# رسوب‌شناسی و اثرشناسی نهشته‌های دریای باز تحت تأثیر امواج و دلتای رودخانه‌ای سازند نایبند (تریاس بالایی) در بلوک طبس، ایران مرکزی

**ئارام بایت‌گل** [1*]

[1] دکترا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴/ ۰۴/ ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۳۰/ ۰۶/ ۱۳۹۴

## چکیده

ادغام مطالعات رسوب‌شناسی و اثرشناسی توالی‌های آواری سازند نایبند با سن تریاس پسین در ایران مرکزی- کرمان موجب تفکیک نهشته‌های دلتایی از دریایی باز شده است. با تکیه بر ویژگی‌های رخساره‌ای و شکل لایه‌ها، توالی‌های آواری به دو مجموعه رخساره تقسیم شده‌اند: A) توالی رخساره‌ای دریای باز؛ B) توالی رخساره‌ای دلتایی رودخانه‌ای. توالی دلتایی شامل ۴ رخساره پاشنه دلتا، بخش انتهایی جلوی دلتا، بخش بالایی جلوی دلتا و سدهای دهانه‌ای رودخانه است. ویژگی‌های کلی رسوب‌شناسی و اثرشناسی این توالی نشان‌دهنده دلتای رودخانه‌ای است. توالی رخساره‌ای دریای باز نیز شامل ۴ رخساره است که به ترتیب عبارتند از: رخساره دور از ساحل- شلف، دور از ساحل- حدواسط، بخش پایینی حاشیه ساحلی پایینی و بخش بالایی حاشیه ساحلی پایینی. توالی رخساره‌ای A و B سازند نایبند تفاوت‌های زیادی را از دید ویژگی‌های اثرشناسی نشان می‌دهند. توالی‌های رخساره‌ای دلتایی دارای شرایط نامتعادل زیستی از دید شرایط فیزیکو- شیمیایی هستند که روی استراتژی رفتاری جانداران تأثیر زیادی دارد. نرخ بالای تخلیه بار رودخانه، توربیدایتی بودن جریان آب، نوسان‌های فصلی در نرخ ته‌نشینی و phytodetrital pulses در دلتاهای رودخانه‌ای موجب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دما، اکسیژن و شوری محیط رسوبی دلتایی شده است. همه این عوامل در ترکیب با هم موجب کاهش گوناگونی، فراوانی، اندازه و توزیع غیریکنواخت اثرفسیل‌ها همراه با شدت زیست‌آشفتگی کم مجموعه اثرفسیل‌های محیط‌های دلتای رودخانه‌ای شده است. نشانه‌های اثرشناسی در نهشته‌های دریایی باز شامل مجموعه‌های با گوناگونی و شدت زیست‌آشفتگی بالا و اندازه بزرگ‌تر اثرفسیل‌هاست. وجود اثرفسیل‌های ستبر و گوناگون از اثررخساره‌های زئوفیکوس، کروزیانا و اسکولایتوس اشاره به محیط متعادل زیستی در موقعیت دریایی باز دارد.

**کلیدواژه‌ها:** نایبند، توالی رخساره‌ای، اثرشناسی، رسوب‌شناسی.

***نویسنده مسئول:** ئارام بایت‌گل

E-mail: aram1361@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

بررسی ساختارهای زیستی برای تحلیل رخساره‌ها و ارائه مدل رسوبی اهمیت بسزایی دارد (Bayet-Goll et al., 2015a). اگر مطالعه محیط‌های رسوبی بر پایه ادغام داده‌های رسوب‌شناسی با اثرشناسی صورت گیرد، می‌تواند تصویر بهتری از محیط‌های رسوبی دیرینه ارائه دهد (Bayet-Goll et al., 2014b & 2015a). فراوانی اثرفسیل‌ها در نهشته‌های رسوبی سازند نایبند می‌تواند اطلاعات خوبی در مورد ژرفاسنجی، سطح انرژی، شرایط غذایی (یوتروفیک/ الیگوتروفیک)، شرایط محیط از دید مقدار اکسیژن، یکنواختی و استحکام بستر رسوبی و نرخ رسوب‌گذاری/ فرسایش را نشان دهد (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2015). از آنجایی که استراتژی رفتاری جاندارن سازنده اثرفسیل‌ها در محیط‌های رسوبی مختلف با توجه به شرایط محیطی موجود در بسترهای رسوبی‌شان متفاوت است، بررسی اثرفسیل‌ها کمک زیادی به تعیین تغییرات محیطی و شرایط دیرین‌زیست‌شناسی می‌کند. در محیط‌های رسوبی دریایی باز انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام (FWB, fair-weather base) و موجسار هوای توفانی (SWB, storm weather base) بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های ساختاری نهشته‌های رسوبی دارد (بایت‌گل و عباسی، ۱۳۹۲؛ Bayet-Goll et al., 2014a). نوسان‌های موجسارهای هوای توفانی و آرام افزون بر تأثیر ساختارهای رسوبی فیزیکی، بر گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها بیشترین تأثیر را دارد (بایت‌گل و همکاران، ۱۳۸۹). با این وجود در محیط‌های حدواسط همانند محیط‌های خلیج دهانه‌ای و محیط‌های دلتایی به دلیل شرایط ناپایدار محیطی از جمله سطح شوری، شرایط غذایی، سطح انرژی، مقدار اکسیژن، یکنواختی و استحکام بستر رسوبی و نرخ رسوب‌گذاری/ فرسایش، جانداران سازنده اثرفسیل‌ها تغییرات زیادی را از دید استراتژی رفتاری نشان می‌دهند (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2015). در این مطالعه از تغییرات گوناگونی، فراوانی و نوع استراتژی رفتاری جانداران سازنده اثرفسیل‌ها برای تفکیک و بررسی تفاوت محیط‌های رسوبی دلتایی و دریایی باز در نهشته‌های رسوبی سازند نایبند در شمال کرمان و در خاور زرند استفاده می‌شود.

## ۲- موقعیت زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

بررسی جغرافیای دیرینه مزوزوییک ایران نشان می‌دهد که شرایط سکویی پالئوزوییک بدون هیچ‌گونه رویداد زمین‌ساختی مهم تا تریاس میانی ادامه یافته است؛ سپس در تریاس پسین، پس از رخداد زمین‌ساختی معادل سیمرین پیشین (Early Cimmerian)، چهره حوضه‌های رسوبی ایران تغییر کرده و از این هنگام، حوضه‌هایی جداگانه شکل گرفته‌اند که شرایط جغرافیای دیرینه و رسوبی آنها با حوضه‌های رسوبی همسایه متفاوت بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). نهشته‌های تریاس بالایی ایران مرکزی، ردیف‌های شیلی ماسه‌سنگی هستند که در پیش‌بوم فرازمین‌های حاصل از رخداد سیمرین پیشین نهشته شده‌اند که در مقایسه با البرز و زاگرس، حوضه‌های رسوبی تریاس بالایی ایران مرکزی ژرفای بیشتر دارند، یا به‌طور مقطعی با پیشروی‌های کوتاه‌مدت دریا پوشیده می‌شده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

پس از رویداد سیمرین پیشین، با پیشروی دوباره دریا روی پیش‌بوم‌های (Foreland Basins) تریاس میانی، ردیفی به نسبت ستبر از سنگ‌های بیشتر شیلی و ماسه‌سنگی و گاهی کربناتی بر جای گذاشته شده است. سازند نایبند، واحد سنگ‌چینه‌ای معرف سنگ‌های تریاس پسین در ایران مرکزی است. در این مطالعه رسوبات تریاس بالایی سازند نایبند در شمال کرمان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. سازند نایبند در ناحیه مورد مطالعه به‌طور ناپیوسته با یک لایه کارست کهن و آغشته به اکسید آهن روی دولومیت‌های سازند شتری قرار می‌گیرد. مرز بالایی سازند نایبند با سازند آب‌حاجی به‌صورت تدریجی است.

در این مقاله سعی شد ارتباط اثرفسیل‌ها و ساختارهای رسوبی فیزیکی با رخساره‌های مختلف در محیط‌های رسوبی حدواسط دلتایی و دریایی باز و تأثیر نوسان‌های محیطی بر آنها در نهشته‌های سازند نایبند بررسی شود. در این راستا، بررسی روند پروکسیمال به دیستال حوضه، تغییرات ژرف محیط رسوبی و الگوی برانبارش رخساره‌ها، پیش‌شرط اساسی برای این مطالعه است. با توجه به گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها، می‌توان همراهی آنها را در رابطه با مفاهیم مرسوم اثرشناسی (مانند assemblages, ichnocoenoses, suites, ichnofabric and ichnofacies) مورد بررسی قرار داد و همراهی آنها را تفسیر کرد. البته بر پایه نظر بیشتر پژوهشگران (برای نمونه MacEachern et al. (2007a)) استفاده از نوع اثررخساره و ایکنوفابریک، بهترین روش مطالعه آثار فسیل است و دیگر مفاهیم ممکن است شرایط پالئواکولوژی حوضه را کمتر بیان کنند. به نظر می‌رسد رده‌بندی الگوی رفتاری جانداران (ethological classification) بتواند عوامل محیطی مؤثر در الگوی رفتاری جاندار را بهتر توضیح دهد (بایت‌گل و همکاران، ۱۳۹۱)، بنابراین در مطالعه حاضر به هر یک از مفاهیم یاد شده، توجه شده است. گفتنی است که ایکنولوژیست‌ها در مطالعه محیط‌های رسوبی بر پایه آثار فسیل، نتایج به دست آمده خود را با مدل‌های اثرشناسی مرسوم ارائه شده در ارتباط با رسوبات نهشته محیط‌های دریایی (Pemberton et al., 1992 a & b; MacEachern et al., 1999; Bann & Fielding, 2004) انطباق می‌دهند تا تأییدی بر الگوی توزیع اثر فسیل‌ها در زیرمحیط‌های متفاوت دریایی باشد.

## ۳- روش مطالعه

در این مطالعه یک برش چینه‌شناسی از سازند نایبند در منطقه شمال کرمان در موقعیت جغرافیایی ″N30°5′26 و ″E56°57′34 و در ۳۵ کیلومتری خاور شهرستان زرند برداشت شده است (شکل ۱). در این برداشت ستبرای نهشته‌ها، سطوح لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی، اثر فسیل‌ها، میزان زیست‌آشفتگی، تغییرات اندازه دانه‌ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مجموعه‌های اثرشناسی بر پایه تجزیه و تحلیل اثرفسیل‌ها (MacEachern et al., 2007a)، شرایط پیش و پس از رسوب‌گذاری چینه‌ها و سطوح چینه‌شناسی در نهشته‌های سازند نایبند مورد بررسی قرار گرفت. محیط رسوبی رخساره‌ها، نیز، بر پایه بررسی تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌ها، قانون والتر و مقایسه با محیط‌های امروزی و دیرینه (Walker & Plint, 1992) تعیین شد.

ترکیب اثررخساره‌ها با توجه به تغییرات ژرفای محیط رسوبی و تغییر عامل‌های محیطی (میزان رسوب‌گذاری، سطح انرژی آب و اندازه دانه‌های رسوب، شوری، اکسیژن، میزان مواد غذایی و نوع پراکندگی آن، دما، آشفتگی آب و شرایط تافونومی) به علت تغییرات در شرایط تداوم بستر، تغییر می‌کند (Pemberton et al., 1992 a & b & 2001). با توجه به شرایط تافونومی، نوع بستر، همراهی اثرفسیل ها، استراتژی رفتاری و الگوی برانبارش لایه‌ها، ۷ نوع اثررخساره در رخساره‌های دریایی باز و دلتایی سازند نایبند شناسایی شده است. رخساره‌های مورد مطالعه با توجه به ستون‌های چینه‌شناسی (شکل‌های ۲ و ۳) برش مورد مطالعه شامل دو مجموعه توالی رخساره‌ای (facies assocciation) هستند: ۱) توالی رسوبات دلتایی تحت تأثیر رودخانه و ۲) توالی رسوبات دریایی باز تحت تأثیر نوسان‌های امواج.

### ۳- ۱. توالی رخساره‌های دلتایی تحت تأثیر رودخانه

نهشته‌های بخش پایینی سازند نایبند شامل نهشته‌های دلتایی تحت تأثیر رودخانه است که از ۴ رخساره تشکیل شده است:

**- رخساره پاشنه دلتا (prodelta)**

• **توصیف:** این رخساره به‌طور چیره از شیل، شیل سیلتی، سیلتستون، سیلتستون ماسه‌ای و گلسنگ تشکیل شده است؛ به‌طوری که بدنه اصلی این رخساره از نهشته‌های دانه‌ریز تشکیل شده است (شکل‌های ۴- a و b). در این رخساره لایه‌های ماسه‌سنگی دانه‌ریز با ستبرای کمتر از ۵ سانتی‌متر دیده می‌شود. لایه‌های ماسه‌سنگی به‌طور چیره به‌صورت توده‌ای با سطح قاعده فرسایشی دیده می‌شوند که در برخی موارد دارای لامیناسیون موازی هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های رخساره مورد نظر وجود دانه‌بندی تدریجی عادی یا وارون در لایه‌های سیلتستونی و مادستونی است (شکل ۴- c). آثار بر جای مانده از قطعات گیاهی و ترک‌های سین‌آرسیس در این نهشته‌ها به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۴- d). شاخص زیست‌آشفتگی (bioturbation index) در این رخساره پایین است ( ۰ تا ۱). در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی کم از ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات و اثراتی با استراتژی رفتاری چیره همزیست شیمیایی (*Planolites, Palaeophycus, Teichichnus, Zoophycos* و *Chondrites*) دیده می‌شود (شکل‌های ۴- e و g).

• **تفسیر:** ماهیت دانه‌ریز رسوبات در این رخساره نشان از ته‌نشینی در محیطی با میزان انرژی پایین جریان‌های درون حوضه دارد. مجموعه اثرفسیل‌های موجود در این رخساره به‌صورت مجموعه‌های با شدت زیست‌آشفتگی پایین و گوناگونی کم دیده می‌شود. این مجموعه نشان‌دهنده بخش انتهایی اثررخساره کروزیانای محدود شده است (stressed distal expression of the Cruziana ichnofacies) (MacEachern et al., 2007a; Bann et al., 2004). این اثررخساره نشان‌دهنده شرایط دریایی باز با نوسان‌های محیطی است. وجود ترک‌های سین‌آرسیس حاصل از تغییرات شوری، دانه‌بندی تدریجی عادی و وارون همراه با وجود گسترده مادستون‌های توده‌ای اشاره به جریان‌های هایپرپیکنال (hyperpycnal flow) حاصل از توربیدایت‌های گلی دارد (Bhattacharya, 2006; Bhattacharya & MacEachern, 2009). مجموعه شواهد فیزیکی موجود در این رخساره همانند رخساره‌های دور از ساحل است با این حال، وجود شواهدی همچون ترک‌های سین‌آرسیس، اثررخساره محدود کروزیانا و توربیدایت‌های گلی، از تفسیر رخساره پاشنه دلتا حمایت می‌کند (Bann & Fielding, 2004; MacEachern et al., 2005 & 2007b; Dalrymple & Choi, 2007).

**- رخساره بخش انتهایی جلوی دلتایی (distal delta front)**

• **توصیف:** این رخساره به‌طور چیره از تناوب لایه‌های مادستونی، ماسه‌سنگی، ماسه سیلتی، سیلتستون، شیلی- مادستونی تشکیل شده است (شکل ۵- a). لایه‌های ماسه‌سنگی در این رخساره به‌طور چیره توده‌ای با قاعده فرسایشی و دانه‌بندی تدریجی عادی تا وارون دیده می‌شوند که در برخی موارد دارای لامیناسیون ریپلی بالارونده (climbing) و موازی هستند (شکل‌های ۵- b و e). بخش‌های پایینی توالی بوما Tabc و Tbc در این رخساره دیده می‌شود (شکل ۵- c). ترک‌های سین‌آرسیس و ساختارهای تغییر شکل یافته و آثار گیاهی، به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۵- d). شاخص زیست‌آشفتگی در این رخساره به‌طور یکنواخت نیست و در بیشتر موارد پایین است (۰ تا ۲) ولی در برخی موارد لایه‌های با شاخص زیست‌آشفتگی متوسط (۳ تا ۴) نیز دیده می‌شود. اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه کننده از بستر رسوبی و تا حد کمتری معلق‌خوار هستند. در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی کم از *Planolites, Palaeophycus, Teichichnus, Cylindrichnus, Rosselia* و *Rhizocorallium* همراه با ساختارهای فراری (fugichnia) دیده می‌شود (شکل ۵- g). همچنین در بیشتر واحدهای این رخساره ساختارهای تاب و پیچ خورده (mantle and swirl' structures'یا navichnia) حاصل از فعالیت های زیستی جانداران تغذیه کننده از بستر رسوبی (Lobza & Schieber, 1999) به فراوانی دیده می شود (شکل ۵- h).

• **تفسیر:** ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی این رخساره نشان از رسوب‌گذاری نهشته‌ها در محیطی ناپایدار زیستی دارد. از دید ساختاری این رخساره همانند

با رخساره بخش پایینی حاشیه ساحلی است. با این وجود شواهد دلتایی همچون وجود ترک‌های سین‌آرسیس نشان از تشکیل در محیط جلوی دلتایی است (MacEachern et al., 2005 & 2007b). از دید اثرشناسی نیز این رخساره با رخساره بخش پایینی حاشیه ساحلی تفاوت زیادی دارد. شدت زیست‌آشفتگی، گوناگونی و اندازه اثرفسیل‌ها در این رخساره کم است و اثرفسیل‌های با استراتژی رفتاری معلق‌خوار با فراوانی خیلی کمی در این رخساره دیده می‌شوند. این مجموعه نشان‌دهنده اثررخساره کروزیانای محدود شده است (stressed Cruziana ichnofacies) که نشان از محیطی با نوسان‌های شرایط فیزیکو- شیمیایی دارد (Gingras et al., 1998). فراوانی اثرفسیل‌های تغذیه کننده از رسوبات و نسبت خیلی پایین اثرفسیل‌های با استراتژی رفتاری معلق‌خوار همراه با هترولیک بودن رخساره، از منشأ دلتایی این رخساره حمایت می‌کند. وجود ساختارهای تغییر شکل یافته، تاب و پیچ خورده (شکل ۶- a) و ماسه‌سنگ‌های توده‌ای نشان‌دهنده افزایش نرخ رسوب‌گذاری در محیط‌های دلتایی- رودخانه‌ای است (Bhattacharya, 2006).

**– رخساره بخش بالایی جلوی دلتایی (proximal delta front)**

• **توصیف:** این رخساره از لایه‌های ستبر ماسه‌سنگی به‌صورت ستبرشونده به سوی بالا تشکیل شده است (شکل ۶- b). ساختارهای رسوبی چیره در این بخش‌ها شامل لایه‌های توده ای، چینه‌بندی مورب کم زاویه (low angle) و لامیناسیون موازی و کمتر چینه‌بندی مورب تراف است. در برخی موارد چینه‌بندی مورب پشته‌ای و لامیناسیون ریپلی موجی در این رخساره دیده می‌شود (شکل ۶- c). ترک‌های سین‌آرسیس و ساختارهای تغییر شکل یافته و آثار برجای مانده از قطعات گیاهی در این رخساره به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۶- d). بیشتر چینه‌های موجود در این رخساره بدون اثرفسیل هستند. شاخص زیست‌آشفتگی این رخساره پایین است (۰ تا ۱) ولی در برخی موارد لایه‌های با شاخص زیست‌آشفتگی متوسط (۳ تا ۴) نیز دیده می‌شود (شکل ۶- f). اثرفسیل های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه کننده از بستر رسوبی هستند و با وجود فراوانی چینه‌های ماسه‌ای، اثرفسیل‌ها با استراتژی رفتاری معلق‌خوار به فراوانی خیلی کمی دیده می‌شوند. در این نهشته‌ها مجموعه با فراوانی کم و گوناگونی پایین از *Planolites*, *Rosselia*, *Thalassinoides*, *Bergaueria*, *Skolithos* و ساختارهای فراری همراه با فراوانی بالایی از ساختارهای تاب و پیچ خورده دیده می‌شود (شکل‌های ۴- g و h).

• **تفسیر:** ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی این رخساره نشان از نهشت در محیط جلوی دلتایی با تأمین زیاد ماسه تحت تأثیر جریان‌های چیره رودخانه‌ای و محیطی ناپایدار زیستی دارد. وجود ساختارهای پراکنده‌ای از لامیناسیون ریپلی موجی و چینه‌بندی مورب پشته‌ای، نشان‌دهنده تأثیر نوسان‌های امواج با شدت بر روی این رخساره است. همانند رخساره پیشین، وجود ترک‌های سین‌آرسیس در لایه‌های ماسه‌سنگی نشان از نوسان‌های شوری محیط رسوب‌گذاری به دلیل تأثیر فرایندهای رودخانه و امواج با شدت متغیر روی این رخساره دارد. به‌طور کلی نهشته‌های بخش جلویی دلتا به دلیل نرخ بالای رسوب‌گذاری، تشکیل توپوگرافی پرشیب و ناپایدار می‌دهند (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2015). چنین شرایطی موجب تغییر شکل همزمان با رسوب‌گذاری و ایجاد جریان‌های گراویته‌ای و اسلامپینگ در نهشته‌های دلتای- رودخانه‌ای سازند نایبند شده است. گوناگونی و فراوانی کم اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده اثررخساره محدود شده- مخلوط کروزیانا- اسکولایتوس است (Bann et al., 2004). با وجود فراوانی بالای چینه‌های ماسه‌ای جورشده در این رخساره، نسبت خیلی پایین اثرفسیل‌های معلق‌خوار را به بالا بودن سطح توربیدایتی آب یا گل آلود بودن آن تحت تأثیر جریان‌های هایپرپیکنال نسبت می‌دهند (Coates & MacEachern, 1999; MacEachern et al., 2007b). در این رخساره نرخ بالای رسوب‌گذاری با توجه به شواهدی همچون وجود ساختارهای تغییر شکل یافته، ساختارهای تاب و پیچ خورده و نسبت بالای چینه‌های ماسه‌ای توده‌ای، موجب کاهش گوناگونی، فراوانی و شدت زیست‌آشفتگی شده است. فراوانی بالای اثرفسیل‌های با استراتژی رفتاری رسوب‌خواری و کاهش اثرفسیل‌های متعلق به اثررخساره اسکولایتوس با وجود بستر ماسه‌ای جور شده و تمیز به عنوان نشانه‌ای از وجود شرایط دلتایی در نظر گرفته می‌شود (Saunders et al., 1994; MacEachern, 1994; Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern et al., 1999; MacEachern et al., 2007b).

**– سدهای دهانه رودخانه (mouth bar)**

• **توصیف:** بخش بالایی رخساره‌های جلوی دلتا به‌طور چیره از توالی‌های برهم افزاینده ماسه‌سنگ‌های ستبر با میان‌لایه‌های خیلی نازک شیلی- سیلتستونی و فراوانی بالایی از آثار گیاهی تشکیل شده است. ساختارهای رسوبی چیره در این رخساره از چینه‌بندی مورب تراف، لامیناسیون موازی و چینه‌بندی توده‌ای تشکیل شده است (شکل ۶- j). هیچ گونه اثرفسیل در این رخساره دیده نشد.

• **تفسیر:** بر پایه نزدیکی و همسایگی با رخساره‌های بخش جلویی دلتا، این رخساره را به عنوان رخساره‌های حاصل از سدهای دهانه‌ای رودخانه در بخش انتهایی کانال‌های شاخه‌ای رودخانه (distributary channels) در نظر می‌گیرند (Olariu & Bhattacharya, 2006). ساختارهای رسوبی تشکیل شده، نشان‌دهنده مهاجرت اشکال لایه‌ای سه‌بعدی (به‌ویژه دون‌های سینوسی و هلالی) در سدهای دهانه‌ای با در رژیم جریانی بالا هستند (Bayet-Goll & Neto de Carvalho, 2015). نبود اثرفسیل‌ها در این رخساره نشان از شرایط نامتعادل زیستی به دلیل نرخ بالای مهاجرت اشکال لایه‌ای در سدهای دهانه‌ای و نرخ بالای رسوب‌گذاری دارد.

## ۳– ۲. توالی رخساره‌های دریایی باز

نهشته‌های بخش بالایی سازند نایبند شامل نهشته‌های دریایی باز تحت تأثیر نوسان‌های امواج از ۴ رخساره زیر تشکیل شده است:

**– رخساره دوراز ساحل– شلف**

• **توصیف:** این رخساره به‌طور چیره از مادستون، شیل، شیل سیلتی، سیلتستون، سیلتستون ماسه‌ای و ماسه‌سنگ (کمتر از ۵ سانتی متر ستبرای) تشکیل شده است (شکل ۷- a). لایه‌های ماسه‌سنگی در برخی موارد دارای لامیناسیون ریپلی جریانی و لامیناسیون موازی هستند (شکل ۷- b). فسیل های پیکره‌ای شامل گاستروپودا، بازوپایان و دوکفه‌ای‌ها در این رخساره به فراوانی دیده می‌شوند. ساختارهای تغییر شکل ثانویه در لایه‌های مادستونی- شیلی دیده می‌شود. شاخص زیست‌آشفتگی در این رخساره به‌طور یکنواخت نیست و از ۰ تا ۶ متغیر است. اثرفسیل‌ها بیشتر از آثار گریزینگ (grazing) و ساختارهای همزیست شیمیایی هستند. مجموعه اثرفسیل‌ها در این رخساره شامل *Zoophycos*, *Chondrites*, *Planolites*, *Helminthopsis*, *Gordia*, *Phycosiphon*, ?*Scolicia Paleodictyon* است (شکل‌های ۷- c و f).

• **تفسیر:** بررسی ویژگی‌های اثرشناسی و رسوب‌شناسی نهشته‌های رخساره ۱ نشان از رسوب‌گذاری در بخش های پایینی دور از ساحل در همسایگی با شلف کم‌انرژی زیر موجساره هوای توفانی دارد. این رخساره به‌طور چیره در زیر موجسار هوای توفانی (SWB) که به‌طور دوره‌ای و موقتی تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد تشکیل می‌شود. نوسان‌های دوره‌ای در میزان انرژی که حاصل از نوسان‌های موجسار هوای توفانی است، موجب ایجاد تغییرات زیادی در ویژگی‌های ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی می‌شود. در زمان کاهش انرژی و نبود نوسان‌های جریان چیره، رسوب‌گذاری شامل نهشته‌های دانه‌ریز سیلتی- شیل تا مادستونی است. این بخش که در محدوده پایینی رخساره یک قرار دارد منطبق بر اثررخساره زئوفیکوس (Zoophycos Ichnofacies) است؛ به‌طوری که بیشتر استراتژی رفتاری در این محدوده شامل استراتژی رفتاری همزیست شیمیایی و گریزینگ است (Bann & Fielding, 2004; Bann et al., 2004). اثررخساره زئوفیکوس به‌طور چیره

در محدوده‌های با انرژی و نرخ رسوب‌گذاری پایین و اکسیژن کم و بستری گلی غنی از مواد آلی وجود دارد (MacEachern et al., 2007b; Bayet goll et al., 2015a &b). وجود فراوانی بالای اثرفسیل‌ها با استراتژی همزیست شیمیایی و گریزینگ و زمینه رسوبی چیره دانه‌ریز از این نظر حمایت می‌کند. به سوی بخش‌های بالایی این رخساره، به دلیل افزایش نوسان‌های موجسار هوای توفانی، میزان انرژی و شدت نرخ رسوب‌گذاری افزایش پیدا می‌کند که به همراه آن نوع رسوب‌گذاری، ساختارهای فیزیکی و زیستی نیز افزایش می‌یابند. در این محدوده اثرفسیل‌ها به‌طور چیره دارای استراتژی رفتاری تغذیه کننده از رسوبات هستند و نسبت اثرات با همزیستی شیمیایی و گریزینگ کاهش می‌یابد. چنین روندی منطبق بر اثررخساره دور از ساحل کروزیانا (distal Cruziana ichnofacies) است (Bayet goll et al., 2016).

**– رخساره دور از ساحل– حدواسط (Offshore transition)**

• **توصیف:** این رخساره به‌طور چیره از مجموعه لایه‌های به سوی بالا درشت‌شونده شامل مادستون لامینه‌ای، مادستون سیلتی و لایه‌های نازک تا ستبر ماسه‌سنگی (۵– ۵۰ سانتی‌متر) و ماسه سیلتی تشکیل شده است. لایه‌های ماسنگی در این رخساره دارای چینه‌بندی مورب پشته‌ای، لامیناسیونی ریپلی موجی و ریپل‌های موجی در سطح لایه هستند (شکل ۸– a). در این رخساره چینه‌بندی مورب هوموکی در لایه‌های ماسه‌سنگی با ستبرای بالا چیره است؛ در حالی که چینه‌بندی مورب میکروهوموکی (micro-HCS) در لایه‌های با ستبرای کمتر از ۱۰ سانتی‌متر چیره است (شکل‌های ۸– b و c). فسیل‌های پیکره‌ای شامل گاستروپودا، بازوپایان و دوکفه‌ای‌ها در این رخساره به فراوانی دیده می‌شود (شکل ۸– d). شاخص زیست‌آشفتگی در این رخساره به‌طور یکنواخت نیست و از ۰ تا ۴ متغیر است. اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه کننده از بستر رسوبی و تا حد کمتری گریزینگ هستند. لایه‌های مادستونی و سیلتستونی دارای اثرفسیل‌های تغذیه کننده از رسوبات و گریزینگ با زیست‌آشفتگی بالاتر (BI 3-4) شامل *Rhizocorallium* isp., *R. jenense*, *Protovirgularia*, *Helminthopsis*, *Palaeophycus*, *Bergaueria*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Gyrochorte*, *Zoophycos*, *Chondrites*, *Cylindrichnus*, *Trichophycus*? *Rosselia*,? هستند (شکل‌های ۸– e و g). لایه‌های ماسه‌سنگی شاخص زیست‌آشفتگی کمتری دارند (BI 0-2) و بیشتر اثرفسیل‌ها دارای استراتژی رفتاری تغذیه کننده از مواد معلق و به میزان کمتر رسوب خوار هستند که شامل *Ophiomorpha*, *R. irregular*, *Diplocraterion*, *Arenicolites*, *Thalassinoides*, *Skolithos* است.

• **تفسیر:** این رخساره نسبت رخساره پیشین دارای لایه‌های ستبرتر ماسه‌سنگی و ماسه سیلتی با لامیناسیون ریپلی موجی و چینه‌بندی مورب پشته‌ای است. بر پایه ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی، نهشته‌های مورد نظر در حد میان موجسار هوای آرام و هوای توفانی تشکیل شده‌اند. چینه‌بندی مورب پشته‌ای و لامیناسیون ریپلی موجی نشان از جریان‌های نوسانی و اشاره به محیط رسوبی تحت تأثیر نوسان‌های امواج و توفان دارد. میزان بیشتر زیست‌آشفتگی در لایه‌های ماسه‌سنگی و ماسه سیلتی موجود در این رخساره نشان می‌دهد که بستر رسوبی در بازه زمانی طولانی‌تری زیر موجسار هوای آرام قرار گرفته است. تناوب لایه‌های ماسه‌سنگی (موجسار هوای توفانی) و لایه‌های مادستونی (موجسار هوای آرام) اشاره به قرارگیری رخساره مورد نظر در حد میان موجسار هوای آرام و توفانی دارد. چنین محیطی منطبق بر رخساره دور از ساحل حدواسط است. مجموعه اثرفسیل های موجود در این رخساره نشان‌دهنده اثررخساره مخلوط کروزیانا–اسکولایتوس است (MacEachern et al., 2007b). در این اثررخساره مجموعه اثرفسیل‌های موجسار هوای آرام (گریزینگ و تغذیه کننده از رسوبات) در لایه‌های مادستونی منطبق بر اثررخساره کروزیانا و شرایط موجسار هوای آرام است؛ با این وجود مجموعه اثرفسیل‌های موجسار هوای توفانی (معلق خوار) در لایه‌های ماسه‌سنگی منطبق بر اثررخساره اسکولایتوس است و اشاره به تشکیل در شرایط موجسار هوای توفانی دارد (Bayet goll et al., 2015a & b). اثررخساره کروزیانا به‌طور چیره در شرایط آرام رسوبی در محیط‌های بالایی دور از ساحل که در حد میان موجسار هوای آرام و موجسار هوای توفانی قرار دارند، تشکیل می‌شود (Pemberton et al., 1992a & b). در حالی که حفرات قائم با استراتژی معلق‌خوار که در لایه‌های ماسه‌سنگی دیده می‌شوند نشان از کلنی شدن چینه‌های طوفانی در طول نوسان‌های موجسار هوای توفانی دارند.

**– رخساره بخش پایینی حاشیه ساحل– دیستال (distal lower shoreface)**

• **توصیف:** این رخساره از توالی‌های به سوی بالا درشت‌شونده شامل تناوب میان‌لایه‌های مادستونی، مادستون سیلتی، ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیلی– مادستونی تشکیل شده است (شکل ۹– a). ساختارهای رسوبی چیره در چینه‌های ماسه‌سنگی شامل چینه‌بندی مورب پشته‌ای، لامیناسیون ریپلی موجی و جریانی، چینه‌بندی مورب کم زاویه (low angle) و لامیناسیون موازی است. لایه‌های مادستونی و سیلتستونی– شیلی به‌طور چیره لامینه‌ای هستند و در برخی موارد لایه‌های نازک ماسه‌سنگی با لامیناسیون ریپلی موجی تا جریانی دارند. شاخص زیست‌آشفتگی در این بخش به‌طور یکنواخت نیست و از ۰ تا ۴ متغیر است. شدت زیست‌آشفتگی بالا نیز در برخی موارد دیده شده است (BI 4-5). اثرفسیل‌های این محدوده بیشتر از آثار تغذیه کننده از بستر رسوبی و معلق‌خوار هستند. مجموعه اثرفسیل‌های این رخساره شامل *Rhizocorallium*, *R. jenense*, *R. irregular*, *Protovirgularia*, *Bergaueria*, *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Diplocraterion*, *Arenicolites*, *Thalassinoides*, *Gyrochorte*, *Skolithos* است (شکل‌های ۸– b و h).

• **تفسیر:** فراوانی و شدت بالای زیست‌آشفتگی در رخساره ۳ با گوناگونی سنگ‌شناسی بالا و ساختارهای فیزیکی گوناگون نشان از تغییرات در انرژی هیدرودینامیکی حوضه و نرخ رسوب‌گذاری دارد. بیشتر ساختارهای رسوبی دلالت بر وجود تأثیر نوسان‌های امواج نسبت به تأثیر جریان است. با این وجود، تناوب میان لایه‌های توفانی (با ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق و میزان زیست‌آشفتگی کم (۰ تا ۲)) با لایه‌های دانه ریزتر (با ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات و میزان زیست‌آشفتگی بالا (۳ تا ۴)) از تغییرات انرژی هیدرودینامیکی حوضه و نرخ بالای رسوب‌گذاری در طول ته‌نشینی این رخساره حمایت می‌کند. فراوانی لایه‌های دانه‌ریزتر با ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات و میزان زیست‌آشفتگی بالا نشان از ته‌نشینی در طول دوره آرام رسوب‌گذاری یا در طول موجسار هوای آرام دارد. در نتیجه این رخساره در میان موجسار هوای آرام و موجسار هوای توفانی در بخش پایینی حاشیه ساحلی– دیستال ته‌نشین شده است. مجموعه اثرفسیل‌های مرتبط با بخش نزدیک به ساحل، اثررخساره کروزیانا است (proximal Cruziana Ichnofacies) که کاهش فراوانی ساختارهای تغذیه کننده از رسوب و افزایش در فراوانی ساختارهای تغذی کننده از مواد معلق نشان‌دهنده ادغام این اثررخساره با بخش انتهایی اثررخساره اسکولایتوس (distal Skolithos ichnofacies) است (Bayet goll et al., 2015a & b).

**– رخساره بخش پایینی حاشیه ساحل–پروکسیمال (proximal lower shoreface)**

• **توصیف:** این رخساره از توالی های بر هم افزاینده (aggregated) ستبر لایه‌های ماسه‌سنگ‌های با جورشدگی و گردشدگی بالا و میان‌لایه‌های نازک مادستونی– شیلی تشکیل شده است (شکل‌های ۱۰– a و b). مهم‌ترین و چیره‌ترین ساختارهای رسوبی موجود در این رخساره شامل ساختار چینه‌بندی مورب کم زاویه، چینه‌بندی مسطح موازی با لاگ‌های قاعده‌ای و سطح فرسایشی مشخص و چینه‌بندی مورب پشته‌ای است. در بیشتر موارد، لامیناسیون موازی ریپلی موجی و جریانی یا ریپل‌های موجی– جریانی روی بخش‌های بالایی چینه‌های موجود در این رخساره دیده می‌شود. شاخص زیست‌آشفتگی در این بخش به‌طور یکنواخت نیست و از ۰ تا ۳ متغیر است. اثرفسیل‌ها شامل *Rhizocorallium*, *R. jenense*, *Ophiomorpha*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Bergaueria*, *Palaeophycus*, *Skolithos*,

*Arenicolites, Monocraterion, Diplocraterion* هستند که بیشتر دارای استراتژی رفتاری معلق‌خوار هستند (شکل‌های ۱۰- c و g). شاخص زیست‌آشفتگی گسترده (BI 4-5) حاصل از ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق به عنوان pipe-rock ichnofabric به فراوانی در این رخساره دیده می‌شود (شکل‌های ۱۰- h و i). سطح ریپلی چینه‌های موجود در این رخساره در بیشتر موارد با ایکنوفابریک پایپ- راک حاصل از ساختارهای قائم (*Skolithos, Arenicolites, Monocraterion*) مشخص می‌شود (شکل‌های ۱۰- g و k).

• **تفسیر:** داده‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی توالی برافزاینده رخساره مورد نظر نشان‌دهنده ته‌نشینی در محیط‌های حاشیه ساحلی کم‌ژرفا است. محیط‌های حاشیه ساحلی (shoreface) شامل سه بخش پایینی میانی و بالایی است که ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی آنها با هم کاملاً متفاوت است. در نهشته‌های بخش میانی و بالایی حاشیه ساحلی ساختارهای رسوبی نشان‌دهنده ته‌نشینی به وسیله جریان‌های حاصل از امواج به موازات ساحل است. چنین جریان‌هایی بیشتر نشان‌دهنده جریان‌های موازی ساحل یا لانگ‌شور هستند که موجب ساختارهای رسوبی چیره مسطح شده است. تأثیر جریان‌های توفانی و رویارویی جریان‌های توفان با جریان‌های لانگ‌شور در چنین موقعیت‌هایی موجب ایجاد چینه‌بندی مورب تراف و چینه‌بندی مورب پشته‌ای می‌شود. با وجود بر هم افزایندگی چینه‌ها در این رخساره و فراوانی کمتر میان‌لایه مادستونی- شیلی، نبود ساختارهای رسوبی چیره تابولار، مسطح و تراف در این رخساره نشان از تأثیر نداشتن جریان‌های لانگ‌شور بر این رخساره دارد. بر پایه مطالعات Hampson & Storms (2003) ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی رخساره‌های مورد نظر نشان از ته‌نشینی در بالای موجسار هوای آرام در proximal lower shoreface دارد. مجموع اثرفسیل‌ها در این رخساره نشان‌دهنده بخش انتهایی اثررخساره اسکولایتوس است که منطبق بر proximal lower shoreface است (Bann & Fielding, 2004; Bayet goll et al., 2015a & b).

