معرفی ایکنوفاسیس‌های قاره‌ای از نهشته‌های آبرفتی رودخانه‌ای نئوژن شهر بیرجند

مریم مرتضوی مهریزی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

نویسنده مسئول: **mmortazavi@birjand.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۷

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در سال‌های اخیر ایکنولوژی قاره‌ای اهمیت زیادی در مطالعات چینه‌شناسی، آنالیز حوضه و جغرافیای دیرینه پیدا کرده و کاربرد زیادی در شناخت پارامترهای محیطی و شرایط زیستی گذشته دارد. منطقه مورد مطالعه در شهر بیرجند جزء زون رسوبی- ساختاری خاور ایران محسوب می‌شود و شامل نهشته‌های رسوبی آبرفتی به سن نئوژن است. بر اساس مطالعات قبلی، نهشته‌های آبرفتی فوق شامل رخساره‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و گل‌سنگی هستند که بر مبنای اختصاصات بافتی و ساختمان‌های رسوبی خود در سیستم رودخانه‌ای برجای گذاشته شده‌اند. رخساره‌های سنگی، مجموعه‌های رخساره‌ای و فراوانی نهشته‌های جریان گراویته‌ای رسوب و رسوبات پرکننده کانال در نهشته‌های آبرفتی مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود یک سیستم رودخانه‌ای بریده بریده نزدیک به منشأ در زمان نئوژن است. مشاهدات صحرایی نهشته‌های ماسه‌ای و گلی پادگانه‌های آبرفتی مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود اثرفسیل‌های قاره‌ای در این رسوبات است. بر اساس اثرفسیل‌های مشاهده شده در این رسوبات، دو ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* و *Skolithos* و شش ایکنوجنس متمایز در این نهشته‌های قاره‌ای قابل تفکیک است که نهشته‌شدن این رسوبات در بخش‌های مجاور کانال فعال و دشت‌سیلابی سیستم رودخانه‌ای را تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: ایکنوفاسیس *Coprinisphaera*، ایکنوفاسیس *Skolithos*، پادگانه آبرفتی، نئوژن، شمال بیرجند

پیشگفتار

ایکنولوژی علمی بین رشته‌ای شامل فسیل‌شناسی، رسوب‌شناسی، چینه‌شناسی و ژئوشیمی است که از طریق مطالعه ساختمان‌های رسوبی زیستی یا اثرفسیل‌ها به تفسیر اکوسیستم‌ها و محیط‌های رسوبی دیرینه می‌پردازد (زیلاخر، ۲۰۰۷). اثرفسیل‌ها بقایای حفظ شده از باروها، اثرها، مسیرها، لانه‌ها، حفرات یا هر نگاشت دیگری از تعامل بین موجود زنده با بستر زیست یا محیط محسوب می‌شوند (همبری، ۲۰۱۸). تجزیه و تحلیل آثار فسیلی معمولا برای درک اختصاصات محیط رسوب‌گذاری دیرینه و افزایش آگاهی از پارامترهای رسوبی و شیمیایی آن کاربرد دارد. به عبارت دیگر، ایکنولوژی می‌تواند اطلاعات دقیق محیطی را ارایه دهد که می‌تواند با فرآیندهای رسوب‌گذاری، عمق‌سنجی نسبی دیرینه، چینه‌نگاری سکانسی و انطباق مرتبط باشد (جرارد، ۲۰۱۶). در ده سال اخیر اثرفسیل‌ها به صورت ابزاری مفید در تحلیل محیط‌های قاره‌ای دیرینه مدنظر قرار گرفته‌اند (برواملی و همکاران، ۲۰۰۷). آثاری که در رسوب باقی‌مانده و به صورت اثرفسیل حفظ می‌شوند، ثبتی از رفتار موجود را به نمایش می‌گذارند. اندازه، پراکندگی و تنوع آثار مشاهده شده در واحدهای رسوبی درجه شوری، محتوای اکسیژن، مقدار آب درون حفره‌ای، درجه حرارت، دسترسی مواد غذایی، نرخ رسوب‌گذاری، سختی بستر زیست، آشفتگی، انرژی و رخنمون خشکی یک محل در زمان رسوب‌گذاری را منعکس می‌کنند (دروزر و بوتجر، ۱۹۸۶؛ برواملی، ۱۹۹۶). در سال‌های اخیر ایکنولوژی قاره‌ای اهمیت زیادی در مطالعات چینه‌شناسی، آنالیز حوضه و جغرافیای دیرینه پیدا کرده است. همانند محیط‌های دیرینه دریایی، آثار فسیلی کاربرد زیادی در شناخت پارامترهای محیطی در موقعیت‌های غیردریایی دارند و اطلاعات دقیقی را در مورد شرایط زیست گذشته ارایه می‌کنند (جنیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاسیوتیس، ۲۰۰۲). شهرستان بیرجند در جنوب استان خراسان رضوی قرار داشته و از شمال به شهرستان قائن، از باختر به فردوس و طبس، از جنوب به نهبندان و از خاور به افغانستان محدود می‌شود (شکل 1B). منطقه مورد مطالعه شامل پادگانه‌های آبرفتی است که در بخش

شمالی شهر بیرجند واقع شده و دارای موقعیتی با طول جغرافیایی "۳۱ '۱۵ °۵۹، "۱۰ '۱۲ °۵۹ و عرض جغرافیایی "۴۰ '۵۲ °۳۲، "۰۰ '۵۴ °۳۲ و ارتفاع ۱۴۸۸ متر از سطح دریا می‌باشد. سن این پادگانه‌های آبرفتی، نئوژن تخمین زده شده است. هدف این مطالعه، معرفی اثرفسیل‌های قاره‌ای شناسایی شده در رسوبات ماسه‌ای و گلی پادگانه‌های آبرفتی نئوژن شمال شهر بیرجند و ارزیابی ارتباط بین اثرفسیل‌ها و ایکنوفاسیس‌های شناسایی شده با زیرمحیط‌های مختلف رودخانه‌ای است.

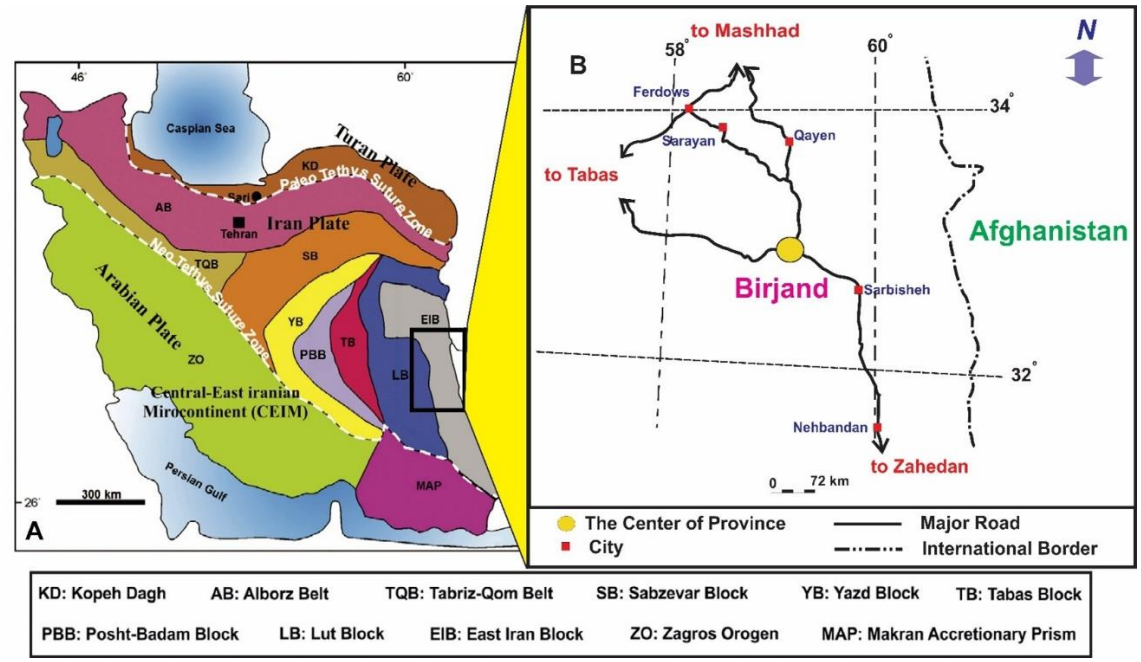
زمین‌شناسی و چارچوب چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

از نظر زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه جزء زون رسوبی- ساختاری خاور ایران محسوب می‌شود که به صورت یک کمربند با روند شمالی- جنوبی و با طول بیش از ۷۰۰ کیلومتر امتداد دارد و بین دو بلوک قاره‌ای لوت در باختر و افغان در خاور واقع شده است (شکل 1A). منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه ساختاری خاور ایران در مجاورت حاشیه شمال باختری بلوک لوت می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳). در حوضه فلیشی خاور ایران سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه رخنمون ندارند (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲). واحدهای سنگ‌شناسی منطقه بیرجند شامل آمیزه افیولیتی (شامل سنگ‌های اولترامافیک و مافیک، رسوبی و دگرگونی)، رخساره‌های فلیشی، سنگ‌های آذرآواری جوان‌تر از افیولیت‌ها و رسوبات کواترنر است (شکل ۲). رخساره‌های فلیشی و سنگ‌های آذرین این محدوده به دلیل قرارگیری در یک زون برخوردی نظم چینه‌ای ندارند (اشتوکلین و همکاران، ۱۳۵۲). رسوبات پالئوژن در بخش شمالی به طور دگرشیب به وسیله نهشته‌های نئوژن که اکثرا شامل کنگلومرا می‌باشند، پوشیده می‌گردند. در بخش مرکزی در دامنه‌های جنوبی منطقه مخلوط درهم رنگین، ردیفی از سنگ‌های رسوبی نئوژن که شامل کنگلومرا، مارن‌های گچ‌دار، توف و مارن‌های توفی می‌باشند مستقیماً به روی سنگ‌های مخلوط درهم رنگین قرار می‌گیرند. در بعضی مکان‌ها عدسی‌هایی از آهک‌های توفی به رنگ خاکستری روشن در توف‌های نئوژن دیده می‌شود. سنگ‌های ولکانیکی نئوژن اساساً در گوشه جنوب باختر منطقه گستردگی بیش‌تری دارند. قسمت اعظم این سنگ‌ها از نوع پیروکسن‌آندزیت بوده که در بعضی مکان‌ها ترکیب آن‌ها تا آندزیت‌بازالتی نیز تغییر می‌کند. آندزیت‌های آمفیبول‌دار بمراتب کمتر دیده می‌شود.

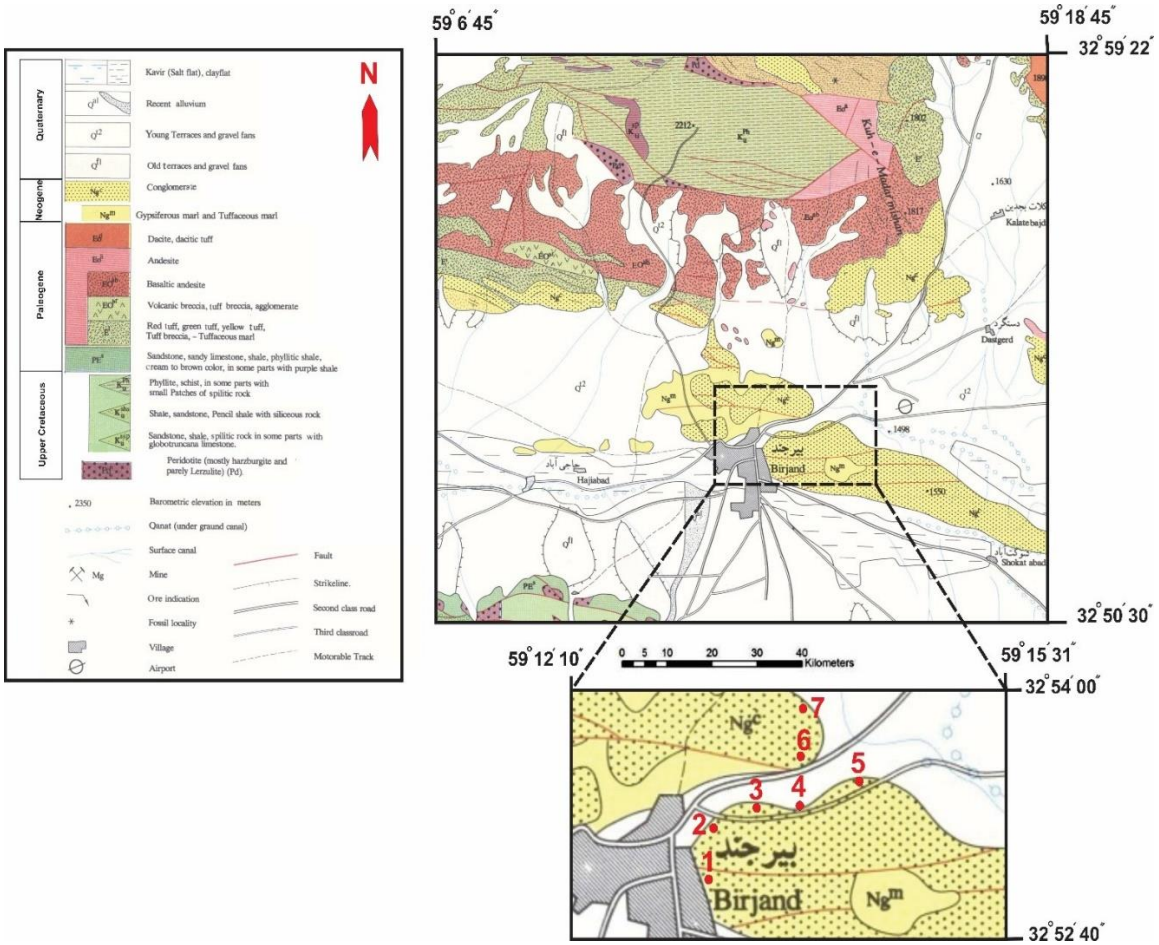
به‌طورکلی، آندزیت‌های نئوژن کم و بیش کربناتیزه شده‌اند. نهشته‌های کواترنر شامل پادگانه‌های قدیمی، مخروط‌افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی جدید، پهنه‌های نمکی، پهنه‌های رسی، تپه‌های ماسه‌ای و نیز آبرفت‌های عهد حاضر، جوان‌ترین تشکیلات موجود در منطقه می‌باشند (افتخارنژاد، ۱۹۸۶).

تحلیل رخساره‌ای و محیط رسوبی نهشته‌های پادگانه‌ای نئوژن

رخساره‌های رسوبی واحدهای اصلی سازنده توالی‌های رسوبی هستند. در ۷ نیمرخ رسوبی (شکل ۲) از پادگانه‌های آبرفتی نئوژن (شکل ۳)، رخساره‌های سنگی آواری بر اساس اندازه دانه‌ها و ساختمان‌های رسوبی تعریف شده‌اند. کدهای بکار برده شده شامل انواع رخساره‌های سنگی استاندارد میال (۲۰۰۲ و ۲۰۰۶) می‌باشد (جدول ۱). رخساره‌های سنگی مبنای تفسیر حالت‌های مختلف ته‌نشست رسوب هستند. آن‌ها بر اساس دسته‌بندی مکانی و ساختارهای رسوبی خویش به مجموعه‌های رخساره‌ای مختلف تفکیک می‌شوند. یک مجموعه رخساره‌ای به صورت مجموعه‌ای از رخساره‌های مرتبط از نظر مکانی و ژنتیکی تعریف می‌شود که دارای سبک مورفودینامیک ویژه‌ای از نظر رسوب‌گذاری بوده و شامل رخساره‌های خاص با شکل هندسی و ساختارهای رسوبی مشخص می‌باشد. در موقعیت‌های رودخانه‌ای مجموعه‌های رخساره‌ای مجزا در نهایت به صورت عناصر ساختاری در نظر گرفته می‌شوند (نیبا و روتزل، ۲۰۱۰). در مطالعه حاضر، رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در سه مجموعه رخساره‌ای جای می‌گیرند: ۱) مجموعه رخساره‌ای کنگلومرایی شامل رخساره‌های سنگی Gmm، Gmg، Gci، Gcm، Gh، Gp و Gt، ۲) مجموعه رخساره‌ای ماسه‌سنگی شامل رخساره‌های سنگی Sm، Sh، St و Sp و ۳) مجموعه رخساره‌ای گل‌سنگی شامل رخساره‌سنگی Fm که تصاویر صحرایی، اختصاصات بافتی و ساختمان‌های رسوبی و تفسیر شرایط رسوب‌گذاری هر رخساره‌سنگی در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۱. (A) نقشه پهنه‌های رسوبی- ساختاری ایران که موقعیت بلوک خاور ایران (EIB) با مربع مشکی روی آن مشخص شده است (برگرفته با تغییراتی از مطیعی (۱۳۷۳))، (B) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به شهر بیرجند، خراسان جنوبی (برگرفته از اتواطلس ایران (بختیاری، ۱۳۸۷).



شکل ۲. برشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند (افتخارنژاد، ۱۹۸۶) که واحدهای سنگی اطراف نهشته‌های آبرفتی نئوژن (واحد Ng^c) در محدوده مورد مطالعه (مربع خط‌چین مشکی)، در آن قابل مشاهده است. علاوه بر این، موقعیت برداشت ۷ نیمرخ از پادگانه‌های آبرفتی نئوژن، با شماره و نقاط قرمز رنگ، در محدوده فوق نشان داده شده است.

جدول ۱. شرح مختصری از ویژگی‌های صحرایی و شرایط رسوب‌گذاری رخساره‌های سنگی شناسایی شده در نیمرخ‌های پادگانه‌ای مورد مطالعه

Facies Code	Lithofacies	Description	Outcrop	Interpretation
Gmm	Matrix-supported massive conglomerate	Matrix-supported polymict conglomerate with clasts up to 70 mm, mostly poorly sorted with subangular to subrounded pebbles and cobbles, 60 to 70 cm thick		Mass-flow deposits, Deposition from gravity flow as debris flow deposits.
Gmg	Matrix-supported graded conglomerate	Clast-supported polymict conglomerate with normal grading, 10 to 20 cm thick flat and sheet like geometry, pebbles (5 to 55 mm) poorly sorted and subangular to subrounded		Mass-flow deposits, Deposition from hyperconcentrated or turbulent flow
Gci	Clast-supported Inverse-graded conglomerate	Clast-supported polymict reverse graded conglomerate, 20 to 50 cm thick, sheet like geometry, pebbles (5 to 40 mm) poorly sorted and subangular to subrounded		Mass-flow deposits, Deposition from hyperconcentrated or turbulent flow
Gcm	Clast-supported massive conglomerate	clast-supported polymict conglomerate with 50 to 90 cm thick, lens to wide sheet like geometry, pebbles and boulders (5 to 320 mm) poorly sorted and subangular to subrounded, lower contact is erosional.		channel lag deposits, bed load deposition by rapid flow-speed reduction

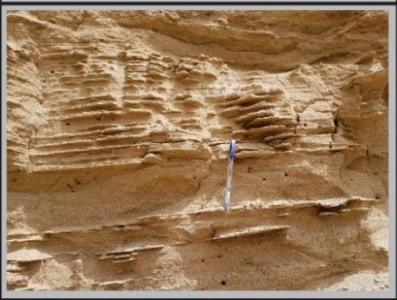
عناصر ساختاری در رخنمون توسط مجموعه‌های رخساره‌ای، طبیعت سطوح محصورکننده، شکل هندسی خارجی و ساختارهای داخلی قابل شناسایی‌اند (کوستیچ و آگنر، ۲۰۰۷). پنج عنصر ساختاری در نهشته‌های مورد مطالعه شناسایی شده است: عنصر SG یا نهشته‌های حاصل از جریان‌های گراویته‌ای رسوب، عنصر CH یا رسوبات پرکننده کانال، GB سدها و اشکال لایه‌ای کانال گراولی، SB یا اشکال لایه‌ای کانال ماسه‌ای و OF رسوبات دانه‌ریز خارج کانال. جدول ۲ اختصاصات اصلی عناصر ساختاری در نهشته‌های آبرفتی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رخساره‌های سنگی، مجموعه‌های رخساره‌ای و فراوانی نهشته‌های جریان گراویته‌ای رسوب و رسوبات پرکننده کانال در نهشته‌های آبرفتی مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود یک سیستم رودخانه‌ای بریده بریده نزدیک به منشأ در زمان نئوژن است. به طور کلی، عواملی نظیر وجود مناطق پرشیب، حضور رسوبات درشت‌تر، تخلیه بالای جریان و مقادیر بالای بار رسوبی منجر به بریده بریده شدن کانال رودخانه می‌گردد (نیبا و روتزل، ۲۰۱۰). شکل

هندسی عدسی کشیده شده به صورت جانبی که در اغلب عناصر ساختاری قابل مشاهده است، رسوب‌گذاری در یک سیستم رودخانه‌ای کم عمق و وسیع که بخوبی گسترش نیافته و قسمت‌های خارج کانال آن به راحتی فرسایش می‌یابند را نشان می‌دهد. شکل هندسی عدسی شکل و کانال مانند رخساره‌های گراولی و ماسه‌ای و قرارگیری نهشته‌های دانه‌ریز گلی خارج کانال بر روی این توالی‌های رسوبی مؤید موقتی بودن جریان رودخانه و نوسانات متعدد در تخلیه جریان است. معمولاً انتقال، فرسایش و رسوب‌گذاری دوره‌ای نشان‌دهنده رودخانه‌های درشت‌دانه است. حضور چرخه‌های به سمت بالاریزشونده متعدد در تهشته‌های پرکننده کانال و قاعده فرسایشی هر چرخه نیز تغییر انرژی رودخانه در طی فرآیندهای سیلابی را منعکس می‌کند. مجموع ویژگی‌های فوق همراه با نهشته‌های جریان‌های خرده‌دار و فراوانی رسوبات گراولی نسبت به رسوبات دانه‌ریزتر ماسه‌ای و گلی نشان‌دهنده نهشته شدن رسوبات ناحیه مورد مطالعه در سیستم رودخانه‌ای بریده بریده گراولی نزدیک به منشأ است.

ادامه جدول ۱. شرح مختصری از ویژگی‌های صحرایی و شرایط رسوب‌گذاری رخساره‌های سنگی شناسایی شده در نیمرخ‌های پادگانه‌ای مورد مطالعه

Facies Code	Lithofacies	Description	Outcrop	Interpretation
Gh	Horizontally stratified gravel	Clast-supported horizontally stratified polymict conglomerate with 60 to 80 cm thick, sheet like geometry, pebbles and cobbles (5 to 180 mm) subangular to subrounded with poorly sorting.		Deposition from high energy traction current as channel lag deposits.
Gp	Planar cross-stratified gravel	Clast-supported cross-stratified conglomerate (20 to 30 cm thick), lens like geometry, granules and pebbles (5 to 65 cm) subangular to subrounded		Linguoid bars, Transverse bars
Gt	Trough cross-stratified gravel	Clast-supported trough cross-stratified conglomerate, granules to pebbles (5 to 70mm), subangular to subrounded and poorly sorted.		Transverse bars, Channel fills
Sm	Massive Sand	Massive medium to coarse to pebbly sandstones, moderate to good sorted, 18 to 25 cm thick, sheet like geometry.		Rapid deposition by sediment gravity flow

ادامه جدول ۱. شرح مختصری از ویژگی‌های صحرایی و شرایط رسوب‌گذاری رخساره‌های سنگی شناسایی شده در نیمرخ‌های پادگانه‌ای مورد مطالعه

Facies Code	Lithofacies	Description	Outcrop	Interpretation
Sh	Horizontally bedded sand	Fine to coarse horizontally bedded and laminated sandstones, lens to sheet like geometry		Planar bed flow
Sp	Planar cross-stratified sand	Medium to coarse, planar cross-stratified sandstones with moderate to well sorting		Migration of sandy bedforms (such as ripples, sand waves), simple bars, transverse bedforms under lower and upper flow regimes.
St	Trough cross- stratified sand	Medium to very coarse sandstones with cross-stratification		Dune migration under lower flow regime
Fm	Massive sand, silt and mud	Sandy to silty massive mudstones with root traces, evaporite and carbonate paches.		Deposition from suspended load in the overbank environment or as drape deposits on the bars surface

روش مطالعه

در این مطالعه، جمع‌آوری داده‌های رسوب‌شناسی و ایکنولوژیکی بر اساس مشاهدات صحرایی دقیق پادگانه‌های آبرفتی نئوژن و توصیف تفصیلی رخنمون‌ها است. اگرچه مطالب ارایه شده توسط استو (۲۰۰۵) در شناخت روش مطالعات صحرایی مورد نیاز در این کار کمک به سزایی کرده است ولیکن در بررسی‌های ایکنولوژیکی در رخنمون ممکن است روش‌های خاصی مورد نیاز باشد (نظیر اکدال و همکاران، ۱۹۸۴؛ هاجز، ۲۰۰۳؛ ساوازی، ۲۰۱۱). باروهای مشاهده شده در صحرا بر اساس مورفولوژی ساختاری و سطحی و مشخصات رسوبات پرکننده آن‌ها توصیف شده‌اند. اندازه‌گیری قطر و طول باروها توسط خط‌کش در مقیاس متریک صورت گرفته و جهت مطالعات آزمایشگاهی بعدی از آن‌ها عکسبرداری شده است. علاوه بر تشخیص نوع و اندازه ایکنوفسیل‌ها، ارتباطات فیزیکی آن‌ها با هم، شدت آشفتگی زیستی و پراکندگی آن‌ها نیز مورد توجه قرار گرفته است.

شکل ۳. تصاویر صحرایی منتخب از تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌های سنگی در نیمرخ‌های رسوبی مورد مطالعه

جدول ۲. عناصر ساختاری شناسایی شده در رسوبات آبرفتی نئوژن بیرجند

Architectural elements	Facies constituents	Interpretation	Stratal architecture
Sediment gravity flow (SG) element	Gmm, Gmg, Gci	Debris-flow conglomerate. Chaotic arrangements and protrusion of clasts in Gmm lithofacies indicate high matrix strength of the flow.	
Gravel bars and bedforms (SB)	Gp, Gt, Gh	Migration of gravel bars and rapid settling from traction currents	
Sandy bedform (SB)	Sm, Sh, Sp, St	Rapid settling from grain flows and deposition from low and high velocity or migration of sandy bedforms in the above condition.	
Channel-fill (CH) element	Gcm, Gh, Gp, Gt, Sm, Sh, Sp, St	Braided fluvial channels with gravel bars.	
Overbank fines (OF) element	Fm	Settling of fine-grained sediments at terminal stages of the flood. Sandy interbeds are products of unconfined flows on flood plain during early flood events	

بحث

محیط‌های رسوبی با وجود تعامل پویای زمانی و مکانی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی متعدد شناخته می‌شوند که شامل انرژی امواج، جریان جزرومدی، اثر توفان، ورود رسوب رودخانه‌ای، رخنمون یافتن در مقابل به زیر آب رفتن، شوری، میزان اکسیژن و دیگر عوامل فیزیکو شیمیایی است. ایکنولوژی ابزاری ارزشمند در تشخیص بسیاری از این فرآیندها است بویژه زمانی که با تحلیل‌های رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی تلفیق می‌شود (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۶؛ نصیری و همکاران، ۲۰۲۰؛ شرفی و همکاران، ۲۰۲۱ الف و ب). اثرفسیل‌ها صرفا از دیدگاه فسیل‌شناسی دارای اهمیت نیستند بلکه آن‌ها به عنوان ساختمان‌های رسوبی زیستی محسوب می‌شوند (بایت‌گل و همکاران، ۲۰۱۷). این آثار به شدت توسط رخساره‌ها کنترل می‌شوند و از این جهت برای انجام تحلیل‌های رخساره‌ای مناسبند. در واقع، اثرفسیل‌ها ترکیب خاصی از رفتار موجود زنده در پاسخ به تغییرات شرایط محیطی را منعکس می‌کنند (مک ایچرن و همکاران، ۲۰۰۷). توصیف و نام‌گذاری اثرفسیل‌ها بر اساس ویژگی‌هایی نظیر شکل یا مورفولوژی کلی آن‌ها، ساختار خارجی و داخلی، جهت‌یافتگی، خطوارگی و اشکال سطحی صورت می‌گیرد. در نهایت، اثرفسیل‌ها بر اساس دستورالعمل کدهای بین‌المللی انجمن جانورشناسی تحت عناوین ایکنوجنس و ایکنوگونه نام‌گذاری می‌شوند (همبری، ۲۰۱۸). در اکثر مطالعات تشخیص اثرفسیل‌ها در سطح ایکنوجنس صورت می‌گیرد چرا که اهمیت رفتاری اغلب ایکنوگونه‌های یک ایکنوجنس مشابه است. به‌هرحال، اثرفسیل‌هایی که بر اساس مورفولوژی اثر به تنهایی و نه بر اساس رفتار تفسیر شده سازنده اثر یا اهمیت محیطی نام‌گذاری شده‌اند دارای اهمیت بیش‌تری می‌باشند (همبری، ۲۰۱۸). شناخت ایکنوفاسیس‌های زیلاخر (۱۹۶۷) در قلمروهای قاره‌ای موضوع بحث‌های اساسی بوده است. ایکنوفاسیس‌های بی‌مهرگان برای نهشته‌های قاره‌ای، علیرغم اینکه از دهه ۱۹۹۰ به بعد ارایه شده‌اند، توسط جوامع علمی مورد پذیرش قرار گرفته‌اند (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۳؛ جنیس و همکاران، ۲۰۰۰). تجزیه و تحلیل‌های ایکنولوژیکی منظم در قلمروهای قاره‌ای، با افزایش روزافزون مطالعات موردی اخیر گسترش یافته است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که رژیم قاره‌ای از نظر ایکنولوژی بسیار متنوع‌تر و پیچیده‌تر از آن چیزی است که تصور می‌شده است (مک ایچرن و همکاران، ۲۰۰۷). دونوان (۱۹۹۴)، هاسیوتیس (۱۹۹۷، ۲۰۰۲) و هاسیوتیس و بون (۱۹۹۲) به مطالعه ایکنولوژی قاره‌ای از دیدگاه‌های مختلف پرداخته و به ارایه بینش‌های جدید از این قلمرو دست یافته‌اند.

ایکنوفاسیس‌های بی‌مهرگان شناخته شده در نهشته‌های رودخانه‌ای شامل ایکنوفاسیس‌های *Scoyenia*، *Mermia*، *Coprinisphaera* و *Skolithos* می‌باشد (نظیر، بواتوا و مانگانو، ۲۰۱۱) که به این طرح می‌توان ایکنوفاسیس اخیرا پیشنهاد شده *Celliforma* و ایکنوفاسیس متمایز و باز تعریف شده *Termitichnus* را اضافه کرد. بر اساس باروهای مشاهده شده در رسوبات پادگانه‌های آبرفتی مورد مطالعه، دو ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* و *Skolithos* در این نهشته‌های قاره‌ای قابل تفکیک است.

ایکنوفاسیس *Coprinisphaera*: ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* توسط جنیس و همکاران (۲۰۰۰) در موقعیت‌های قاره‌ای که در معرض رخنمون قرار دارند، ارایه شده است. از نظر گروه‌بندی، این آثار در رده آثار لانه‌سازی و پرورش و رشد قرار می‌گیرند ولی موقعیت‌هایی که شامل حفرات مربوط به پناهگاه، شکار و کمین هستند نیز شناسایی شده‌اند. برخی ساختارهای تغذیه رسوب سیار، اقامتگاه‌های بزرگ‌تر مخصوص مهره‌داران و ریزولیت‌ها نیز در این گروه جای می‌گیرند. غالب سازندگان اثر، زنبورها، مورچه‌ها، سوسک‌ها و موریانه‌ها هستند. به‌طورکلی، موقعیت‌هایی که به ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* نسبت داده می‌شوند شامل لانه‌های سوسک سرگین (*Coprinisphaera*)، آثار زنبور عسل (به عنوان مثال، *Celliforma, Uruguay, Ellipsoideichnus, Palmiraichnus, and Rosellichnus*)، لانه زنبور (به عنوان مثال، *Chubutolithes*)، آثار مورچه (به عنوان مثال، *Attaichnus and Parowanichnus*)، آثار سوسک‌های دیگر (به عنوان مثال، *Monesichnus, Fontanai, Pallichnus, Eatonichnus* و *Teisseirei*) و لانه موریانه‌ها (به عنوان مثال، *Termitichnus, Syntermesichnus* و *Tacuruichnus*) می‌باشند. موقعیت‌های مشخص این ایکنوفاسیس به خاک‌های دیرینه‌ای که در اکوسیستم‌های قدیمه با گیاهان علفی گسترش داشته‌اند مطابقت دارد که این امر محدوده زمانی این ایکنوفاسیس را به واحدهای کرتاسه پسین تا عهد حاضر محدود می‌کند. از نظر اقلیم،

موقعیت از استپ‌های خشک و سرد (غالبا لانه‌های hymenopterous) تا ساواناهای مرطوب و گرم مناطق نیمه‌گرمسیری (غالبا لانه موریانه‌ها) در تغییر است. این موقعیت‌ها شدیدا توسط ریزاقلیم‌ها (به عنوان مثال، دما، تابش، رطوبت، سرعت باد نزدیک سطح زمین)، پوشش گیاهی، توپوگرافی و شرایط اقلیمی کلی کنترل می‌شود.

در پادگانه‌های آبرفتی مورد مطالعه این مجموعه فراوانی غالب اتاقک‌ها یا حجره‌ها و سیستم‌های بارو حجره‌دار نظیر *Rebuffoichnus Roselli*، سوراخ شدن دیواره سایر اثرفسیل‌ها نظیر *Tombownichnus*، لانه مورچه فسیل شده (fossilized ant nest) و ریزولیت‌ها (Rhizoliths) را شامل می‌شود. این مجموعه توسط حشرات و گیاهان ایجاد شده است. ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* معمولا در خاک‌های دیرینه گسترش یافته بر روی نهشته‌های تشکیل‌دهنده کمربند کانال و رخساره‌های دشت سیلابی و در اکوسیستم‌های دیرینه علفی (بویژه زیستگاه‌های غالبا چمنی) توسعه می‌یابد (جنیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ کناست و برواملی، ۲۰۱۲). در نهشته‌های آبرفتی مورد مطالعه، ایکنوجنس *Rebuffoichnus Roselli*، *Tombownichnus*، لانه مورچه فسیل شده و ریزولیت‌ها در رخساره‌های ماسه‌سنگی پرکننده کانال و رخساره‌های گل‌سنگی خارج کانال یا دشت سیلابی مشاهده شده‌اند.

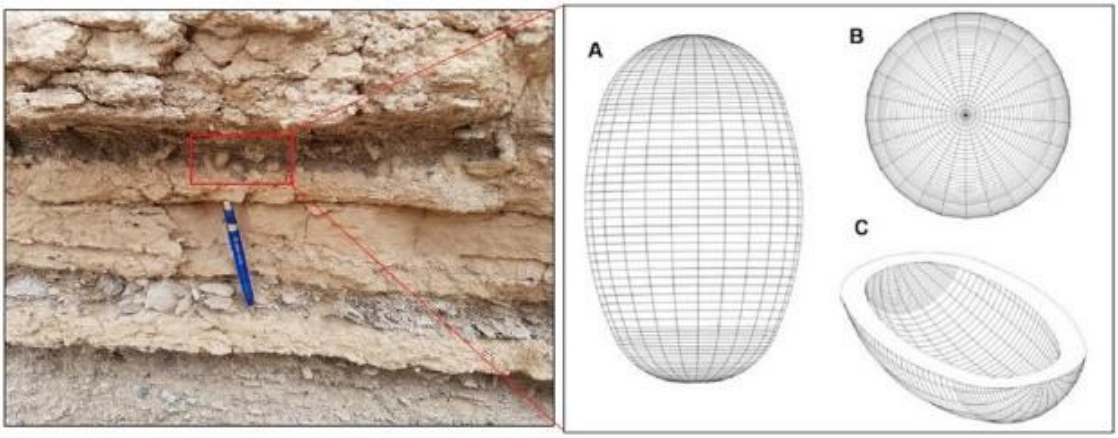
ایکنوجنس *Rebuffoichnus Roselli 1987*: سازه‌های نیمه استوانه‌ای تا پهن، افقی تا نیمه‌افقی که نمای بیرونی دیواره آن‌ها خشن یا توده‌ای است در حالی که فضای داخلی صاف است یا مورفولوژی سطحی ضعیفی را نشان می‌دهد. اتاقک یا حجره داخلی بیضی‌شکل، مقطع عرضی دایره‌ای دارد. دیواره ممکن است توسط یک سوراخ گرد با اندازه متوسط در انتها یا داخل سوراخ شود (جنیس، ۲۰۱۷). دو ایکنوگونه مختلف از این ایکنوجنس وجود دارد: *R. casamiquelai Roselli (1987) and R. guanche Genise et al. (2013)* این ایکنوجنس توسط راسته Coleoptera از حشرات که شامل سوسک‌ها و سرخرطومی‌هاست ایجاد می‌شود. نمونه‌های مشاهده شده در نهشته‌های آبرفتی کواترنر شمال بیرجند شامل ایکنوگونه *R. casamiquelai Roselli (1987)* می‌باشند.

***Rebuffoichnus casamiquelai* Roselli 1987**: این ایکنوگونه دارای تمام ویژگی‌های ایکنوجنس *Rebuffoichnus* است ولی فاقد پیش اتاق یا antechamber می‌باشد. این ایکنوگونه به صورت ساختارهای نیمه استوانه‌ای، فلاسک‌شکل تا قطره‌ای‌شکل قابل مشاهده است که از دیواره‌ای مجزا تشکیل شده است. قسمت خارجی دیواره خشن تا توده‌ای تا منظم و با بافت ماسه‌ای است درصورتی‌که قسمت داخلی صاف است. اتاقک داخلی بیضوی‌شکل و سطح مقطع آن دایره‌ای است. اندازه و ابعاد ۱۱۵ نمونه بررسی شده بسیار متنوع است. طول‌ها از ۱۶ میلی‌متر تا ۴۸ میلی‌متر و قطرها از ۱۰ تا ۲۷ میلی‌متر در تغییر است. این ایکنوجنس در رسوبات ماسه‌ای بین لایه با رسوبات گلی دشت سیلابی یافت شده است. به‌نظر می‌رسد حشرات راسته Coleoptera (شامل سوسک‌ها و سرخرطومی‌ها) بر روی رسوبات گلی و ماسه‌ای دشت سیلابی ساکن شده و کلونی‌های متعددی را ایجاد کرده‌اند (شکل ۴). در رخساره‌های آبرفتی ناحیه مورد مطالعه، این ایکنوگونه بیش‌تر در قاعده رخساره‌های ماسه‌سنگی توده‌ای (رخساره سنگی Sm، جدول ۱) و در سطح فوقانی گل‌سنگ‌های ریزدانه توده‌ای (رخساره Fm، جدول ۱) مربوط به دشت سیلابی رودخانه مشاهده شده است.

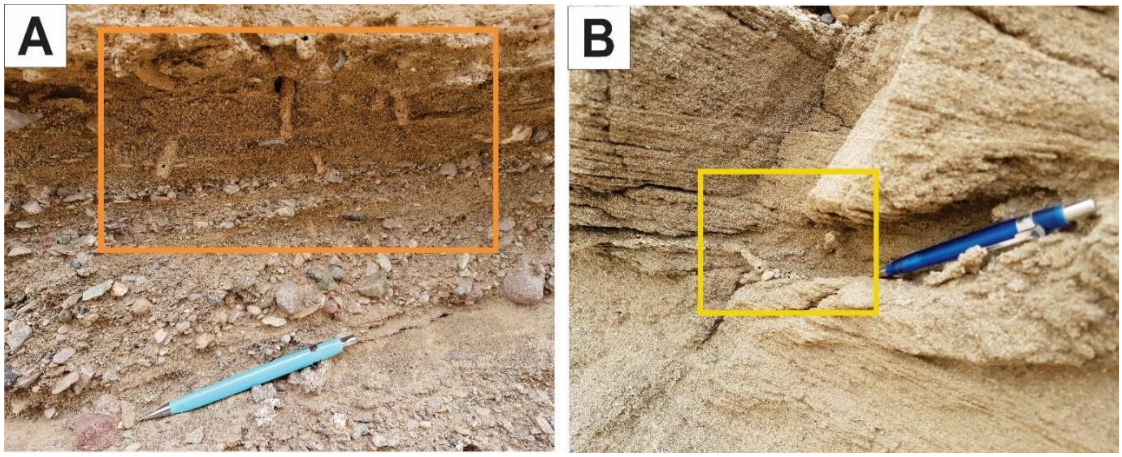
ایکنوجنس *Tombownichnus*: سوراخ‌های عبوری دایره‌ای تا نیمه‌دایره‌ای (یعنی سوراخ‌های کامل) یا گودال‌های داخلی یا خارجی (یعنی سوراخ‌های ناکامل) که در دیواره‌های مجزای حجرات یا اتاقک‌هایی که از مواد آگلوتینه خاک تشکیل شده، ایجاد می‌شود. یک سوراخ، بدون در نظر گرفتن اندازه، برای شناسایی این ایکنوجنس شاخص نیست و تنها زمانی که بیش‌تر از یک سوراخ وجود دارد شناسایی صورت می‌گیرد. اگر اتاقک یک سوراخ بزرگ و تعدادی سوراخ کوچک‌تر را نشان دهد اولی بایستی به عنوان بخشی از بستر (یعنی اتاقک یا حجره) در نظر گرفته شود. برعکس، یک گودال خارجی تکی برای شناسایی این ایکنوجنس شاخص است. این ایکنوجنس سه گونه متفاوت دارد: *T. plenus* Mikuláš and Genise (2003)، *T. parabolicus* Mikuláš and Genise (2003) و *T. pepei* Sánchez and Genise (2009). گونه‌های مختلف *Tombownichnus* از انواع مختلف اثرفسیل‌های حشرات گزارش شده‌اند (جنیس، ۲۰۱۷). در ناحیه مورد مطالعه نمونه‌هایی از ایکنوگونه اول یا *T. plenus* مشاهده شده است.

Tombownichnus plenus: حفرات استوانه‌ای باریک، مومانند، بدون‌انشعاب، به صورت خطوط مشخص، کمی

منحنی‌شکل که نسبت به طبقه‌بندی دارای جهت‌یابی عمودی است. طول بارو بین ۴ تا ۲۰ میلی‌متر و قطر آن به طور متوسط ۲ میلی‌متر است. مواد پرکننده بارو و دیواره آن از جنس رسوب میزبان است (شکل ۵). این ایکنوگونه نیز بیش‌تر در رخساره‌های ماسه‌ای در ناحیه مورد مطالعه مشاهده شده است. رخساره‌های ماسه‌سنگی حاوی این ایکنوگونه بسیار متنوع بوده و شامل رخساره‌های سنگی پرکننده کانال نظیر رخساره‌های Sm، Sh، Sp و St می‌باشند. اغلب این رخساره‌های متوسط تا درشت دانه هستند سایر ویژگی‌های این مجموعه رخساره‌ای و شرایط تشکیل آن‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. بر طبق اثرفسیل‌های ایجاد شده و سازندگان احتمالی آن‌ها، *T. plenus* در سلول‌های زنبور عسل (نظیر پارازیتوئیدهای Meloidae, Bombyliidae, Mutillidae)، سوسک‌های سرگین مولد توپ‌ها (dung beetle brood balls) و اتاقک‌های شفیره سوسک (beetle pupation chambers) ایجاد می‌شود (جنیس، ۲۰۱۷).



شکل ۴. *R. casamiquela* (مستطیل قرمزرنگ، تصویر سمت چپ) که در تصویر سمت راست نمای جانبی (A)، نمای بالا (B) و شکل C مقطع طولی دیوار گسسته ضخیم را نشان می‌دهد.

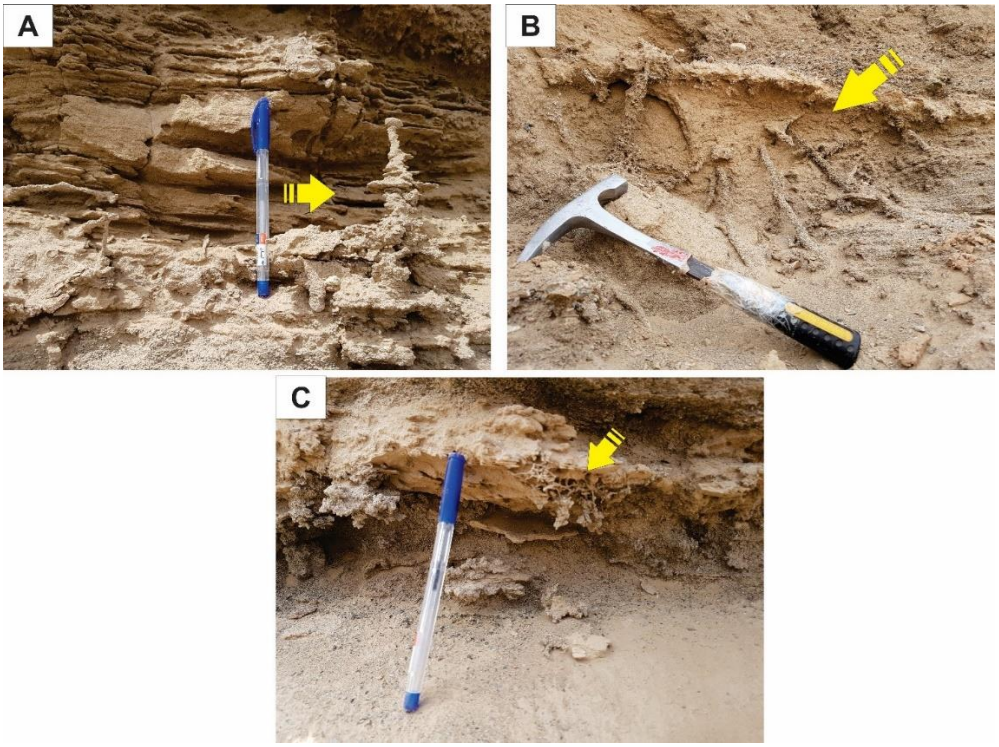


شکل ۵. تصاویر صحرایی (A و B) از ایکنوگونه *Tombownichnus plenus*

لانه مورچه فسیل شده[1]: گزارش‌های متعددی از آثار فسیلی که به عنوان لانه مورچه فسیل شده فرض شده‌اند، وجود دارد. اتاقک‌های مفروض که اکثریت آن‌ها بزرگ، نیمه‌کروی و نسبتا پهن شده هستند احتمالا توسط گونه‌هایی از مورچه‌های Attine (Atta, Acromyrmex, Trachymyrmex) که دارای باغ‌های قارچی هستند، ساخته شده‌اند. البته ایکنوفسیل‌های دیگری نیز گزارش شده‌اند که دارای اتاقک‌های کوچک‌تر و پهن‌تر می‌باشند و در طبقاتی مرتب شده و توسط گالری‌ها به هم متصل شده‌اند که توسط گونه‌های Non- Attine مورچه‌ها ساخته

[1] Fossilized ant nest

شده‌اند. به‌هرحال، شناخت نسبت به ساختار لانه‌های مورچه کافی نبوده و نمی‌توان این اثرفسیل را به هر گونه مورچه عهد حاضر نسبت داد. واضح است که نهشته‌های قاره‌ای می‌توانند حاوی آثار فسیلی مربوط به لانه مورچه‌ها باشند. لانه‌های عمیق مورچه‌ها معمولا به درون چندین افق خاک نفوذ می‌کنند و از لحاظ رنگ، اندازه دانه‌ها و سایر ویژگی‌ها کاملا متفاوتند. نوع رسوبات پرکننده این اتاقک‌ها ممکن است آواری یا شیمیایی باشد. اگر این رسوبات پرکننده سیمانی و سخت شوند شبهی از اتاق‌های لانه و تونل‌ها را می‌توان دید. کشف این لانه‌های مورچه فسیل شده به درک رفتار لانه‌سازی مورچه‌ها و بررسی شرایط اکولوژیکی دیرینه در زمان تکامل آن‌ها کمک می‌کند (تسچینکل، ۲۰۰۳). نمونه این آثار در رخساره‌های ماسه‌سنگی دارای چینه‌بندی افقی (رخساره Sh، جدول ۱) منطقه مورد مطالعه با بافت دانه‌درشت و تیره‌تر دیده شده که توسط رسوبات ماسه‌ای دانه‌ریزتر با رنگ روشن پر شده‌اند (شکل ۶A). این رسوبات درون کانال رودخانه و در اثر جریان‌های با سرعت پایین (رژیم جریانی پایین) برجای گذاشته شده‌اند (جدول ۱).



شکل ۶. (A) لانه مورچه فسیل شده در نهشته‌های آبرفتی مورد مطالعه. (B) آثار ریشه به صورت شبکه‌های مجزای کم‌عمق و تشکیل شده از طبقات ماسه‌سنگی و (C) آثار ریشه به صورت شبکه‌های بسیار کوچک کلسیتی شده که اغلب در رخساره‌های گل‌سنگی قابل مشاهده است.

ریزولیت‌ها[1]: طبقه‌بندی جامعی در مورد انواع ریزولیت‌ها موجود است اما یک اصطلاح توصیفی مشترک و یکسان تاکنون به تصویب نرسیده است. ریزولیت‌ها تا بـه امروز رده‌بندی ایکنوتاکسونومیک نداشته‌اند زیرا اثرفسیل‌های گیاهی در کد بین‌المللی نام‌گذاری گیاه‌شناسی به رسمیت شناخته نشده‌اند. ایده تعریف یک ایکنوفاسیس ریزولیتی وسوسه‌انگیز است زیرا مجموعه اثرفسیلی وجود دارد که توسط آثار ریشه ایجاد شده‌اند که بازگشت بیش‌تری را در زمان و مکان نسبت به هـر مـحیط قاره‌ای دیگر نشـان می‌دهد. نمایش رخنمون خشکی در این ایکنوفاسیس (به استثنا ساختارهای ریشه در محیط‌های باتلاقی) و اثرات دیگری که می‌تواند از نوع ریشه‌ها استنباط شود، بسیار ارزشمند خواهد بـود (کناست و برواملی، ۲۰۱۲). در نهشته‌های آبرفتی نئوژن شمال بیرجند بویژه رخساره‌های گل‌سنگ توده‌ای دشت‌سیلابی رودخانه (رخساره Fm، جدول ۱) و رخساره‌های ماسه‌سنگی دارای چینه‌بندی افقی (رخساره Sh، جدول ۱) که در زیررخساره‌های گلی قرار گرفته و در داخل کانال برجای گذاشته شده‌اند، آثار

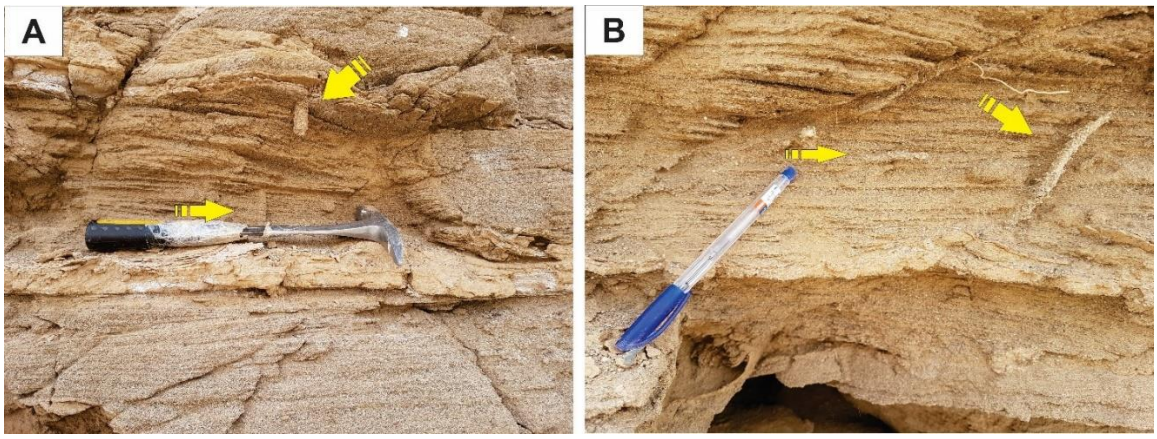
[1] Rhizoliths

ریشه با مورفولوژی‌های مختلف، اندازه‌های متفاوت، به صورت کلسیتی شده یا پرشده با رسوبات ماسه‌ای و به صورت شبکه‌های کم‌عمق مجزا یا متصل به هم قابل مشاهده است (شکل 6B و C).

ایکنوفاسیس *Skolithos*: ایکنوفاسیس *Skolithos* معمولا در سطح بالای انرژی امواج و جریان شکل می‌گیرد و معمولا در بسترهای زیست ماسه‌ای سست کمی گلی تا تمیز با جورشدگی متوسط تا خوب توسعه می‌یابد. تغییرات ناگهانی در نرخ رسوب‌گذاری، فرسایش و حمل فیزیکی مجدد رسوبات رایج است (مک‌ایچرن و همکاران، ۲۰۰۷). زیلاخر (۱۹۶۷) ایکنوفاسیس *Skolithos* را به عنوان شاخص محیط‌های ساحلی، حاشیه ساحلی و سدی معرفی می‌کند. علاوه بر محیط‌های فوق، ایکنوفاسیس *Skolithos* معمولا در رخساره‌های مجموعه رسوبات پرکننده کانال رودخانه و در رسوبات خارج از کانال و دشت‌سیلابی رودخانه یافت می‌شود (برای مثال، ملچر و همکاران، ۲۰۰۶). در رسوبات تشکیل‌دهنده پادگانه‌های آبرفتی مورد مطالعه، ایکنوفاسیس *Skolithos* در نهشته‌های ماسه‌سنگی کانال رودخانه (رخساره‌های Sm، Sh و St) شناسایی شده است. این ایکنوفاسیس با حضور باروهای ساده عمودی قابل شناسایی است اگرچه در برخی رخساره‌ها باروهای افقی نیز قابل مشاهده است. این ایکنوفاسیس شامل اثرفسیل‌های *Skolithos* و *Palaeophycus* می‌باشد. این مجموعه‌ها منعکس‌کننده کلونی‌شدن در کانال‌های فعال بوده و حفرات یا باروهای عمودی به عنوان محل سکونت تغذیه‌کنندگان مواد معلق در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، مجموعه‌های مشابه رخنمون خشکی رسوبات را در کانال‌های قطع شده یا رسوبات ماسه‌ای کروس‌های پهن نشان می‌دهند (برای مثال، کناست و برواملی، ۲۰۱۲).

ایکنوجنس *Skolithos isp*: تیوب‌ها و لوله‌هایی مستقیم که به صورت عمود بر سطح طبقه‌بندی قرار گرفته و گاه به موازات یکدیگرند. دیواره باروها یا حفرات متمایز تا نامشخص و صاف یا خشن بوده و اندازه طول آن‌ها از ۴ تا ۱۷ سانتی‌متر و قطر آن‌ها از ۰/۸ تا ۴ سانتی‌متر در تغییر است. این باروهای استوانه‌ای تا نیمه‌استوانه‌ای به صورت عمودی تا کمی مایل بوده و معمولا فاقد انشعاب هستند (شکل 7A). ایکنوجنس *Skolithos isp* در چنین محیط‌های قاره‌ای معمولا توسط حشرات و عنکبوت‌ها برای ایجاد لانه یا پناهگاه و همچنین توسط گیاهان در شرایط پرانرژی کانال یا کروس پهن در محیط خارج کانال رودخانه تشکیل می‌شود (برای مثال، گریگوری و همکاران، ۲۰۰۶). در نهشته‌های آبرفتی نئوژن بیرجند، این ایکنوجنس در رخساره‌های سنگی دانه متوسط پرکننده کانال نظیر رخساره‌های ماسه‌سنگی Sm، Sh و St مشاهده شده است. ویژگی‌های رسوب‌شناسی هر یک از رخساره‌های فوق و شرایط رسوب‌گذاری آن‌ها در جدول ۱ توصیف شده است.

ایکنوجنس *Palaeophycus Hall, 1847*: این ایکنوجنس به صورت باروهای خطی اساسا استوانه‌ای شکل، نیمه‌افقی، راست تا کمی خمیده تا کمی موجدار، با دیواره تزیین شده یا صاف و به صورت منشعب یا فاقد انشعاب قابل مشاهده است. دوشاخه‌شدن منظم نبوده و منجر به ایجاد تورم در نقاط انشعاب نمی‌شود. باروها به صورت منظم دارای پیچ و تاب نشده و پرشدگی آن‌ها معمولا به صورت توده‌ای و مشابه سنگ میزبان است (باقری و همکاران، ۲۰۱۳). تعیین ایکنوگونه‌های این ایکنوجنس نظیر *P. herberti, P. tubularis, P.* striatus, *P.* sulcatus, and *P. alternatus*، نیازمند داشتن نمای طولی از باروهای موجود است تا وجود شاخه‌ها یا انشعابات مورد بررسی قرار گیرد. از آنجایی که در نمونه‌های مورد مطالعه تنها بخش عمودی حفظ شده است شناسایی ایکنوگونه‌ها امکان‌پذیر نبوده است. در نهشته‌های مورد مطالعه این ایکنوجنس به صورت باروهای صاف تا کمی خمیده، استوانه‌ای تا نیمه‌استوانه‌ای، با دیواره‌ای بدون تزیین و صاف که به صورت مایل نسبت به طبقه‌بندی یا به موازات آن قرار گرفته، قابل مشاهده است. این ایکنوگونه نیز در رخساره‌های ماسه‌سنگی شناسایی شده که دارای چینه‌بندی افقی بوده و در رژیم‌های پایین جریان داخل کانال رودخانه برجای گذاشته شده‌اند (رخساره Sh، جدول ۱). قطر باروها بین ۰/۵ تا ۱/۸ سانتی‌متر و طول آن‌ها بین ۲ تا ۱۹ سانتی‌متر در تغییر است و رسوبات پرکننده حفرات شبیه رخساره میزبان است (شکل 7B). منشأ احتمالی این اثرفسیل رخنمون خشکی رسوبات و باروئینگ حشرات یا کلونی‌شدن آن‌ها در سدهای پرانرژی داخل کانال رودخانه است. علاوه بر این، این آثار بر روی بسترهای ماسه‌ای کروس‌های پهن در محیط خارج کانال نیز توسعه می‌یابند (برای مثال، کناست و برواملی، ۲۰۱۲).



شکل ۷. (A) *Skolithos isp* و (B) *Palaeophycus*

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل ایکنولوژیکی رسوبات پادگانه‌های آبرفتی کواترنری شمال بیرجند نشان‌دهنده حضور ایکنوفاسیس‌های قاره‌ای در نهشته‌های فوق است که با تنوعی از مجموعه اثرفسیل‌ها شامل اثرفسیل‌های *Tombownichnus*، *Rebuffoichnus casamiquelai* *plenus*، لانه مورچه فسیل‌شده، ریزولیت‌ها، *Skolithos isp* و *Palaeophycus* همراه می‌باشد. اثرفسیل‌های ذکر شده در دو مجموعه ایکنوفاسیس *Coprinisphaera* و *Skolithos* قرار می‌گیرند. وجود ایکنوفاسیس‌های یاد شده در رسوبات پادگانه‌های آبرفتی فوق، ته‌نشست رسوبات فوق در سیستم رودخانه‌ای و زیرمحیط‌های کانال و دشت سیلابی را تأیید می‌کند.

منابع

آقانباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۵۸۶ ص.

اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج.، هوشمندزاده، ع (۱۳۵۲) بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران. گزارش شماره ۲۲ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۸۶ ص.

افتخارنژاد، ج (۱۹۸۶) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش بیرجند. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

بختیاری، س (۱۳۸۷) اتواطلس ایران به همراه نمودارهای فواصل راه‌های مهم ایران. موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران، ۶۴ ص.

مطیعی، ه (۱۳۷۳) زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی زاگرس. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۳ ص.

Bagheri, M., Feiznia, S., Arian, M., Shabanian, R., Mahari, R (2013) Continental Trace Fossils in the Semnan Area (Northern Iran). Open Journal of Geology, 3: 54-61.

Bayet-Goll, A., Neto de Carvalho, C., Mahmudy-Gharaei, M. H., Nadaf, R (2015) 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., Myrow, P. M., Aceñolaza, G. F., Moussavi-Harami, R. And Mahboubi, A (2016) Depositional Controls on the Ichnology of Ordovician Wave-dominated Marine Facies: New Evidence from the Shirgesht Formation, Central Iran. Acta Geologica Sinica - English Edition, 90: 1572-1597.

Bayet-Goll, A., Nazarian Samani, P., De Carvalho, C. N., Monaco, P., Khodaie, N., Morad Pour, M., Kazemeini, H., Zareiyan, M.H (2017) Sequence stratigraphy and ichnology of Early Cretaceous reservoirs, Gadvan Formation in southwestern Iran. Marine and Petroleum Geology, 81: 294–319.

Bromley, R. G., Buatois, L. A., Genise, J. F., Labandeira, C. C., Mángano, M. G., Melchor, R. N., Schlirf, M., Uchman, A (2007) Comments on the paper "Reconnaissance of Upper Jurassic Morrison Formation ichnofossils, Rocky Mountain Region, USA: Paleoenvironmental, stratigraphic, and paleoclimatic significance of terrestrial and freshwater ichnocoenoses" by Stephen T. Hasiotis. Journal of Sedimentary Geology, 200: 141–150.

Bromley, R. G (1996) Trace fossils: Biology, taphonomy, and applications. Chapman and Hall, London.

Buatois, L. A., Mángano, M. G (2011) Ichnology. Organism-substrate interactions in space and time. Cambridge University Press, New York.

Donovan, S. K (1994) Insects and other arthropods as trace makers in non-marine environments and

Hodges, E. R. S. (Ed.) (2003) The Guild Handbook of Scientific Illustration. John Wiley and Sons, Hoboken, 656 p.

Knaust, D., Bromley, R. G (eds) (2012) Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Developments in Sedimentology, 64: 924p.

Kostic, B., Aigner, T (2007) Sedimentary architecture and D ground-penetrating radar analysis of gravelly meandering river deposits (Neckar Valley, SW Germany). Sedimentology, 54: 789-808.

MacEachern, J. A., Bann, K. L., Pemberton, S. G., Gingras, M (2007) The ichnofacies paradigm: high-resolution paleoenvironmental interpretation of the rock record, in: J. A. MacEachern, K. L. Bann, M.K. Gingras, S. G. Pemberton (Eds.), SEPM Short Course Notes, 52: 27-64.

Melchor, R. N., Bedatou, E., de Valais, S., Genise, J. F (2006) Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the Scoyenia ichnofacies. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 239: 253–285.

Miall, A. D (2000) Principle of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, New York, 668p.

Miall, A. D (2006) The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis. Petroleum Geology (4^{th} printing), Springer-Verlag, New York, 582p.

Mikúlaš, R., and Genise, J. F (2003) Traces within traces: holes, pits and galleries in walls and filling of insect trace fossils in paleosols. Geolology Acta, 1: 339–348.

Nasiri, Y., Bayet-Goll, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Monaco, P (2020) Paleoenvironmental control on trace fossils across a Mississippian carbonate ramp succession, Mobarak Formation, east of Central and Eastern Alborz, Iran. Journal of African Earth Sciences, 165: 103-800.

Nehyba, S., Roetzel, R (2010) Fluvial deposits of the St. Marein-Freischling Formation insights into initial depositional processes on the distal external margin of the Alpine-Carpathian Foredeep in Lower Austria. Austrian Journal of Earth Sciences, 103: 50-80.

Roselli, F. L (1987) Paleoicnología. Nidos de insectos fósiles de la cubertura Mesozoica del Uruguay. Publ Mus Munic Nueva Palmira, 1: 1–56.

Sánchez, M. V., and Genise, J. F (2009) Cleptoparasitism and detritivory in dung beetle fossil brood balls from Patagonia, Argentina. Palaeontology, 52: 837–848.

Savazzi, E (2011) Digital Photography for Science. Close-up Photography, Macrophotography and palaeoenvironments. in Donovan, S. K., ed., The Palaeobiology of Trace Fossils: Wiley and Sons, New York, p. 200-220.

Droser, M. L., and Bottjer, D. J (1986) A semiquantitative field classification of ichnofabric. Journal of Sedimentary Petrology, 56: 558–559.

Ekdale, A. A., Bromley, R. G., Pemberton, S. G (1984) Ichnology, trace fossils in sedimentology and stratigraphy. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course Notes, 15.

Genise, J. F., Mángano, M. G., Buatois LA., Laza, J. H., Verde, M (2000) Insect trace fossil associations in paleosols: The Coprinisphaera ichnofacies. Palaios, 15: 49–64.

Genise, J. F., Alonso-Zarza, A. M., Verde M, Melendez, A (2013) Insect trace fossils in aeolian deposits and calcretes from the Canary Islands: their ichnotaxonomy, producers, and palaeoenvironmental signifi cance. Palaeogeogrraphy Palaeoclimatology and Palaeoecology, 377: 110–124.

Genise, J. F (2017) Ichnoentomology: Insect Traces in Soils and Paleosols (Topics in Geobiology, 37). Springer International Publishing Switzerland, 707p.

Gerard, J (2016) Integration of ichnofabrics in depositional environment interpretation and sequence analysis. Ichnia 2016: abstract book edited by Andrea Baucon, Carlos Neto de Carvalho, Joana Rodrigues, p. 150.

Gregory, R., Ohlson, D., Arvai, J (2006) Deconstructing Ada- ptive Management: Criteria for Applications to Environ- mental Management. Ecological Applications, 16: 2411-2425.

Hall, J (1847) Paleontology of New York. Volume I. C. van Benthuysen, Albany, 338 p.

Hasiotis, S. T (1997) Redefining Continental Ichnology and the Scoyenia Ichnofacies [Ph. D. Dissertation]. University of Colorado: Boulder, Colorado, 182p.

Hasiotis, S. T (2002) Continental trace fossils. Tulsa: Society for Sedimentary Geology.

Hasiotis, S. T., and Bown, T. M (1992) Invertebrate trace fossils: The backbone of continental ichnology, in Maples, C. G., and West, R. R., eds., Trace Fossils: The Paleontological Society, Short Courses in Paleontology, 5: 64-104.

Hembree, D (2018) The role of continental trace fossils in Cenozoic paleoenvironmental and paleoecological reconstructions. In: D. A. Croft et al. (eds.), Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities, Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology.

Photomacrophotography. Enrico Savazzi, 698 p.
Seilacher, A (1967) Fossil behavior. Sci Am, 217: 72–80.
Seilacher, A (2007) Trace fossil analysis. Springer, Berlin.
Sharafi, M., Rodríguez-Tovar, F. J., Janočko, J. Bayet-Goll, A., Mohamadi, M (2021a) Environmental significance of trace fossil assemblages in a tide–wave-dominated shallow-marine carbonate system (Lower Cretaceous), northern Neo-Tethys margin, Kopet-Dagh Basin, Iran. International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 111: 103–126.
Sharafi, M., Rodríguez-Tovar, F. J., Bayet-Goll, A., Richianio, S (2021b) Ichnofabric analysis of shallow to deep marine Carboniferous sediments, from the southern Paleotethys margin, Alborz Basin (northern Iran): Approaching autogenic and allogenic environmental controls. Historical Biology. DOI: 10.1080/08912963.2021.1996572.
Smith, R. M. H., Mason, T. R., Ward, J. D (1993) Flash-flood sediments and ichnofacies of the Late Pleistocene Homeb Silts, Kuiseb River, Namibia. Journal of Sedimentary Geology, 85: 579–599.
Stow, D. A. V (2005) Sedimentary Rocks in the Field: A Colour Guide. Manson Publishing, London.
Tschinkel, W. R (2003) Subterranean ant nests: trace fossils past and future? Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 192: 321–333.

Introduction of continental ichnofacies from Neogene alluvial deposits of Birjand city

M. Mortazavi Mehrizi

Assist. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

* **mmortazavi@birjand.ac.ir**

Recieved: 2022/6/2 Accepted: 2022/9/18

Abstract

In recent years, continental ichnology has gained great importance in the stratigraphy, basin analysis and paleogeography studies and widely used in understanding environmental parameters and paleoecological conditions. The study area in the Birjand city is a part of the sedimentary-structural zone of eastern Iran and includes alluvial sedimentary deposits with Neogene age. Based on the previous studies, the above-mentioned alluvial deposits include conglomerate, sandstone and mudstone lithofacies which were deposited in the fluvial system based on their textural features and sedimentary structures. Lithofacies, facies associations and the abundance of sediment gravity flow and channel-fill deposits, in the studied alluvial deposits indicate the existence of a braided fluvial system close to the source during the Neogene time. Field observations of the sand and mud deposits of the studied alluvial terraces indicate the presence of continental trace fossils in these sediments. Based on the observed burrows of these sediments, two Coprinisphaera and Skolithos ichnofacies and six distinct ichnogenus can be distinguished in these continental deposits, which confirm the deposition of these sediments in the adjacent parts of active channel and floodplain of fluvial system.

Keywords: Coprinisphaera ichnofacies, Skolithos ichnofacies, Alluvial terraces, Neogene, North of Birjand.