندازه رسوبات بستر است. تغییر در اندازه رسوبات در طول مغزه T2 (رخساره ۱ و ۲)

غالب شکمپایان با ابعاد ۲/۴ تا ۴ میلیمتر می‌باشند (شکل ۱۰-ب). در این رخساره در فواصل ۵۶ تا ۷۶ سانتی‌متری از بستر دریاچه پوسته دیاتومه‌های جنس *Coscinodiscus* (شکل ۱۰-ج)، و در فواصل ۲۸ تا ۳۲ و ۴۸ تا ۵۲ سانتی‌متری صدف‌های شفیقه دوکفه‌ای دیده می‌شود (شکل ۱۰-د). بر اساس رده بندی بافتی فولک، رسوبات این رخساره در محدوده گل با درصد تقریباً مساوی سیلت و رس قرار می‌گیرند (شکل ۹-ب). سه اثر زیستی شاخص در این بخش (شامل پلانولیتس، کولیکنوس و هلمینتوایدیکنیتس) مشاهده می‌شود (شکل ۵). خرده‌های صدف دوکفه‌ای در فواصل ۲۸ تا ۳۲ و ۴۸ تا ۵۲ سانتی‌متری دیده می‌شوند که دارای لایه بندی نازک و روشن است. ابعاد یکسان صدف‌ها، وجود جورشدگی در بین آنها و نبود این جانداران در فواصل



شکل ۷- تصویر بخشی از مغزه T3 در عمق ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی متری از بستر دریاچه که در آن لامیناسیون به خوبی حفظ شده است

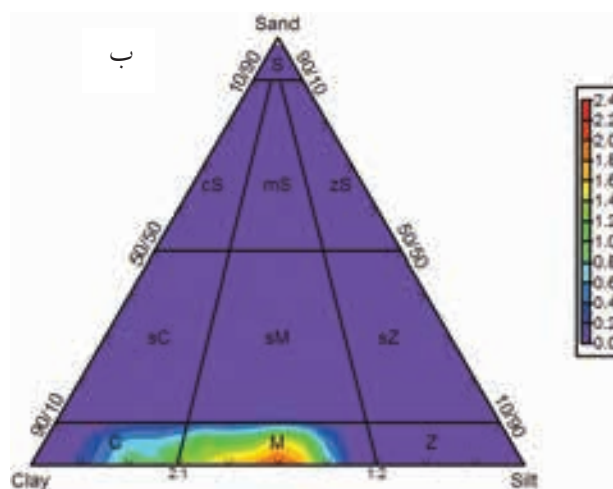
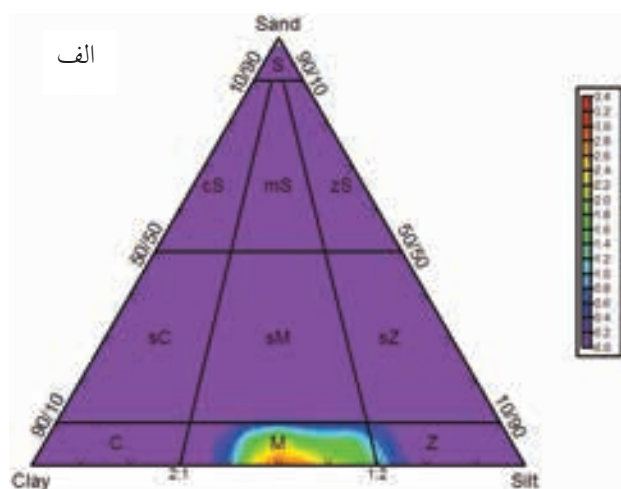
در رخساره‌های ۱ و ۲، ۳ تا ۵ درصد و میزان تبخیری‌ها در این رخساره‌ها ۰/۲ تا ۱/۸ درصد است (شکل ۳-ب). میزان ماده آلی و تبخیری‌ها در رخساره ۳ به ترتیب از ۱ تا ۳ درصد و ۱ تا ۴ درصد تغییر می‌کند (شکل ۴-ب).

میزان شماره سی تی در رخساره‌های ۱ و ۲ بین ۷۹۴ تا ۸۴۰ هانسفیلد^۱ و در رخساره ۳ بین ۸۰۱ تا ۸۶۴ هانسفیلد تغییر می‌کند. افزایش شماره سی تی در رخساره ۳ به مقدار زیاد به تغییرات ماده آلی و تبخیری‌ها مربوط است. حضور عناصری با عدد اتمی بالا مانند گوگرد و کلر در کانی‌های تبخیری، که دارای وزن مخصوص ۲/۱۷ تا ۲/۳۰ هستند موجب افزایش شماره سی تی می‌شود (Boespflug et al., 1995). ماده آلی نیز دارای وزن مخصوص نزدیک به ۱ است که نتیجه وجود عناصری با عدد اتمی پائین مانند کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن در آن است.

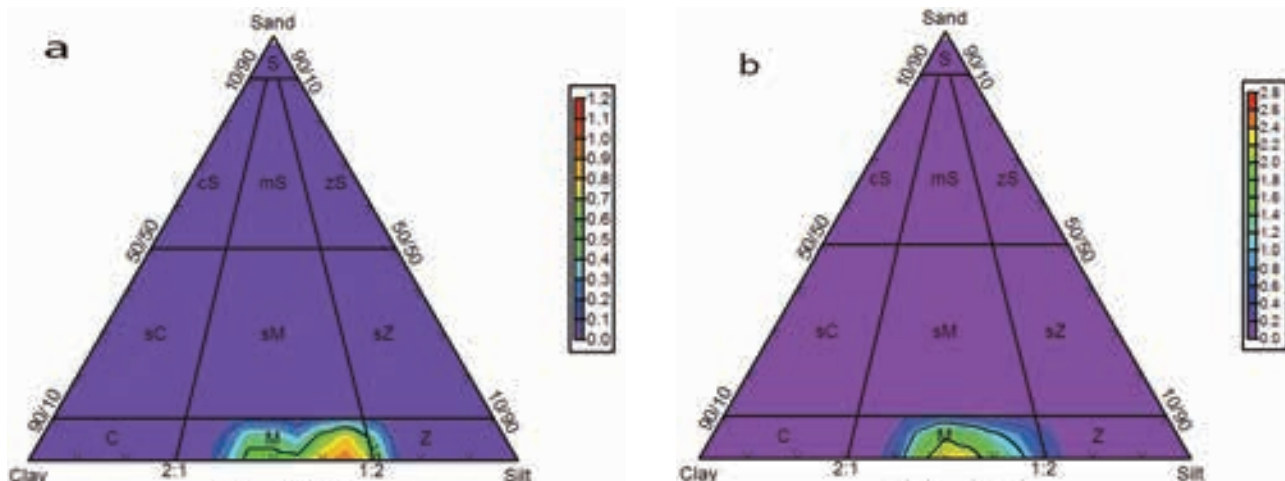
ناشی از تغییر انرژی فرآیندهای کنترل کننده رسوب گذاری است که خود تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، عوامل زمین ساختی و تغییرات سطح آب دریا است.

رخساره ۳

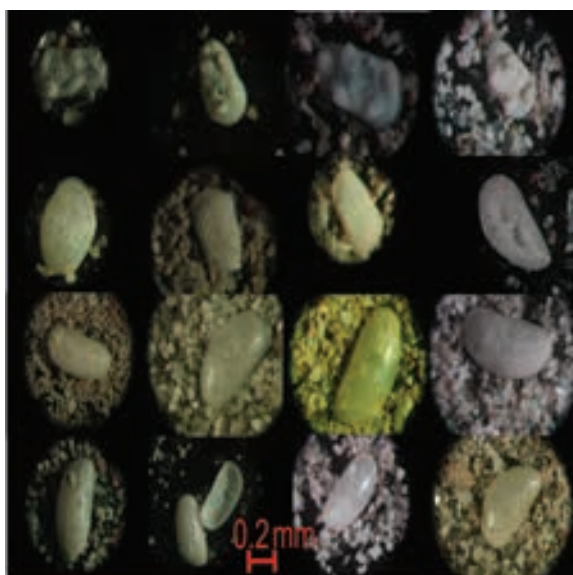
این رخساره مجموعه رسوبات مغزه T3 را در بر می‌گیرد (شکل ۶). بر اساس رده بندی بافتی فولک، اندازه رسوبات در این رخساره در محدوده گل با درصد بالای رس قرار می‌گیرد (شکل ۹-ب). مجموعه جانوری در آن مشاهده نمی‌شود و آثار زیستی در این رخساره از نوع تریپتیکنوس است (شکل ۶). در این رخساره نیز میزان ماده آلی، کربنات کلسیم و تبخیری‌ها روند منظمی ندارد (شکل ۴-ب) اما نسبت به رخساره‌های ۱ و ۲ میزان تبخیری‌ها بیشتر و ماده آلی کمتر است. میزان ماده آلی



شکل ۸- پراکنندگی اندازه ذرات در مغزه‌های T2 (الف) و T3 (ب).



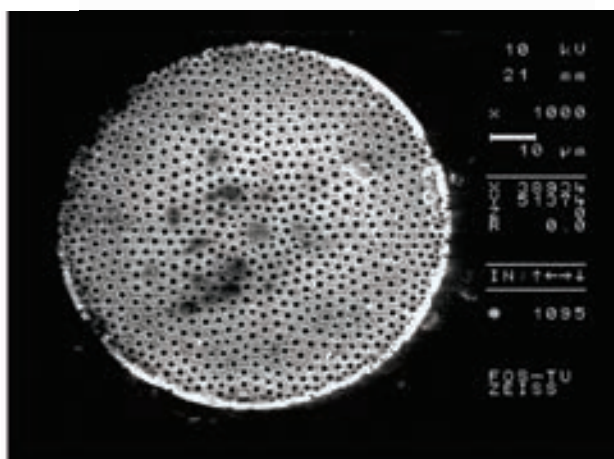
شکل ۹- نحوه پراکنده‌گی اندازه ذرات در فاصله ۱۰۰ تا ۱۴۰ سانتیمتری از بستر دریاچه در مغزه T2 (الف) نحوه پراکنده‌گی اندازه ذرات در فاصله ۴ تا ۹۰ سانتیمتری از بستر دریاچه در مغزه T2 (ب)



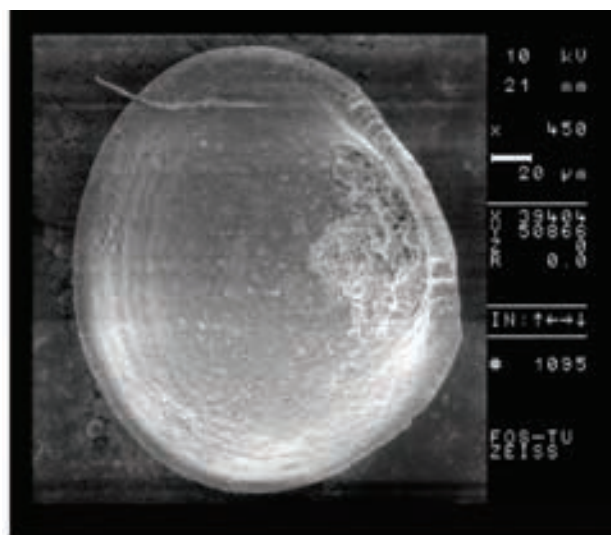
الف



ب



ج



د

شکل ۱۰- مجموعه استراکدهای مشاهده شده در فواصل ۱۰۰ تا ۱۴۰ سانتیمتری مغزه T2 (الف) مجموعه شکم پایان مشاهده شده در فواصل ۴ تا ۹۸ سانتیمتری مغزه T2 (ب) پوسته دیاتومه ها، مربوط به جنس Coscinodiscus در فواصل ۵۶ تا ۷۶ مغزه T2 (ج) نمونه دو کفه ای مشاهده شده در فواصل ۲۸ تا ۳۲ و ۴۸ تا ۵۲ مغزه T2 (د).

- Alizadeh, H., Tavakoli, V. and Amini, A., 2008a. South Caspian River Mouth Configuration Under Human Impact and Sea Level Fluctuations. *Environmental Sciences*, 5, 65-86.

- Alizadeh, H., Rahimpour, H., Tavakoli, V. and Hosseindoost, M., 2008. Evidence for late Holocene highstands in Central Guilan-East Mazanderan, South Caspian coast, Iran. *Quaternary International*.

- Aller, J.Y., 1989. Quantifying sediment disturbance by bottom currents and its effect on benthic communities in a deep-sea western boundary zone. *Deep-Sea Research*, 36, 901-934.

- Azimov, S., Kerimov, A. and Steinman, S., 1986. River delta formation processes along the west Caspian coast and rational use of natural resources in river mouths. Leningrad: Gridrometeoizdat [in Russian].

- Boomer, I., Grafenstein, U., Guichard, F. and Bieda, S., 2005. Modern and Holocene sublittoral ostracod assemblages (Crustacea) from the Caspian Sea: A unique brackish, deep-water environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225, 173-186.

- Boespflug, X., Long, B. and Occhietti, S., 1995. CAT-Scan in marine stratigraphy: a quantitative approach. *Marine Geology*, 122, 281-301.

- Brunet, M.F. and Cloetingh, S., 2003. Integrated peri-Tethyan Basins Studies (Peri-Tethys Programme). *Sedimentary Geology*, 156, 1-10.

- Brunet, M.F., Korotaev, M.V., Ershov, A.V. and Nikishin, A.M., 2003. The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling. *Sedimentary Geology*, 156, 119-148.

- Chamley, H., 1989. *Clay Sedimentology*, Springer-Verlag, 623.

- Chicherina, O.V., Leov, A.V. and Fashchuk, D.Y., 2004. Geographical and Ecological Characteristic of the Caspian Sea and Modern Tendencies in the Evolution of its Ecosystem, *Water Resources*, 31, 271-289.

- Dashtgard, S., Gingras, M. and Pemberton, G., 2008. Grain-size controls on the occurrence of bioturbation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 25, 224-243.

- Diaz, R.J. and Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 33, 245-303.

بر این اساس اگر میزان ماده آلی در رسوبات تا ۱ درصد افزایش یابد شماره سی تی کاهش می یابد (Boespflug et al., 1995). پس کاهش ماده آلی با افزایش عمق نیز باعث افزایش شماره سی تی گردیده است.

بر اساس شواهد موجود، تغییر در اندازه رسوبات بستر زیست (افزایش رس)، کاهش میزان ماده آلی، افزایش شوری و شرایط کم اکسیژنی نسبت به رخساره های ۱ و ۲ از جمله عواملی هستند که در نبود فونای زیستی در رخساره ۳ نقش دارند.

نتیجه گیری

بر اساس مشخصات بافتی، محتوای فسیلی و ساختارهای رسوبی رسوبات مورد مطالعه در قالب سه رخساره قابل رده بندی هستند. رخساره گل سیلتی با ضخامت ۴۰ سانتی متر و غنی از استراکد همراه با لایه بندی های بسیار نازک تا نازک است که میزان ماده آلی، تبخیری ها و کربنات کلسیم در آن به ترتیب بین ۳ تا ۵ درصد، ۰/۲ تا ۱/۸ درصد و ۱۲ تا ۲۰ درصد تغییر می کند. رخساره گلی با ضخامت ۸۶ سانتی متر غنی از شکم پایان همراه با لایه بندی های بسیار نازک تا نازک است که درصد ماده آلی، تبخیری ها و کربنات کلسیم در آن به ترتیب از ۳ تا ۵ درصد، ۰/۲ تا ۱/۸ درصد و ۱۲ تا ۲۰ درصد تغییر می کند. رخساره گلی با ضخامت ۱۳۲ سانتی متر فاقد جانوران همراه با لایه بندی های بسیار نازک تا نازک است که میزان ماده آلی، تبخیری ها و کربنات کلسیم در آن به ترتیب بین ۱ تا ۳/۵ درصد، ۱ تا ۴ درصد و ۱۲ تا ۲۰ درصد تغییر می کند.

بر اساس نوع آثار حفاری (پلانولیتس، کولیکنوس، هلمینتوایدکنیتس، تریپتیکنوس) شناسایی یک ایکنورخساره همراه رخساره های مذکور موسوم به ایکنورخساره مریمیا میسر می شود. بررسی های انجام شده نشان می دهند که ایکنورخساره مریمیا از مشخص ترین ایکنورخساره های مناطق برون کرانه ای و بخش های عمیق محیط های دریاچه ای به شمار می رود (Miller, 2007).

بررسی های رسوب شناسی نشان می دهد که میان لایه های سیلتی موجود در توالی ها، حاصل عملکرد جریان های توربیدیتی با چگالی پائین (جریان های هایپرپیکنال، جریان های نفلوئیدی، دنباله جریان های توربیدیتی با چگالی بالا) هستند که به طور متناوب بخش عمیق حوضه و نهشته های همی پلاژیک آن را تحت تأثیر قرار داده اند.

تغییر در اندازه رسوبات بستر، ترکیب رسوبات، میزان ماده آلی، میزان شوری و اکسیژن از جمله عوامل کنترل کننده توزیع جانوران کف زی و آثار زیستی در منطقه مورد مطالعه هستند.

منابع

- امینی، ع. و شعبانی گورجی، ک.، ۱۳۷۹. مطالعات رسوب شناسی و فرآیندهای زمین شناسی کنترل کننده بار رسوبی در رودخانه پلرود (استان گیلان). *مجله علوم دانشگاه تهران*، ۱۲، ۲۷-۱۴.

- Folk, P.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphil Publishing Company, Austin, Texas, 183.
- Friedman, G.M. and Sanders, J.E., 1978. Principles of Sedimentology, John Wiley & Sons, 792.
- Gagnoud, M., Lajeunesse, P., Desrosiers, G., Long, B., Dufour, S., Larie, J., Mermillod-Blondin, F. and Stora, G., 2009. Litho and biofacies analysis of postglacial marine mud using CT-scanning. *Engineering Geology*, 103, 106-111.
- Genise, J.F., Melchor, R.N., Archangelsky, M., Bala, L.O., Straneck, R. and Valais, S., 2009. Application of neoichnological studies to behavioural and taphonomic interpretation of fossil bird-like tracks from lacustrine settings: the Late Triassic-Early Jurassic? Santo Domingo Formation, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 272, 143-161.
- Glonka, J., 2004. Plate Tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Technophysics*, 381, 235-273.
- Handerson, G., Lindsay, F. and Slowey, N., 1999. Variation in bioturbation with water depth on marine slopes: a study on the Little Bahamas Bank. *Marine Geology*, 160, 105-118.
- Koshinski, S.D., 1975. Characteristics of strong winds in Soviet Seas, part one: The Caspian Sea. Leningrad: Gridrometeoizdat [in Russian].
- Lahijani, H., 1997. Riverine sediments and stability of Iranian coast of the Caspian Sea. Russian Academy of Sciences, Ph.D. Thesis, 180.
- Lamas, F., Irigaray, C., Oteo, C. and Chacon, J., 2005. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineering Geology*, 81, 32-41.
- Lewis, D.W. and Mc Conchie, D., 1994. Analytical sedimentology, Chapman & Hall, 134.
- Mamedov, A.V., 1997. The late Pleistocene-Holocene History of the Caspian Sea. *Quaternary International*, 41/42, 161-166.
- Marret, F., Leroy, S. and Chalie, F., 2004. New organic-walled dinoflagellate cysts from recent sediments of central Asian sea. *Review of Palaeobotany and palynology*, 129, 1-20.
- Martin, P., Boes, X., Goddeeris, B. and Fagel, N., 2005. A qualitative assessment of the influence of bioturbation in Lake Baikal sediments. *Global and Planetary Change*, 46, 87-99.
- Mermillod-Blondin, F., Marie, S., Desrosiers, G., Long, B., Montety, L., Michaud, E. and Stora, G., 2003. Assessment of the spatial variability of intertidal benthic communities by axial tomography: importance of fine-scale heterogeneity. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 287, 193-208.
- Michaud, E., Desrosiers, G., Long, B., Montety, D., Cremer, J., Pelletier, E., Locat, J., Gilbert, F. and Stora, G., 2003. Use of axial tomography to follow temporal changes of benthic communities in an unstable sedimentary environment (Baie des Ha! Ha! Saguenay Fjord). *Experimental Marine Biology and Ecology*, 285/286, 265-282.
- Michaud, E., Desrosiers, G., Mermillod-Blondin, F., Sundby, B. and Stora, G., 2005. The functional group approach to bioturbation: The effects of biodiffusers and gallery-diffusers of the *Macoma balthica* community on sediment oxygen uptake. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 32, 77-88.
- Mikhailov, V.N., 1997. River Mouths of Russia and adjacent countries. Moscow: GEOC.
- Miller, W., 2007. Trace Fossils Concepts problems Prospects, Elsevier, 447.
- Mulder, T., Syvitski, J., Migeon, J. and Faugeres, B., 2003. Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20, 861-882.
- Parr, T., Tait, T., Maxon, C., Newton, F. and Hardin, J., 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.
- Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 16, 229-311.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*; 2nd, Springer-Verlag, 549.
- Renssen, H., Lougheed, B.C., Aerts, J.C., Demol, H., Ward, P.J. and Kwadijk, J.C., 2007. Simulating Long-term Caspian Sea Level Changes: The impact of Holocene and future Climate Conditions. *EPLS*, 685-693.
- Roads, D.C. and Boyce, L.F., 1982. The effects of marine benthos on physical properties of sediments: as-

uccessional perspective. In: *Animrrl-sediment relcrtions*, Plenum Press, New York, 52.

- Schumacher, B.A., 2002. Method for determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. United states unvirinmental Protection Agency, 1-25.

- Selley, R., 1996. *Applied Sedimentology*, Academic Press, 446.

- Stoermer, E. and Mattew, J., 2003. *Centric Diatom. Fresh water Algae of North America*, 559-594.

- Taylor, A., Roland, G. and Growland, S., 2003. *Analysis and application of ichnofabrics*. *Earth Science Review*,

60, 227-259.

- Voropaev, G.V., Krasnozhon, G.F. and Lahijani, H., 1998. *River runoff and Stability of Iranian Caspian Coast*. *Water Resources*, 25, 747-758.

- Wellington, S.L. and Vinegar, H.J., 1987. *X-Ray Computerized tomography*. *Journal of Petrology and Technology*, 2, 885-898.

- Wheatcroft, R. and Borgeld, J., 2000. *Oceanic Food deposits on the northern California shelf: large-scale distribution and small-scale Physical properties*. *Continental Shelf Research*, 20, 2163-2190.