## ۴- محیط‌های رسوبی

نسبت دادن دلتای چیره رودخانه به مجموعه توالی رخساره‌ای اول (A) در این مطالعه بر پایه ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی است (Bhattacharya & Walker, 1991). شواهد نشان می‌دهند که توالی رخساره‌های چیره دلتایی تحت تأثیر شرایط نامتعادل رسوبی بوده است. همراهی نزدیک رخساره‌های دلتایی با رخساره‌های حاصل از سدهای دهانه‌ای رودخانه (mouth bar) در بخش انتهایی کانال‌های شاخه‌ای رودخانه (distributary channels) نشان از ته‌نشینی توالی رخساره‌ای اول در یک دلتای چیره رودخانه دارد. نهشته‌های دلتایی موجود در توالی رخساره‌ای اول دارای ساختارهای رسوبی هستند که نشان‌دهنده نرخ رسوب‌گذاری بالا، توربیدایتی بودن یا گل‌آلود بودن آب و جریان، مقدار بالای مواد آلی و نوسان‌های بالای شوری حوضه است. چنین شواهدی نشان از ته‌نشینی توالی رخساره‌ای اول در یک دلتای چیره رودخانه‌ای در طول پسروی رخساره‌ها (progradation) به سوی دریا دارد (برای نمونه Bhattacharya & Walker, 1992). محیط دلتایی تحت تأثیر امواج برای توالی رخساره اول نمی‌تواند درست باشد. نبود شواهدی دلتای تحت تأثیر امواج همانند تمپستایت‌های ماسه‌ای، ساختارهای رسوبی فیزیکی تحت تأثیر امواج و توفان، شواهد توالی رخساره‌ای حاصل از نوسان‌های موجسار هوای توفانی و هوای آرام، فراوانی و گوناگونی کم اثرفسیل‌ها و اندازه کوچک‌تر اثرفسیل‌ها نشان‌دهنده عدم تأثیر یا تأثیر خیلی کم امواج بر توالی رخساره‌ای اول است. با این وجود، شواهدی همچون وجود ساختارهای تغییر شکل ثانویه، وجود ساختارهای فراری و تاب و پیچ خورده، فراوانی بالای آثار گیاهی و وجود چینه‌های رسوبی با دانه‌بندی تدریجی در رخساره‌های پاشنه دلتا و جلوی دلتایی نشان‌دهنده تأثیر فرایندهای رودخانه‌ای و ته‌نشینی توالی رخساره‌ای اول در یک دلتای تحت تأثیر رودخانه است.

در برابر آن، توالی رخساره‌ای دوم موجود در نهشته‌های سازند نایبند بر پایه ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی در محیط دریای باز تحت تأثیر نوسان‌های موجسار هوای توفانی و آرام ته‌نشینی شده است. وجود شواهد گسترده‌ای از تأثیر نوسان‌های امواج و توفان همچون چینه‌بندی مورب پشته‌ای و لامیناسیون ریپلی موجی نشان از ته‌نشینی توالی رخساره‌ای دوم در محیط‌های تحت تأثیر نوسان‌های امواج دارد (MacEachern & Pemberton, 1992)؛ به‌طوری که چینه‌های ماسه‌ای دارای چینه‌بندی مورب پشته‌ای در طول موجسار هوای توفانی و چینه‌های مادستونی در طول موجسار هوای آرام ته‌نشین شده‌اند. همچنین وجود گوناگونی و فراوانی بالای اثرفسیل‌ها و اندازه بزرگ‌تر آنها همراه با وجود اثررخساره‌های پیش‌الگوی (archetypal) کروزیانا و اسکولایتوس، نشان‌دهنده نرخ پایین رسوب‌گذاری، تأمین مواد غذایی بالا، شوری متعادل و شرایط اکسیژن کافی در نزدیک بستر رسوبی پایدار است (Bhattacharya et al., 2011). چنین ویژگی‌های اثرشناسی و رسوب‌شناسی (Pemberton et al., 1992; MacEachern et al., 2007) نشان از ته‌نشینی توالی رخساره دوم در حاشیه ساحلی- دور از ساحل (shoreface-offshore) تحت تأثیر نوسان‌های امواج دارد. از سوی دیگر وجود فسیل‌های پیکره‌ای شامل گاستروپودا، بازوپایان و دوکفه‌ای‌ها در این رخساره‌ها نشان‌دهنده شرایط دریایی باز با شوری و دمای عادی است.

## ۵- رفتارشناسی اثرفسیل‌های دلتایی و دریای باز

استراتژی رفتار جاندار سازنده اثرفسیل‌ها در نتیجه واکنش جانداران سازنده اثرفسیل‌ها به تغییرات شوری، انرژی، اکسیژن و تداوم بستر است (Buatois & Mängano, 2002). بررسی اثرفسیل‌ها می‌تواند شواهد گسترده‌ای از دیرین‌زیست‌شناسی، محیط رسوبی و تغییرات شرایط محیطی ارائه دهد. بررسی همه این عامل‌ها برای تفکیک رخساره‌های دلتایی تحت تأثیر رودخانه از رخساره‌های تحت تأثیر امواج و همچنین تفکیک رخساره‌های دلتا از دریای باز لازم است (Bhattacharya & Walker, 1992; Gingras et al., 1998; Bann & Fielding, 2004; MacEachern et al., 2005; Bhattacharya et al., 2011). توالی رخساره‌ای اول و دوم سازند نایبند، تفاوت‌های زیادی را از دید ویژگی‌های اثرشناسی نشان می‌دهند. در این تفاوت‌ها، افزون بر تفاوت در مجموعه‌های اثرفسیل‌ها، شدت زیست‌آشفتگی، میزان گوناگونی اثرفسیل‌ها، فراوانی، اندازه اثرفسیل‌ها و چگونگی توزیع آنها نیز تفاوت‌های زیادی نشان می‌دهد (شکل ۱۱). چنین تفاوت‌های نشان از اختلاف و تأثیر متفاوت متغیرهای فیزیکو- شیمیایی در نهشته‌های مورد مطالعه دارد.

در نهشته‌های دلتایی چیره رودخانه سازند نایبند، تأثیر بار رسوبی حمل شده به وسیله کانال‌های رسوبی رودخانه در همسایگی با محیط‌های جلوی دلتایی و پاشنه دلتا موجب ایجاد شرایط نامتعادل زیستی از دید شرایط فیزیکوشیمیایی می‌شود. مهم‌ترین عوامل دخیل در این تغییر شرایط، بالا بردن نرخ رسوب‌گذاری، توربیدایتی شدن جریان، تغییرات شوری و اکسیژن است. این عوامل موجب کاهش گوناگونی، فراوانی و شدت زیست‌آشفتگی همراه با ایجاد مجموعه اثرفسیل‌های محدود شده (stressed) می‌شود (Bhattacharya & Walker, 1992; Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern, 1999; Bann & Fielding, 2004; MacEachern et al., 2005). گوناگونی و فراوانی کم اثرفسیل‌ها، شدت زیست‌آشفتگی خیلی کم رخساره‌ها (BI 0-2)، اندازه کوچک‌تر اثرفسیل‌ها، وجود اثررخساره‌های محدود شده اسکولایتوس و کروزیانا، نبود ساختارهای گریزینگ و فراوانی خیلی کم ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق یا وجود فراوانی بالای بسترهای ماسه‌ای در توالی رخساره ای اول (دلتایی) سازند نایبند نشان از ته‌نشینی در شرایط ناپایدار زیستی در محیط‌های دلتایی دارد. نرخ بالای رسوب‌گذاری در نتیجه تخلیه بالای بار رسوبی کانال‌های توزیعی رودخانه در دلتا، توربیدایتی بودن

جریان و تأثیر تغییرات اکسیژن در نتیجه بالا بودن مواد گیاهی و آلی یا به عبارتی تأثیرات phytodetrital pulses (MacEachern et al., 2005) موجب نوسان‌های شوری، دما و اکسیژن در توالی‌های چیره رودخانه‌ای نهشته‌های سازند نایبند می‌شود (Saunders et al., 1994; Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern, 1999).

تأثیر همه عامل‌های مورد اشاره در نهشته‌های دلتایی سازند نایبند موجب کاهش گوناگونی، فراوانی، شدت زیست‌آشفتگی و اندازه اثرفسیل‌ها با مجموعه اثرفسیل‌های محدود شده می‌شود. در نواحی که تأثیر نوسان‌های هوای موجسار دیده می‌شود، گوناگونی و فراوانی اثرفسیل‌ها خیلی بیشتر است؛ چرا که این نوسان‌ها موجب ایجاد تغییرات در بسترهای رسوبی، الگوی توزیع مواد غذایی، میزان سرعت رسوب‌گذاری، اکسیژن و دمای موجود می‌شود؛ به‌طوری که در چنین محیط‌هایی، جانداران سازنده (trace-marker) با تغییر استراتژی رفتاری، طرح زیستی خود را با تغییرات محیطی سازگار می‌کنند. به همین دلیل تغییرات زیاد استراتژی رفتاری جانداران سازنده اثرفسیل‌ها، موجب گوناگونی رفتاری متغیر و به همراه آن، بالا رفتن گوناگونی اثرفسیلی می‌شود. با توجه به شواهد بررسی شده، توالی رخساره‌ای دلتایی سازند نایبند تحت تأثیر نوسان‌های امواج قرار نگرفته است. در نتیجه تأثیر نداشتن نوسان‌های موجسار در نهشته‌های دلتایی سازند نایبند موجب شده است که تغییرات استراتژی رفتاری اثرفسیل‌ها کمتر و در نتیجه گوناگونی اثرفسیل‌ها نسبت به دلتاهای تحت تأثیر امواج پایین‌تر باشد. همچنان که وجود فراوانی بالا از استراتژی رفتاری خرده‌خوار (*Cylindrichnus, Rosselia*)، تغذیه‌ای کم‌ژرفا با ساختار ساده (*Planolites, Palaeophycus*,)، استراحتی (*Bergaueria*) و ساختارهای فراری و نبود اثرفسیل‌های با ساختار پیچیده (همانند گریزینگ، خزشی، همزیست شیمیایی، معلق‌خوار و تغذیه کننده از رسوبات) در نهشته‌های دلتایی سازند نایبند، از این نظر حمایت می‌کند.

از سوی دیگر، وجود اثررخساره‌های محدود شده و فراوانی خیلی کم ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق یا وجود فروانی بالای بسترهای ماسه‌ای در توالی رخساره‌ای اول (دلتایی) سازند نایبند نشان از توربیدایتی بودن آب و نرخ بالای رسوب گذاری مواد معلق دانه‌ریز در آب دارد. چنین شرایطی موجب مسدود شدن اندام‌های تغذیه‌ای جانداران تغذیه کننده از مواد معلق در آب می‌شود (Gingras et al., 1998; Coates & MacEachern, 1999; MacEachern et al., 2005; Hansen & MacEachern, 2007). همچنین نسبت بالای ته‌نشینی رسوبات دانه‌ریز با مواد آلی فراوان و نسبت بالای آثار گیاهی در نهشته‌های دلتایی- رودخانه ای سازند نایبند موجب اکسایش سریع و کاهش اکسیژن بسترهای رسوبی شده است. نبود اکسیژن کافی در بسترهای رسوبی نهشته‌های دلتایی سازند نایبند موجب ایجاد شرایط زیستی نامتعادل برای جاندارن سازنده اثرفسیل‌ها شده است (Coates & MacEachern, 1999 & 2000; Bann & Fielding, 2004; MacEachern et al., 2005).

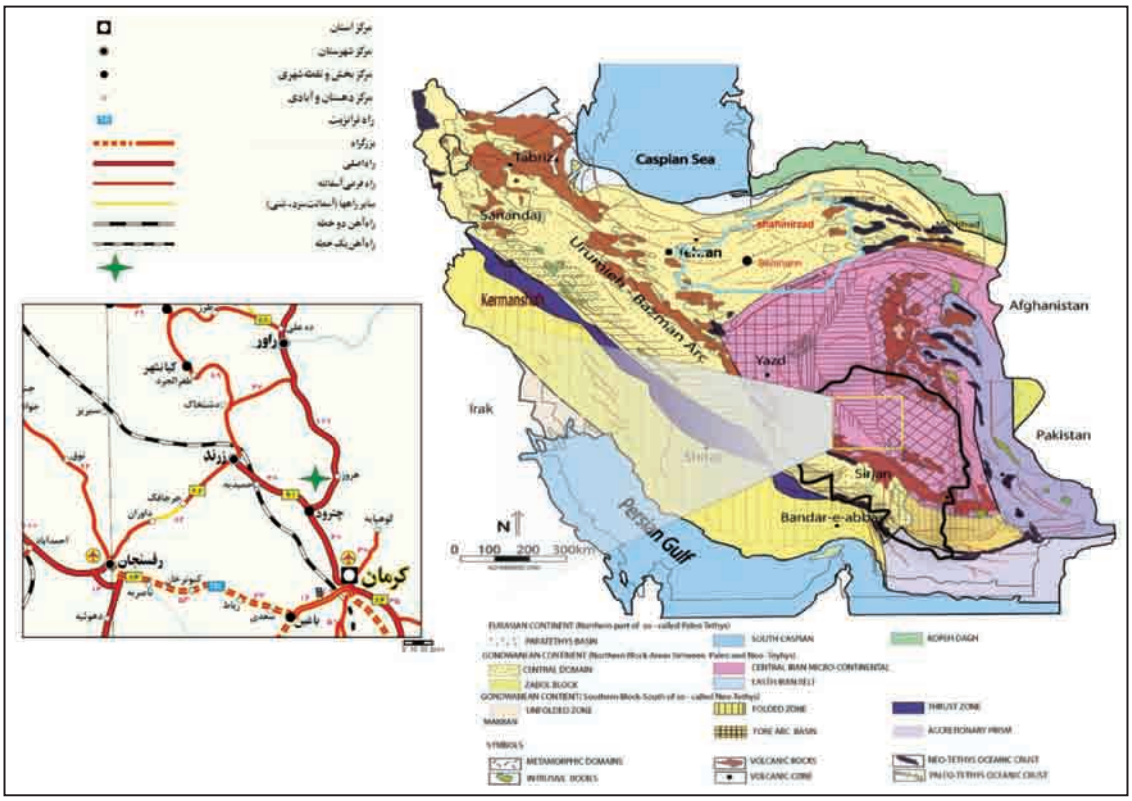
مقایسه ویژگی‌های رفتارشناسی، ابعاد حفرات، گوناگونی و شدت زیست‌آشفتگی مجموعه اثرفسیل‌های شناسایی شده در نهشته‌های توالی رخساره‌ای دریایی باز سازند نایبند با دیگر مطالعات اثرشناسی همانند صورت گرفته به وسیله دیگر پژوهشگران، نشان می‌دهد که نوسان‌های انرژی محیطی بیشترین تأثیر را بر جانداران سازنده اثرفسیل‌ها داشته است (برای نمونه Bann et al. (2004). با توجه به شکل و تغییر ویژگی‌های ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی در طول توالی، انرژی هیدرودینامیکی در حوضه و تغییرات در موجسار هوای آرام و موجسار هوای توفانی، بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های ساختاری نهشته‌های توالی رخساره‌ای دریایی باز سازند نایبند دارد. تناوب میان لایه‌های توفانی (با جانداران تغذیه کننده از مواد معلق) و میزان زیست‌آشفتگی کم (۰ تا ۲)) با لایه‌های دانه‌ریزتر (با ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات و میزان زیست‌آشفتگی بالا (۳ تا ۴)) از تغییرات انرژی هیدرودینامیکی حوضه و نرخ بالای رسوب‌گذاری در طول ته‌نشینی این رخساره حمایت می‌کند. در این بخش دو مجموعه اثرفسیلی وجود دارد که شامل مجموعه ساختارهای مرتبط با شرایط موجسار هوای آرام (fair-weather trace fossil suite) و مجموعه ساختارهای مرتبط با شرایط موجسار هوای توفانی است. مجموعه اول مرتبط با اثررخساره کروزیاناست؛ این اثررخساره به سوی بخش‌های دور از ساحل- شلف در زیر موجسار هوای توفانی به اثررخساره زئوفیکوس تبدیل می‌شود. نرخ رسوب‌گذاری کم و تأثیر کمتر نوسان‌های امواج در این بخش موجب شده است که ساختارهای گریزینگ و همزیست شیمیایی، بیشترین فراوانی را داشته باشند. به سوی بخش‌های بالایی، این رخساره با بخش انتهای دیستال اثررخساره کروزیانا ادغام می‌شود. تأثیر نوسان‌های امواج در بخش بالایی این رخساره موجب کاهش فراوانی ساختارهای گریزینگ و همزیست شیمیایی و افزایش ساختارهای تغذیه کننده از رسوب می‌شود.

به سوی بخش‌های میانی دور از ساحل در رخساره دور از ساحل- حدواسط میان موجسار هوای آرام و هوای توفانی مجموعه اثرفسیل‌ها، گوناگونی و فروانی بالایی نشان می‌دهند. تأثیر نوسان‌های امواج موجب شده است که میزان اکسیژن، دما وشوری در حد متعادل زیستی باشد. همچنین تغییر استراتژی رفتاری جاندارن به دلیل نوسان‌های مداوم بستر و الگوی متفاوت توزیع غذایی، موجب بالا بردن گوناگونی اثرفسیل‌ها در این محدوده می‌شود. دو مجموعه اثرفسیل در این محدوده وجود دارد که مجموعه اول دارای ساختارهای تغذیه کننده از رسوبات بستر و تا حد کمتری گریزینگ هستند که نشان از اثررخساره پیش‌الگوی کروزیانا دارد. این اثررخساره به‌طور چیره در شرایط آرام رسوبی در محیط‌های بالایی دور از ساحل که در حد میان موجسار هوای آرام و موجسار هوای توفانی قرار دارد، تشکیل می‌شود. با این وجود مجموعه دوم در لایه‌های دانه‌درشت‌تر به‌طور چیره از ساختارهای تغذیه کننده از مواد معلق تشکیل شده‌اند که به عنوان جزیی از اثررخساره اسکولایتوس در نظر گرفته می‌شوند. این دو مجموعه به‌طور مکرر به همراه هم در بخش‌های دور از ساحل دیده می‌شوند که چنین تناوب تکراری از اثررخساره کروزیانا و اسکولایتوس بیان کننده اثررخساره مخلوط کروزیانا-اسکولایتوس است (Pemberton et al., 1992; Gingras et al., 1998; Bann & Fielding, 2004).

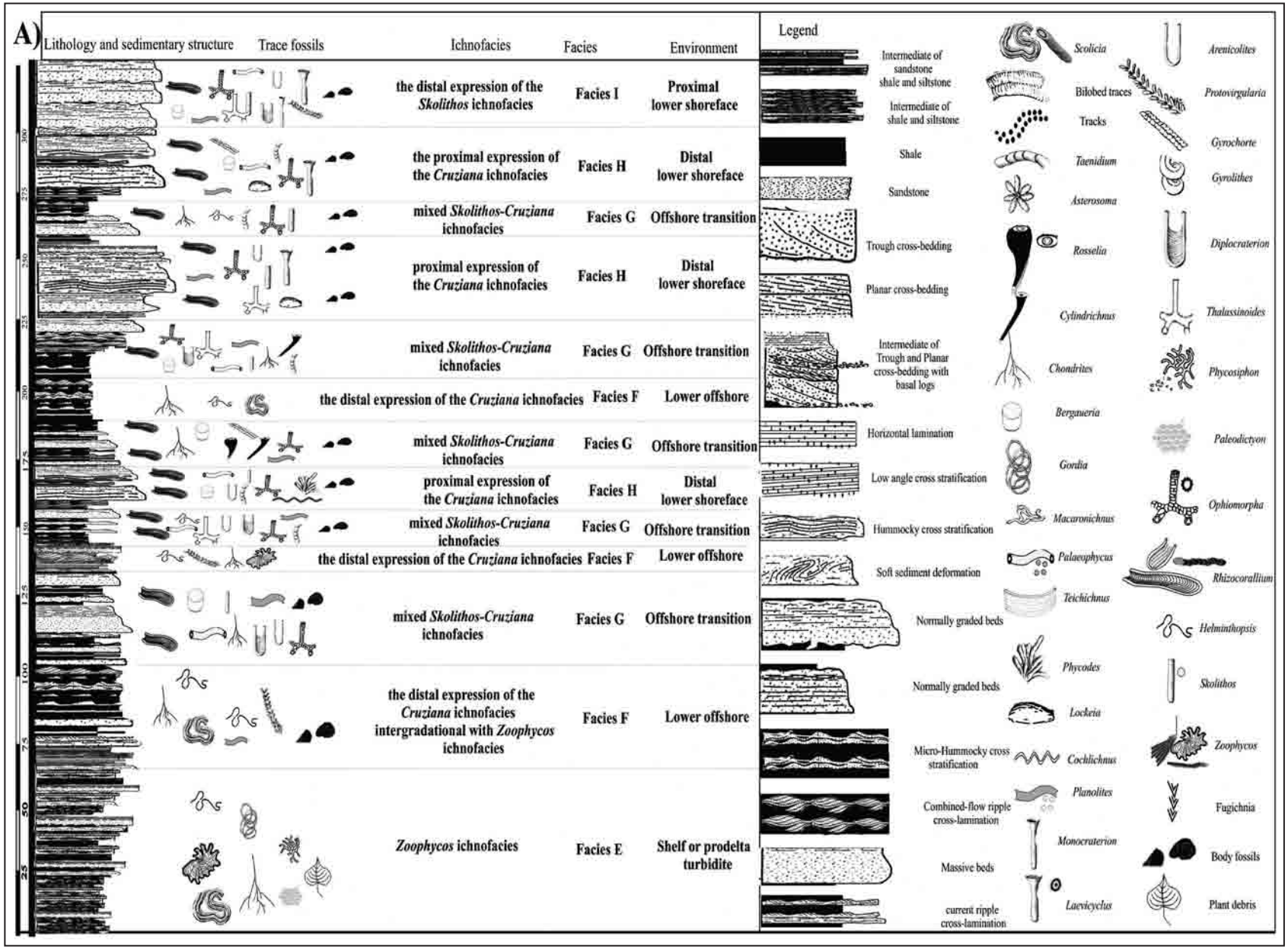
به سوی رخساره محیط‌های پایینی حاشیه ساحلی، ژرفای کم و انرژی بالا همراه با حمل زیاد رسوب نسبت به محیط‌های پایینی دور از ساحل در این محیط موجب شده است که توالی به سوی بالا ستبرشونده از واحدهای دانه‌ریز به سوی واحدهای دانه‌درشت‌تر با ماسه‌سنگ‌های ستبرلایه دارای چینه‌بندی مورب پشته‌ای ایجاد شود. چنین ماسه‌سنگ‌های با ساختارهای پرانرژی بستری برای زیست جانداران با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای مناسب نیستند، ولی جاندارانی با استراتژی رفتاری معلق‌خوار (Domichnia) در برابر جریان‌های اشاره شده، توانایی سازگاری بیشتری با حفر بستر و ایجاد پناهگاه ژرف (تیرینگ ژرف‌تر) دارند. به همین ترتیب واحدهای دانه‌ریزتر همانند سیلتستون، مادستون و ماسه سیلتی در بخش پایینی این رخساره غنی از مواد غذایی در بستر خود و مکان مناسبی برای فعالیت جانداران رسوب‌خوار هستند؛ به‌طوری که شرایط بستر و انرژی هیدرودینامیکی حوضه موجب افزایش جانداران با استراتژی رفتاری گریزینگ و تغذیه‌ای می‌شود. به سوی بخش‌های بالایی این رخساره (proximal lower shoreface) فراوانی واحدهای دانه‌درشت موجب ایجاد بستری مناسب برای زیست جاندارن تغذیه کننده از مواد معلق شده است. در رخساره پایینی حاشیه ساحلی مجموعه اثرفسیل‌های موجود در لایه دانه‌ریز مرتبط با بخش نزدیک به ساحل اثررخساره کروزیانا است که کاهش فراوانی ساختارهای تغذیه کننده از رسوب و فراوانی ساختارهای خرده‌خوار (detritus-feeding) در لایه‌های دانه‌ریز از این نظر حمایت می‌کند. با این وجود مجموعه اثرفسیل‌های موجود در بخش بالایی این رخساره با واحدهای دانه‌درشت‌تر با بخش انتهایی اثررخساره اسکولایتوس مرتبط هستند.

## ۶- نتیجه‌گیری

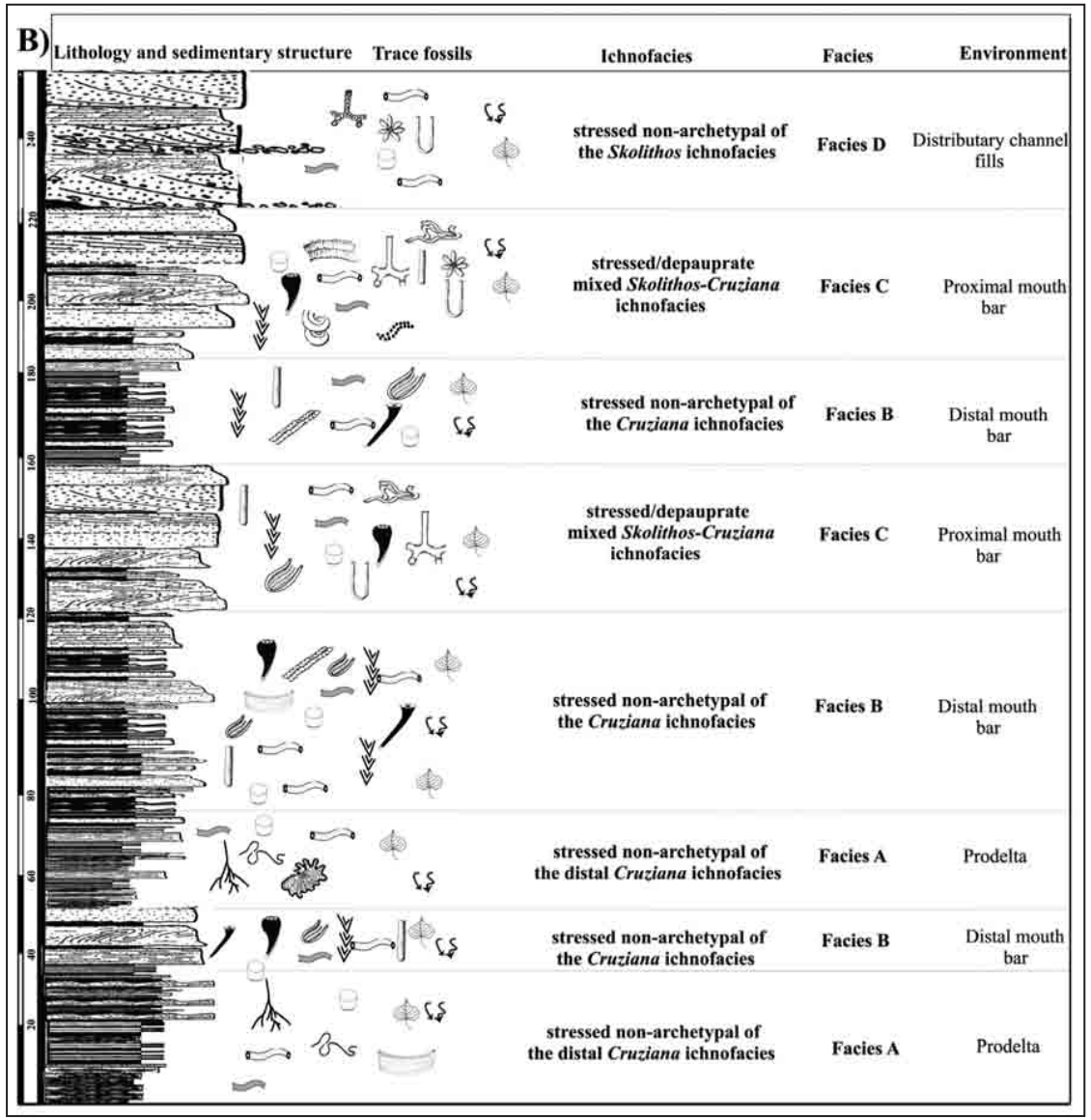
دو مجموعه توالی رخساره‌ای در نهشته‌های رسوبی سازند نایبند شامل ۱) توالی رخساره ای دلتایی- رودخانه‌ای و ۲) نهشته‌های دریایی باز تحت تأثیر امواج شناسایی شده است. توالی دلتایی بر پایه ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی شامل ۴ رخساره پاشنه دلتا، بخش انتهایی جلوی دلتا، بخش بالایی جلوی دلتا و سدهای دهانه‌ای رودخانه است. در این واحدها ۲ مجموعه اثرفسیل شناسایی شده است که شامل اثررخساره محدود شده کروزیانا (در رخساره‌های پاشنه دلتا و بخش انتهایی جلوی دلتا) و اثررخساره محدود شده مخلوط کروزیانا- اسکولایتوس (در رخساره بخش بالایی جلوی دلتا) است. نهشته‌های دریایی باز تحت تأثیر امواج نیز شامل ۴ رخساره دور از ساحل- شلف در زیر موجسار هوای توفانی، دور از ساحل- حدواسط در میان موجسار هوای توفانی و آرام، بخش پایینی حاشیه ساحلی پایینی در زیر موجسار هوای آرام و بخش بالایی حاشیه ساحلی پایینی در بالای موجسار هوای آرام هستند. ۴ اثررخساره در نهشته‌های دریایی باز شناسایی شده است که شامل اثررخساره زئوفیکوس در ادغام با بخش انتهایی اثررخساره کروزیانا (در رخساره دور از ساحل-شلف)، اثررخساره مخلوط کروزیانا- اسکولایتوس (در رخساره دور از ساحل- حدواسط، اثررخساره نزدیک به ساحل کروزیانا (در رخساره بخش پایینی حاشیه ساحلی پایینی) و بخش انتهایی اثررخساره اسکولایتوس (در رخساره بخش بالایی حاشیه ساحلی پایینی) است. توالی رخساره‌ای دریایی باز و دلتایی سازند نایبند تفاوت‌های زیادی از دید ویژگی‌های اثرشناسی نشان می‌دهند. در این تفاوت‌ها افزون بر تفاوت در مجموعه‌های اثرفسیل‌ها، شدت زیست‌آشفتگی، گوناگونی اثرفسیل‌ها، فراوانی، اندازه اثرفسیل‌ها و چگونگی توزیع آنها تفاوت‌های زیادی نشان می‌دهد. چنین تفاوت‌های نشان از اختلاف و تأثیر متفاوت متغیرهای فیزیکو- شیمیایی در نهشته‌های مورد مطالعه دارد.



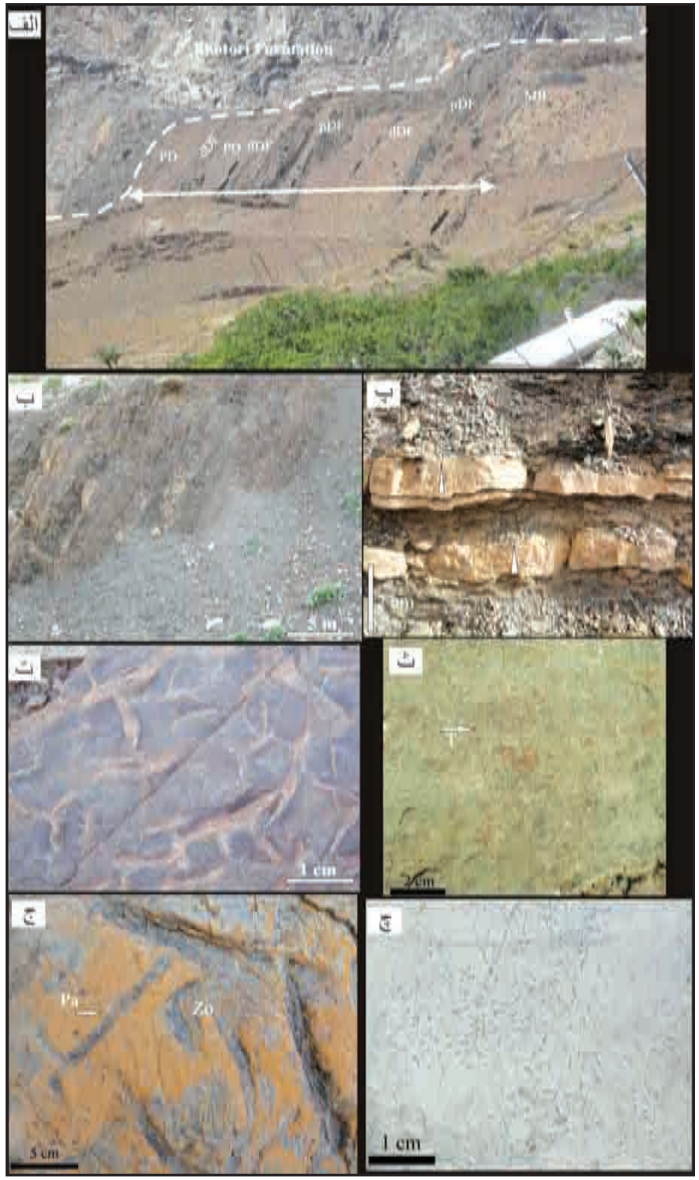

شکل ۱- موقعیت زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به ناحیه مورد مطالعه.



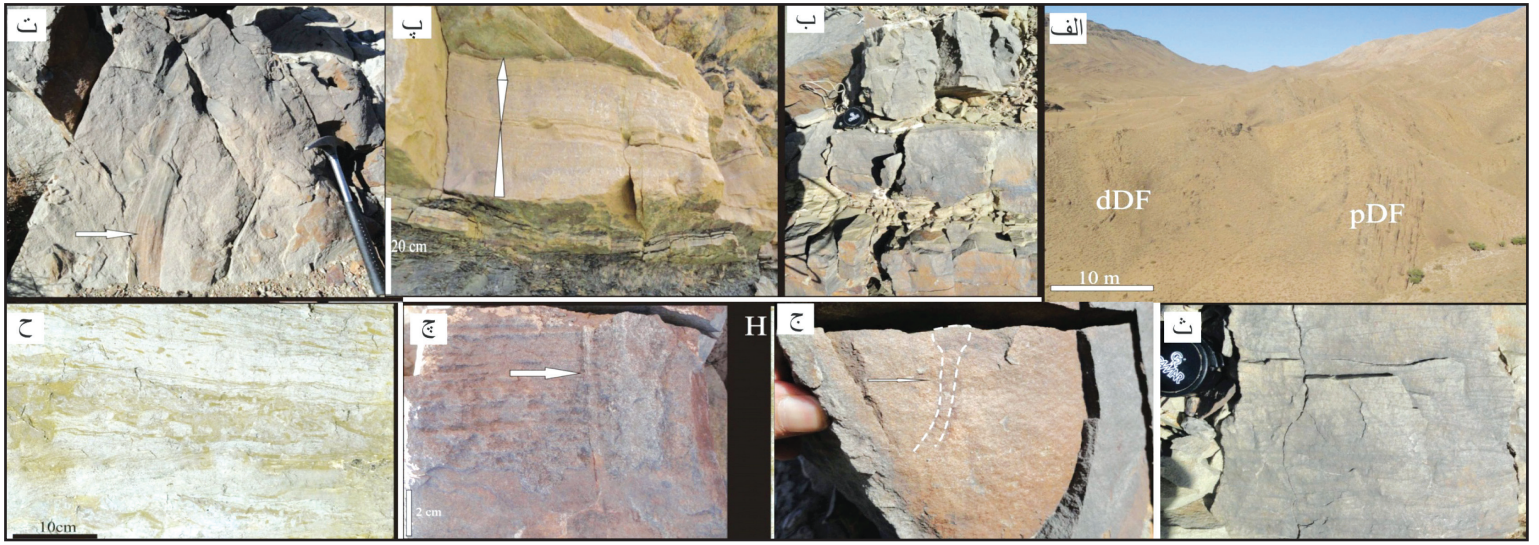

شکل ۲- توالی رسوبی نهشته‌های دریایی باز تحت تأثیر امواج بخش بالایی سازند نایبند، همراه با اثرفسیل‌ها و ساختارهای رسوبی همراه با نشانه‌های اختصاری ساختارهای رسوبی فیزیکی و زیستی بخش پایینی سازند نایبند.



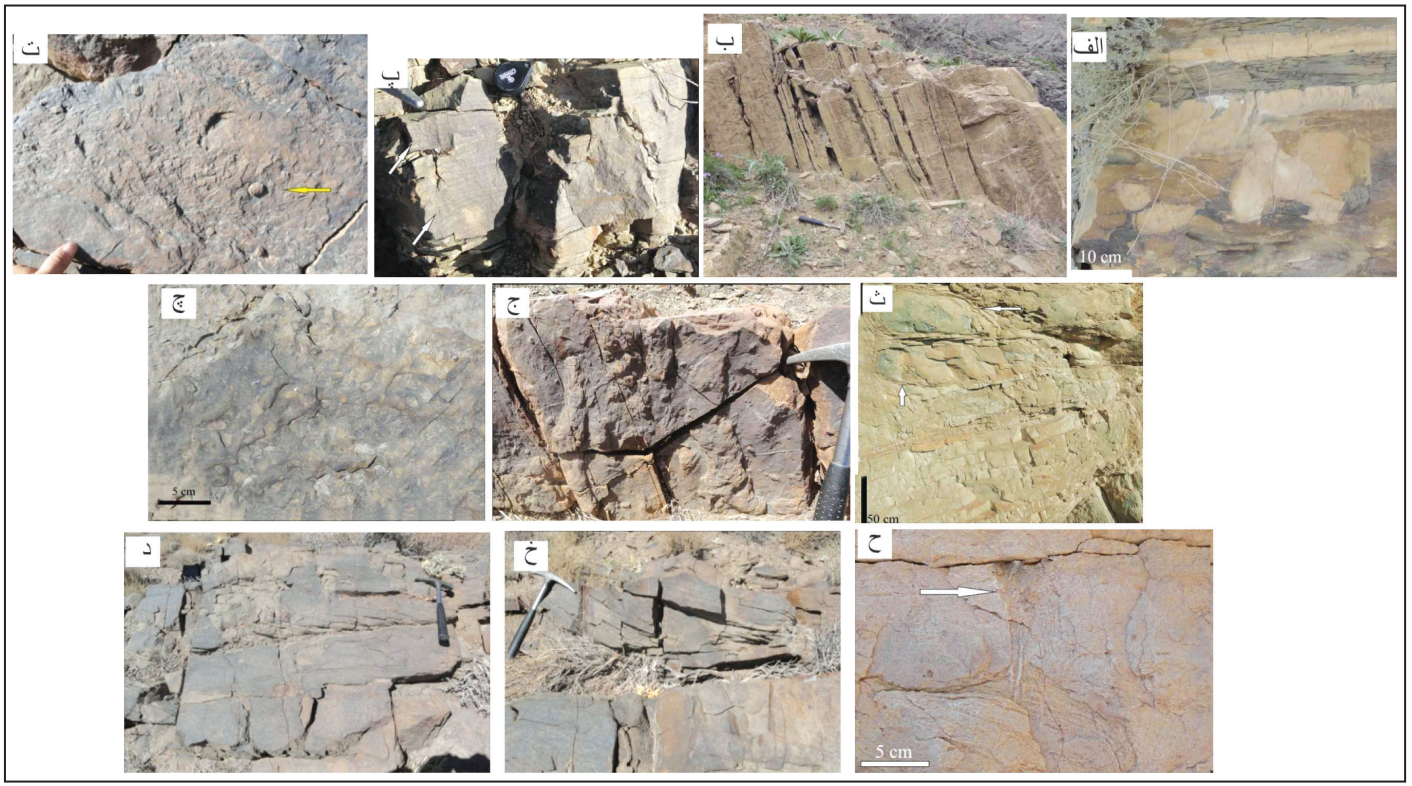

شکل ۳- توالی رسوبی دلتای رودخانه‌ای بخش پایینی سازند نایبند، همراه با اثرفسیل‌ها و ساختارهای رسوبی، بخش بالایی سازند نایبند.



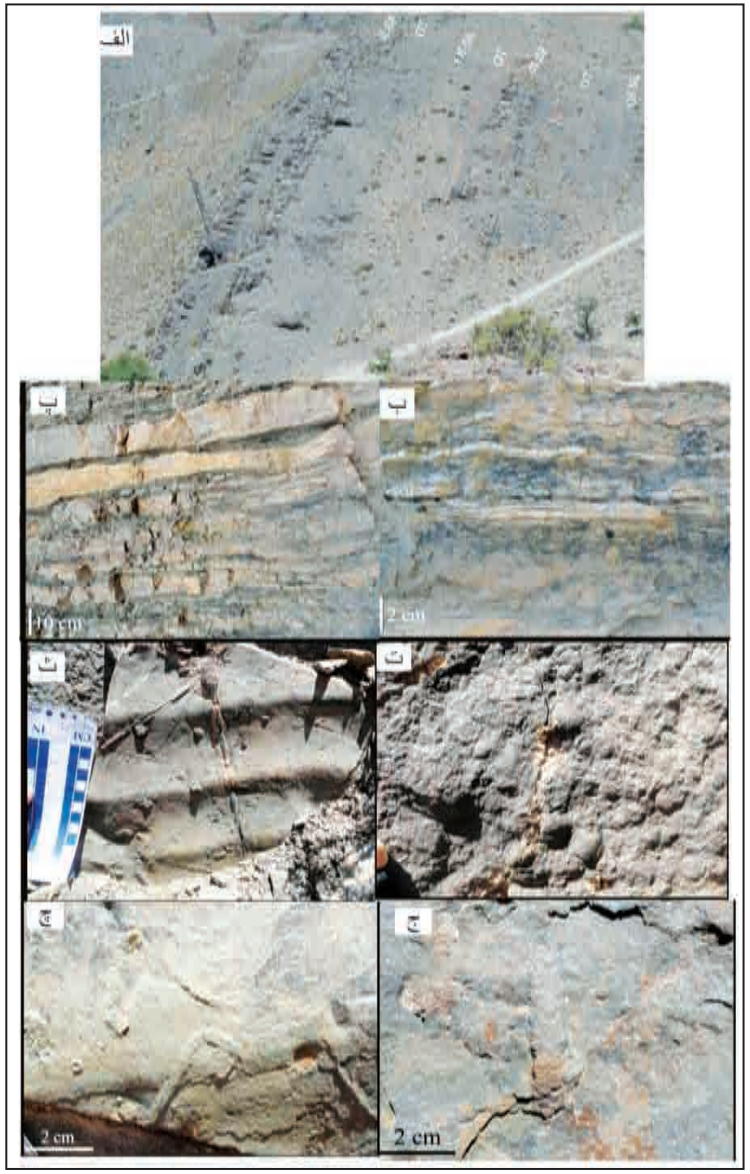

شکل ۴- الف) تصویر کلی از بخش پایینی سازند نایبند، دلتای رودخانه شامل و prodelta (pr), distal delta front (dDF), proximal delta front (pDF), mouth bar (MB)؛ ب) توالی پاشنه دلتا؛ پ) چینه‌بندی تدریجی عادی در لایه‌های مادستون سیلتی پاشنه دلتا (Tabc)؛ ت) ترک‌های سین‌آرسیس؛ ث) *Teichichnus*؛ ج) *Zoophycos* و *Palaeophycus*؛ چ) *Chondrites*.




شکل ۵- الف) تصویر کلی از بخش انتهایی رخساره جلوی دلتا distal delta front (dDF)؛ ب) چینه‌بندی مسطح موازی با سطح فرسایشی مشخص و چینه‌بندی توده‌ای در رخساره جلوی دلتا بخش انتهایی؛ پ) چینه‌بندی تدریجی عادی و وارون در لایه‌های ماسه‌سنگی جلوی دلتا (Tabc)؛ ت) آثار برگ؛ ث) لامیناسیون ریپلی بالارونده؛ ج) *Cylindrichnus*؛ چ) *Skolithos*؛ ح) ساختارهای تاب و پیچ خورده.



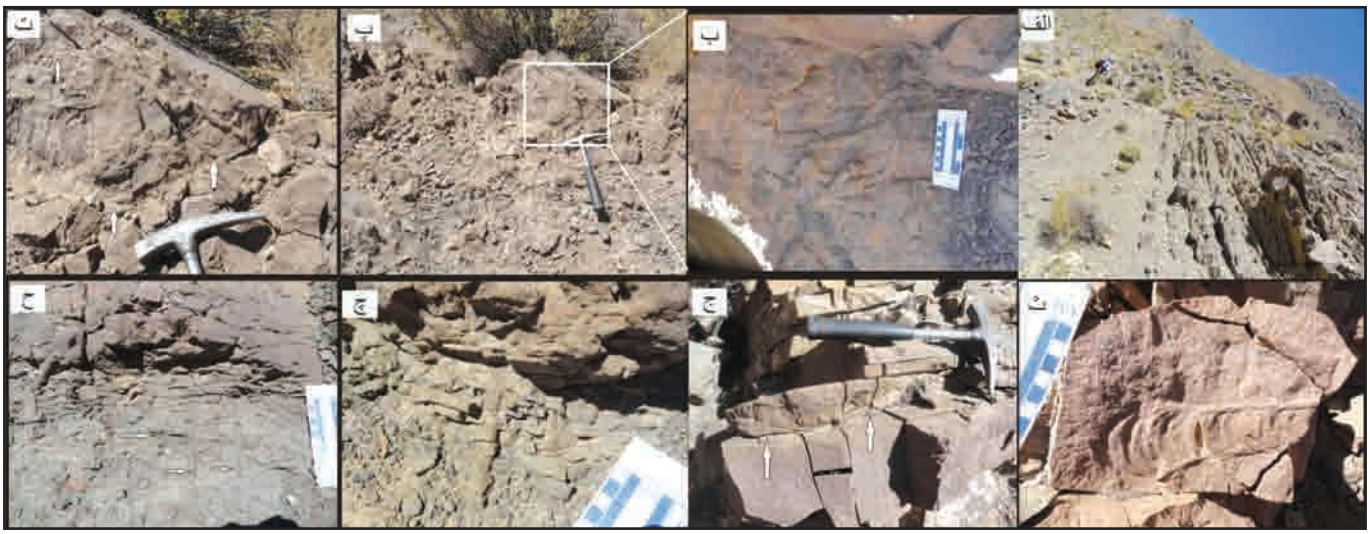

شکل ۶- الف) ساختارهای تغییر شکل ثانویه در رخساره‌های جلوی دلتا بخش انتهایی distal delta front (dDF)؛ ب) رخساره‌های ماسه‌سنگی جلوی دلتا بخش بالایی proximal delta front چیره لایه‌های توده‌ای با آثار گیاهی فراوان؛ پ) چینه‌بندی مورب هوموکی؛ ت) ترک‌های سین‌آرسیس در رخساره‌های جلوی دلتا با *Bergaueria* (پیکان زرد)؛ ث) ساخت‌های تغییر شکل ثانویه در رخساره جلوی دلتا بخش بالایی؛ ج) شاخص زیست‌آشفتگی بالا (۳-۴) در proximal delta front (dDF)؛ چ) *Rosselia* ;*Thalassinoides* –h؛ ح) چینه‌بندی مورب تراف در رخساره سد دهانه‌ای؛ خ و د) چینه‌بندی مورب توده‌ای، مسطح و تراف در رخساره‌های سد دهانه‌ای.



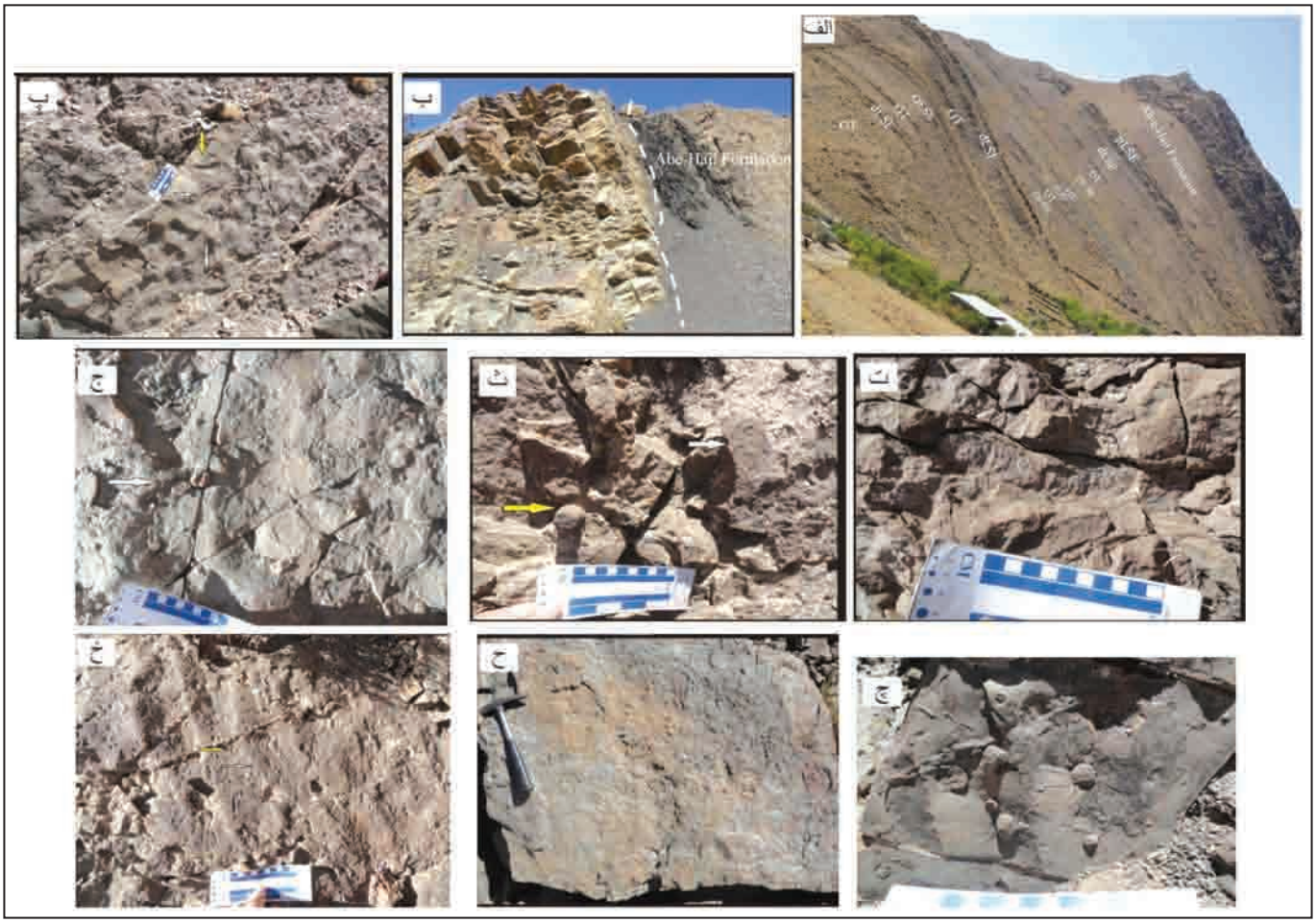

شکل ۷- الف) رخساره دور از ساحل- شلف؛ ب) ریپل‌های موجی در لایه ماسه‌سنگی نازک موجود در رخساره دور از ساحل- شلف؛ پ) *Helminthopsis*؛ ث) *Phycosiphon*؛ ج) ?*Scolicia*؛ چ) *Paleodictyon* (پیکان بزرگ) و *Planolites* (پیکان کوچک).



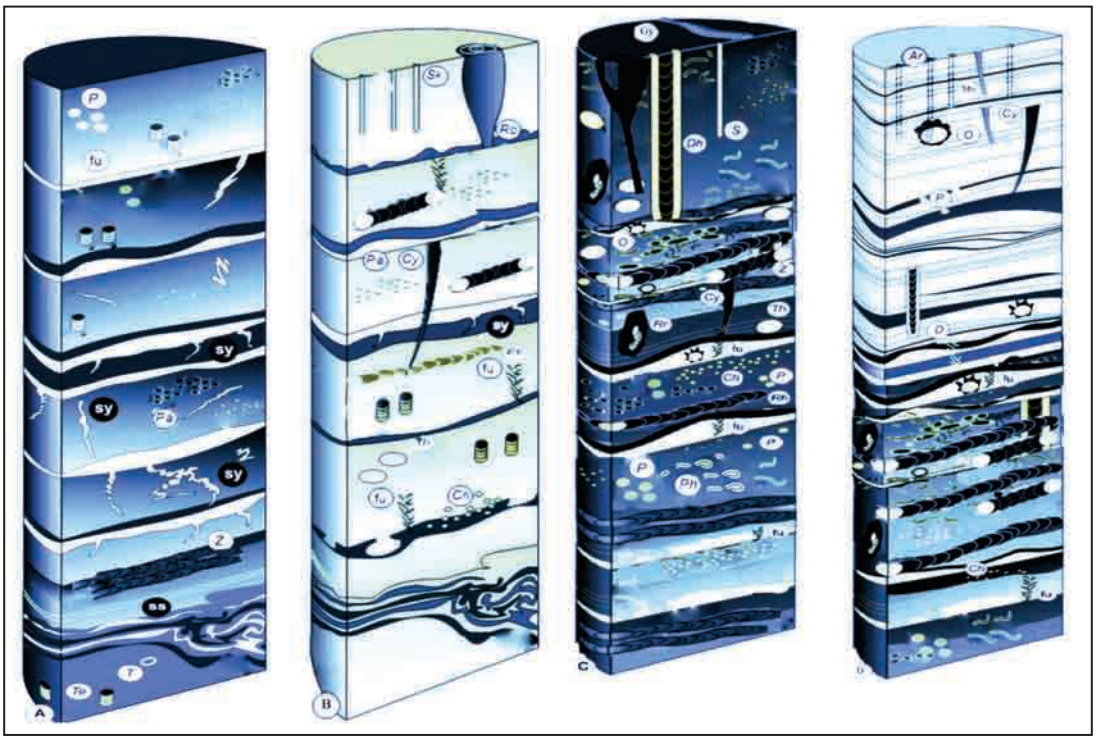

شکل ۸- الف) تصویر کلی از رخساره‌های بخش دریایی باز تحت تأثیر امواج dista lower shoreface (dLSF), offshore transition (ot), offshore-shelf (of-sh)؛ ب) چینه‌بندی مورب هوموکی کوچک مقیاس در لایه‌های با ستبرای کمتر از ۵ سانتی‌متر؛ پ) چینه‌بندی مورب هوموکی بزرگ مقیاس در لایه‌های با ستبرای بیشتر از ۵ سانتی‌متر؛ ت) فسیل های پیکره‌ای؛ ث) ریپل موجی با اثرفسیل *Palaeophycus*؛ ج) *Protovirgularia*؛ چ) *Gyrochorte*.



شکل ۹- الف) تصویر کلی از رخساره (dLSF) dista lower shoreface؛ ب) *Rhizocorallium irregula*؛ پ، ت و ث) *Rhizocorallium jenese*؛ ج) *Rhizocorallium irregular* موازی با سطح چینه‌بندی؛ چ و ح) *Ophiomorpha*.



شکل ۱۰- الف) تصویر کلی از مجموع توالی رخساره‌های بخش دریایی باز تحت تأثیر امواج سازند نایبند -dista lower shoreface (dLSF), offshore transition (ot), offshore shelf (of-sh), proximal lower shoreface (pSFL)؛ ب) رخساره proximal lower shoreface (pSFL)؛ پ) ریپل‌های موجی در بخش بالایی حاشیه ساحلی پایینی با اثرفسیل *Palaeophycus* و فسیل‌های پیکره‌ای؛ ت) *Rhizocorallium jenese*؛ ث) *Rhizocorallium* و *Ophiomorpha* (پیکان زرد) ؛ ج) *Arenicolites*؛ چ) *Monocraterion*؛ ح) pipe-rock ichnofabric با ساختارهای قائم از *Skolithos* و *Arenicolites*؛ خ) pipe-rock ichnofabric با ساختارهای قائم از *Monocraterion* (پیکان زرد)، *Skolithos*، *Arenicolites* و *Palaeophycus*.



شکل ۱۱- مقایسه اثرفسیل‌های محیط‌های دلتایی- رودخانه‌ای شامل پاشنه دلتا (A) و جلوی دلتا (B) با محیط‌های دریایی باز تحت تأثیر امواج شامل offshore-shelf و offshore transition (C) و distal lower shoreface و proximal lower shoreface (D). الگوی شکل‌ها بر گرفته از Pemberton et al. (1992)، Bann & Fielding (2004)، MacEachern et al. (2005) و Bann et al. (2004) است.

(Ro) *Rosselia*, (Th)*Thalassinoides*, (Z) *Zoophycos*, (P) *Planolites*, (Ph) *Phycosiphon*, (Sk) *Skolithos*, (D) *Diplocraterion*, (Ar) *Anconichnus*,(Cy)*Cylindrichnus*,(Te)*Teichichnus*,(Rh)*Rhizocorallium*,(P)*Palaeophycus*,(Mo)*Monocraterion*,(O)*Ophiomorpha*, (Gy) *Gyrochorte*, (H) *Helminthopsis*, (Ch) *Chondrites*, fugichnia (fu), synaeresis cracks (sy), and soft-sediment deformation (ss).

## کتابنگاری


آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

بایت‌گل، ا. و عباسی، ن.، ۱۳۹۲- اثرشناسی سازند جیرود در انقراض فامنین- تورنزین، البرز مرکزی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۹، صص. ۳۳ تا ۴۸.

بایت‌گل، ا.، عباسی، ن.، محبوبی، ا. و موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۱- تحلیل رخساره‌ای و تفسیر محیطی اثرفسیل‌های پلانولیتس و پالئوفیکوس در رسوبات پالئوزوئیک ایران میانی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۳، صص. ۱۸۵ تا ۱۹۶.

بایت‌گل، ا.، محبوبی، ا.، حسینی برزی، م. و موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۹- مدل اثرشناسی نهشته‌های آواری سازند شیرگشت در زیر پهنه کلمرد ایران مرکزی، مجله چینه‌نگاری و رسوب دانشگاه اصفهان. سال ۲۶، شماره ۳۸، صص. ۴۳ تا ۶۸.


## References


Bann, K. L. & Fielding, C. R., 2004- An integrated ichnological and sedimentological comparison of non-deltaic shoreface and subaqueous delta deposits in Permian reservoir units of Australia, in McIlroy, D., ed., The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society of London, Special Publication 228, p. 273-310.

Bann, K. L., Fielding, C. R., Maceachern, J. A. & Tye, S. C., 2004- Differentiation of estuarine and offshore marine deposits using integrated ichnology and sedimentology; Permian Pebbley Beach Formation, Sydney Basin, Australia, in McIlroy, D., ed., The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Geological Society of London, Special Publication 228, p. 179-211.

Bayet-Goll, A. & Neto de Carvalho, C., 2015- Ichnology and sedimentology of a tide-influenced delta in the Ordovician from the Northeastern Alborz range of Iran (Kopet-Dagh region). Lethaia, In Press.

Bayet-Goll, A., Chen, J., Moussavi-Harami, R. & Mahboubi, A., 2015a- Depositional processes of ribbon carbonates in middle Cambrian of Iran (Deh-Sufiyan Formation, Central Alborz). Facies, 61: In Press.

Bayet-Goll, A., Geyer, G., Wilmsen, M., Mahboubi, A. & Moussavi-Harami, R., 2014a- Facies architecture, depositional environments and stratigraphy of the Middle Cambrian Fasham and Deh-Sufiyan formations in the central Alborz, Iran. Facies 60: 815-841.

Bayet-Goll, A., Myrow, P. M., Aceñolaza, G. F., Moussavi-Harami, R. & Mahboubi, A., 2016- Depositional controls on the ichnology of Paleozoic wave-dominated marine facies: new evidence from the Shirgesht Formation, central Iran. Acta Geologica Sinica.

Bayet-Goll, A., Neto de Carvalho, C., Mahmudy-Gharaei, M. H. & Nadaf, R., 2015b- Ichnology and sedimentology of a shallow marine Upper Cretaceous depositional system (Neyzar Formation, Kopet-Dagh, Iran): palaeoceanographic influence on ichnodiversity. Cretaceous Reaserch, 56: 628-646.

Bayet-Goll, A., Neto de Carvalho, C., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A. & Nasiri, Y., 2014b- Depositional environments and ichnology of the deep-marine succession of the Amiran Formation (upper Maastrichtian–Paleocene), Lurestan Province, Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 401: 13-42.

Bhattacharya, J. P. & MacEachern, J. A., 2009- Hyperpycnal rivers and prodeltaic shelves in the Cretaceous Seaway of North America. J. Sed. Res., 79, 184–209.

Bhattacharya, J. P. & Walker, R. G., 1992- Deltas. In: Facies Models: Response to Sea-Level Change (Eds R.G. Walker and N.P. James), pp. 157–177. Geological Association of Canada, St Johns.

Bhattacharya, J. P., 2006- Deltas. In: Facies Models Revisited (Eds R.G. Walker and H. Posamentier), SEPM Spec. Publ., 84, 237–292.

Bhattacharya, J. P., Garza, Y. Z. D. & Blankenship, E., 2011- Evaluating delta asymmetry using three-dimensional facies architecture and ichnological analysis, Ferron 'Notom Delta', Capital Reef, Utah, USA. Sedimentology. 58, 478–507.

Bhattacharya, J., & Walker, R. G., 1991- Allostratigraphic subdivision of the Upper Cretaceous Dunvegan, Shaftesbury, and Kaskapau formations in the northwestern Alberta subsurface: Bulletin of Cana- dian Petroleum Geology, v. 39, p. 145–164.

Buatois, L. A. & Mängano, M. G., 2002- Trace fossils from Carboniferous floodplain deposits in western Argentina: Implications for ichnofacies models of continental environments: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 183, p. 71-86.

Coates, L. & MacEachern, J. A., 1999- The ichnological signature of wave- and river-dominated deltas, Dunvegan Formation and Basal Belly River Formations. In: Digging Deeper, Finding a Better Bottom Line (Eds B. Wrathall, G. Johnston, A. Arts, L. Rozsw, J.P. Zonneveld, D. Arcuri & S. McLellan, pp. 99–114. Can. Soc. Petrol. Geol., Calgary, Alberta.

Dalrymple, R. W. & Choi, K., 2007- Morphology and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated systems: a schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. Earth-Science Reviews 81, 135– 174.

Gingras, M. K., MacEachern, J. A. & Pemberton, S. G., 1998- A comparative analysis of the ichnology of wave- and river- dominated allomembers of the Upper Cretaceous Dunvegan Formation. Bull. Can. Petrol. Geol., 46, 51–73.

Hampson, G. J. & Storms, E. A., 2003- Geomorphological and sequence stratigraphic variability in wave-dominated, shoreface-shelf parasequences. Sedimentology, 50, 667–701.

Hansen, C. D. & MacEachern, J. A., 2007- Application of the asymmetric delta model to along-strike facies variation in a mixed wave- and river-influenced delta lobe, Upper Creta- ceous Basal Belly River Formation, Central Alberta. In: Applied Ichnology (Eds J.A. MacEachern, K.L. Bann, M. K. Gingras and S. G. Pemberton), SEPM Short Course Notes, 52, 256–269.

Lobza, V. & Schieber, J., 1999- Biogenic sedimentary structures produced by worms in soupy, soft muds: observations from the Chattanooga Shale (Upper Devonian) and experiments. Journal of Sedimentary Research, 69, 1041–1049.

MacEachern, J. A. & Pemberton, S. G., 1992- Ichnologic aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In: Application of Ichnology to Petroleum Exploration, A Core Workshop (Ed. S.G. Pemberton), SEPM Core Work- shop, 17, 57–84.

MacEachern, J. A., 1994- Integrated ichnological-sedimentological models and applications to the sequence stratigraphic and paleoenvironmental interpretation of the Viking and Peace River Formations, West Central Alberta. University of Alberta unpublished Ph.D. dissertation, 618p.

MacEachern, J. A., Bann, K. L., Pemberton, S. G. & Gingras, M. K., 2007a- The ichnofacies paradigm: High-resolution paleoenviromental interperetof the rock record. In: McIlroy, D. (ed.), The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis, Geological Society, London, Special Publication, v 228, p. 179-212.

MacEachern, J. A., Bann, K. L., Bhattacharya, J. P. & Howell, C. D., 2005- Ichnology of deltas. In: River Deltas: Concepts, Models, and Examples (Eds L. Giosan and J.P. Bhattach- arya), SEPM Spec. Publ., 83, 49–85.

MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., Bann, K. L. & Gingras, M. K., 2007b- Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of physio- chemical stresses in the rock record. In Applied Ichnology, MacEachern JA , Bann KL, Gingras MK, Pemberton SG (eds). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course Notes 52: 65–93.

MacEachern, J. A., Stelck, C. R. & Pemberton, S. G., 1999- Marine and marginal marine mudstone deposition: Paleoenvironmental interpretations based on the integration of ichnology, palynology and foraminiferal paleoecology, in Bergman, K.M., & Snedden, J.W., eds., Isolated Shallow Marine Sand Bodies: Sequence Stratigraphic and Sedimentologic Interpretation: SEPM Special Publication 64, p. 205-225.

Olariu, C. & Bhattacharya, J. P., 2006- Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems. Journal of Sedimen- tary Research 76: 212–233.

Pemberton, S. G., Frey, R. W., Ranger, M. J. & MacEachern, J. A., 1992a- The conceptual framework of ichnology. In Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, a Core Workshop (SEPM Core Workshop Vol. 17), Pemberton SG (ed.). SEPM Society for Sedimentary; 1–28.

Pemberton, S. G., MacEachern, J. A. & Frey, R. W., 1992b- Trace fossils facies models: environmental and allostratigraphic significance. In Facies Models, Response to Sea Level Change, Walker RG, James NP (eds). Geological Association of Canada: 47–72.

Pemberton, S. G., Spila, M., Pulham, A. J., Saunders, T., Maceachern, J. A., Robbins, D. & Sinclair, I., 2001- Ichnology and Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems: Geological Association of Canada, Short Course Volume 15, 343 p.

Saunders, T., Maceachern, J. A. & Pemberton, S. G., 1994- Cadotte Member sandstone: progradation in a boreal basin prone to winter storms, in: Pemberton, S. G., James, D. P. & Wightman, D. M., eds., Mannville Core Conference: Canadian Society of Petroleum Geologists, Exploration Update, p. 331-349.

Walker, R. G. & Plint, A. G., 1992- Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In: Facies Models: Response to Sea-Level Change (Eds R.G. Walker and N.P. James), pp. 219–238. Geological Association of Canada, St Johns.

# A sedimentological and ichnological analysis of wave-dominated open marine and river-dominated delta deposit from the Nayband formation (Upper Triassic) in Tabas block, Central Iran

**A. Bayetgoll** [1*]

[1] Ph.D., Institute for Advanced Studies in Basic Science, Zanjan, Iran

Received: 2012 July 04 Accepted: 2015 September 21

**Abstract**

The integration of ichnologic data with sedimentology analyses allows for discrimination between delta and open marine deposits of the Nayband Formation (Upper Triassic) in the Central Iran, Kerman. Relying on the facies characteristics and stratal geometries, the siliciclastic successions are divided into two facies associations, FA (open marine), FB (fluvial-dominated delta). The river-dominated deltaic assemblage includes facies that have been deposited in prodelta, distal delta front, proximal delta front, and mouth bar environments. The overall sedimentological and ichnological characteristics suggest deposition facies association A within the river-dominated deltaic environment. The open-marine facies association includes facies that have been deposited in shelf-offshore, offshore transition, distal lower shoreface and proximal lower shoreface environments. Facies association A and B of the Nayband Formation display markedly different suites of ichnofossils throughout the different depositional subenvironments. The fluvial-dominated delta successions are characterized by numerous physical and chemical stresses that can strongly influence the behavior of burrowing organisms. Three trace fossil assemblages are identified in the fluvial-dominated delta deposits. High rates of fluvial discharge, high water turbidity, seasonally high rates of deposition and phytodetrital pulses in river-dominated deltas may cause marked variations in the temperature, oxygenation and salinity of the fluvial-dominated delta successions. All of these factors in combination lead to reduction in diversity and abundance of infauna, small trace fossil size, and sporadic distribution of burrowing and lower intensities of bioturbation of trace fossil suite of river-dominated deltaic successions. Open marine deposits contain ichnological signatures characterized by moderate to intense bioturbation, high assemblage diversities and larger trace fossil size compared with the river-dominated delta successions. The occurrence of diverse and robust trace fossil suites attributable to the Zoophycos, Cruziana and Skolithos ichnofacies point to unstressed environmental conditions in open marine setting.

**Keywords**: Nayband, Facies associations, Ichnology, Sedimentology.

For Persian Version see pages 47 to 60

*Corresponding author: A. Bayetgoll; E-mail: aram1361@gmail.com



Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional