ایکنوفابریک تالاسینوییدس در رسوبات اولیگوسن منطقه علی آباد قم

نوشته : نصراله عباسی* و عبدالحسین امینی**

* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران.
** دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Thalassinoides Ichnofabric from Oligocene Sediments in the Ali Abad Section, Qom Area, Central Iran

By :N. Abbassi *& A. Amini**

* Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
** School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

تاریخ دریافت : ۰۹ / ۰۲ / ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش : ۲۴ / ۰۷ / ۸۶ ۱۳

چکیده

توالی رسوبی مورد مطالعه در منطقه علی آباد قم با رخنمونی به ستبرای ۲۵۵/۳۵ متر و با سن اولیگوسن میانی از لایه‌های کربناتی/آواری و کربناتی/آذرآواری و آواری/آذرآواری فسیل‌دار تشکیل شده است که به‌طور ناپیوسته بر روی نهشته‌های آذرآواری ائوسن و به‌طور هم‌شیب و با واسطه دو سیل آذرین در زیر لایه‌های دریاچه‌ای قدیمی قرار گرفته است. تنها اثر فسیلی تشخیص داده شده در این رسوبات اثر گونهٔ *Thalassinoides suevicus* (Rieth, 1932) ، به شکل دهلیزهای لوله‌ای شکل شاخه‌ای با شبکه داربستی است. انشعابات به‌صورت Y شکل بوده و اندکی نیز T شکل هستند و با قطر ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر مشخص می‌باشند که به‌طور فعال توسط جانوران اثر ساز از رسوبات انباشته شده‌اند. شدت فعالیت زیستی مختلف در لایه های رسوبی منجر به تشخیص پنج درجه زیست‌آشفتگی با شماره‌های یک تا پنج شد که معادل شاخص‌های ایکنوفابریکی استاندارد یک تا پنج هستند. این ایکنوفابریک‌ها به‌ترتیب۴۰/۳۷، ۱۵/۹،۸/۸۵، ۴/۹۷ و ۲۹/۹ درصد از توالی را به خود اختصاص می‌دهند. تغییرات ایکنوفابریکی، ۷ چرخه ایکنوفابریکی را نشان می‌دهند که به‌طور کلی در دو نوع قابل رده‌بندی هستند. نوع اول چرخه‌هایی که به‌تدریج به طرف بالا بر میزان آشفتگی آنها افزوده شده و در طول این افزایش تغییرات اندکی در وضعیت ایکنوفابریک لایه‌ها مشاهده می‌شود و در عین حال گسترش و پایداری شرایط زیست آشفتگی درجه بالا قابل توجه است. چرخه نوع دوم چرخه‌هایی را شامل است که در آنها مشابه چرخه‌های قبلی، به‌طرف بالای توالی بر میزان زیست‌آشفتگی افزوده می‌شود، ولی تغییرات ایکنوفابریکی در آنها سریع است و میزان زیست‌آشفتگی درجه بالا، پایداری و دوام کمتری را در طی شکل‌گیری لایه‌ها نشان می‌دهد. این وضعیت را می‌توان در ایکنوگرام لایه‌ها نیز مشاهده کرد به‌طوری‌که درصد فراوانی ایکنوفابریک‌ها از درجه یک تا چهار به تدریج کاسته شده و در مقابل، میزان ایکنوفابریک درجه پنج قابل ملاحظه است. شاید این مسئله حاکی از آن است که در هنگام تشکیل رسوبات در دوره‌هایی، پایداری نسبی شرایط زیستی، فیزیکی و شیمیایی رخ داده و محیط مساعد و مطلوب برای تجمع جانوران تالاسینوییدس ساز فراهم شده است؛ ولی در شرایط حد واسط که امکان تغییر و ناپایداری شرایط یاد شده وجود داشته است، جانداران اثرساز فرصت کافی برای فعالیت بیشتر در دسترس نداشته‌اند. نمونه‌های تالاسینوییدس موجود در توالی مورد مطالعه در شرایطی مشابه ایکنوفاسیس‌های کروزیانا تا گلاسیفانگیتس ایجاد شده‌اند.

کلید واژه‌ها: ایکنولوژی، ایکنوفابریک، تالاسینوییدس، اولیگوسن، منطقه قم، ایران مرکزی.

Abstract

The *Thalassinoides* bearing calcareous sandstone and sandy limestones of Oligocene age unconformably overlay the Eocene volcaniclastic rocks and gradually pass into the lacustrine sediments (Miocene? in age) in the study area. These layers are dominated by *Thalassinoides suevicus* (Rieth 1932) in the Y shaped boxwork cylindrical and bifurcating burrows, which are

mainly filled actively by trace maker(s). The bioturbations in the layers are categorized into five ichnofabric classes, which are equal to standard ichnofabric indexes of 1 to 5. Frequency of the ichnofabric classes are 40.37, 15.9, 8.85, 4.97 and 29.9 percents, respectively. Ichnofabric variations of the studied layers are arranged in seven bioturbated upward cycles, which are divided into two groups. The first group shows low ichnofabric fluctuations and a constancy in the bioturbation, where the second group shows high ichnofabrics fluctuations and variability in the bioturbation. Results from the study show that the *Thalassinoides* in the studied section formed in conditions similar to those of *Cruziana* and *Glossifungites* ichnofacies.

Key words: Ichnology, Ichnofabric, *Thalassinoides*, Oligocene, Qom area, Central Iran

مقدمه

در سه- چهار دهۀ اخیر توجه زمین شناسان به علم ایکنولوژی افزایش چشمگیری یافته که دلیل اصلی آن قابلیت خاص ایکنوفسیل‌ها در تفسیر و بازسازی شرایط حوضه‌های رسوبی است (مثلاً Pemberton et al., 1992). از آنجا که بیشتر آثار فسیلی همزمان با رسوبگذاری یا کمی پس از رسوبگذاری ایجاد می‌شوند، به‌خوبی بازتاب کنندۀ تأثیر عوامل زیستی و غیر زیستی محیط‌های رسوبی هستند.

ایکنولوژی شامل جنبه‌های متنوعی است که یکی از شاخه‌های مهم و بااهمیت آن مطالعات ایکنوفابریک (ichnofabric) لایه‌های رسوبی است. به فابریک‌های حاصل از فعالیت‌های زیستی در لایه‌های رسوبی ایکنوفابریک گویند. انتظار می‌رود که با مساعد شدن شرایط زیست‌محیطی، فراوانی جانورانی که ممکن است برخی از آنها اثرساز (trace maker) نیز باشند، افزایش یافته و در نهایت با ایجاد اثرهای فسیلی بیشتر منجر به تغییر فابریک لایه‌های رسوبی شوند.

لایه‌های رسوبی مورد مطالعه در تحقیق حاضر از لحاظ سنگ‌شناسی عمدتاً ماهیت مختلط داشته و به‌صورت مخلوط کربناتی/آواری و کربناتی/آذرآواری و آواری/آذرآواری مشاهده می‌شوند که دارای یک نوع اثر فسیلی به نام ایکنوجنس تالاسینوییدس (*Thalassinoides*) می‌باشند. تالاسینوییدس اثر فسیلی لوله‌ای شکل با آرایش داربستی است که سطح آن صاف و با انشعابات متعدد است (Häntzschel, 1975). طبیعی است که هرچه آثار فسیلی در لایه‌های مورد مطالعه متنوع‌تر باشند، تفکیک و تشخیص ایکنوفابریک‌ها، ایکنوسینوس‌ها (ichnocoenoses) و رخساره‌های اثرفسیلی (ichnofacies) آسان‌تر انجام می‌پذیرد؛ در حالی که وجود یک نوع اثرفسیلی در لایه‌های مورد مطالعه ممکن است بحث و بررسی موارد یاد شده را با محدودیت‌هایی همراه سازد. با وجود این، تغییر در فراوانی، آرایش و تراکم این اثر فسیلی در لایه‌های رسوبی مورد مطالعه امکان بررسی فابریک‌های متفاوت را فراهم می‌سازد. به بیانی دیگر در اینجا ایکنوفابریک برپایۀ وجود یک اثرفسیل بحث می‌شود و در مقایسه با دیگر مطالعات ایکنوفابریکی ارائه شده (مانند Taylor et al., 2003) لایه‌های رسوبی مورد مطالعه از نظر فراوانی، آرایش و تراکم اثر فسیلی تالاسینوییدس رده‌بندی می‌شوند. این مطالعه نشان می‌دهد که حتی با یک نوع اثرفسیلی نیز می‌توان فابریک رسوبات در برگیرنده را هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی بررسی کرده و داده‌های لازم برای تحلیل ایکنولوژیکی آنها را به‌دست آورد.

در ایران مطالعات ایکنولوژی و ایکنوفابریک کاملاً نوپاست و فقط بررسی‌های پراکنده‌ای بر روی آثارفسیلی ردپاهای مهره‌داران (Abbassi & Lockley, 2004, Ataabadi & Sarjeant, 2000; Ataabadi & Khazaee, 2004 و عباسی و شاکری،۱۳۸۴)، برخی از آثار فسیلی حوضه‌های رسوبی فلیشی(عباسی، ۱۳۸۰ و Crimes & McCall, 1995) و قاره‌ای (وزیری مقدم و طاهری، ۱۳۸۳) و مطالعه ایکنوفابریک لایه‌های کربناتی سازند روته(عباسی،۱۳۷۸) و ایکنوفابریک افیومورفای لایه‌های آواری واحد چینه‌شناسی رکشا در حوضه مکران (عباسی و مؤمنی،۱۳۸۰) صورت گرفته است. پژوهش حاضر یکی از مطالعات اختصاصی و جدید ایکنوفابریک در رسوبات اولیگوسن ایران مرکزی به‌شمار می‌آید. توالی مورد مطالعه دارای رخنمون قابل دسترس و کاملی است که اثرفسیل موجود در آن با حفظ‌شدگی خوب، امکان تشخیص آسان و دقیق ایکنوفابریک‌ها را فراهم می‌کند. در این مقاله سعی می‌شود کاربرد ایکنولوژی در دیرینه‌بوم‌شناسی و تحلیل حوضه‌های رسوبی ارزیابی قرارشده و افق‌هایی جدید را به‌نمایش بگذارد.

برش چینه‌شناسی مورد مطالعه درکیلومتر ۵۵ بزرگراه تهران- قم و در شمال دریاچه حوض سلطان و در مجاورت راهدارخانه علی آباد واقع است (شکل‌های ۱ و۲). در مطالعات پیشین، این رسوبات به ائوسن نسبت داده شده و به سه واحد کنگلومرایی، مولاس و آهک‌های نومولیت‌دار تقسیم شده‌اند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۳) و رجایی

(۱۳۷۷) سنگ‌شناسی این توالی همراه با دیگر توالی‌های رسوبی ائوسن منطقه به‌اختصار بررسی کرده است.

روش‌های مطالعه

پس از بررسی‌های اولیه در منطقه و با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، عکس‌های ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و مطالعه پراکندگی واحدهای مورد نظر، برش‌هایی برای مطالعات دقیق و نمونه‌برداری انتخاب شدند. بررسی‌های صحرایی مشتمل بر پیمایش زمین‌شناسی در برش‌های مذکور برای نمونه‌برداری و برداشت داده‌های مورد نیاز چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و ایکنولوژی صورت پذیرفت. نتایج حاصل از این بررسی‌ها در نهایت به رسم ستون چینه‌شناسی، توصیف تک تک لایه‌ها، اثر فسیل شناسایی شده و میزان زیست آشفتگی در آنها منجر شد. در تعیین میزان زیست‌آشفتگی یا به‌عبارت بهتر ایکنوفابریک، از کارت‌های صحرایی ارائه شده توسط Droser & Bottjer (۱۹۸۶) استفاده شد. استفاده از این کارت‌ها امکان تعیین کمی زیست‌آشفتگی در لایه‌ها را فراهم ساخت به‌طوری‌که این امر با مشاهده مقایسه‌ای در لایه مورد نظر در ابعاد ۰/۵ × ۱ متر با شکل‌های موجود در کارت‌های استاندارد میسر شد. همگام با این نوع مطالعات، وضعیت و موقعیت اثر فسیل‌ها نسبت به لایه‌های رسوبی نیز بررسی شد. مشخصه‌های اصلی اثر فسیل تالاسینوییدس در صحرا به‌طور کامل ثبت شد و گسترش جانبی هر یک از لایه‌ها، وضعیت و سیمای رسوب‌شناسی/چینه‌شناسی و هرگونه تغییر احتمالی در آنها ارزیابی شد. همچنین تغییر در کمیت و کیفیت زیست‌آشفتگی و ایکنوفابریک لایه‌ها در گسترهٔ جانبی بررسی شد. به‌منظور اجتناب از خطای مشاهده در تعیین میزان زیست‌آشفتگی لایه‌ها، مطالعات آماری و آزمون جفت مشاهده‌ای Wilcoxon با ضریب اعتماد ۷۵٪ مورداستفاده قرار گرفت(Droser, 1994).

بخش دیگری از مطالعات، بررسی و مطالعه سنگ‌شناسی رسوبی و همچنین ریزدیرینه‌شناسی ریزفسیل‌های موجود در مقاطع نازک تهیه شده را شامل می‌شود.

چینه‌شناسی

مجموعه رسوبات منتسب به اولیگوسن میانی (مطالعات حاضر) در منطقه علی آباد قم به ستبرای ۵۴۶/۸۵ متر اندازه‌گیری شد که ۲۹۱/۵ متر از آن توسط آبراهه‌ها یا واریزه پوشیده شده و تنها ۲۵۵/۳۵ متر آن در امتداد بریدگی‌های حاشیه جاده رخنمون دارد. این توالی با یک مرز فرسایشی یا با واسطه یک ناپیوستگی آذرین‌پی بر روی نهشته‌ها و آتشفشانی‌های ائوسن قرار می‌گیرد و در بالا به‌طور تدریجی (پیوسته) به رسوبات دریاچه‌ای قدیمی تبدیل می‌شود. در حد فاصل این مجموعه و رسوبات دریاچه‌ای بالایی به‌طور محلی سیل‌های آذرین نیز مشاهده می‌شود. این توالی در نقشه چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۳)به سن ائوسن و با علامت‌های E_3^m و E_3^c و n_4 نشان داده شده است (شکل ۲). با توجه به داده‌های به‌دست آمده در مطالعات حاضر خاطرنشان می‌شود که سن رسوبات این محدوده اولیگوسن میانی است. بخش زیرین این توالی در حاشیه جاده قدیم قم- تهران و در حدود ۲ کیلومتری جنوب قهوه‌خانه علی‌آباد بررسی و نمونه‌برداری شد (برش A). بخش میانی توالی با ستبرای حدود ۲۰۰ متر در شمال باختر برش اول و در حاشیه خاوری آزاد راه تهران- قم (۱۰۰ متری شمال پل جاده قدیم قم و آزاد راه) پیمایش شد(برش B). بخش بالایی توالی مورد مطالعه (برش C) در رخنمونی واقع در حاشیه شمالی قنات علی‌آباد و در حدود ۲۵۰ متری شمال باختر برش اول و در سمت باختر آزادراه برداشت شد. در منطقه مورد مطالعه این رسوبات به‌طور هم‌شیب و با واسطه دو سیل آذرینی در زیر رسوبات دریاچه‌ای قرار می‌گیرند که رخنمون بخشی از آنها در حاشیه آزادراه تهران - قم مورد بررسی قرار گرفت (برش D). توالی مورد مطالعه عمدتاً شامل ماسه‌سنگ‌ها با سیمان آهکی، آهک‌های ماسه‌ای با آثار زیست‌آشفتگی، و رخساره‌های مختلط آذرآواری-کربناتی است. مبنای تطابق لایه‌ها در برش‌های پیمایش شده، وجود برخی لایه‌های راهنما مانند لایه‌های دارای فسیل روزن‌داران بسیار زیاد یا بسیار زیست‌آشفته بودند(شکل۳). اثر فسیل تالاسینوییدس تنها اثر فسیل یافت‌شده در لایه‌های مورد مطالعه است. درشت‌فسیل‌های موجود شامل خرده‌های صدف بی‌مهرگان از دوکفه‌ای‌هایی چون .*Ostrea* sp ، و .*Ditropa* sp، شکم‌پایان، خارپوستان و همچنین خرده‌فسیل‌های گیاهی با حفظ‌شدگی ضعیف (غیرقابل نامگذاری) است. علاوه بر خرده فسیل‌های مذکور، ریزفسیل‌های زیر در بررسی‌های ریزسکوپی تشخیص داده شدند (تشخیص داده شده توسط ع. مقدسی، مرکزی هشتم شرکت ملی نفت):

Operculina complanata, Operculina sp., *Asterigerina rotula, Nummulites fichteli, N. intermedius, N. vascus, N.* cf. *planulatus, Quinqueloculina* sp., Miliolid forms (*Biloculina* sp.,*Triloculina* sp.), *Bigenerina* sp.,? Miogypsinoidea, (Algae) *Coralina* sp., *Lithophylum* sp.

با توجه به وجود برخی ریزفسیل‌های شاخص روزن‌داران در مقاطع نازک مانند *Nummulites fichteli, N. intermedius* و *N. vascus* سن روپلین (اولیگوسن میانی) برای توالی مورد مطالعه تعیین می‌شود.

ساختار تالاسینوییدس

مطالعه دقیق و بهینه ساختار و پیکربندی اثرفسیل تالاسینوییدس موقعی

امکان‌پذیر است که بتوان رخنمون کاملی از ساختمان آن را در دسترس داشت. بجز رخنمون بخش‌های رأسی، در دیگر برونزدهای مورد بررسی، امکان تشخیص کامل ساختار اثر فسیل تالاسینوییدس وجود نداشت. البته در واریزه‌ها نیز کم و بیش امکان مشاهده ساختمان تالاسینوییدس در دو بعد میسر است. در این میان، مطالعه ارتباط پیکربندی اثرفسیل *Ophipmorpha* که از نظر ساختاری و تا حدودی ایکنوفاسیسی به اثر فسیل تالاسینوییدس مشابه است؛ با شرایط محیط‌های رسوبی دیرینه، به‌خوبی شناخته شده است (Anderson & Droser, 1993; Frey et al.,1978; عباسی و مؤمنی،۱۳۸۰). به نظر می‌رسد آرایش لوله‌ها و دهلیزهای اثر فسیل *Ophipmorpha* به‌گونه‌ای است که در محیط‌های رسوبی پرانرژی و با رسوبگذاری سریع، لوله‌ها و دهلیزهای قائم و مایل و در محیط‌های کم‌انرژی و آرام لوله‌ها و دهلیزهای افقی گسترش می‌یابند (Anderson & Droser, 1993) . چنین مطالعه‌ای برای تالاسینوییدس انجام نپذیرفته است. با این حال، در مقایسه با *Ophipmorpha* ، تالاسینوییدس‌های یافت شده در رسوبات اولیگوسن علی آباد قم، دارای ساختمان و پیکربندی داربستی نامنظم (irregular boxwork) هستند، به‌طوری‌که در این ساختار، فراوانی لوله‌ها و دهلیزهای قائم و افقی تقریباً برابر است (شکل ۴ –الف). در برخی سطوح لایه‌بندی تالاسینوییدس‌هایی مشاهده می‌شود که دارای یک تونل اصلی و تونل‌های فرعی انشعاب یافته از آن هستند (شکل ۴–ب). در بخش‌هایی از لایه‌ها از یک دهلیز تقریباً گرد تالاسینوییدس چندین تونل فرعی انشعاب یافته‌اند. یاد آور می‌شود که در لایه‌های با زیست‌آشفتگی کامل، تشخیص ساختمان و پیکربندی تالاسینوییدس دشوار است.

ایکنوفابریک

اصولاً تمامی فابریک‌های زیست‌زاد لایه‌های رسوبی شامل آثار فسیلی منفرد و لایه‌های کاملاً زیست‌آشفته با آثار فسیلی مبهم (mottled bedding) را ایکنوفابریک گویند (Crimes & Droser, 1992). ایکنوفابریک می‌تواند کیفیت و حتی کمیت زیست‌آشفتگی لایه‌های رسوبی را نمایش دهد به‌گونه‌ای که در طی فعالیت‌های زیستی جانوران مانند تغذیه از رسوبات، حرکت و جابه‌جایی و لانه‌گزینی در رسوبات فابریک اولیه لایه‌های رسوبی به‌هم می‌ریزد که مهم‌ترین آنها وضعیت اولیه سطوح چینه‌بندی است. با افزایش فعالیت‌های زیستی انتظار می‌رود که به‌تدریج بر میزان زیست‌آشفتگی لایه نیزافزوده شود. بر این اساس می‌توان فابریک‌هایی را با عنوان ایکنوفابریک تعریف کرد و شاخص‌های ایکنوفابریکی استاندارد (ichnofabric indexes) را با شکل‌های نمایشی و با علامت اختصاری ii که برای بیان میزان کمیت زیست آشفتگی رسوبات هستند (Droser & Bottjer, 1986, 1987, 1989) مورد استفاده قرار داد. این شاخص‌ها از شش واحد تشکیل شده‌اند که میزان زیست‌آشفتگی را از صفر تا صد در صد نشان می‌دهند.

از آنجا که ممکن است با تغییر نوع پیکربندی و ساختار اثر فسیل، وضعیت ایکنوفابریک لایه‌ها نیز متفاوت باشد، نمودارهای نمایشی شاخص‌های زیست‌آشفتگی برای برخی از اثرهای فسیلی مانند *Skolithos* و *Ophiomorpha* در رخساره‌های عمدتاً نزدیک به ساحل (Droser & Bottjer, 1991) و شاخص‌های ایکنوفابریکی رخساره‌های ژرف دریایی (Droser & Bottjer, 1989) ارائه شده است. میزان زیست‌آشفتگی هر یک از شاخص‌های ایکنوفابریک (ii) در زیر به اختصار ذکر شده است (Droser & Bottjer, 1986):

ii1) این شاخص برای لایه‌هایی استفاده می‌شود که هیچ‌گونه زیست‌آشفتگی نداشته و تمام ساخت‌های رسوبی اولیه همچون لایه بندی در آنها محفوظ مانده است.

ii2) این شاخص برای لایه‌های رسوبی استفاده می‌شود که دارای آثار فسیلی مجزا، فاصله‌دار و منفرد هستند و بیش از ۱۰ درصد لایه‌بندی اولیه در آنها زیست‌آشفتگی نشان می‌دهد.

ii3) این شاخص برای لایه‌های رسوبی استفاده می‌شود که بین ۱۰ تا ۳۰ درصد لایه‌بندی اولیه در آنها آشفته شده است. حفره‌های زیستی (burrows) معمولاً به‌طور مجزا هستند ولی به‌ندرت همپوشانی دارند.

ii4) این شاخص برای لایه‌های رسوبی استفاده می‌شود که ۴۰ تا ۶۰ درصد زیست‌آشفتگی دارند وآثار لایه‌بندی ابتدایی در آنها قابل تشخیص نیست. در این لایه‌ها حفره‌های زیستی همپوشانی داشته و اغلب به‌خوبی قابل تشخیص نیستند.

ii5) این شاخص برای لایه‌های رسوبی استفاده می‌شود که به‌طور کامل دچار زیست‌آشفتگی شده و در برخی نقاط حفره‌های زیستی از هم جدا هستند.

ii6) این شاخص نشان دهندهٔ لایه‌های رسوبی است که کاملاً در اثر زیست‌آشفتگی همگن (homogenized) شده‌اند.

در رسوبات مورد مطالعه ۵ نوع ایکنوفابریک تشخیص داده شد که به ترتیب زیست آشفتگی از ۱ تا۵ شماره‌گذاری شده‌اند.

ایکنوفابریک شماره ۱ : این فابریک فاقد هرگونه زیست‌آشفتگی است و هیچ‌گونه اثرفسیل در آن مشاهده نمی‌شود. لایه‌های رسوبی دارای این ایکنوفابریک به‌رنگ سبز روشن بوده و ماهیت توده‌ای دارند. لایه‌بندی مشخصی در آنها وجود ندارد و ریزلایه‌بندی نازک به‌طور محلی مشاهده می‌شود. سطوح بالایی و پایینی لایه‌های دارای این نوع ایکنوفابریک از مشخص (sharp) تا فرسایشی تغییر می‌کند. ساخت‌های رسوبی غیرزیست‌زاد

مانند ریزلایه‌بندی مورب در آنها مشاهده می‌شود (شکل‌های ۲،۱ و ۳ در تابلو یک). ستبرای این ایکنوفابریک ۱۰۳/۱ متر است که ۴۰/۳۷ درصد از توالی مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. دارای شاخص ایکنوفابریکی شمارهٔ ۱ (ii1) براساس رده‌بندی Droser & Bottjer (1986, 1987, 1989) و شاخص زیست‌آشفتگی شمارهٔ صفر (BI0) در رده‌بندی Reineck (1993) , Taylor & Goldring(1963) است.

ایکنوفابریک شماره ۲: این نوع فابریک بین ۱ تا ۱۰ درصد زیست‌آشفتگی در بین لایه‌ها را نشان می‌دهد. اثر فسیل تالاسینوییدس به‌طور پراکنده شامل حفاری‌ها (Burrows) و لوله‌هایی است که باعث به‌هم ریختگی فابریک اولیه رسوبات شده است. لایه‌های دارای این نوع ایکنوفابریک توده‌ای بوده و فاقد لایه‌بندی مشخص هستند، ولی ریزلایه‌بندی موجود در آنها در اثر زیست‌آشفتگی به‌هم ریخته است. اغلب زیست‌آشفتگی از پایین یا بالا در آن افزایش می‌یابد. رنگ آن همانند لایه‌های ایکنوفابریک قبلی سبز است و سطوح لایه‌بندی آن از حالت واضح و مسطح تا ناهموار و فرسایشی متغیر است. در مواردی سطح بالایی لایه‌بندی آنها توسط اثر فسیل تالاسینوییدس قطع شده است، به‌گونه‌ای که این اثر فسیل به درون لایه‌ها نفوذ کرده است (شکل ۴، تابلو یک). ستبرای لایه‌بندی توالی این ایکنوفابریک از چند متر تا چند سانتی‌متر متغییر است. مجموع ستبرای این ایکنوفابریک ۴۰/۵۵ متر اندازه‌گیری شد که ۱۵/۹ درصد از توالی مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. این ایکنوفابریک معادل شاخص ایکنوفابریکی ۲ (ii2) بر اساس رده‌بندی Droser & Bottjer (1986,1987,1989) و شاخص زیست‌آشفتگی یک و دو (BI1& BI2) در رده بندی Reineck (1963) و Taylor & Goldring (1993) است.

ایکنوفابریک شماره ۳: این ایکنوفابریک بین ۱۱ تا ۴۰ درصد زیست‌آشفتگی نشان می‌دهد. فابریک لایه‌های رسوبی به علت فعالیت زیاد جانور اثرساز تالاسینوییدس به هم ریخته است، به گونه‌ای که اغلب سطوح لایه‌بندی و ریزلایه‌بندی توسط اثر فسیل تالاسینوییدس قطع شده، گرچه ادامه جانبی این سطوح قابل ردیابی است. این ایکنوفابریک در توالی مورد مطالعه در حد واسط بین ایکنوفابریک شمارهٔ ۲ در زیر و ایکنوفابریک شمارهٔ ۵ در بالا محدود می‌شود و تنها در یک بخش از لایه‌های مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ۵، تابلو یک). ستبرای این ایکنوفابریک۲۲/۶ متر است و ۸/۸۵ درصد از ایکنوفابریک‌های تشخیص داده را به خود اختصاص می‌دهد. این ایکنوفابریک معادل شاخص ایکنوفابریک۳ (ii3) بر اساس رده‌بندی Droser & Bottjer (1986, 1987, 1989) و شاخص زیست‌آشفتگی ۳ (BI3)در رده‌بندی Reineck(1963) و Taylor & Goldring(1993) است.

ایکنوفابریک شمارهٔ ۴: این ایکنوفابریک به ستبرای ۱۲/۷ متر دارای ۴۱ تا ۶۰ درصد زیست‌آشفتگی است. لایه‌ها انباشته از اثر فسیل تالاسینوییدس بوده و در رخنمون آنها، تنها می‌توان نمای سطوح چینه‌بندی بالا و پایین لایه‌ها را تشخیص داد به‌طوری‌که در بخش‌های میانی لایه‌ها، میزان تراکم اثر فسیل تالاسینوییدس بیشتر است (شکل‌های ۶ و ۷، تابلو یک). در اینجا نیز تالاسینوییدس سطوح لایه‌بندی را قطع نموده و در برخی جاها این اثر فسیل از لایه بالایی به درون لایه زیرین (با زیست‌آشفتگی اندک) نفوذ کرده است. سطوح لایه‌بندی زیرین این ایکنوفابریک معمولاً مسطح و واضح ولی سطح بالایی آن به‌طور ناهموار و فرسایشی است. در برخی نقاط لایه‌های محتوی این نوع ایکنوفابریک عدسی شکل هستند و به‌طور جانبی از ستبرای آنها کاسته می‌شود. با این حال وضعیت و میزان زیست‌آشفتگی آنها تغییر نمی‌کند و ثابت است. در قسمتی از بخش‌های رأسی توالی مورد مطالعه، این ایکنوفابریک به‌صورت نازک لایه شونده به‌طرف بالا جلوه می‌نماید. این ایکنوفابریک با اثر فسیل تالاسینوییدس ۴/۹۷ درصد از توالی مورد مطالعه را به‌خود اختصاص داده و معادل شاخص ایکنوفابریک ۴ (ii4) در رده‌بندی Droser & Bottjer (1986,1987,1989) و شاخص زیست‌آشفتگی ۴ (BI4) در رده‌بندی Reineck (1963) و Taylor & Goldring (1993) است.

ایکنوفابریک شمارهٔ ۵ : زیست‌آشفته‌ترین ایکنوفابریک متعلق به این مجموعه رسوبی است که بیش از ۶۰ درصد زیست‌آشفتگی نشان می‌دهد. لایه‌های این ایکنوفابریک دارای شبکه داربستی فراوان از دهلیزهای متراکم تالاسینوییدس است. در بخش‌هایی با فرسایش یافتن رسوب زمینه، این شبکه به‌خوبی نمایان است. معمولاً سطح زیرین لایه‌بندی این نوع ایکنوفابریک پیوسته تا فرسایشی است. ولی سطح بالایی آن مسطح و واضح است. رنگ لایه‌های قهوه‌ای روشن است (شکل‌های ۸ و ۹ در تابلوی یک). ستبرای این ایکنوفابریک ۷۶/۴ متر بوده که ۲۹/۹ درصد از توالی مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. معادل شاخص‌های ایکنوفابریک ۵ (ii5) براساس رده‌بندی Droser & Bottjer (1986, 1987, 1989) و شاخص زیست‌آشفتگی ۵ (BI5) در رده‌بندی(1963) Reineck و Taylor & Goldring (1993) است.

ایکنوگرام ایکنوفابریک‌های تشخیص داده شده در توالی مورد مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است.

چرخه‌های زیست‌آشفتگی

با به‌دست آوردن میزان زیست‌آشفتگی لایه‌های رسوبی و با تشریح میزان به‌هم‌ریختگی ساختمان‌ها و لایه‌بندی‌های اولیه می‌توان تغییرات ایکنوفابریک

تالاسینوییدس را در توالی مورد نظر به‌صورت نموداری نشان داد و چرخه‌های زیست‌آشفتگی را بر روی آن مشخص نمود (شکل۶). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، چرخه‌های ایکنوفابریکی به‌صورتی است که به سمت بالا افزایش میزان زیست‌آشفتگی را نشان می‌دهند. شاخص ایکنوفابریکی(ichnofabric indices, ii) در این لایه‌ها از شماره ۱ یا ۲ شروع و به شماره‌های ۴ تا ۵ پایان می‌یابد. بر اساس تغییرات ایکنوفابریکی می‌توان دو نوع چرخه را تشخیص داد:

- چرخه‌های نوع نخست تغییراتی را شامل می‌شود که به‌تدریج به‌طرف بالا بر میزان آشفتگی آنها افزوده شده و در طول این افزایش تغییرات و جابه‌جایی‌های اندکی در وضعیت ایکنوفابریک لایه‌ها مشاهده می‌شود. در عین حال گسترش و پایداری شرایط زیست‌آشفتگی بالا قابل توجه است. ستبرای میانگین این چرخه‌ها ۲۳ متر است.

- در چرخه‌های نوع دوم نیز به‌طرف بالای توالی بر میزان زیست‌آشفتگی افزوده می‌شود اما تغییرات ایکنوفابریکی در آنها سریع بوده و میزان زیست‌آشفتگی بالا پایداری و دوام کمتری را در طی شکل‌گیری لایه‌ها نشان می‌دهند. به‌طور میانگین این نوع چرخه ۱۵ متر ستبرا دارد.

نخستین چرخه توالی مورد مطالعه از نوع نخست بوده و تا ۷۸/۴ متر اول توالی را شامل می‌شود. این وضعیت نشان می‌دهد که میزان فعالیت جانداران تالاسینوییدس در ابتدا کم بوده و به‌تدریج بر میزان فعالیت زیستی آنها افزوده شده که نتیجه آن به‌صورت شاخص ایکنوفابریک ۵ (ii5) در آمده است. این وضعیت زمان قابل توجهی دوام داشته است. چرخه بعدی توالی مورد مطالعه از چرخه نوع دوم است و بیش از ۴۰ متر ستبرا دارد (متراژ ۷۸ تا ۱۱۸). در این چرخه هرچند بخش بیشتری از لایه‌ها شاخص ایکنوفابریکی پایینی نشان می‌دهند اما به‌طرف بالا بر میزان زیست‌آشفتگی آنها افزوده شده و برخلاف چرخه نخست، دوام و پایداری شرایط مساعد برای فعالیت زیست‌مندان تالاسینوییدس ساز اندک بوده و در نتیجه گسترش و ستبرای زیست‌آشفتگی بالا چندان زیاد نیست.

چرخه سوم ایکنوفابریکی در توالی مورد مطالعه از نوع چرخه نخست بوده و متراژ ۱۱۸ تا ۱۳۹ متری را در برمی‌گیرد. در اینجا نیز زیست‌آشفتگی به‌طرف بالا افزایش یافته و در بخش‌های رأسی پایداری شرایط مساعد برای فعالیت هرچه بیشتر جانداران تالاسینوییدس ساز قابل توجه است، به‌طوری‌که شاخص ایکنوفابریکی ۵ (ii5) گسترش بیشتری دارد.

چرخه چهارم (۱۳۹تا ۱۵۵ متری توالی مورد مطالعه) با تغییرات سریع زیست‌آشفتگی و با افزایش زیست‌آشفتگی به‌طرف بالا همراه است که مشخصات چرخه نوع دوم را نشان می‌دهد.

چرخه پنجم که از ۱۵۵ متری تا ۱۹۳ متری توالی را در بر می‌گیرد نشان‌دهنده تغییرات آرام و در عین حال افزاینده نسبت به زیست‌آشفتگی است. با این حال بیشترین زیست‌آشفتگی این چرخه تا شاخص ایکنوفابریکی شماره ۴ (ii4) می‌رسد. این چرخه با تغییرات اندکی از ستبرای ۱۹۳ تا ۲۳۰ متری توالی مجدداً تکرار می‌شود. این چرخه یک چرخه متقارن است، به‌طوری‌که بخش‌های میانی آن بیشترین زیست‌آشفتگی با شاخص ایکنوفابریکی ۵ (ii5) را نشان می‌دهند. چرخه‌های پنجم و ششم در توالی مورد مطالعه پایداری شرایط مساعد برای فعالیت هر چه بیشتر جانوران تالاسینویید ساز را در بردارند و به‌عبارتی از چرخه‌های نوع نخست هستند.

آخرین چرخه ایکنوفابریکی که در برش چینه‌شناسی C یعنی ستبرای ۲۳۰ تا ۲۵۵ متری از قاعده مشاهده می‌شود تغییرات سریع ایکنوفابریکی را به‌نمایش می‌گذارد و خود شامل چند چرخه کوچک‌تر است. با این وجود، همانند چرخه‌های قبلی، افزایش زیست‌آشفتگی به‌طرف بالا را نشان می‌دهد. در این چرخه تقریباً سه چرخه کوچک‌تر زیست‌آشفته‌ترشونده به‌طرف بالا وجود دارد که به‌تدریج بر میزان زیست‌آشفتگی آنها افزوده شده و تا شاخص ایکنوفابریکی شماره ۵ (ii5) پیش می‌روند و مجدداً به شاخص‌های پایین‌تر برمی‌گردند. به‌طور کلی، می‌توان گفت مشخصات چرخه نوع دوم را دارند.

بررسی سامانهاتیک (سیستماتیک) اثر فسیلی

از آنجا که تنها اثر فسیل موجود در توالی مورد مطالعه اثرجنس (ichnogenus) تالاسینوییدس شناسایی شد، در اینجا مشخصه‌های اصلی این اثر فسیل به‌طور سامانهاتیک بررسی می‌شود.

Ichnogenus Thalassinoides Ehrenberg 1944

گونهٔ الگو (type species): Thalassinoides callianassae Ehrenberg 1944 (نامگذاری اولیه).

مشخصه(diagnosis): این اثرجنس (Ichnogenus) سامانه‌ای سه‌بعدی از حفره‌های لوله‌ای شکل انشعابی در درون رسوبات است. حفره‌های استوانه‌ای با انشعابات منظم و دو شاخه‌ای Y شکل مشخص می‌شوند. ممکن است دارای دیواره یا فاقد دیواره باشد. سطح خارجی این اثر فسیل صاف است. نقاط انشعاب در آن به‌صورت برآمده و متورم هستند. در دید افقی به‌صورت شبکه‌ای از لوله‌ها و دهلیزهای چند ضلعی جلوه می‌کند. قطر حفاری در یک سامانه متغیر است(c.f. Kennedy, 1967) .

ملاحظات (remarks): تالاسینوییدس شامل شبکه‌ای از حفاری‌های انشعابی است که عمدتاً از رسوبات مزوزوییک و جوان‌تر گزارش شده است. سامانهاتیک این اثرجنس پیچیده بوده و بسیار مورد بحث و بررسی قرار گرفته

است.(1995) Myrow چهارگونهٔ عمومی این ایکنوجنس را بحث نموده که عبارتند از:

T. saxonicus Geintz

T. ornatus Kennedy

T. paradoxicus woodward

T. suevicus (Rieth)

همچنین Myrow (1995) پنجمین اثرگونهٔ (ichnospecies) تالاسینوییدس را با نام *T. horizontalis* معرفی کرد. دیگر اثرگونه‌هایی که توسط Myrow (1995) مورد بحث و بررسی شده است و ارزش جدایش به‌عنوان یک اثرگونهٔ جدید را ندارند عبارتند از (Pickerill et al., 1998):

T. tandoni Badve & Ghare

T. minimus Aron

T. foedus Mikuláš

اثرگونهٔ *T. suevicus* دارای انشعابات Y شکل و قطر یکسان در یک نمونه است. اثرگونهٔ *T. paradoxicus* دارای قطر نامنظم بوده و انشعابات نظم کمتری دارند. به عقیدهٔ Keighley & Pickerill (1997) اثرگونهٔ *T. suevicus* دارای انشعابات عمدتاً Y شکل و *T. paradoxicus* بیشتر دارای انشعابات *T* شکل است (Kieghley & Pickerill, 1997). اثرگونهٔ *T. tandoni* هرچند دارای اندازهٔ کوچک‌تری است، قابل مقایسه با اثرگونهٔ *T. saxonicus* می باشد که خود نیز در واقع هم‌نام (junior synonymy) اثرفسیل *Ophiomorpha nodosa* می‌باشد (Kieghley & Pickerill, 1997).

اثرگونهٔ *T. foedus* مشابه *T. suevicus* است که افقی بوده و با انشعابات Y شکل دارای یک مرز خارجی کاملاً صاف است. همچنین این اثرگونه دارای آثار خراش در جاهایی از فسیل است که قابل مقایسه با اثرجنس *Spongeliomorpha* می‌باشد. در واقع اثرگونهٔ *T. foedus* یک اثرفسیل مرکب است و شایستگی معرفی به‌عنوان گونهٔ جدید را ندارد (Kieghley & Pickerill, 1997). اثرگونهٔ *T. horizontalis* شبکه‌ای از دهلیزها و لوله‌های انشعابی با دیوارهٔ صاف و بدون آستر است که کاملاً افقی و فاقد هرگونه تونل قائم است و قطر لوله در طول آن ثابت می‌ماند (Myrow, 1995). اثرگونهٔ *T. minimus* با ابهامات قابل توجه و با ارائهٔ تصاویر ناکافی تعریف شده و باید آن را نامگذاری مبهم (nomen dubium) تلقی کرد (Kieghley & Pickerill, 1997). بالاخره اثرگونهٔ *T. ornatus* به‌صورت تونل‌های کوچک افقی تا اندکی مورب و مایل است که در برش عرضی بیضوی است و در محل انشعابات برآمده و متورم است (Myrow, 1997).

اندازهٔ قطر لوله‌های اثرفسیل، فاصلهٔ قطعات در بین دو نقطهٔ انشعاب مجاور هم، نظم چند گوشهٔ لوله‌ها (burrows)، وضعیت انشعاب، وضعیت پرشدگی لوله‌ها و بالاخره در موارد مشخص نوع جانور ایجاد کننده برای تاکسونومی *Thalassinoides* کاربرد بیشتری دارند. در مورد نوع جانور ایجاد کننده، *Thalassinoides* حاصل فعالیت تغذیه‌ای- حفاری یک یا چند نوع سخت پوست تلقی می‌شود و این موضوع با وجود میگوی تالاسینید در نمونه‌های عهد حاضر اثبات شده است (Miller & Knox, 1985). به‌طور محدود تالاسینوییدس از رسوبات پالئوزوییک گزارش شده است و از بین این نمونه‌ها، وجود لایه‌بندی‌های هلالی شکل توصیف نشده است؛ ولی این ویژگی در نمونه‌های جوان‌تر وجود دارد (Miller & Knox, 1985). آثاری شبیه تالاسینوییدس از پنسیلوانین ایالت یوتا (Chamberlin & Clark, 1973)، از سیلورین جنوب خاور ایالت کبک کانادا (Pickerill & Roulstone, 1977) گزارش شده‌اند. مشکل اساسی در نسبت دادن نمونه‌های پالئوزوییک به اثرجنس تالاسینوییدس دربارهٔ جانور ایجاد کنندهٔ آنهاست؛ چراکه سخت‌پوست تالاسینید یا دیگر سخت‌پوستان به سن قدیمی‌تر از ژوراسیک گزارش نشده‌اند. در این باره دو احتمال وجود دارد: یکی آنکه جانور یا جانورانی در پالئوزوییک شکل‌هایی شبیه تالاسینوییدس ایجاد می‌کرده‌اند و دیگر اینکه جانوران سخت پوست به قدمت پالئوزوییک وجود داشته‌اند ولی هنوز یافت نشده و گزارش نشده‌اند (Pickerill et al., 1998, Miller & Knox,1985).

تالاسینوییدس اغلب از محیط‌های کم ژرفای دریایی گزارش شده است (Kieghley & Pickerill, 1997; Pickerill et al., 1998). از دیگر اثرجنس‌های مشابه تالاسینوییدس می‌توان از *Ophiomorpha*، *Psilonichnus* و *Spongeliomorpha* نام برد.

Ichnospecies Thalassinoides suevicus (Rieth 1932)

تابلو ۲

نمونه: تعداد بی‌شماری تالاسینوییدس در لایه‌های مورد مطالعه یافت شد. نمونه‌های لایهٔ ۷۲ که دارای رخنمون بهتری است مناسب مطالعه دقیق‌تر است (تابلو ۲، شکل ۱ و شکل ۴-الف).

مشخصه : این اثرجنس عمدتاً به‌صورت حفاری (burrow) افقی و کم و بیش با انشعابات منظم است که دارای سطح صاف هستند. اساساً سامانه‌ای از حفاری‌های استوانه‌ای بزرگ و گسترده را تشکیل می‌دهند. دوشاخه شدن Y شکل عمومی‌تر از T شکل است (Frey & Howard, 1985).

توصیف: نمونه‌های این جنس در توالی مورد مطالعه شامل شبکه‌ای از لوله‌های استوانه‌ای و انشعابی افقی تا قائم هستند. انشعابات بیشتر Y شکل است. این

انشعابات دهلیزها و لوله‌های داربستی شکل را در درون‌لایه‌های ماسه‌سنگی ایجاد کرده‌اند. انشعابات T شکل نیز در برخی جاها وجود دارند (تابلو ۲، شکل‌های ۱و ۲). قطر تالاسینوییدس بین ۲۰ میلی‌متر تا ۵۰ میلی‌متر متغیر است و اغلب قطر لوله‌ها در یک شبکه دهلیز ثابت است و در برش عرضی به شکل گرد تا بیضوی هستند (تابلو ۲، شکل ۳). ذرات پرکننده اثر فسیل‌ها تقریباً هم اندازه با رسوب میزبان است ولی ویژگی خاصی که در این پرشدگی مشاهده می‌شود، تمرکز هم‌مرکز ذرات رسوبی است؛ به‌گونه‌ای که در بخش مرکزی لوله‌ها مواد به رنگ تیره‌تر و به‌صورت یک نقطه مشاهده می‌شود (تابلو ۲، شکل۴). این ویژگی نشان‌دهندهٔ پرشدگی توسط جانور ایجاد کننده (active) اثرفسیل است. شدت سیمان شدگی اثرفسیل تالاسینوییدس بیش از رسوبات میزبان است که شاید این موضوع به تفاوت فابریک ذرات پرشده در دهلیزها و لوله‌های تالاسینوییدس و در نتیجه جریان بهتر آب بین‌ذره‌ای نسبت به رسوبات میزبان بستگی داشته باشد. در محل‌های انشعاب یا بخش‌هایی، لوله‌ها متورم هستند. سامانه شبکهٔ تالاسینوییدس محدود به یک لایه می‌شود ولی در مواردی معدود لوله‌های تالاسینوییدس سطوح لایه‌بندی را قطع کرده و به درون لایه‌های بالایی یا پایینی نفوذ کرده‌اند (تابلو ۲، شکل های ۵ و ۶).

ملاحظات : نمونه‌های مورد مطالعه برپایهٔ اینکه عمدتاً دارای انشعابات Y هستند و قطر لوله‌ها تقریباً ثابت است به این اثرگونه از اثرجنس تالاسینوییدس نسبت داده شده‌اند. تمامی نمونه‌های مشاهده شده و مورد مطالعه درون رسوبی هستند و نمونه‌ای که فقط به شکل افقی باشد مشاهده نشد. این نمونه‌ها از نظر اینکه ستبرای لوله‌ها در طول آن ثابت است و شبکهٔ تقریباً منظمی از لوله‌ها را ایجاد کرده‌اند، از اثرگونهٔ *T. paradoxicus* و از نظر اینکه فاقد دیواره است و افقی نیست، از گونهٔ *T. horizontalis* متمایز می‌شود.

بحث

عموماً در مطالعات ایکنولوژی، بحث درباره جاندار یا جانداران ایجاد کننده اثر فسیلی با احتیاط انجام می‌گیرد زیرا نه تنها از نظر ایکنوتاکسونومی بلکه به‌علت عدم همراهی جاندار اثرگذار با اثر ایجاد شده (در بیشتر موارد) تشخیص دقیق جاندار اثرگذار مشکل یا کاملاً ناممکن است. در مورد نمونه‌های عهد حاضر تالاسینوییدس و اثرفسیل مشابه از نظر ساختاری یعنی افیومورفا، میگوها را نامزد اصلی ایجاد کننده تلقی می‌کنند. تا آنجا که (Pemberton et al. 2001) میگوی Upogebid را به‌عنوان اثرساز احتمالی تالاسینوییدس در نظر می‌گیرند. با این حال، همان‌طور که گفته شد تالاسینوییدس حاصل فعالیت تغذیه‌ای- حفاری یک یا چند نوع سخت پوست تلقی می‌شود و این موضوع با وجود میگوی تالاسینید در نمونه‌های عهد حاضر اثبات شده است.

اساساً اثر فسیل تالاسینوییدس را می‌توان یک اثر فعالیت زیستی مربوط به مناطق کم‌ژرفا و پرانرژی دریایی دانست. این اثرفسیل جزو ایکنوفاسیس‌های *Skolithos*(Frey & Seilacher,1980)، *Glossifungites* و *Cruziana* (Frey & Pemberton, 1984; Pemberton et al.,1992) تلقی شده است.

ایکنوفاسیس اسکولیتوس در مناطق زیرکرانه‌ای (sublittoral) تا فراکرانه‌ای (infralittoral) و در یک محیط متوسط تا نسبتاً پرانرژی و همچنین رسوبات ماسه تمیز تا گلی با جور شدگی خوب گسترش دارد. این محیط‌ها تحت تأثیر فرسایش یا رسوبگذاری مجدد هستند.

ایکنوفاسیس کروزیانا در مناطق فوق کرانه‌ای تا کفه‌های دور از ساحل زیر سطح تأثیر امواج عادی ولی متأثر از امواج توفانی است گسترش دارد و یک محیط متوسط تا کم انرژی را نشان می‌دهد. انرژی محیط این ایکنوفاسیس متوسط تا کم است. رسوبات موجود در این ایکنوفاسیس شامل سیلت تا ماسه‌های با جورشدگی خوب با میان‌لایه‌های گلی یا فاقد گل است که به‌طور متوسط تا به شدت زیست‌آشفته شده‌اند(Frey & Pemberton,1984) ، به‌این خاطر است که در این ایکنوفاسیس، اثرفسیل تالاسینوییدس عموماً در سطح رسوبات به‌صورت شبکه چندگوشه‌ای افقی گسترش دارد. آثار فسیلی ایکنوفاسیس کروزیانا شامل *Asteriacites, Cruziana, Rhizocorallium, Aulichnites, Thalassinoides, Chodrites, Teichichnus, Arenicolites, Rosselia* و *Planolites* است و در محیط رسوبی با رسوبگذاری آرام مانند خلیج‌های دهانه‌ای (estuaries)، خورها (bays) و مرداب‌ها (lagoons) ایجاد می‌شود.

تالاسینوییدس موجود در ایکنوفاسیس گلاسیفانگیتس به شکل آثار دهلیز و لوله‌ای داربستی است، چراکه این ایکنوفاسیس در محیط‌های با انرژی متوسط تا کاملاً پر انرژی و مناطق کرانه‌ای (littoral) تا زیرکرانه‌ای (sublittoral) دریایی با رسوبات سفت ولی سنگ نشده، یعنی در بسترهای سفت (firmgrounds) کربناتی و نیمه سخت شده که متأثر از فرسایش دریایی و سیمانی شدن نسبی هستند، گسترش پیدا می‌کند.

سطوح رسوبی موجود در این ایکنوفاسیس در زمان‌های با کم‌ترین رسوبگذاری یا عدم رسوبگذاری گسترش می‌یابند لذا نمی‌توانند بازگو کننده شرایط محیطی در محدوده زمانی مربوطه باشند، بر این اساس، از آنها با عنوان سطوح حذف (omission surface) نام برده می‌شود.

براساس ویژگی‌های به‌دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی یا صحرایی و با توجه به ویژگی‌های عمومی که برای ایکنوفاسیس‌های فوق گفته شد، نمونه‌های تالاسینوییدس مورد مطالعه در شرایط مشابه با ایکنوفاسیس‌های کروزیانا تا گلاسیفانگیتس ایجاد شده‌اند. چرا که همانند تالاسینوییدس های

موجود در ایکنوفاسیس گلاسیفانگیتس به‌شکل داربستی و در درون لایه‌های رسوبی ماسه سنگ‌های با سیمان آهکی شکل گرفته‌اند و مشابه ایکنوفاسیس کروزیانا همراه با میان‌لایه‌های گلی بوده و با میزان زیست‌آشفتگی لایه نسبتاً بالا همراه هستند (به ایکنوگرام، شکل ۶ مراجعه کنید).

در هر محیط رسوبی انتظار می‌رود که با مساعد شدن شرایط زیستی و فیزیکوشیمیایی برای فعالیت جانداران اثر ساز، بر میزان فعالیت‌های زیستی افزوده شود که حاصل و نشانه آن به‌صورت ایکنوفابریک‌های درجه بالا در لایه‌های رسوبی قابل مشاهده است. با ملاحظه ایکنوگرام، تغییرات ایکنوفابریک‌ها و چرخه‌های زیست‌آشفتگی درمی‌یابیم که در زمان نهشته شدن لایه‌های مورد مطالعه در دوره‌های زمانی متفاوت شرایط بسیار مناسب و مطلوبی برای جانور یا جانوران تالاسینوییدس ساز فراهم شده و فعالیت هرچه بیشتر آنها به‌صورت ایکنوفابریک درجه ۵ و ۴ در لایه‌ها باقی مانده است. با این حال، آنچه که می‌توان از روی ایکنوگرام لایه‌ها دریافت این است درصد فراوانی ایکنوفابریک درجه یک تا چهار به‌تدریج کاسته می‌شود و در مقابل، میزان ایکنوفابریک درجه پنج قابل ملاحظه است. شاید بتوان این‌طور قضاوت کرد که در هنگام تشکیل رسوبات در دوره‌هایی، پایداری نسبی شرایط زیستی، فیزیکی و شیمیایی رخ داده و محیط مساعد و مطلوب برای تجمع جانوران تالاسینوییدس ساز فراهم شده است؛ ولی در شرایط حد واسط که امکان تغییر و ناپایداری شرایط یاد شده وجود داشته است، جانداران اثرساز فرصت کافی برای فعالیت بیشتر نداشته‌اند. همین وضعیت را می‌توان در چرخه‌های زیست‌آشفتگی مشاهده کرد. چرخه های نوع نخست که در بخش چرخه‌های زیست آشفتگی توضیح داده شد، در واقع حاکی از روند رو به بهبودی و مساعد شدن برای فعالیت هرچه بیشتر جانوران تالاسینوییدس ساز و دوام و پایداری چنین شرایطی است در حالی که در چرخه‌های نوع دوم نه تنها شرایط محیط رسوبی دائماً و به‌طور مکرر تغییر می‌کرده است، بلکه در همان شرایط مطلوب نیز ناپایداری رخ داده و مدت زمان اندکی برای فعالیت جانوران تالاسینوییدس ساز فراهم شده است.

آنچه که در این تغییرات جالب توجه است، تکرار و چرخه‌ای بودن شرایط نوع نخست و دوم است که کم وبیش به‌صورت یک در میان رخ داده‌اند.

عوامل مؤثر بر فرایندهای چرخه‌ای رسوبات به دو دسته عوامل درون حوضه‌ای یا به عبارتی عواملی که در درون خود حوضه رسوبی خود به خود و در طی مراحل رسوبگذاری ایجاد می‌شوند و عوامل برون حوضه‌ای که از خارج حوضه رسوبی (مانند تغییرات و افت و خیز سطح دریاهای آزاد) در چرخه‌ای شدن رسوبگذاری دخالت دارند، تقسیم می‌شوند. در مورد چرخه‌ای بودن زیست‌آشفتگی در حوضه رسوبی توالی مورد مطالعه می‌توان عوامل مختلفی از جمله عوامل زیستی، را مؤثر دانست. اگر جانور اثر ساز تالاسینوییدس را جانوران سخت پوست میگو بدانیم (Miller & Knox, 1985)، این جانور در ژرفای معینی از حوضه رسوبی و با میزان اکسیژن مشخص فعالیت داشته است. به نظر می‌رسد این جانور به بالا و پایین رفتن ژرفای حوضه رسوبی واکنش نشان داده و در شرایط مساعد با فعالیت خود موجب زیست‌آشفتگی لایه‌ها شده است. آنچه در این مرحله از مطالعه قابل بیان است، ارتباط گسترش آثار فسیلی تالاسینوییدس با تغییرات نسبی سطح آب دریاست. بدین صورت که گسترش این آثار به‌طور عمده در شرایط آرام و در زمان‌هایی با کم‌ترین رسوبگذاری صورت پذیرفته است. طبیعی است که بحث در مورد دلایل کاهش رسوبگذاری (افزایش سطح آب دریا در مقیاس جهانی یا تغییر شکل‌های ساختاری منجر به بالا و پایین رفتن کف حوضه) نیاز به بررسی‌های دقیق توالی چینه‌شناسی در منطقه دارد که توسط مؤلفان در دست انجام است. آنچه از بررسی‌های حاضر به‌دست می‌آید این است که گسترش اثر فسیل تالاسینوییدس در ایکنوفاسیس گلاسیفانگیتس در رسوبات سفت ولی سنگ نشده کرانه دریایی و زیرکرانه‌ای و بخصوص سطوح سفت کربناتی نیمه‌تحکیم یافته و در زمان بالا بودن نسبی سطح آب صورت پذیرفته است. به‌عنوان نمونه، با توجه به چرخه چهارم و ابتدای چرخه پنجم (۱۴۰تا ۱۷۰ متری توالی مورد مطالعه) می‌توان شروع چرخه تا رسیدن به بیشترین زیست آشفتگی، به بیشترین بالاآمدگی نسبی سطح آب، و بیشترین فراوانی و گسترش زیست آشفتگی و ایجاد سطوح سفت را به مرحله بالا بودن نسبی سطح آب و بالاخره روند کاهش زیست آشفتگی [که ممکن است خیلی سریع (مانند چرخه اول) یا آرام و کند (مانند چرخه چهارم) باشد] را به مرحله پایین افتادگی سطح آب نسبت داد.

هم‌ازر سنی این لایه‌ها در منطقه قم، بخش‌های زیرین سازند قم است که شامل توالی آهک‌های ماسه‌ای و مارن با میان‌لایه‌های نازک ماسه‌سنگی است. در این بخش‌ها مجموعه آثار فسیلی گزارش شده مشابه ایکنوفاسیس‌های فلیشی است (عباسی و اخروی،۱۳۷۸) که اساساً با رخساره ایکنولوژیکی توالی اولیگوسن منطقه علی‌آباد متفاوت است با این حال، موضوع ارتباط حوضه‌های اولیگوسن علی‌آباد و اولیگوسن سازند قم مسئله‌ای است که نیاز به بررسی و مطالعه بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

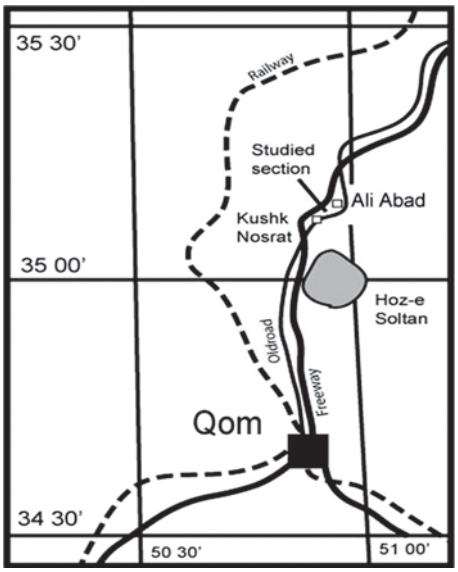
توالی رسوبی مورد مطالعه از لایه‌های ماسه‌سنگ آهکی و آهک‌های ماسه‌ای فسیل‌دار تشکیل شده است که به‌طور ناپیوستگی فرسایشی بر روی نهشته‌های آذرآواری ائوسن و به‌طور هم‌شیب و با واسطه دو سیل آذرین در زیر لایه‌های دریاچه‌ای دیرینه قرار گرفته است. با وجود ریزفسیل‌هایی چـــون *Operculina complanata, Operculina* sp., *Asterigerina*

rotula, Nummulites fichteli, N. intermedius, N. cf. *planulatus* و *Nummulites vascus* سن این لایه‌ها روپلین (اولیگوسن میانی) است. تنها اثر فسیلی تشخیص داده شده در این رسوبات اثر گونه *Thalassinoides suevicus* است که به شکل دهلیزهای لوله‌ای شکل منشعب با شبکه داربستی است. انشعابات، Y شکل و اندکی نیز T شکل هستند و با قطر ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر به‌طور فعال و توسط جانور اثرساز از رسوبات انباشته شده‌اند. شدت فعالیت زیستی مختلف در لایه‌های رسوبی، منجر به تشخیص پنج درجه زیست‌آشفتگی با شماره‌های یک تا پنج که معادل شاخص‌های ایکنوفابریکی استاندارد هستند، شد که در این میان ایکنوفابریک یک با ۴۰/۳۷ درصد بیشترین مقدار و ایکنوفابریک چهار با ۴/۹۷ درصد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. آنچه از روی ایکنوگرام لایه‌ها دریافت می‌شود این است که درصد فراوانی ایکنوفابریک‌ها از درجه یک تا چهار به تدریج کاسته شده و در مقابل، میزان ایکنوفابریک درجه ۵ قابل ملاحظه است؛ شاید بتوان این‌طور نتیجه گرفت که در هنگام تشکیل رسوبات در دوره زمان‌هایی، پایداری نسبی شرایط زیستی، فیزیکی و شیمیایی رخ داده و محیط مساعد و مطلوب برای تجمع جانوران تالاسینوییدس ساز فراهم شده است؛ ولی در شرایط حد واسط که امکان تغییر و ناپایداری شرایط یاد شده وجود داشته است، جانداران اثرساز فرصت کافی برای فعالیت بیشتر نداشته‌اند.

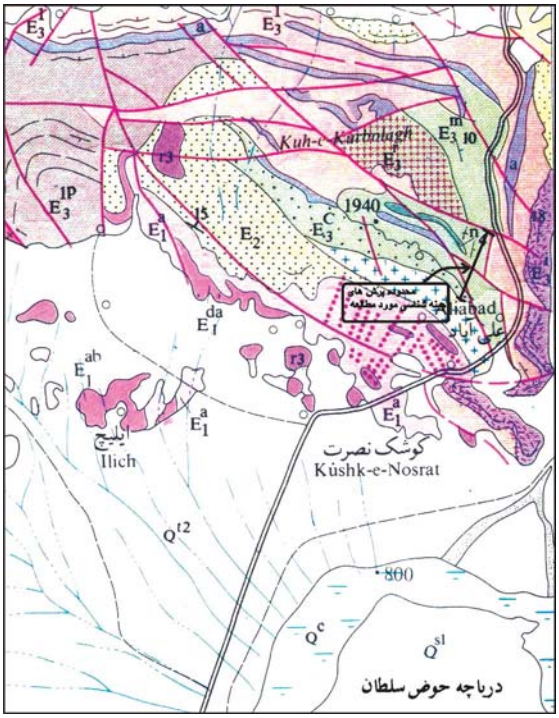
بر اساس تغییرات ایکنوفابریکی، هفت چرخه ایکنوفابریکی تشخیص داده شدند که به‌طور کلی می‌توان آنها را در دو نوع زیر رده‌بنـــدی کرد : الف) چرخه‌های نوع نخست تغییرات ایکنوفابریکی را شامل می‌شود که به‌تدریج به طرف بالا بر میزان آشفتگی آنها افزوده شده و در طول این افزایش تغییرات و جابه‌جایی‌های اندکی در وضعیت ایکنوفابریک لایه‌ها مشاهده می‌شود و در عین حال، گسترش و پایداری شرایط زیست‌آشفتگی بالا قابل توجه است. چرخه‌های نوع دوم شامل آن دسته چرخه‌هایی است که در آنها همانند چرخه‌های گروه نخست، به‌طرف بالای توالی بر میزان زیست‌آشفتگی افزوده می‌شود، با این تفاوت که تغییرات ایکنوفابریکی آنها سریع بوده و میزان زیست‌آشفتگی بالا پایداری و دوام کمتری را در طی شکل‌گیری لایه‌ها نشان می‌دهند. نمونه‌های تالاسینوییدس موجود در توالی مورد مطالعه در شرایطی مشابه ایکنوفاسیس‌های کروزیانا تا گلاسیفانگیتس ایجاد شده‌اند. زیرا همانند تالاسینوییدس‌های موجود در ایکنوفاسیس گلاسیفانگیتس به شکل داربستی و در درون لایه‌های رسوبی ماسه‌سنگ‌های با سیمان آهکی شکل گرفته‌اند و مشابه ایکنوفاسیس کروزیانا همراه با میان‌لایه‌های گلی بوده و با میزان زیست‌آشفتگی لایه نسبتاً بالا همراه هستند.

سپاسگزاری

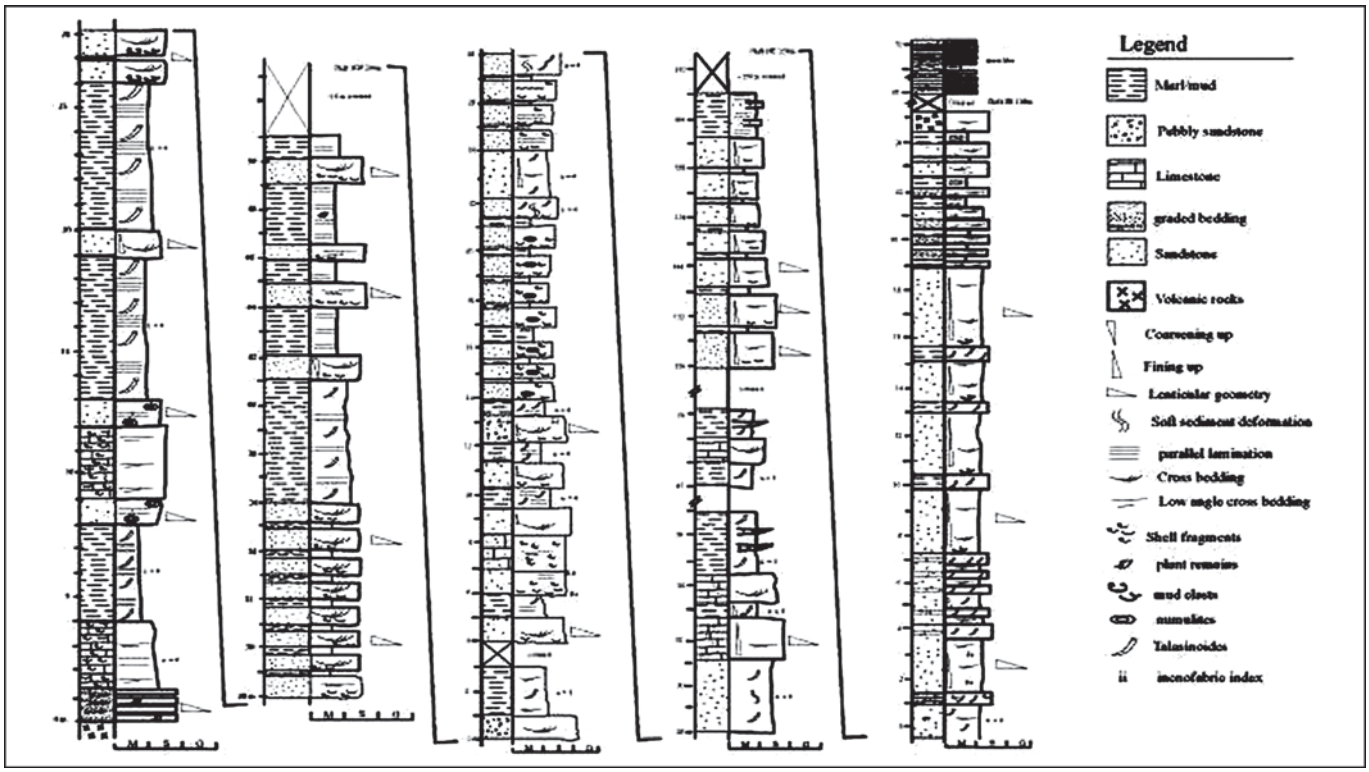
این مقاله براساس طرح پژوهشی به شماره ۸۴۴۸ معاونت پژوهشی دانشگاه زنجان ارائه شده است که در این راستا از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زنجان به خاطر همکاری نزدیک ایشان سپاسگزاری می‌شود. از آقایان مهندس عبدالرضا مقدسی و مهندس محسن رنجبران که در مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی مساعدت نمودند و همچنین از آقای جلال الدین شاکری، سپاسگزاری می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی برش چینه‌شناسی مورد مطالعه در منطقه علی‌آباد قم (بدون مقیاس).

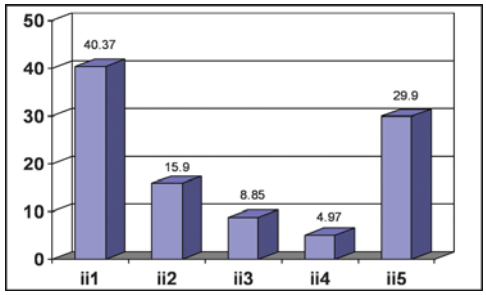


شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه علی آباد-کوشک نصرت واقع در انتهای جنوب خاور چهار گوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۳). برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه در این نقشه بر روی واحدهای E_3^C و E_3^m و n_4 قرار دارند.

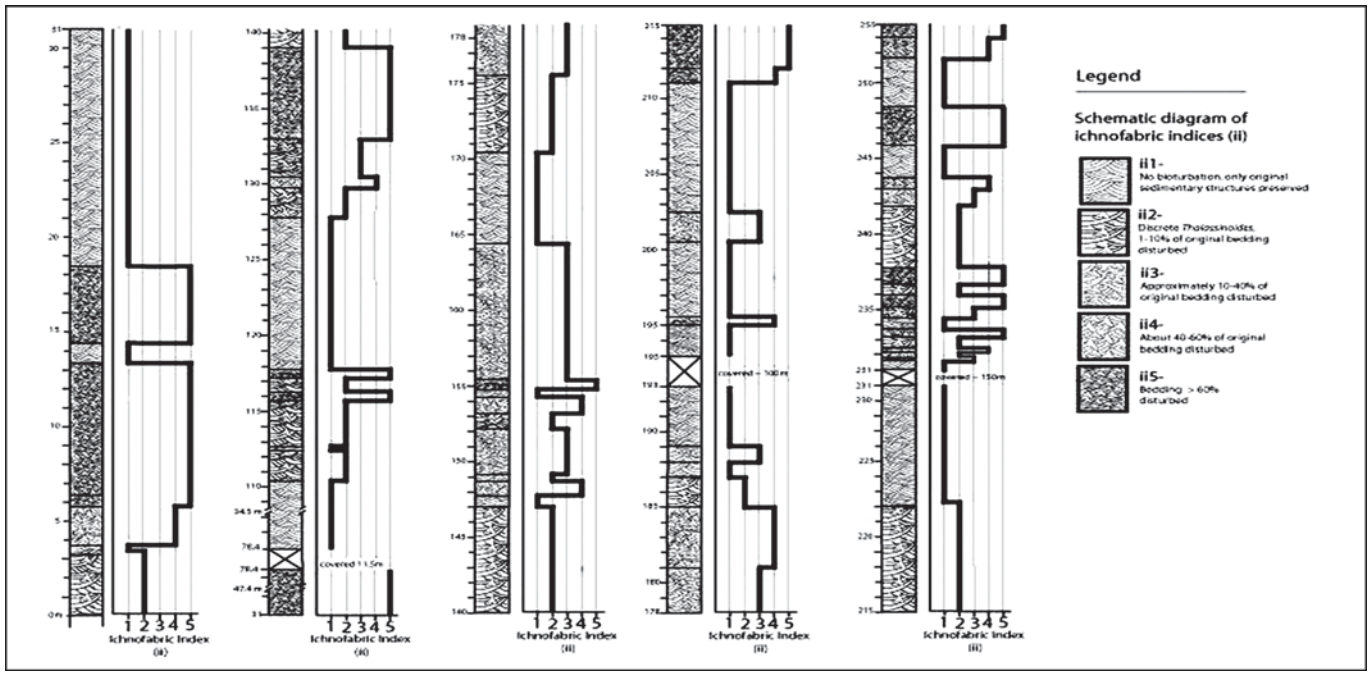


شکل۳- توالی چینه‌شناسی ترکیبی برش‌های پیمایش شده (A-D) در رسوبات مورد مطالعه در منطقه علی آباد قم.

شکل ۴- برخی از ساختمان‌ها و پیکربندی تالاسینوییدس در توالی مورد مطالعه، الف) ساختار داربستی متشکل از دهلیزهای انشعابی در ماسه‌سنگ ریز دانه با سیمان کلسیتی و به رنگ قهوه‌ای روشن تا سبز روشن، ب)یک تونل اصلی و تونل‌های فرعی منشعب از آن در سطح لایه‌بندی سیلتستون ریزدانه خاکستری رنگ (اعداد روی شکل الف، شماره لایه‌ها را نشان می‌دهند).

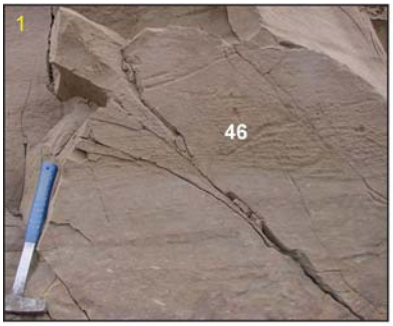


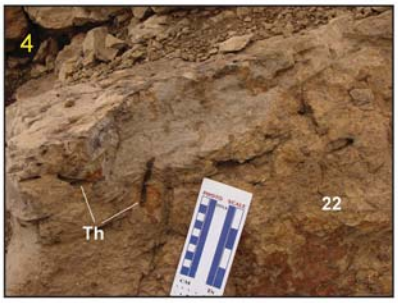
شکل۵- ایکنوگرام تالاسینوییدس توالی مورد مطالعه.

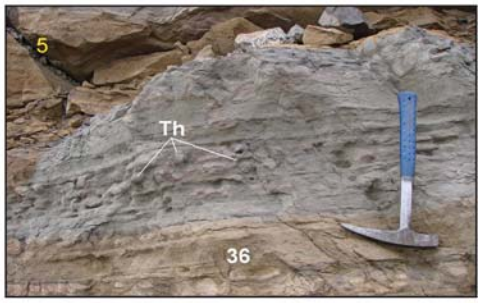


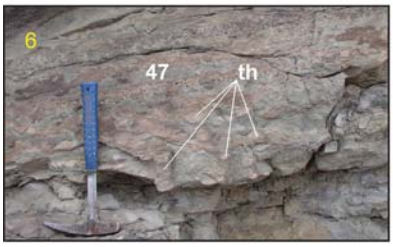
شکل۶ - تغییرات ایکنوفابریک تالاسینوییدس در توالی مورد مطالعه. علاوه بر پوشش‌های نشان داده شده (علامت ☒)، دو پوشش دیگر نیز در متراژهای۱۱۳/۶و۱۲۰/۸ متری وجود دارند که در این نمودار نشان داده نشده‌اند.

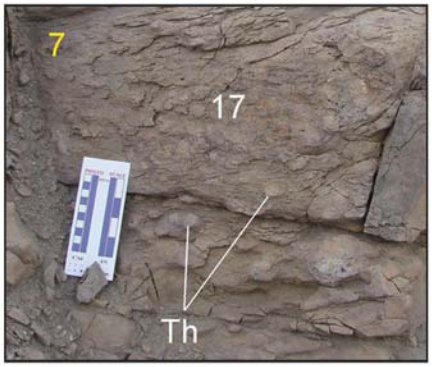
تابلو یک

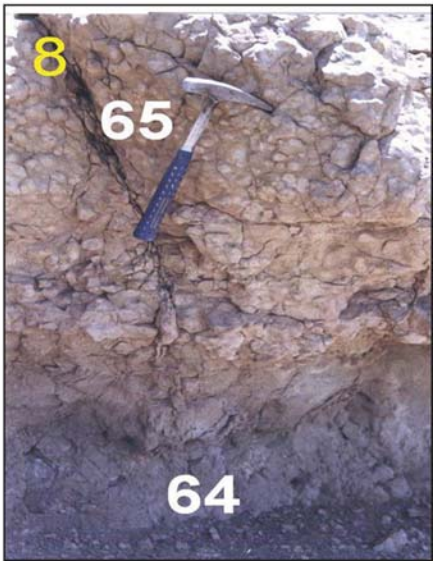












شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ – ایکنوفابریک شماره ۱، لایه‌ها فاقد اثر فسیل هستند و فابریک اولیه آنها مانند ریزلایه‌های درون لایه حفظ شده است.

شکل ۴– ایکنوفابریک شماره دو، اثر فسیل تالاسینوییدس به‌طور پراکنده در درون لایه رسوبی مشاهده می‌شود.

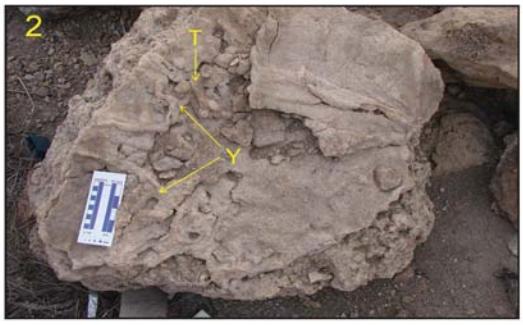
شکل ۵– ایکنوفابریک شماره سه، میزان زیست‌آشفتگی حاصل از تالاسینوییدس تا ۴۰ درصد می‌رسد.

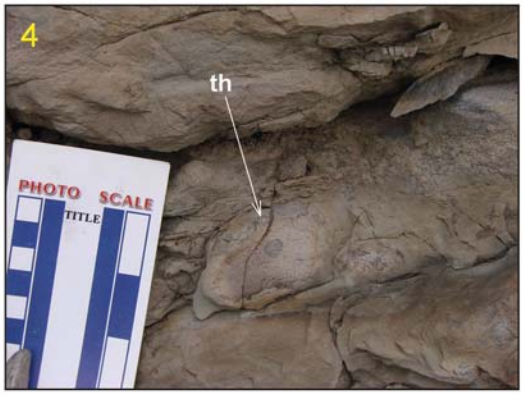
شکل‌های ۶ و ۷– ایکنوفابریک شماره چهار، با وجود تراکمی از اثرفسیل تالاسینوییدس در این لایه‌ها، میزان زیست‌آشفتگی تا ۶۰ درصد می‌رسد.

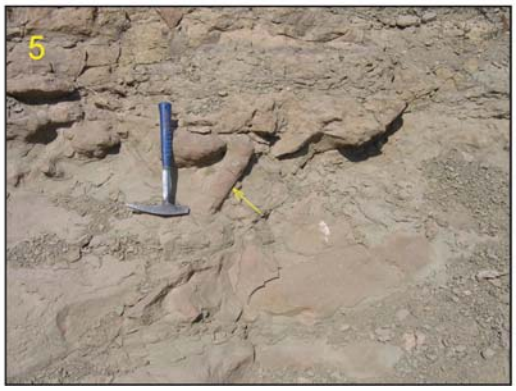
شکل‌های ۸ و ۹– ایکنوفابریک شماره ۵، تراکم قابل توجهی از اثر فسیل تالاسینوییدس در این لایه مشاهده می‌شود. این تراکم آنقدر زیاد است که اثر فسیل تالاسینوییدس در سطوح فرسایشی به‌صورت قلوه‌هایی درآمده‌اند (شکل ۹).

(Th تالاسینوییدس، شماره‌های موجود در برخی از عکس‌ها، شماره لایه‌ها را نشان می‌دهند)

تابلو دو







شکل ۱- شبکه داربستی اثر فسیل تالاسینوییدس در لایه شماره ۷۲. انشعابات لوله‌ها به‌صورت Y شکل است.

شکل ۲- شبکه انشعابی تالاسینوییدس در یک واریزه؛ به انشعابات Y و T شکل توجه شود.

شکل۳- رخنمون دایره‌ای شکل (a) تا بیضوی شکل (b) در لوله‌های تالاسینوییدس همراه با تمرکز هم‌مرکز رسوبات در برخی از آنها، لوله‌های بیضوی شکل به‌علت فشار لایه‌های بالایی ایجاد نشده‌اند، بلکه به‌علت جهت غیر عمود برش سطح رخنمون با جهت آرایش لوله‌ها به این صورت مشاهده می‌شوند ، به گونه‌ای که برش مایل، لوله‌های دایره‌ای، بیضوی شکل دیده خواهند شد.

شکل۴- برش عرضی از یک لوله تالاسینوییدس (th) در توالی مورد مطالعه، پرشدگی هم‌مرکز در رسوبات پر کننده دهلیز تالاسینوییدس مشاهده می‌شود. مقیاس به سانتی‌متر در سمت چپ.

شکل های ۵ و ۶- لایه‌هایی با تراکم بالای تالاسینوییدس که لوله برخی از آنها، سطوح لایه‌بندی را به‌طور مایل یا قائم قطع کرده است (پیکان). (عددهای روی برخی عکس‌ها، شماره‌گذاری لایه‌ها را نشان می‌دهند).

کتابنگاری

رجایی، ف.، ۱۳۷۷- مطالعه محیط رسوبی رسوبات آتشفشانی آواری علی آباد (قم). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، منتشر نشده، ۱۰۸ صفحه.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۶۳- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ساوه، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ .

عباسی، ن.، ۱۳۷۸- ایکنولوژی و ایکنوفابریک سازند روته در جنوب غرب ابهر، کوههای سلطانیه. فشرده مقالات سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص. ۴۱۶-۴۱۲.

عباسی، ن.، ۱۳۸۰- پالئوایکنولوژی، لیتوستراتیگرافی و تفسیر محیط رسوبی واحدهای رکشا و "وزیری" (میوسن) در منطقه نیک شهر-قصرقند (مکران). پایان‌نامه دوره دکتری. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، منتشر نشده، ۳۵۰ صفحه.

عباسی، ن. و شاکری، ص.، ۱۳۸۴- آثار ردپای مهره داران میوسن در سازند سرخ بالایی، برش چینه شناسی مشمپا، استان زنجان. مجله علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۵۵، ص. ۸۹-۷۶.

عباسی، ن. و مؤمنی، ا.، ۱۳۸۰- کاربرد اثر فسیلی افیومورفا (Ophiomorpha) در تحلیل حوضه رسوبی واحد رکشا (میوسن)، مکران، جنوب خاور ایران. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۷، شماره ۱، ص. ۳۸-۲۷.

عباسی، ن. و اخروی، ر.، ۱۳۷۶- ایکنوفسیل‌های گروه اسکولیسیا (Scolicia) در بخش b سازند قم (ناحیه شورآب) و استفاده از آنها در تفسیر محیط رسوبی. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۲۳، شماره ۱، ص. ۱۰-۱.

وزیری مقدم، ح. و طاهری، ع.، ۱۳۸۳- بررسی ایکنوفسیل‌ها و ایکنوفاسیس‌های بخش بالایی سازند شمشک در ناحیه طزره (شمال خاوری دامغان). علوم زمین، شمارهٔ ۵۱-۵۲، ص. ۴۶-۵۵

References

Abbassi, N. & Lockley, M. G., 2004- Eocene bird and mammal tracks from the Karaj Formation, Tarom Mountains, northwestern Iran. Ichnos, 11: 349-356.

Anderson, B. G. & Droser, M. L., 1993- Variation in the geometric configuration of Ophiomorpha nodosa: an indicator of physical energy levels. G. S. A. Abs. with Programs, 25(6): 269.

Ataabadi, M. M. & Khazaee, A., 2004- New Eocene mammal and bird footprints from Birjand area, eastern Iran. Ichnos, 11: 363-370.

Ataabadi, M.M. & Sarjeant, W. A. S., 2000- Eocene mammal footprints from eastern Iran: a preliminary study. Earth and Planetary Sci., 331: 543-547.

Chamberlin, C. K. & Clark, D. L., 1973- Trace fossils and conodonts as evidence for deep water deposits in the Oquirrh Basin of Central Utah. Jour. Paleontology, 47: 663-682.

Crimes, T. P. & Droser, M. L., 1992- Trace fossils and bioturbation: the other fossil record. Annu.Rev.Ecol. Syst. 23: 339-360.

Crimes, T. P. & McCall, G. J. H., 1995- A diverse ichnofauna from the Eocene-Miocene rocks of the Makran range (SE Iran). Ichnos, 3, p. 231-258.

Droser, M. L. & Bottjer, D. L., 1986- A semiquantitative field classification of ichnofabrics. Jour. Sedi. Petrol., 56:558-559.

Droser, M. L. & Bottjer, D. L., 1987- Development of ichnofabric indices for strata deposited in high energy nearshore terrigenous clastic environments. In Bottjer, D. L. (ed.) New Concepts in the Use of Biogenic Sedimentary Structures for Paleoenvironmental Interpretation. SEPM, Pacific Section, Vol. and Guidebook, 52: 29-34.

Droser, M. L. & Bottjer, D. L., 1989- Ichnofabrics of sandstone deposited in high-energy nearshore environments: measurements and utilization. Palaios, 4: 598-604.

Droser, M. L. & Bottjer, D. L., 1991- Trace fossils and ichnofabric of Leg 119 Core. In J. Barren et al. (eds.) Proceedingof the Ocean Drilling Program, Scientific Results. Vol. 119, Ocean Drilling Program, College station, TX, 635-641.

Droser, M. L., 1994- New approaches to ichnifabric and trace fossil analysis: examples from Mesozoic and Cenozoic outcrops of Costal California. G. S. A. Cordillern Section Guidbook, Trip 3: 55-57.

Ehrenberg, K., 1944- Ergänzende Bemerkungen zu den seinerzeit aus dem Miozän von Burgschleinitz beschriebenen Gangkernen und Bauten dekapoder Krebse. Paläont. Zeitschr. 23: 354-359.

Frey, R. W. & Howard, J. D., 1985- Trace fossils from the Panther Member, Star Point Formation (Upper Cretaceous), Coal Creek Canyon, Utah. Jour. Palaeontology, 59: 370-404.

Frey, R. W. & Pemberton, S. G., 1984- Trace fossil facies models. In R. G. Walker (ed.) Facies Models. Geoscience Canada, Reprint Series 1, p. 189-207.

Frey, R. W., & Seilacher, A., 1980- Uniformity in marine invertebrate ichnology, Lethaia, 13: 183-207.

Frey, R. W., Howard, J. D. & Pryor, W. A., 1978- Ophiomorpha: its morphologic, taxonomic and environmental significance. Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol., 23: 199-229.

Häntzschel, W., 1962- Trace fossils and problematica. In Moore, R. C. (ed.) Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W. Geological Society of America, New York, and University of Kansas Press, Lawrence, p. W177.

Keighley, D. G. & Pickerill, R. K., 1997- Systematic ichology of Mabou and Cumberland groups (Carboinferous) of Weatern Cape Breton Island, eastern Canada, 1: buroows, pits, trails and coprolites. Atlantic Geology, 33: 181-215.

Kennedy, W. J., 1967- Burrows and surface traces from the Lower Chalk of southern England. Bit. Museum (Nat. History), Bull., Geol., 15: 125-167.

Miller, M. F. & Knox, L. W., 1985- Biogenic structures and depositional environments of a Lower Pennsylvanian coal-bearing sequence, northern Cumberland Plateau, Tennesse, U. S. A.. In Curran, H. A. (ed.) Biogenic Structures: Their Use in Interpreting Depositional Environments. SEPM spec. Publ. 35: 67-97.

Myrow, P. M., 1995- Thalassinoides and enigma of Early Paleozoic open-framework burrow systems. Palaios, 10: 58-74.

Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., & Frey, R. W., 1992- Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. In R. G. Walker and N. P. James (eds.) Facies Models: Response to Sea Level Change. Geol. Ass. Canada, Geotext 1: 47-72.

Pemberton, S. G., Spila, M., Pulham, A. J., Saunders, T., MacEachern, J. A., Robbins, D. & Sinclair, I. K., 2001- Ichnology and Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems, Ben Nevis and Avalon Resevoirs, Jeanne d'Arc Basin. Geol. Ass. Canada, Short Course Notes Vol. 15, 343pp.

Pickerill, R. K. & Roulstone, B. V., 1977- Enigmatic trace fossils from the Silurian Chaleurs Group of the southeastern Gaspé Peninsula, Quebec. Canadian Jour. Earth Sci. 14(12): 2729-2736.

Pickerill, R. K., Donovan, S. K. & Mitchel, S. F., 1998- Ichnology of the Late Pleistocene Port Morant Formation of southeastern Jamaica. Caribbean Jour. Sci. 34 (1-2): 12-32.

Reineck, H. E., 1963- Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. Abhandlungen der Senckengergische Naturforsische Gesellschaft 505: 1-138.

Rieth, A., 1932- Neue funde Spongeliomorpher Fucoiden aus dem Jura Schwabens. Geol. Palaont. Abhandlungen, Jena, 19: 257-294.

Taylor, A. M. & Goldring, R., 1993- Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. Jour. Geol. Soc. (London), 150: 141-148.

Taylor, A., Goldring, R. & Gowland, S., 2003- Analysis and application of ichnofabrics. Earth-Sciences Reviews, 60: 227-259.