

# بررسی سیستماتیک و تافونومی ایکنوفسیل *Trichophycus pedum* در برش الگوی سازند سلطانیه واقع در جنوب خاوری زنجان

نویسنده: دکتر علی اصغر ثیاب قدسی \*، دکتر بهاء الدین حمدی \*\*،

دکتر محمد حسین آدابی \*\*\* و دکتر عباس صادقی \*\*\*

## Systematic and Taphonomic Study of *Trichophycus pedum* at the Soltanieh Type Section in SE of Zanjan

By: Dr. A. Ciabeghodsı \*, Dr. B. Hamdi \*\*,

Dr. M.H. Adabi\*\*\* & Dr. A. Sadeghi,\*\*\*

### چکیده

تنوع اثر فسیلها ناشی از تحرکات حیاتی و چگونگی رفتارهای زیستواران در محیطهای رسوبی است. افزون بر تنوع رفتاری جانداران، نحوه حفظ شدگی (Preservation) آثار فسیلی نیز خود موجب به وجود آمدن اثرات متنوع موجودات اثر ساز می گردد. گونه *Trichophycus pedum* که خود به عنوان اثر فسیل شاخص قاعده کامبرین زیرین در برش تیپ جهانی (Global stratotype section) است، از بخشهای بالایی پاره سازند عضو شیل زیرین سازند سلطانیه مورد بررسی سیستماتیک قرار گرفت. این فسیل برای نخستین بار از لایه‌های پسین پاره سازند شیل زیرین به دست آمده است. در این بررسیها معلوم شد که نوع حفظ شدگی ایکنوفسیل *Trichophycus pedum*، موجب چند ریختی (Polymorphism) این تاکسون شده است، که خود ناشی از عوامل کنترل کننده بوم شناختی و همچنین ساختارهای فیزیکی محیط رسوبی است. تنوع شکلی این فسیل موجب شد تا مدل جدیدی، در رابطه با حفظ شدگی و همچنین محیط رسوبی آن ارائه شود.

**کلید واژه‌ها:** اثر فسیلها، تافونومی، کامبرین زیرین، سازند سلطانیه

### Abstract

Diversification of trace fossils is due to the animal activity in the sedimentary environments. In addition to the variety of the behavior of animals, the mode of preservation of trace fossils leads to diversification of ichnofossils. *Trichophycus pedum* ichnospecies which is an index trace fossil of basal Lower Cambrian in Global Stratotype Section (GSS), has been recognized for the first time from the uppermost lower shale member of Soltanieh Formation and has been systematically studied. These studies suggest that the type of preservation of *Trichophycus pedum* led to polymorphism of this taxon, which in turn arises from the ethologically controlling factors and physical structures of sedimentary environments. Polymorphism of these ichnofossils leads to the introduction of the new style of preservation and sedimentary environments.

**Keywords:** Trace Fossils, Taphonomy, Lower Cambrian, Soltanieh Formation

## مقدمه

ایکنوگونه مربوط به کامبرین پیشین است، به عقیده وی، این اثر فسیل به وسیله رسوبخواران (Sediment feeders) به وجود آمده است. (Geyer (1995) این اثر فسیل را به کرمهایی از زیر رده پرتاران (Polychaetes) کرمهای حلقوی نسبت می دهد.

وجود این اثر فسیل در این محدوده زیست چینه‌های نشان دهنده آغاز کامبرین پیشین در سازند سلطانیه واقع در برش الگو (چقلو) است.

با توجه به بررسیهای پالئوایکنولوژیکی در برش الگو مشخص شد که گونه اثر فسیل *Trichophycus pedum* در لایه‌های رسوبی با بیشترین میزان آشفستگی زیستی یافت می شود که در این مطالعه، از شاخصهای معرفی شده توسط MacEachern & Pemberton (1994)، Taylor & Goldring (1993) و Taylor et al. (2003) برای مشخص نمودن فراوانی آشفستگی زیستی استفاده شده است.

از نظر چینه شناسی، به طرف رأس توالی در عضو شیل زیرین بر گوناگونی آثار فسیلی افزوده شده و شاهد تنوع موجودات اثر ساز در مرز واحدهای سنگی عضو شیل زیرین و دولومیت میانی می باشیم و اثر فسیل *Trichophycus pedum* از فراوان ترین ایکنوگونه‌هایی است که در بالاترین بخش این واحد سنگی به دست آمده است (شکل ۲).

## توصیف سیستماتیک (Systematic description)

*Ichnogenus Trichophycus* (Miller and Dyer, 1878)

*Trichophycus pedum* (Seilacher, 1955)

Plate 1, Fig: A,B,C

## ملاحظات

این ایکنوفسیل دارای یک تونل اصلی محوری افقی است، تونلهای فرعی به صورت شاخه‌های خمیده از نوع تونلهای حفره‌ای (Teichichnoid) با تونل اصلی در پیوند هستند. به همین دلیل این ساختارها به صورت مورب و هماهنگ به شکل برجستگیهای زیر لایه‌ای (hyporelief) در لایه‌های رسوبی دیده می شوند. معمولاً تونلها به صورت دسته‌ای در حول محور استوانه‌ای محدب که دارای انشعاب یا گاه فاقد آن هستند قرار می گیرند.

## توصیف

شکل تونلهای حلقه‌ای بسیار معمول است، شکلهای متفاوت و چگونگی آن در این اثر فسیلها مربوط به تفاوت در نوع حفظ شدگی آن است. تونل اصلی یا محور حفره‌ها (burrows) استوانه‌هایی با قطر ۱/۵ میلی متر تا ۴

برش مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی:  $36^{\circ}11'36''$  N,  $48^{\circ}55'29''$  E در منطقه جنوب خاوری زنجان برونزد دارد. سازند سلطانیه در برش الگو از پنج پاره سازند باستبرای ۱۰۹۰ متر، که به ترتیب شامل: دولومیت زیرین-شیل زیرین-دولومیت میانی-شیل بالایی و دولومیت بالایی، تشکیل شده است (شکل ۲).

از نظر مجموعه زیستی شامل: استروماتولیت، ریزپوسته داران مانند *Anabarites sp.*, *Protohertzina sp.* و از آکریتارکهای بزرگ مانند *Chuarina circularis* و شماری از ایکنوفسیلها مانند *Planolites annularis*, *Neonereites uniserialis*, *Gordiamariana* است (حمدی، ۱۳۷۴).

ایکنوفسیلها یکی از مهم ترین شواهد فسیلی در مجموعه‌های فسیلی موجود در کامبرین پیشین هستند، بویژه در لایه‌های آواری که معمولاً پیکر فسیل (body fossils) به طور نادر ظاهر می شود (Jensen et al., 1998).

این مقاله، اولین گزارش از ایکنو فسیل *Trichophycus pedum* در برش الگوی سازند سلطانیه است و تاکنون بررسیهای تافونومیکی (Taphonomic) بر روی آن انجام نگرفته و شرایط بوم شناختی آن نیز مشخص نشده است.

ایکنوفسیل *Trichophycus pedum* از یک سری بندها یا بخشهای استوانه‌ای تا حدوداً استوانه‌ای شکل که به طرف بالا چرخش یافته‌اند، تشکیل شده است. بخشهایی از این ایکنوفسیل ممکن است در یک صفحه به طور توده‌ای و یا با یک ساختار مشخص رسوبی به نام *Teichichnoid* دیده شود (شکل ۱) به گونه‌ای که این ساختار با تجمع رسوبات کنترل شده است (Geyer et al., 1995).

ویژگیهای اصلی این اثر فسیل (*Trichophycus pedum*) شکل عمومی و همچنین چگونگی ابعاد هندسی حفره آن می باشد. شکل T- نتیجه ترکیبی از حرکت جانور در جهت افقی و حرکتهایی به طرف بالاست، که این حرکات تا سطح تماس رسوب- آب ادامه داشته و در نتیجه، حفره‌ها، جهت دار و به طور مورب عریض شده و یا حفره‌های استوانه‌ای U- شکل به وجود می آیند. مطالعه ایکنو فسیلها در این محدوده زمانی در رابطه با تنوع زیستی و تعیین ویژگیهای محیط رسوبی در مرز نئوپروتروزویک پسین و کامبرین آغازین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Crimes, 1992, Droser et al., 2002).

ایکنوفسیل *Trichophycus pedum* مطالعه شده در این مقاله از اولین لایه‌های پاره سازند دولومیت میانی که بر روی سربهای چوار یادار (*Chuarina circularis*) یعنی پاره سازند شیل زیرین قرار دارد، جمع آوری شده است.

گونه اثر فسیل *Trichophycus pedum* برای نخستین بار توسط Seilacher (1983) معرفی شده و قدیمی ترین سن گزارش شده از این

انتهایی با آب حوضه برقرار می‌کرده است (Geyer et al., 1995).  
Seilacher (1970) اثر فسیل "*Trichophycus pedum*" را از نظر  
عمق‌سنجی (bathymetry) مربوط به رخساره *Cruziana ichnofacies*  
دانسته و موقعیت حیاتی موجود اثر ساز را به محیطهای آرام نسبت می‌دهد.  
بیشترین تنوع و گوناگونی اثر فسیلها، در کامبرین زیرین از محیطهای فلات  
قاره گزارش شده است، رسوبات حاوی این اثر فسیل اغلب دارای لایه‌بندی  
نازک در حد سانتی‌متر و به‌طور مشخص در لایه‌های ماسه سنگی تا سیلتستون  
با میان‌لایه‌هایی از گل‌سنگ دیده می‌شوند (Jensen, 2005). همان‌گونه  
که می‌دانیم در رابطه با حفظ‌شدگی اثر فسیل به‌طور کلی باور بر این است  
که این ساختارهای حیاتی در محیطهای دریایی به دلیل سستی و ناپایداری  
رسوبات سطحی و از طرفی جابه‌جایی رسوبات نرم توسط امواج دریا دچار  
انحلال گردیده و بیشتر آنها از بین می‌روند (Seilacher, 1983).

با بررسی رسوبات کامبرین آغازین در بیشتر نقاط دنیا، بویژه دربخش شیلی  
سازند سلطانیه و از طرفی حضور بزرگ‌ترین تنوع زیستی که در قالب اثر  
فسیل‌های فلات قاره دیده می‌شوند، باید اظهار داشت که اثر فسیلها از یک  
روش حفظ‌شدگی قانونمند خاص پیروی کرده باشند.  
به اعتقاد Jensen (2005) در کامبرین زیرین شرایط رسوبات سفت در مرز  
رسوب-آب حاکم بوده است.

با توجه به مطالب فوق و بررسی‌های ایکنولوژی بر روی نمونه‌های اثر فسیل  
به دست آمده از منطقه مورد مطالعه و مقاطع هم‌ارز دیگر در میدانک و ولی  
آباد الگوهای حفظ‌شدگی متنوعی برای اثر فسیل *Trichophycus pedum*  
پیشنهاد شد.

#### • چگونگی حفظ‌شدگی در سازند سلطانیه

موجودات اثر ساز در شرایط محیطهای دریایی کم‌ژرفا در رسوبات کامبرین  
زیرین دارای طیف وسیعی بوده در حالی که انواع اثر فسیل‌های دسته‌های  
ژرف کمیاب هستند.

هندسه و شیوه حفظ‌شدگی اثر فسیل‌های دسته‌های کم‌ژرفا بیانگر تشکیل  
این اثر فسیلها در فاصله چند سانتی‌متری سطح رسوب - آب است  
(Droser et al., 2002). در سازند سلطانیه *Trichophycus pedum* و  
دیگر اثر فسیل‌های رخساره *Cruziana ichnofacies* در سنگهای آواری  
دریایی کم‌ژرفا کامبرین آغازین مشاهده شده است.

#### • کیفیت حفظ‌شدگی

در بررسی اثر فسیل‌های *Trichophycus pedum* تزیینات بسیار ظریف و

میلی‌متر در حالت برجستگی کامل (full relief) است. در بیشتر موارد، عرض  
حفره تا یک سانتی‌متر هم می‌رسد. بخشهای انتهایی لوله‌ها محدب بوده که  
در سمت محدب، حفره اصلی یا محوری قرار می‌گیرد و این از ویژگیهای  
اثر فسیل *Trichophycus pedum* است (شکل ۳).

تونل‌ها که امروزه به صورت میله در ایکنوفسیلها دیده می‌شود، در سازند  
سلطانیه، کمابیش یکسان و با زوایای بین ۷۰ و ۱۰ درجه به طرف تونل اصلی  
متمایل شده‌اند و نه تنها انشعابات با فاصله مشخص در طرف محدب تونل  
اصلی قرار گرفته‌اند بلکه گاه در برخی از نمونه‌ها، این انشعابات در طرفین  
لوله اصلی با زوایای متغیر دیده می‌شوند و در برخی نمونه‌ها از سازند  
مذکور، تونلها کاملاً بر روی هم قرار گرفته‌اند (Plate I, FigA).

#### موقعیت چین‌شناسی

ظهور اولیه ایکنوفسیل "*Trichophycus pedum*" نخست در رسوبات  
کامبرین زیرین و سپس کامبرین میانی، اردوویسین و حتی کربنیفر مشاهده  
شده است (Seilacher, 1983). در ایران، این اثر فسیل از آخرین لایه  
بخش بالایی پاره سازند عضو شیل زیرین از سازند سلطانیه برای اولین بار  
گزارش می‌شود.

#### توزیع دیرینه جغرافیایی

توزیع اثر فسیل *Trichophycus pedum* جهانی است، به گونه‌ای که  
در رسوبات دریایی کم‌عمق کامبرین آغازین، سرزمینهای مختلفی چون  
نیوفاندلند کانادا، آرومبرا استرالیا، بالکارا آرژانتین و بالاخره سازند سلطانیه در  
ایران گزارش شده است.

#### بحث

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که در ایکنوفسیل "*Trichophycus pedum*"  
تونلها (Burrow) حاصل از فعالتهای تغذیه‌ای (Fodichnia) موجودات  
اثر ساز هستند (Jensen, 2005; Buatios et al., 2004; Skinner, 2005; Crimes, 1987; Seilacher, 1970).

از ویژگیهای این فعالیت، بافت حفره‌ای تغذیه‌ای (teichichnoid) است که  
نخستین بار توسط Seilacher (1955) معرفی شده است. این اثر فسیل از نظر  
ریخت تا حدودی به اثر فسیل *Treptichnus* نیز شباهت دارد (شکل ۴).

بر اساس مطالعات Geyer (1955) ساختار اثر فسیل "*Trichophycus pedum*"  
محصول فعالیت حیاتی موجودات کرم ماندی به نام *Polycotiled worm*  
است. اثر ساز این اثر فسیل در زمان حیات ظاهراً ارتباط خود را توسط حفره

با توجه به شواهد جمع آوری شده در مورد پوششهای میکروبی، این اثر فسیل نشان می‌دهد که حیات متازوآها در محیطهای رسوبی خاص که برای بقا در آن سازگار شده‌اند، توسط پوششهای میکروبی محدود شده است. در بررسیهای لایه‌های دربرگیرنده اثر فسیل *Trichophycus pedum* در سازند سلطانیه ساخت خاص رسوبی به نام ساختار چروکیده (Wrinkle structure) که در اثر عملکرد پوشش میکروبی (microbial mat) در مرز نئوپروتروزویک پسین و کامبرین پیشین تشکیل می‌شود، مشاهده شد (شکل ۶). وجود این ساختار چروکیده و کمیاب بودن تونلهای قائم نتیجه شرایط مناسب برای رسوب میکروبی در کامبرین آغازین است و احتمالاً یکی از عواملی که باعث حفظ شدگی مناسب اثر فسیل *Trichophycus pedum* شده همین عامل بوده (شکل ۷) است (Jensen, 2005).

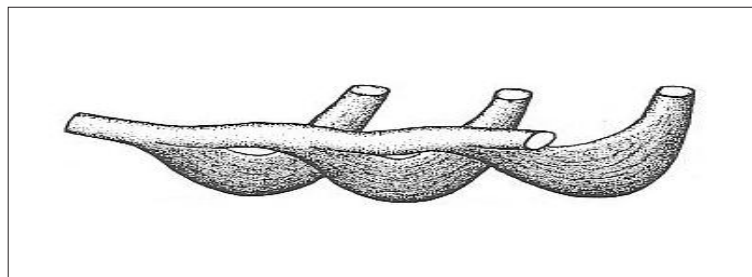
### نتیجه‌گیری

اثر فسیل *Trichophycus pedum* در سازند سلطانیه مشخصه شرایط کم‌ژرفا و آرام است که همین امر، تأیید رخساره *Cruziana ichnofacies* برای رسوبات در برگیرنده این اثر فسیل است و حفظ شدگی سالم این اثر فسیل به علت پر شدن تونلها با رسوبات بر اساس مدل‌های ارائه شده بویژه حفظ شدگی در شرایط رسوب میکروبی است. اثر فسیل *Trichophycus pedum* معرف شروع کامبرین آغازین و محیط رسوبی با شرایط کم‌ژرفا و آرام در سازند سلطانیه است.

دیواره‌های کاملاً مشخص دیده می‌شود و اثر فسیلها با جزئیات کامل حفظ شده‌اند که همین نوع حفظ شدگی در کامبرین آغازین نقاط مختلف دیده می‌شود و از ویژگیهای اثر فسیلها مناطق کم‌ژرفا و آرام دریایی است (Jensen, 2005).

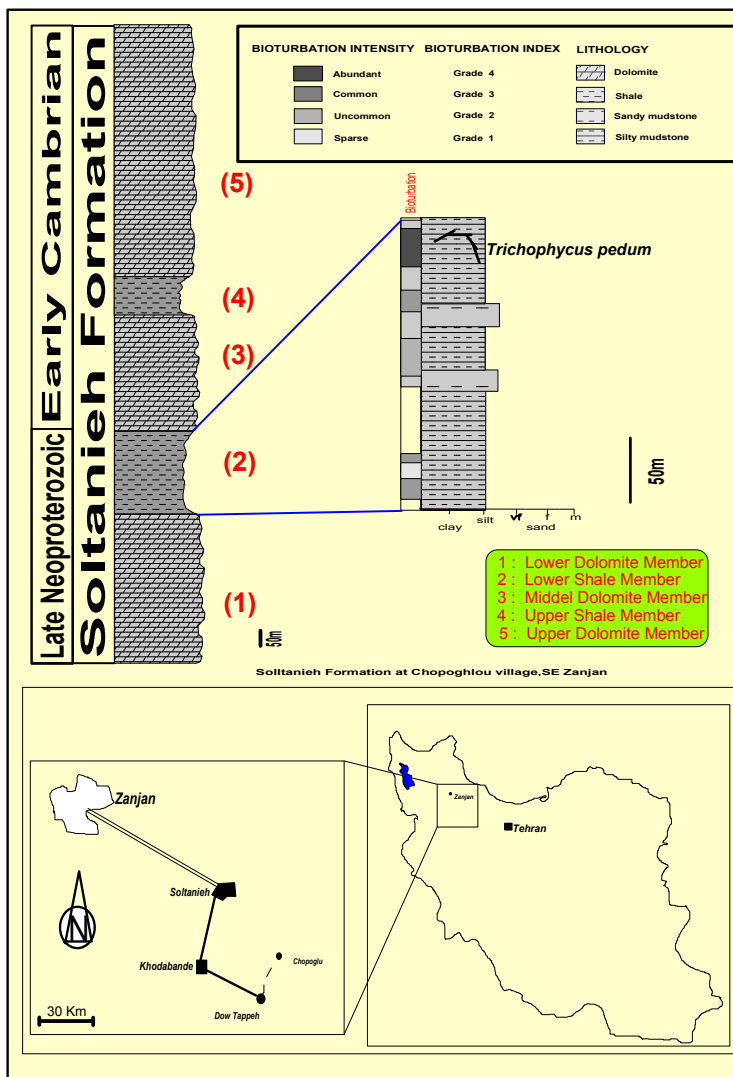
### • شیوه حفظ شدگی

در بیشتر محیطهای دریایی کم ژرفا، تونلها بر روی لایه‌های ماسه سنگی دانه ریز به وسیله موجوداتی که درون رسوب قرار دارند، ایجاد و با رسوبات دانه ریزتر پر شده‌اند (Seilacher, 1970). از آنجاکه در اثر فسیل *Trichophycus pedum* تونلها از یک طرف باز و امکان انتقال رسوبات دانه ریز به درون آن وجود دارد، به احتمال زیاد، از این شیوه حفظ شدگی پیروی کرده‌اند. به این ترتیب که تونل به وسیله رسوبات لایه زیرین که بقایایی از آن باقی است پر شده (۵-ب) یا ممکن است با ماسه‌های نابرجا پر شده باشند (۵-پ) و یا حتی احتمال دارد رسوبات ماسه‌ای دانه ریز در تونل با رسوبات گلی پوشیده شده باشند (۵-ت). این روش حفظ شدگی در بیشتر گونه‌های مختلف از اثر فسیلهای کامبرین زیرین مانند *Treptichnites*, *paleophycus* و انواع *Planolites* دیده می‌شود (Jensen, 2005). در مطالعه بوم‌شناسی اثر فسیل *Trichophycus pedum* در سازند سلطانیه، شواهدی برای عملکرد حفظ شدگی به صورت پوششهای میکروبی بستر دریا به دست آمد.

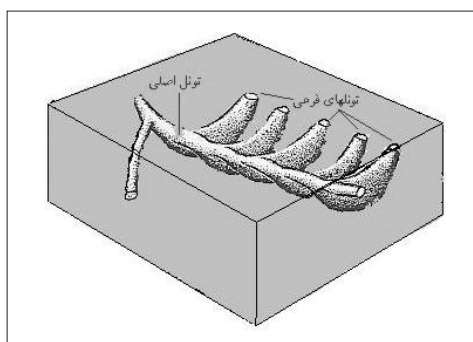


شکل ۱- ساختار فیزیکی Teichichnooid در *Trichophycus Pedum*

(اقتباس از Geyer, 1995)



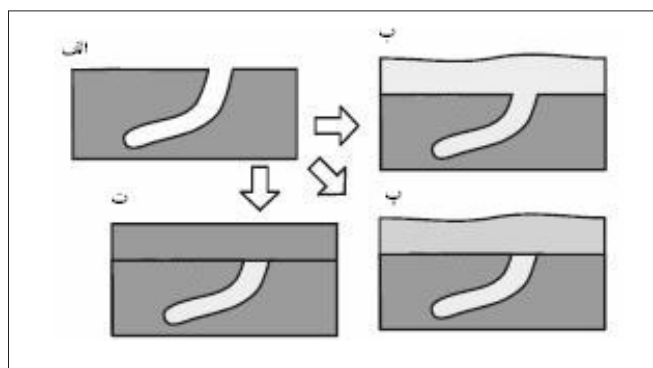
شکل ۲- ستون چینه شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- بازسازی ساختار teichichnoied در ایکنوفسیل *Trichophycus pedum* در سازند سلطانیه (اقتباس از Geyer, 1995)



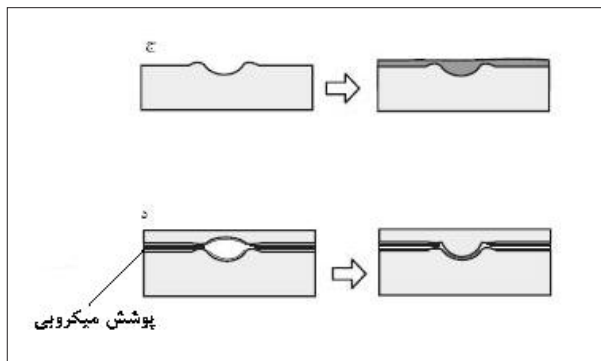
شکل ۴- بافت حفره‌ای تغذیه‌ای (teichichnoid)



شکل ۵- بازسازی نحوه حفظ شدگی حفره‌ها در *Trichophycus pedum*



شکل ۶- ساختار چروکیده (Wrinkel Structure) به دست آمده از سازند سلطانیه



شکل ۷- بازسازی نحوه حفظ شدگی میکروبی در *Trichophycus pedum*

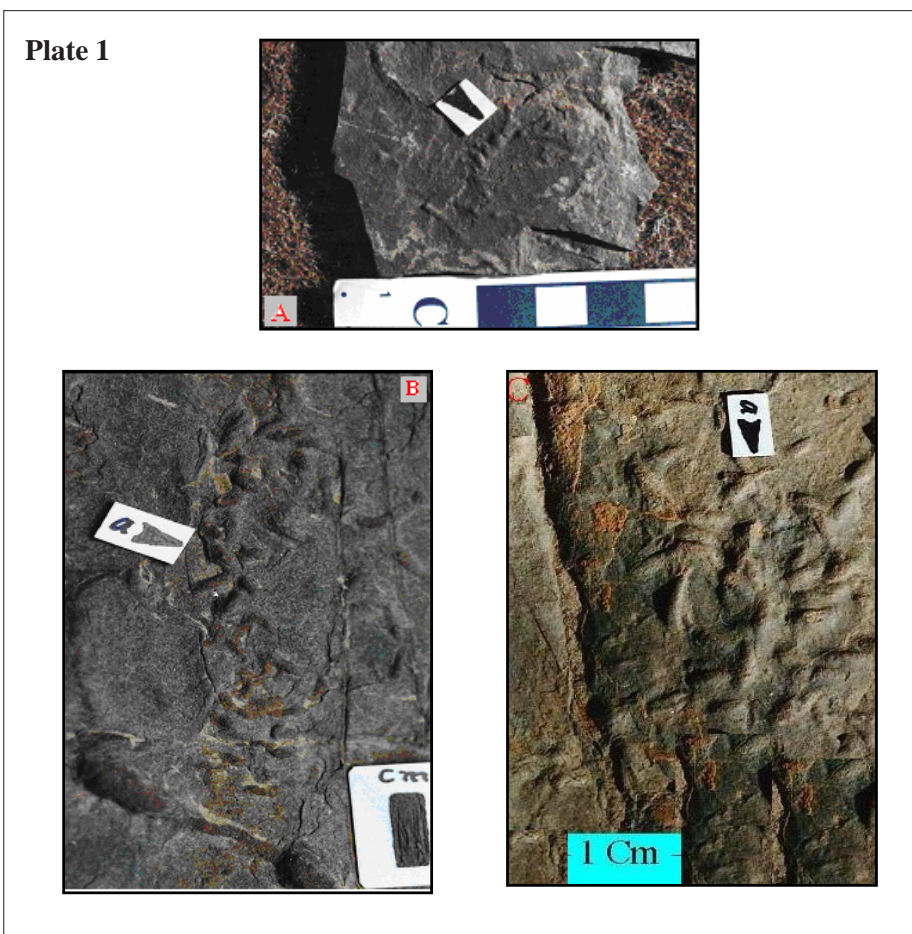


Plate 1 (A,B,C) - تونلها که امروزه به صورت میله‌ها در ایکنوفسیلها دیده می‌شوند، در سازند سلطانیه کمابیش یک شکل و بازوایای بین ۱۰ و ۷۰ درجه به طرف تونل اصلی متمایل شده‌اند و نه تنها انشعابات با فاصله مشخص در طرف محدب تونل اصلی قرار گرفته‌اند بلکه گاه در برخی از نمونه‌ها این انشعابات در طرفین لوله اصلی با زوایای متغیر مشاهده می‌شوند و در برخی نمونه‌ها از سازند مذکور کاملاً به روی هم قرار گرفته‌اند.

## کتابنگاری

حمدی، ب.، ۱۳۷۴ - زمین شناسی ایران، سنگهای رسوبی پر کامبرین - کامبرین در ایران، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران - سازمان زمین شناسی کشور.

## References

- Buatois, L.A., and Mangano, M.G., 2004 - Terminal Proterozoic-early Cambrian ecosystems: ichnology of the Puncoviscana Formation, northwest Argentina. *Fossils and Strata*, No. 51, p. 1-16. Canada.
- Crimes, T.P., 1987- Trace fossils and correlation of Late Precambrian and Early Cambrian strata. *Geological Magazine* 124, p. 97-119.
- Crimes, T.P., 1992 - Changes in the trace fossil biota across the Proterozoic-Phanerozoic boundary. *Journal of the Geological Society*, London 149, p. 637-646.
- Droser, M.L., Jensen, S., Gehling, J.G., Myrow, P.M., and Narbonne, G.M., 2002 - Lowermost Cambrian ichnofabrics from the Chapel Isand Formation, Newfoundland: Implication for Cambrian substrates. *Palaios*, 17, p. 3-15.
- Geyer, G., Uchman, A., 1995- Ichnological assemblage from the Nama Group (Neoproterozoic- Lower Cambrian) in Namibia and the Proterozoic -Cambrian boundary problem revisited. *Beringeria Special issue*, 2, p. 175-202.
- Jensen, S. and Grant, S.W.F., 1998 - Trace fossils from the Dividalen Group, northern Sweden: implications for Early Cambrian biostratigraphy of Baltica. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 78, p. 305-317.
- Jensen, S., Droser, M.L., Gehling, J.G., 2005- Trace fossil preservation and the early evolution of animals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, p. 19-29.
- MacEachern, J.A. and Pemberton, S.G., 1994- Ichnological aspects of Incised-Valley fill system from the Viking Formation of Western Canada sedimentary Basin, Alberta, Canada. *SEPM Special publication* No. 51, p. 129-157.
- Miller, S.A., Dyer, C.B., 1878- Contribution to Paleontology. *Journal Cincinnati Society*. Natural History 1: 24-39
- Seilacher, A., 1955- Spuren und Fazies im Unterkambrium. In: SCHINDEWOLF, O.H. & SEILACHER, A. (eds) *Beitrage zur Kenntnis des Kambrium in der Salt Range (Pakistan)*. Akad. Wiss. Lit. Mainz., Abh. math-naturwiss. K1. 10, p. 11-143
- Seilacher, A., 1970- Cruziana stratigraphy of "non-fossiliferous" Palaeozoic sandstones. In: Crimes, T.P., Harper, J.C. (eds.). *Trace Fossils*, p. 447-476.
- Seilacher, A., 1983- Upper Paleozoic trace fossils from the Glif Kebir-Abu Ras area in southwestern Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 1, p. 21-34.
- Skinner, E.S., 2005- Taphonomy and depositional circumstances of exceptionally preserved fossils from the Kinzers Formation (Cambrian), southeastern Pennsylvania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, p. 167-192.
- Taylor, A.M., Goldring, R., 1993- Description and analysis of bioturbation and Ichnofabric. *Journal of the Geological Society (London)* 150, p. 141-148.
- Taylor, A.M., Goldring, R., Gowland, S., 2003- Analysis and application of ichnofabrics. *Earth-Science Reviews* 60, p. 227-259.

\* دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، ارومیه، ایران

\*\* دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال گروه زمین شناسی، تهران، ایران

\*\*\* دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی، تهران، ایران

\* Geology Department, Urmia University, Urmia, Iran

\*\* Geology Department, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

\*\*\* Geology Department, School of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran