

# تکامل ساختاری اترفسیل گروه زئوفیکوس در سازند پابده (پالتوسن - الیگوسن)، جنوب خاوری استان ایلام، جنوب باختری ایران

زهرا حسینی عسکرآبادی<sup>۱</sup>، نصراله عباسی<sup>۲</sup>، حسن محسنی<sup>۳</sup> و سعید خداپخش<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۶

## چکیده

در نمونه‌های سطحی از لایه‌های آهکی سازند پابده به سن پالتوسن تا الیگوسن در جنوب خاوری استان ایلام، اترفسیل‌های گوناگونی یافت شدند که به ترتیب فراوانی عبارتند از *Zoophycos* و *Thalassinoides*, *Rhizocorallium*, *Planolites*, *Chondrites*, cf. *Rosselia*, *Spirophyton* و *Spirophyton* بیشترین فراوانی و گستردگی را دارند. تغییرات ساختاری این گروه امکان گروه‌بندی آنها را در پنج دسته ریخت‌ساختاری (morphotype) فراهم می‌کند که شامل اثرهای شبه ریزوکورالیومی، زئوفیکوس شاخه‌ای، اسپروفیتونی، زئوفیکوس با نرمه‌های کوتاه و زئوفیکوس با نرمه‌های بلند است. گسترش این دسته‌ریخت‌ها در توالی‌های پیمایش شده، تغییرات تکاملی معینی را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که در آغاز ساختار شبه ریزوکورالیومی و زئوفیکوس شاخه‌ای، شروع این نوع فعالیت زیستی است. در ادامه، ساختارهای اسپروفیتونی در بخش‌های میانی سازند پابده یافت شدند. در پایان، اثرهای گروه زئوفیکوس با نرمه‌های کوتاه و سپس با نرمه‌های بلند گسترش دارند. به نظر می‌رسد جایگیری چنین روند ساختاری هم‌راستا با تغییر شرایط از یک محیط آرام به محیطی پرنرژی هم‌خوان بوده که تا حدودی با تغییرات سنگ‌شناسی همراه است.

**کلیدواژه‌ها:** اترفسیل، زیست‌آشفستگی، زاگرس، گروه زئوفیکوس، سازند پابده.

\*نویسنده مسئول: نصراله عباسی

E-mail: abbasi@znu.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

یکی از زیباترین اترفسیل‌های بی‌مهرگان، اترفسیل زئوفیکوس (*Zoophycos* Massalongo, 1855) است. زئوفیکوس اترفسیلی است که ساختار سه‌بعدی دارد و حاصل فعالیت جانوری ناشناخته (احتمالاً جانوری کرمی شکل) در درون رسوبات است (Häntzschel, 1962 and 1965; Seilacher, 1967b).

گروه زئوفیکوس به گروهی از اترفسیل‌های درون رسوبی (endichnia) اطلاق می‌شود که در پی جابه‌جایی حفاری لوله‌ای (tube) شکل توسط جانور اثرساز، دسته یا دسته‌هایی از زیست‌آشفستگی‌های کم‌انرژی شکل انباشته از لامینه‌ها یا برگه‌های چلیپایی نیم‌گرد (spreiten) در آن تشکیل می‌شود و زئوفیکوس، اسپروفیتون (*Spirophyton*) و تاونوروس (*Taonurus*) از این گروه هستند (Uchman, 1995). اترفسیل‌های گروه زئوفیکوس در نهشته‌های گوناگون با خاستگاه‌ها و سن‌های متفاوت یافت شده‌اند و سن آنها از قاعده کامبرین تا عهد حاضر است (Wetzel and Werner, 1981; Sappenfeld, et al., 2012). در ایران نیز اترفسیل زئوفیکوس از سازندهای مختلف به ویژه سازند روته به سن پرمین گزارش شده (مانند Alavi et al., 1982) و در تحلیل شرایط رسوب‌گذاری به کار رفته است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهش‌های پیشین، اترفسیل در بخش‌هایی از سازند پابده گزارش و نوع اترفسیل‌ها، اندازه و فراوانی آنها با شرایط محیط رسوب‌گذاری مانند سطح انرژی، محتوای ماده آلی و میزان اکسیژن محلول آب تجزیه و تحلیل شده است (Mohseni et al., 2011). آنان ضمن معرفی چندین اترفسیلی از سازند پابده، آنها را در دو ایکنوفاسیس *Zoophycos* و *Cruziana* دسته‌بندی کردند و گروه نخست را به محیط کم‌انرژی متوسط و گروه دوم را به شرایط کم‌انرژی محیط‌های ژرف نسبت دادند. برای مثال در بررسی سازند پابده در منطقه ایوان غرب نتیجه گرفتند که ناپدید شدن زئوفیکوس و کندریتس به همراه ظهور پلانولایتس کوچک با افزایش محتوای کربن آلی کل (TOC) لایه‌ها بیانگر افزایش ژرفای محیط و شرایط کمبود اکسیژن بوده است (Behbahani et al., 2010).

در پیمایش‌های اخیر مشخص شد که اترفسیل‌های فراوانی از گروه زئوفیکوس در توالی سازند پابده در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که امکان مطالعه آنها از نظر

تحلیل ساختاری و یافتن فرایندهای مؤثر در شکل‌گیری آنها وجود دارد. به بیان دیگر، هدف از این مقاله تحلیل ساختاری اترفسیل‌های گروه زئوفیکوس در سازند پابده و ارزیابی قابلیت تغییر ساختاری اترفسیل‌های گروه زئوفیکوس در برش‌های مورد مطالعه است.

## ۲- چینه‌شناسی

سازند پابده (James and Wynd, 1965) شناخته شده‌ترین واحد چینه‌نگاری شیلی-مارنی به سن پالتوسن تا الیگوسن در نواحی جنوب باختری لرستان، خوزستان و جنوب فارس است (مطیعی، ۱۳۷۲). بر پایه بایوزون‌های نانوفسیل آهکی سن سازند پابده در شمال ایلام - نزدیک‌ترین مکان به برش‌های مورد مطالعه - پالتوسن پسین (Thanetian) تا الیگوسن میانی تعیین شده است (سنماری، ۱۳۹۴). این سازند در محل برش الگو یعنی تنگ پابده در دامنه جنوب باختری پلاتو جنوب خاوری کوه پابده در شمال میدان نفتی لالی به ستبرای ۷۹۸/۳ متر قرار دارد و از پنج بخش غیررسمی که شامل شیل و مارن‌های آبی و ارغوانی (۱۴۰/۲ متر)، شیل‌های خاکستری با لایه‌های نازک آهک رسی (۷۴/۶)، آهک‌های چرتی (۴۲/۴ متر)، شیل‌های تیره رنگ (۸۲/۴ متر) و آهک‌های نازک لایه رسی با میان‌لایه‌های شیل و آهک در بخش‌های بالایی (۴۵۸/۷ متر) تشکیل شده است (James and Wynd, 1965). مرز زیرین سازند پابده همشیب با سازند گورپی بوده که در منطقه لرستان با وجود شیل‌های ارغوانی مشخص است. مرز بالایی این سازند با سازند آسماری همشیب و تدریجی است. سازند پابده در جنوب خاوری ایلام میان دو سازند گورپی و آسماری جای دارد و از توالی مارن و آهک به رنگ سبز روشن تا کرمی است که ستبرای آن از ۷۷ تا ۴۸۳ متر تغییر می‌کند. چکیده‌ای از مشخصات برش‌های برداشت شده در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ آمده بیشتر واحدهای سنگی توالی‌های مورد مطالعه را سنگ‌آهک و مارن تشکیل داده که نسبت مارن به آهک در برش ملک‌شاهی قابل توجه است. نقشه راه‌های دسترسی به برش‌های مورد مطالعه در شکل ۱ دیده می‌شود.

می‌شود (Kotake, 1989). اثر این جابجایی‌ها به شکل اثر لامینه‌بندی یا برگه‌های کمانی (spreiten) برجای می‌ماند. ساختمان حاصل از چنین حفاری می‌تواند در یک یا چندین افق رسوبی جای گیرد و خود دربرگیرنده چندین ریخت‌گونه (morphotypes) باشد (شکل ۳). با این حال، هر اثر دارای برگه‌های کمانی الزاماً جزو گروه زئوفیکوس نیست. چرا که دسته‌لامینه‌های کمانی گروه زئوفیکوس خود در چندین مرحله تشکیل می‌شوند.

یک اثر فسیل از گروه زئوفیکوس شامل ۶ بخش است (شکل ۴) (Kotake 1989; Bromley and Hanken, 2003): لوله اصلی (main tube) یا لوله حاشیه‌ای (marginal tube)، برگه مرحله نخست (primary lamella)، برگه دوم (secondary lamellae)، نوک (apex)، نرمة (lobe) و پیچ (whorl).

سازند پابده برای مطالعه اثرشناسی در سه برش گنداب، کاور و ملک‌شاهی مورد پیمایش قرار گرفت. در توالی پیمایش شده از سازند پابده در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر اثر فسیل‌های گروه زئوفیکوس، اثرهای دیگری با فراوانی کمتر مانند *Rhizocorallium*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Chondrites*, *Palaeophycus*, cf. *Rosselia* - به ترتیب - فراوان‌ترین اثر فسیل‌هایی هستند که در توالی مورد مطالعه یافت شدند (شکل ۲).

### ۳- ساختار زئوفیکوس

اثر فسیل‌های گروه زئوفیکوس در پی حفاری قائم تا مایل یک لوله‌ی U یا J شکل توسط جانور حفار و جابه‌جایی آن و حفاری چند مرحله‌ای آن در درون رسوب ایجاد



شکل ۱- نقشه راه‌های دسترسی به برش‌های بررسی شده.

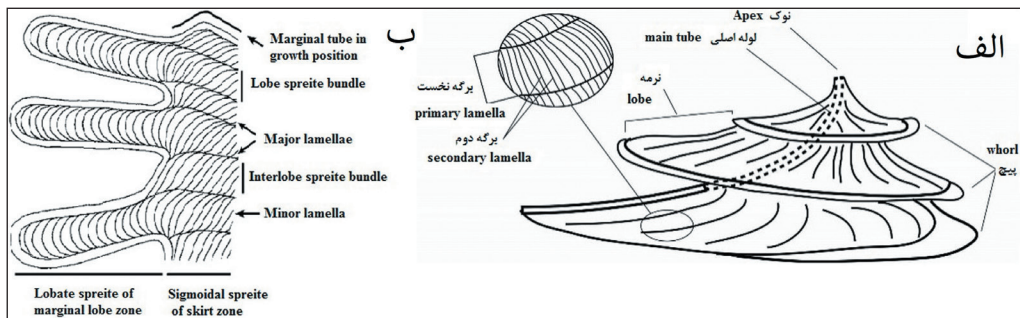
جدول ۱- مشخصات عمومی سازند پابده در برش‌های مورد مطالعه در جنوب خاوری ایلام.

نام برش	مختصات قاعده برش	مرز زیرین و بالایی	ستبر (متر)	سنگ‌شناسی کلی	تاق‌دیس مورد مطالعه
ملک‌شاهی	۳۳° ۱۷' ۳۴/۸" N و ۴۶° ۵۰' ۵۳/۸۹" E	مرز زیرین با سازند گورپی همشیب و مرز بالایی با سازند آسماری تدریجی	۴۸۳	تناوب آهک مارن	کبیر کوه
گنداب	۳۳° ۳' ۱۷/۶۷" N و ۴۷° ۱۶' ۴۴/۴۰" E	مرز زیرین با سازند گورپی همشیب و مرز بالایی با سازند آسماری تدریجی	۳۳۵	تناوب آهک و مارن	کبیر کوه
کاور	۳۲° ۵۳' ۲۸/۱۷" N و ۴۶° ۴۹' ۲۰/۵۹" E	مرز زیرین با سازند گورپی همشیب و مرز بالایی با سازند آسماری تدریجی	۷۷	تناوب آهک و مارن	اناران



(*Spirophyton*) و اکیئوسپیرا (*Echinospira*) را جزو گروه زئوفیکوس می‌داند، ولی با توجه به تفکیک یاد شده (داشتن برگه‌های دوم‌رحله‌ای) می‌توان گونه‌هایی از اثرفسیل‌های لوفوکتینیوم (*Lophoctenium*) را جزو این گروه دانست. در ریخت‌هایی از زئوفیکوس‌ها نرمه یا لوب اثرفسیل به تعداد زیاد یافت می‌شود که لبه آن را موج‌دار می‌کند. در این صورت، دسته‌برگه‌هایی در میان نرمه‌ها وجود خواهند داشت که می‌توان آنها را به دو بخش درونی و بیرونی تقسیم کرد (شکل ۴-ب).

ساختمان گروه زئوفیکوس شامل اثرفسیل‌هایی است که به خوبی برگه‌های دو مرحله‌ای را نشان می‌دهند و از اثرفسیل‌هایی مانند ریزو کورالیوم (*Rhizocorallium*)، دیپلوکراتیون (*Diplocraterion*)، ژبروفیلیتس (*Gyrophyllites*)، دیکتیادورا (*Dictyadora*)، هایرانسیلوس (*Hydrancylus*)، کوروفیویدس (*Corophioides*)، فیکوسیفون (*Phycosiphon*)، دائدالوس (*Daedalus*)، یا حتی فیکودس (*Phycodes*) که تنها یک دسته برگه کماتی دارند، بازشناخته می‌شوند (شکل ۴). هر چند که Uehman (1995) تنها، اثرفسیل‌های زئوفیکوس، اسپیروفیتون



شکل ۴- الف) بخش‌های ساختمان یک زئوفیکوس (تنظیم شده در این مطالعه)؛ ب) بخش‌های یک اثر زئوفیکوس نرمه‌دار (lobate) (Bromley and Hanken, 2003).

#### ۴- ویژگی‌های اثرفسیل زئوفیکوس در سازند پابده

در هر سه برش چینه‌نگاری پیمایش شده از سازند پابده، اثرفسیل‌های گوناگونی یافت شدند که در این میان، اثرفسیل گروه زئوفیکوس به خوبی تغییرات ساختاری را از قاعده توالی تا بالا نمایش می‌دهد و امکان ارزیابی قابلیت تغییرات ساختمانی هر نمونه را در موقعیت چینه‌شناسی ممکن می‌سازد. با بررسی تک‌تک نمونه‌ها که بیش از ۳۰ نمونه اثرفسیل گروه زئوفیکوس هستند، از قاعده به طرف بالا بر میزان پیچیدگی ساختاری ریخت‌های زیست‌آشفته‌گی افزوده می‌شود و تا حدودی همراه با افزایش اندازه قطر حفاری‌ها نیز است. برای بیان بهتر و کامل‌تر این تغییرات در ساختمان‌های زیست‌آشفته‌گی گروه زئوفیکوس در توالی سازند پابده، می‌توان آنها را به دسته‌ریخت‌های (morphotypes) زیر گروه‌بندی کرد:

##### ۴-۱. دسته‌ریخت شبه ریزو کورالیوم (Rhizocorallium-shaped)

این دسته به صورت حفاری‌های U شکل به موازات یا مایل نسبت به سطوح لایه‌بندی، به ظاهر مشابه اثرفسیل ریزو کورالیوم و بر خلاف آن شامل دو دسته برگه کماتی شکل هستند (شکل‌های ۵- A تا C)، هر چند که در بیشتر نمونه‌ها به دلیل فرسایش برگه‌های دوم یا کوچک زدوده شده‌اند. ولی با کمی دقت می‌توان آثار این دسته‌برگه‌ها را یافت. لوله اصلی حفاری در این دسته درشت تا قطر ۱ سانتی‌متر است و در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شود. این دسته‌ریخت‌ها در قاعده توالی‌های پیمایش شده در برش‌های کاور و گنداب یافت شدند. بیشینه اندازه آنها به ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد. سنگ میزبان این نوع اثر متغیر و شامل آهک‌های بایوکلاستیک، گل‌آهک و مارن آهکی است.

##### ۴-۲. دسته‌ریخت زئوفیکوس شاخه‌ای (Branched Zoophycos morphotype)

این دسته شامل حفاری‌های زئوفیکوسی هستند که نرمه‌های پی‌درپی نشان نمی‌دهند، ولی برگه‌های نخست آن در مسیرهایی شاخه‌ای شکل آرایش یافته‌اند (شکل ۶- D). در این گروه، لوله اصلی حفاری زئوفیکوس در بخش‌هایی قابل دیدن است. این گروه در بخش‌های بالاتر ستون چینه‌نگاری، ولی با فراوانی کمتر و بیشتر در آهک‌های بایوکلاستیک یافت شدند.

#### ۴-۳. دسته‌ریخت اسپیروفیتونی (Spirophyton morphotype)

این گروه در افق‌های چینه‌نگاری بالاتری یافت شدند. اثرفسیل اسپیروفیتون به شکل دسته‌حفاری‌های جامی‌شکل انباشته از برگه‌های زیست‌آشفته‌گی هستند. بر اثر فرسایش، بخش‌های بیشتر این ساختمان، اثرفسیل‌ها زدوده و تنها به صورت اثرهای پیچشی در سطح رسوبات دیده می‌شوند (شکل‌های ۵- E تا G). بزرگ‌ترین اندازه این اثرها ۳۰ سانتی‌متر است و همگی آنها با پیچش ساعت‌گرد هستند. بیشینه پیچش در نمونه‌های بررسی شده، سه دور را نشان می‌دهد. سنگ میزبان این ساختار زئوفیکوسی بیشتر آهک‌های بایوکلاستیک ضخیم لایه است که بایوکلاست‌های آن را روزنیران، آنکوئید یا سایر ذرات تشکیل می‌دهند.

#### ۴-۴. دسته‌ریخت زئوفیکوس با نرمه کوتاه و بادبزنی شکل (short and fan-shaped lobate Zoophycos)

این نوع زئوفیکوس‌ها، نرمه‌هایی پهن و کاملاً فشرده نشان می‌دهند (شکل ۵- H). لوله اصلی درشتی دارند که به دلیل فرسایش، برگه‌های زیست‌آشفته‌گی آن واضح نیست. هر چند اثراتی از برگه نخست به شکل کماتی دیده می‌شود. این نوع اثر در آهک‌های توده‌ای پکستون تا و کستون تشکیل می‌شود.

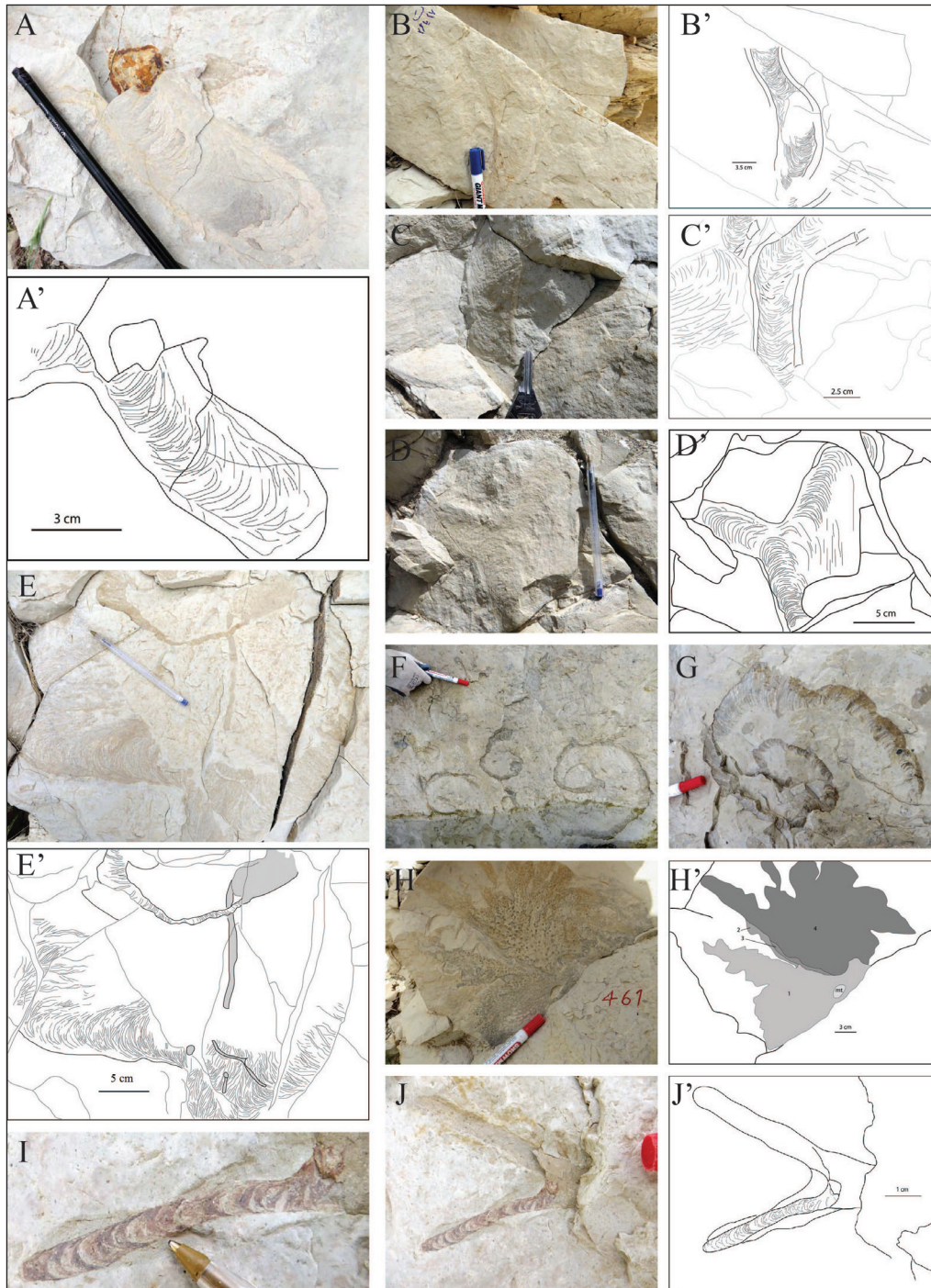
#### ۴-۵. دسته‌ریخت‌های زئوفیکوس با نرمه دراز (long lobate Zoophycos)

این گروه شامل دسته‌ریخت‌هایی است که نرمه یا لوب حاشیه‌ای اثر، کاملاً دراز و کشیده و برگه‌های نخست و دوم آن کوچک و بسیار ظریف است (شکل‌های ۵- I تا J). از این گروه، تنها دو مورد در بالاترین افق مشاهده شد. سنگ میزبان این ساختار مشابه ساختار پیشین است.

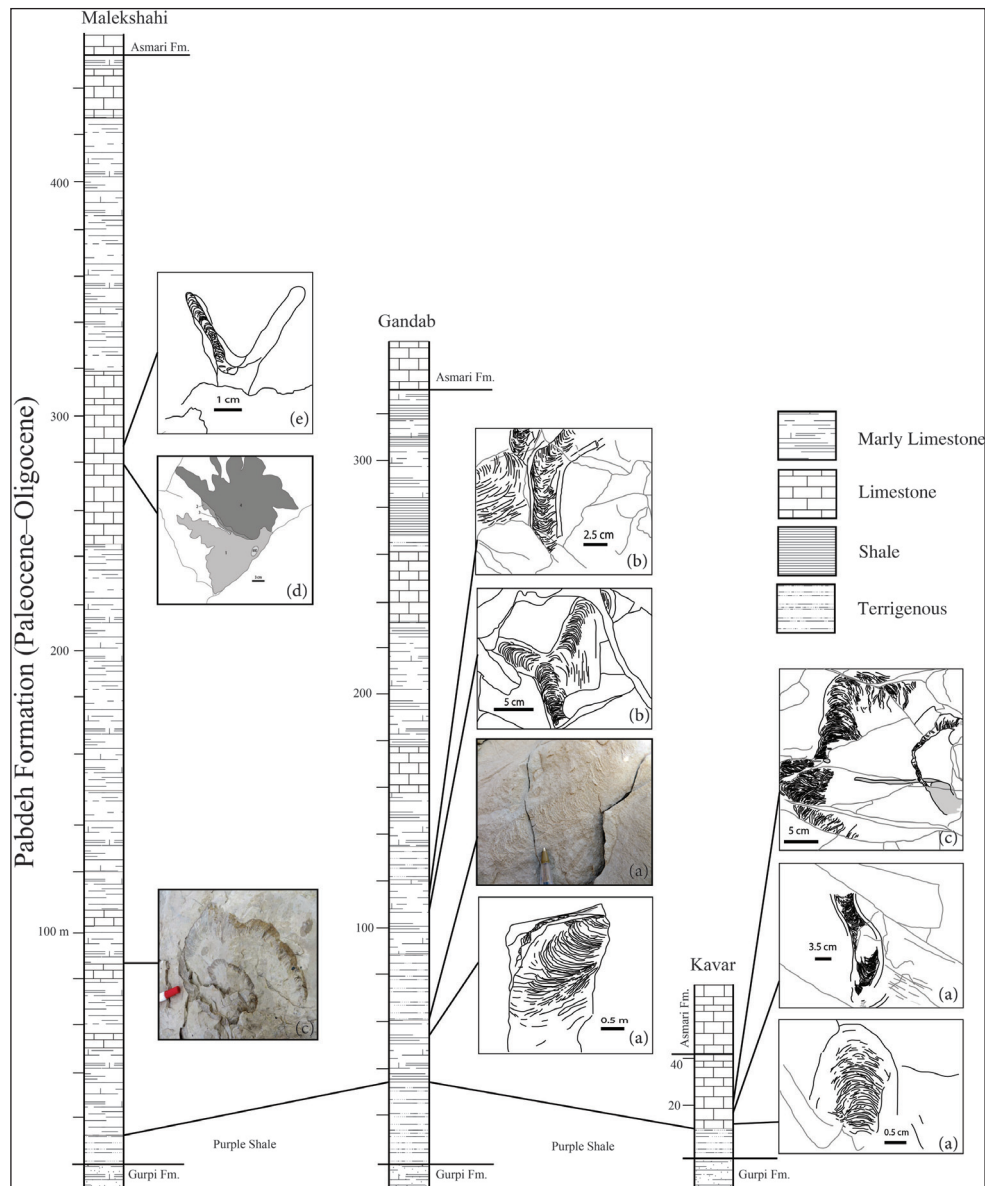
پراکنش این دسته ریخت‌ها در هر سه برش پیمایش شده ملک‌شاهی، گنداب و کاور به نحوی است که در برش کاور تنها دسته‌ریخت‌های شبه ریزو کورالیوم و اسپیروفیتونی و آن هم در لایه‌های ابتدایی این برش یافت شدند (شکل ۶). ریخت‌های شبه ریزو کورالیوم در مترهای ۱۵ تا ۱۶ متری و اسپیروفیتونی در مترهای ۲۰ تا ۲۵ متری به همراه ریزو کورالیوم، تالاسینیویدس و پلانولیتس جای دارند. در برش گنداب، اثرفسیل‌های گروه زئوفیکوس با ریخت شبه ریزو کورالیوم و زئوفیکوس شاخه‌ای و با

برش ملک‌شاهی ریخت‌های اسپیروفیتونی در مترآژ ۹۰ متری، زئوفیکوس با نرمه کوتاه و بادبزنی‌شکل و زئوفیکوس‌ها با نرمه دراز در مترآژ حدود ۲۸۰ متری یافت شدند.

نرمه کوتاه و بادبزنی در مترآژ ۵۰ تا ۱۲۰ متری برش پیمایش شده به چشم می‌خورند. این اثرفسیل‌ها به همراه اثرهایی چون تالاسینوئیدس، پلاتولیتس و کندریتس هستند. در



شکل ۵- دسته‌ریخت‌های (morphotypes) اثرفسیل گروه زئوفیکوس در توالی مورد مطالعه همراه با نگار خطی آنها؛ A تا C) دسته‌ریخت شبه ریزو کورالیوم؛ D) دسته‌ریخت زئوفیکوس شاخه‌ای؛ E تا G) دسته‌ریخت اسپیروفیتونی، اثرهای دیگر به همراه آن وجود دارند (اثرهای رنگ تیره در شکل H)؛ E' تا H) دسته‌ریخت زئوفیکوس با نرمه کوتاه و بادبزنی شکل، شماره‌ها توالی نرمه‌ها را در سطوح مختلف نشان می‌دهند؛ I تا J) دسته‌ریخت زئوفیکوس‌ها با نرمه دراز.



شکل ۶- پراکنش دسته‌ریخت‌های اثر فسیل‌های گروه ژئوفسیل در سه برش ملکشاهی، گنداب و کاور؛ (a) دسته‌ریخت شبه ریزو کورالیوم؛ (b) دسته‌ریخت ژئوفسیل شاخه‌ای؛ (c) دسته‌ریخت اسپیروفیتونی؛ (d) دسته‌ریخت ژئوفسیل با نرمه کوتاه و بادبزی شکل؛ (e) دسته‌ریخت‌های ژئوفسیل‌ها با نرمه دراز.

### ۵- قابلیت دیرین بوم‌شناختی

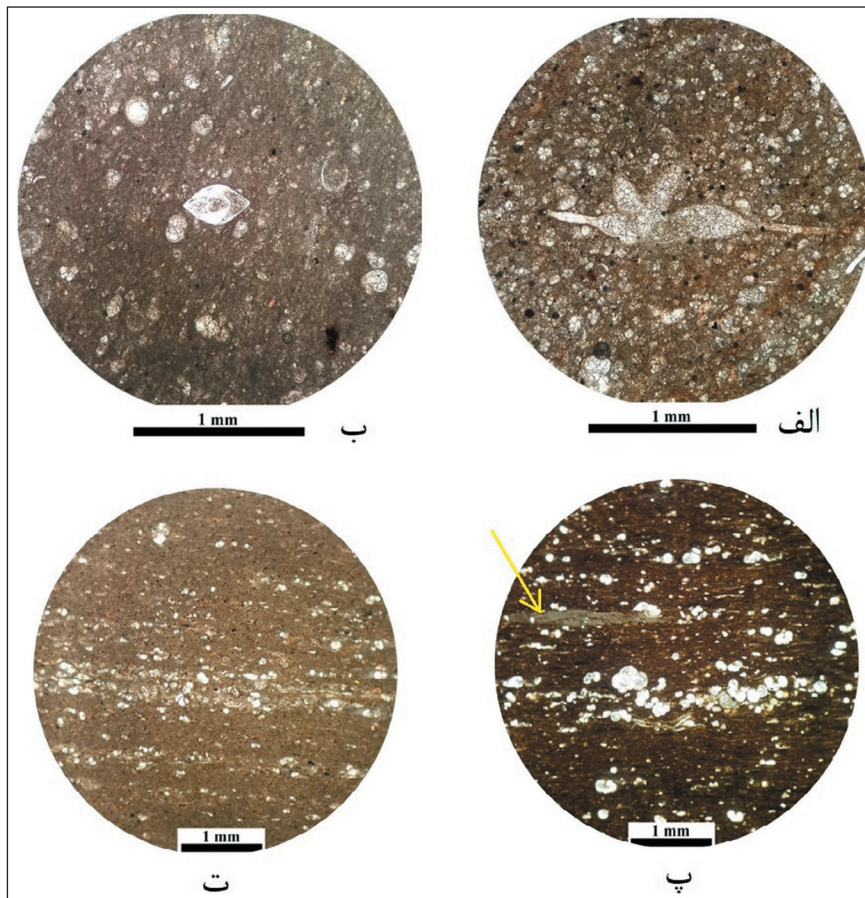
ژئوفسیل‌ها با اثر رخساره ژئوفسیل‌ها شناخته می‌شوند و در کفه‌های دور از ساحل (outer shelf) و شیب قاره‌ای با شرایط آرام و احتمالاً با مواد مغذی کافی گسترش دارند. هر چند که چنین شرایطی ممکن است در هر ژرفایی رخ داده باشد. با این وجود، در طی فائوزوییک موقعیت ژرفایی اثر فسیل‌ها گروه ژئوفسیل تغییر کرده و در طی پالئوزوییک در شرایط دریایی حاشیه‌ای (marginal marine) از دریایی کم ژرفا تا ژرف تشکیل شده، در مزوزوییک مرتبط با کفه‌های ژرف تر و در نهایت در سنوزوییک مرتبط با رخساره‌های ژرف دریایی است (Olivero and Gaillard, 1996; Olivero, 2003; Baucon and Avanzini, 2008; Monaco et al., 2016). در نهشته‌های عهد حاضر، ژئوفسیل‌ها در عمق یک متری رسوبات دریایی ژرف یافت شده است (Wetzel, 1984). مسلماً رسوبات ژرف دریایی کنونی و عمقی از رسوبات ژئوفسیل‌ها در آن یافت می‌شود، شرایط کاملاً بی‌هوازی دارند و اساساً اثر فسیل‌ها ژئوفسیل‌ها همراه کندریتس از نشانگرهای شرایط بی‌هوازی هستند (Bromley, 1991).

تفسیر و تحلیل رفتاری و چگونگی ایجاد اثر فسیل‌های گروه ژئوفسیل‌ها در میان اثر فسیل‌های دیگر، از اسرار مطالعات دیرین‌اثرشناسی است (Miller III and D'Alberto, 2001). مدل‌های رفتاری گوناگونی برای چگونگی ایجاد ژئوفسیل ارائه شده است؛ Seilacher (1967a) آن را حاصل رسوب‌خواری جانور در مسیر یک دهلیز U شکل دانست. Wetzel and Werner (1981) آن را الگویی از ساختاری نظیر از حفاری L یا U شکل معرفی کردند. پمپاژ رسوبات سطحی به درون رسوب به شکل پلت‌های مدفوعی و به صورت برگه‌های زیست‌آشفته‌گی، الگوی پیشنهادی دیگری برای تفسیر ساختار ژئوفسیل‌ها است (Kotake, 1989 and 1991). با این حال، برخی آن را جابه‌جایی برنامه‌دار (programmed) و پیچیده‌ی لوله‌ای U شکل، توسط جانور اثرساز ژئوفسیل‌ها می‌دانند (Ekdale and Lewis, 1991). Bromley (1991) بر این عقیده است که اثر فسیل‌ها گروه ژئوفسیل‌ها حاصل معدنکاری دوباره و یک دهلیز فرآوری مواد آلی است. اثر فسیل‌های گروه



تنش و رخداد جریان‌هایی در محیط اشاره داشته باشد. به طوری که ابتدا در محیطی آرام و عمیق رخساره‌های پلاژیک برجای گذاشته شده‌اند، سپس به دلیل به وجود آمدن جریان، آشفتنگی‌هایی در محیط ایجاد و باعث حمل فسیل‌های کم‌ژرفا به مناطق ژرف (Eberli, 1987) و در نهایت موجب مخلوط شدن فسیل‌های کم‌ژرفا با ژرف شده است (شکل‌های ۸- الف تا ت) (Hanebuth and Henrich, 2009; McKay et al., 2014). پس از این مرحله است که اثر فسیل‌های زئوفیکوس پرنرمه ایجاد شده‌اند.

به نظر می‌رسد در محیط‌های آرام و پایدار و با منش زیستی ویژه کاری (specialized strategy) به شکل ساده و بی‌نرمه و در محیط‌های پرتنش و با منش زیستی فرصت‌طلبی (opportunistic strategy)، اثر فسیل‌های زئوفیکوس پرنرمه (highly lobed) ایجاد شده باشند (Monaco et al., 2016; Oliver and Gillard, 2007). شواهد ریزرخساره‌ای مانند شکستگی میکروفسیل‌ها، جهت‌یابی و آرایش خطی آنها و نیز همراهی روزنبران بنتیک و خرده‌های دوکفه‌ای، اکتیودرم و براکیوپود با روزنبران پلانکتونیک در زمینه میکربیتی می‌تواند به وجود

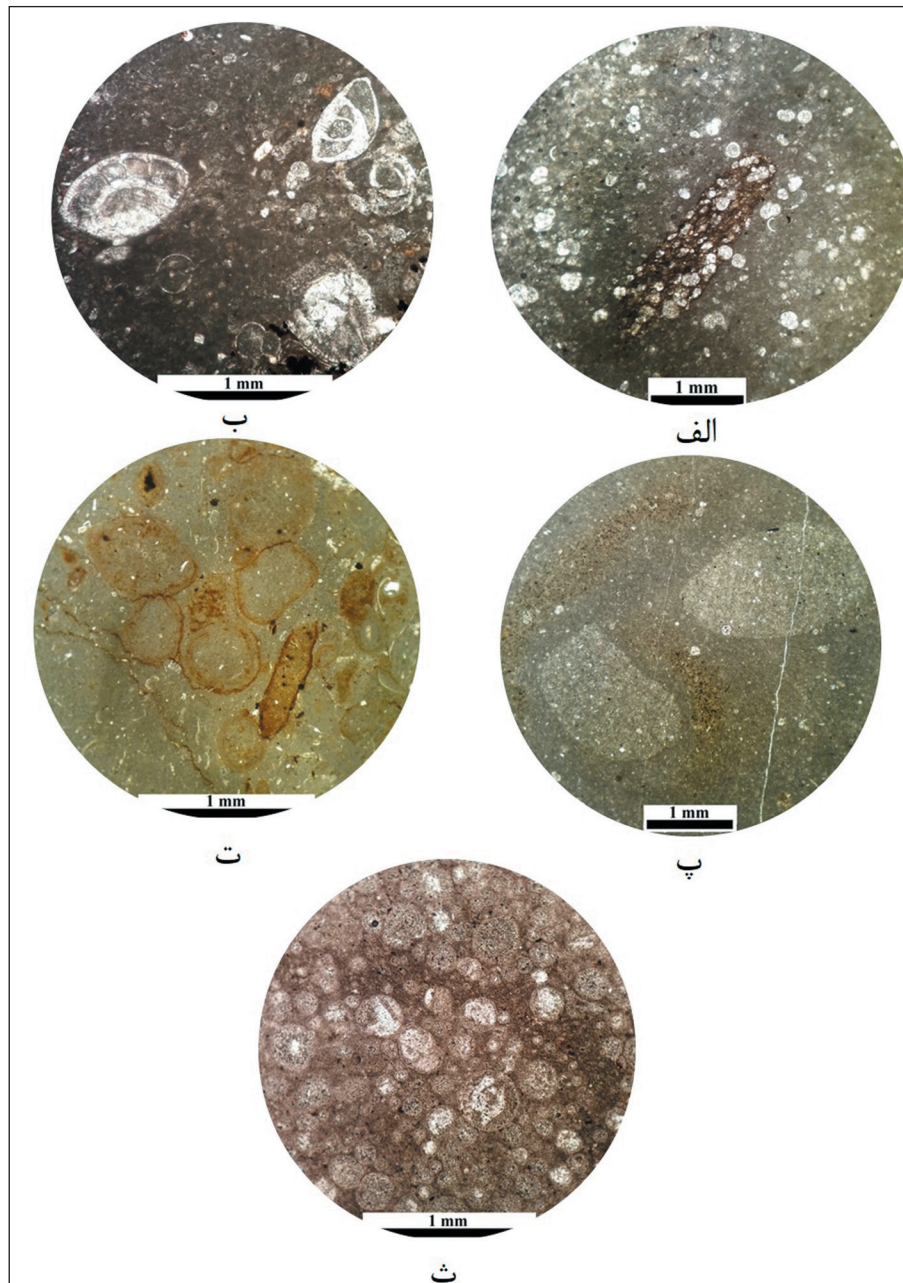


شکل ۸- شواهد عملکرد جریان‌های کشتی در ته‌نشست رخساره‌های رسوبی سازند پایده؛ الف و ب) همراهی روزنبران بنتیک و پلانکتونیک در رسوبات؛ پ و ت) جهت‌یافتگی و لایه‌بندی خام (crude lamination) خرده‌های فسیلی (پیکان) در راستای جریان.

در لایه‌های میانی، نهشته‌های اینتراکلاست‌دار در لایه‌های بالایی و بالاخره رخساره‌های آنکوئیدی و آئیدی در افق‌های رأسی (شکل ۹) افزایش انرژی محیط رسوب‌گذاری به سمت بالای توالی را در سازند پایده نشان می‌دهند که همگام با چنین تغییرات محیطی ساختارهای پرنرمه یا بانرمه دراز ایجاد شده‌اند.

تعیین شدت این جریان آشفتنگی و شواهد کافی برای تعیین نوع و شدت جریان‌ات توریدایت کلاسیک مانند آنچه در رسوبات آواری دیده می‌شوند در رسوبات کربناته آسان نیست (Colacicchi and Balanza, 1986). با این وجود، شواهدی مانند تغییرات رسوبات مادستون و وکستون با فسیل‌های روزنبران پلانکتون در قاعده توالی، رسوبات و کستون با فسیل روزنبران بنتیک





شکل ۹- شواهد روند افزایش انرژی محیط رسوبی به سوی بالای توالی سازند پابده؛ الف) ریزرخساره مادستون/ و کستون دارای روزن بران پلانکتونیک (پایین توالی، برش ملک شاهی)؛ ب) ریزرخساره و کستون دارای روزن بران بنتیک؛ پ) ریزرخساره مادستون دارای اینتراکست (ب و پ: بخش بالایی برش گنداب؛ ت) ریزرخساره و کستون آنکوئیدی؛ ث) ریزرخساره پکستون آئیدی (ت و ث: بالای توالی، برش گنداب و ملک شاهی).

#### ۷- نتیجه گیری

سازند پابده در برش های پیمایش شده در جنوب خاوری ایلام از توالی شیل های ارغوانی و سنگ آهک و مارن تشکیل شده است. در میان مجموعه اترفسیل های موجود در لایه های آهکی، اترفسیل گروه زئوفیکوس تغییرات ساختاری نشان می دهد که قابل تفکیک به دسته ریخت های پنج گانه است. اثرها از ساختمان ساده ایجاد شده توسط حفاری لاشکل آغاز می شوند و به ساختار حفاری حلزونی شکل تغییر پیدا می کنند و سپس به شکل حفاری با نرمه های کوتاه و در نهایت بلند تبدیل می شوند. چنین تغییرات ساختاری می تواند مرتبط با تغییر منش زیست جانوران اثرساز هم گام با تغییر شرایط محیطی تفسیر شود. شرایطی که در آغاز محیط آرام و کم تنش بوده و به تدریج به میزان تنش های محیطی افزوده شده است.

#### سپاسگزاری

ابتدا لازم است از داوران محترم این مقاله به دلیل ارائه رهنمودهای علمی بسیار مفید و سازنده در جهت اصلاح و رفع اشکالات موجود قدردانی شود. از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا همدان به خاطر فراهم آوردن هزینه های مالی انجام این پژوهش در قالب پژوهانه، از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زنجان به خاطر فراهم کردن زمینه همکاری های علمی، از همراهی آقای مهندس روح الله زبیرم جوانمرد، سرکار خانم دکتر عفت پاسبان، آقای احسان حسینی و آقای مهندس علی حسینی در هنگام برداشت های صحرائی، از کمک های بی دریغ خانم مهندس الهام حیدری از شهرستان دهلران و مساعدت مسئول اداره آموزش و پرورش شهرستان ملکشاهی جناب آقای مهدی زاده برای اسکان در حین برداشت های صحرائی سپاسگزاری می شود.

## کتابنگاری

سنماری، س.، ۱۳۹۴- نگرشی نوین در تعیین سن سازند پابده بر مبنای نانوفسیل های آهکی در شمال ایلام (غرب ایران). پژوهش های دانش زمین، سال ششم، شماره ۲۳، پاییز ۴۳۳۱، صص. ۶۶ تا ۷۹. عباسی، ن.، بیرامی ایورتی، ر. و شعبانی، ر. ۱۳۹۲- تحلیل ساختاری اثر فسیل *Zoophycos* با تلفیق داده های ریزرخسارهای در سازند روته (پرمن)، برش باغ دره، کوه های سلطانیه، شمال باختری ایران، نشریه علمی و پژوهشی رخساره های رسوبی، شماره ۶، صص. ۴۹ تا ۶۴.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- چینه شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، شماره ۱، شماره ۵۳۶ ص.

## References

- Alavi, M. H., Hajian, J., Amidi, M. and Bolourchi, M. H., 1982- Geology of Takab-Saein-Galeh, 1:250000. Geol. Survey of Iran. Report No. 50: 99p.
- Baucon, A. and Avanzini, M., 2008- Zoophycos-like structures associated with dinosaur tracks in a tidal-flat environment: lower Jurassic (Southern Alps, Italy). Studi Trentini di Scienze Natulari Acta Geologica 83, 123- 131. Behbahani et al. 2010.
- Behbahani, R., Mohseni, H., Khodabakhsh, S. and Atashmard, Z., 2010- Depositional environment of the Pabdeh Formation (Paleogene) elucidated from trace fossils, Zagros basin, W Iran. The 1 st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran, 26- 28 April 2010.
- Bromley, R. G. and Hanken, N. M., 2003- Structure and function of large, lobed Zoophycos, Pliocene of Rhodes, Greece. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 192:79- 100.
- Bromley, R. G. 1991- Zoophycos: strip mine, refuse dump, cache or sewage farm? Lethaia 24, 460- 462.
- Bromley, R. G., 1996- Trace Fossils. Biology, Taphonomy and Application, 361 pp. Chapman and Hall, London.
- Colacicchi, R. and Baldanza, A., 1986- Carbonate turbidites in a Mesozoic pelagic basin: Scaglia Formation, Apennines—comparison with siliciclastic depositional models. Sedimentary Geology 48, 81- 105.
- Eberli, G. P., 1987- Carbonate turbidite sequences deposited in rif-basins of the Jurassic Tethys Ocean (eastern Alps, Switzerland). Sedimentology 34, 363- 388.
- Ekdale, A. A. and Lewis, D. W., 1991- The New Zealand Zoophycos revisited: morphology, ethology and paleoecology. Ichnos, 1:183- 194.
- Hanebuth, T. J. and Henrich, R., 2009- Recurrent decadal-scale dust events over Holocene western Africa and their control on canyon turbidite activity (Mauritania). Quaternary Science Reviews 28, 261- 270.
- Häntzschel, W., 1962- Trace fossils and problematica. In: R. C. Moore (Editor), Treatise on Invertebrate Paleontology. W. Miscellaneous: Conodonts, Conoidal Shells of Uncertain Affinities, Worms, Trace Fossils and Problematica. Geol. Soc. Am., New York, N.Y., and Univ. Kansas Press, Lawrence, Kansas, pp.246-249. 177- 245.
- Häntzschel, W., 1965- Vestigia Invertebratorum et Problematica; Fossilium Catalogus I: Animalia pars 108. W. Junk, 's-Gravenhage, 142 pp.
- Häntzschel, W., 1975- Trace fossils and problematica. In Teichert C. (ed.): Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellaneous, Supplement 1. The Geological Society of America and Kansas University, 1- 269.
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of the Iranian oil consortium agreement area: American AAPG Bulletin. 49, pp. 2182- 2245.
- Kotake, N., 1989- Paleoecology of the Zoophycos producers. Lethaia 22: 327- 341.
- Kotake, N., 1991- Non-selective surface deposit feeding by the Zoophycos producers. Lethaia 24: 379- 385.
- Kotake, N., 1997- Ethological interpretation of the trace fossil Zoophycos in the Hikoroichi Formation (Lower Carboniferous), southern Kitakami Mountains, northeast Japan. Paleontological Research 1, 15± 28.
- Massalongo, A., 1855- Zoophycos novum genus plantarum fossilium Antonelli Edizioni, Verona.
- McKay, C., Filipsson, H., Romero, O., Stuut, J. B. and Donner, B., 2014- Pelagic–benthic coupling within an upwelling system of the subtropical northeast Atlantic over the last 35 ka BP. Quaternary Science Reviews 106, 299- 315.
- Miller III, W. and D'Alberto, L., 2001- Paleothologic implications of Zoophycos from Late Cretaceous and Paleocene limestones of the Venetian Prealps, northeastern Italy. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 166, 237- 247.
- Mohseni H., Behbahani R., Khodabakhsh S. and Atashmard, Z., 2011- Depositional environments and trace fossil assemblages in the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros Basin, Iran, N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 262 (1), P. 59. 77.
- Monaco, P., Bracchini, L., Rodríguez-Tovar, F. J., Uchman, A. and Coccioni, R., 2016- Evolutionary trend of Zoophycos morphotypes from Upper Cretaceous–Lower Miocene in the type pelagic sections of Gubbio, central Italy. Lethaia. doi:10.1111/let.12175
- Olivero, D. and Gaillard, C., 1996- Paleoecology of Jurassic Zoophycos from south-eastern France. Ichnos 4, 249- 260.
- Olivero, D., 2003- Early Jurassic to late Cretaceous evolution of Zoophycos in the French Subalpine Basin (southeastern France). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 192, 59- 78.
- Olivero, D. and Gaillard, C. 2007- A constructional model for Zoophycos. In: Miller III, W. (ed.) Trace fossils concepts, problems, prospects, Elsevier, pp.466- 477.
- Sappenfield, A., Droser, M., Kennedy, M. and McKenzie, R., 2012- The oldest Zoophycos and implications for Early Cambrian deposit feeding. Geol. Mag. 149 (6), 1118- 1123.
- Seilacher, A., 1967a- Bathymetry of trace fossils. Mar. Geol., 5: 413- 428.
- Seilacher, A., 1967b- Fossil behavior. Scientific American, 217:72- 80.
- Seilacher, A., 2007- Trace Fossil Analysis, Springer, Berlin, Germany. 226p.
- Uchman, A., 1995- Taxonomy and paleoecology of flysch trace fossils: the Marnoso-arenacea formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). Beringeria 15, 116.
- Wetzel, A. and Werner, F., 1981- Morphology and ecological significance of Zoophycos in deep-sea sediments of NW Africa. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 32, 185- 212.
- Wetzel, A., 1984- Bioturbation in deep-sea fine-grained sediments: influence of sediment texture, turbidite frequency and rates of environmental change. In: D.A.V. Stow and D.J.W. Piper (Editors), Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies. Geol. Soc. London Spec. Publ., 15:595- 608.

## Structural evolution of *Zoophycos* group trace fossils from the Pabdeh Formation (Paleocene– Oligocene), SE of Ilam province, SW Iran

Z. Hosseini Asgarabadi<sup>1</sup>, N. Abbasi<sup>2\*</sup>, H. Mohseni<sup>3</sup> and S. Khodabakhsh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Received: 2017 December 20

Accepted: 2018 July 28

### Abstract

The Pabdeh Formation (Paleocene to Oligocene in age) comprises alternation of marl and limestone with the Purple Shale at the base is well exposed on the flanks of the Kabir-Kuh. *Thalassinoides*, *Rhizocorallium*, *Planolites*, *Chondrites*, cf. *Rosselia*, *Spirophyton* and *Zoophycos* were found in the limestone beds, among which trace fossils of *Zoophycos* group (*Spirophyton* and *Zoophycos*) are the most abundant. Structural variations of trace fossils of *Zoophycos* group were utilized for recognition of five morphotypes including *Rhizocorallium*-shaped, branched *Zoophycos*, *Spirophyton*, short and fan-shaped lobate *Zoophycos* and long lobate *Zoophycos* morphotypes. Occurrence of these morphotypes in the studied sections implies an evolutionary trend, i.e. *Rhizocorallium*-shaped and branched *Zoophycos* morphotypes are developed in the lower parts of studied sections, whereas *Spirophyton* morphotype, is arranged in the mid-part of the Pabdeh Formation. Finally, short and fan-shaped lobate and long lobate *Zoophycos* morphotypes are abundant in the upper part of the formation. Seemingly, these morphotypes variation were adopted with switch of stable and calm water to unstable and relatively high energy environments.

**Keywords:** Trace fossil, Bioturbation, Zagros, *Zoophycos* group, Pabdeh Formation.

For Persian Version see pages 211 to 220

\*Corresponding author: N. Abbasi; E-mail: [abbasi@znu.ac.ir](mailto:abbasi@znu.ac.ir)