مقدمه‌ای بر ایکنولوژی

مریم معتمدالشریعتی*

چکیده

کلیه‌ی ساختارهای ناشی از فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات در سطح و یا داخل رسوبات را، اثرات فسیلی[1] می‌نامند که مطالعه‌ی آن‌ها توسط علم «ایکنولوژی»[2] انجام می‌گیرد. بدیهی است که این آثار در اثر فعالیت‌های رفتاری موجود، در جایگاه زیستی‌اش تشکیل شده است. بنابراین، پارامترهای مهم اکولوژیکی نیز در ایجاد این آثار بسیار مهم و با اهمیت هستند. اهمیت مطالعه‌ی آثار فسیلی در تحقیقات زمین‌شناسی به ویژه زمانی آشکار می‌شود که پوسته‌ی فسیلی در سنگ‌های میزبان کم باشند و آثار فسیلی با فراوانی نسبتاً زیاد در آن طبقات یافت شوند. عدم جابه‌جایی ثانویه‌ی این آثار، ارزش آن‌ها را در بررسی‌های زمین‌شناسی بیش‌تر کرده است. از کاربردهای مهم آثار فسیلی می‌توان به این موارد اشاره کرد:

تعبیر و تفسیر محیط‌های قدیمی؛ درک شرایط رسوب‌گذاری؛ بیواستراتیگرافی و تکامل، و سرانجام، اهمیت در مرزهای شاخص لیتولوژیکی طبقات را نام برد. طبقه‌بندی‌های متعددی برای ایکنوفسیل‌ها ارائه شده اند که در بیش‌تر آن‌ها، شکل به عنوان عامل مهمی در نظر گرفته شده است. در این جا به طبقه‌بندی‌های مهم مانند آنچه که سیمپسون[3] (۱۹۷۵) و سیلاچر[4] (۱۹۶۴) ارائه کرده‌اند، به طور خلاصه اشاره شده است.

مقدمه

علم ایکنولوژی عبارت است از مطالعه و بررسی آثار ردپا، اثرات فعالیت‌های رفتاری موجودات در رسوبات، و نشانه‌هایی که توسط موجودات در سطح بستر بر جای گذاشته شده‌اند. این اثرات معمولاً در فصل مشترک دو نوع رسوب حفظ می‌شوند. این علم که از سال ۱۸۲۰ مورد توجه زمین‌شناسان بوده، در سال‌های اخیر اهمیت بیش‌تری یافته است. از جمله کتاب‌های مرجع در این زمینه می‌توان به: [Crimes and Harper,1970 and 1977]، [Frey,1975]، [Hantzchel,1975] و [Bromley, 1996] اشاره کرد.

مطالعه‌ی اثرات فسیلی، ابزار مفید و ارزشمندی در تحقیقات زمین‌شناسی است. بررسی نحوه‌ی رفتار و زندگی موجوداتی که در گذشته در محیط‌های گوناگونی زندگی کرده‌اند، به تفسیر محیط‌های رسوبی کمک می‌کند. تشخیص سطوح ناپیوسته از دیگر کاربردهای این علم هستند؛ به ویژه زمانی که ساخت‌های رسوبی اولیه به خوبی حفظ نشده باشند. مثلاً وقتی تغییرات اندازه‌ی دانه‌ها به وضوح نمایان نباشند، بر اساس تجزیه و تحلیل و بررسی‌های اثرات فسیلی، ارتباط بین فرایندهای رسوب‌گذاری و وقایع میکروپالئونتولوژی بهتر درک می‌شوند و بر اساس اطلاعات حاصله از این تفسیرها، توالی‌ها، زیرتوالی‌ها، و مرزهای بین سطوح چینه‌شناسی، شناسایی و مشخص می‌گردند (Frey and Howard, 1990; Savrda, 1991; MacEachern. et al., 1992).

تعیین عمق‌سنجی دیرینه (محیط‌های لیتورال و کم‌عمق) و انرژی محیط رسوب‌گذاری و تشخیص «سیستم ترکت»[5]های گوناگون در بین سکانس‌های چینه‌شناسی، از جمله هدف‌های دیگری هستند که از مطالعه‌ی آثار فسیلی، حاصل می‌شوند [Bromley, 1996]. فراوانی نسبتاً زیاد در رسوباتی که اسکلت فسیلی در آن‌ها کم است و عدم جابه‌جایی، از جمله ویژگی‌های مهمی هستند که سبب ارزشمندی اثرات فسیلی در تحقیقات زمین‌شناسی می‌شوند. اثرات فسیلی با توجه به سه فاکتور مهم طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. ویژگی‌های مورفولوژیکی؛ ۲. وضعیت رفتاری؛ ۳. وضعیت فیلوژنتیکی.

مهم‌ترین خصوصیات مورفولوژیکی در آثار فسیلی عبارتند از: ۱. شکل؛ ۲. خصوصیات دیواره؛ ۳. پرشدگی؛ ۴. اندازه؛ ۵. جهت‌یابی.

بر اساس این که اثرات فسیلی داخل رسوبات باشند یا نزدیک به سطح رسوبات، آثار فسیلی به صورت‌های متفاوتی خواهند بود. یکی از فاکتورهای تقسیم‌بندی آثار فسیلی داخل طبقات شکل است که خود می‌تواند به دو حالت باشد: الف) فاقد انشعاب؛ ب) دارای انشعاب.

شکل‌های فاقد انشعاب ممکن است به صورت مستقیم،

منحنی، پیچیده و مخروطی باشند. شکل‌های دارای انشعاب نیز به دو حالت منظم و بی‌نظم دیده می‌شوند. عوامل زیست‌محیطی متفاوتی که بر اجتماعات کف‌زی مؤثرند، عبارتند از: ۱. میزان اکسیژن؛ ۲. درجه‌ی شوری؛ ۳. میزان آشفتگی محیط؛ ۴. انرژی محیط و عمق آن؛ ۵. میزان و نوع رسوبات [Ekdale, 1985 & 1988; Oschmann, 1988]؛ ۶. جریان‌های توربیدیتی.

عوامل زیست‌محیطی محدودکننده‌ی تجمعات کف‌زی می‌توانند در تنوع و فراوانی گونه‌ها، و همچنین نحوه‌ی زندگی و فعالیت موجودات تأثیر مهم و متقابل داشته باشند.

طبقه‌بندی آثار فسیلی

روش‌های متفاوتی برای مطالعه‌ی اثرات فسیلی پیشنهاد، و طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه شده است. در این جا به دو طبقه‌بندی که توسط سیمپسون (۱۹۷۵) براساس شکل و حفظ‌شدگی (شکل ۱)، و سیلاچر (۱۹۶۴) که براساس وضعیت رفتاری (شکل ۲) ارائه شده است، اشاره می‌کنیم.

طبقه‌بندی براساس شکل و حفظ‌شدگی

۱. اثر ردپا و اثر جانور در سطح رسوبات که به طور اولیه در حد فاصل سطح آب و رسوبات تشکیل می‌شود؛ مانند: اثر تریلوبیت (Cruziana) و اثر کرم (Nerites).

۲. اثرات شعاعی متقارن که به صورت افقی هستند؛ مانند: اثر استراحت (Asteriacites).

۳. تونل‌ها و حفره‌های عمودی در داخل رسوبات، مانند اثرات لوله‌های کرم (Skolites) و گالری‌های شاخه‌ای (Chonderites) که احتمالاً به‌وسیله‌ی کرم‌های کاوشگر[6] ایجاد می‌شوند.

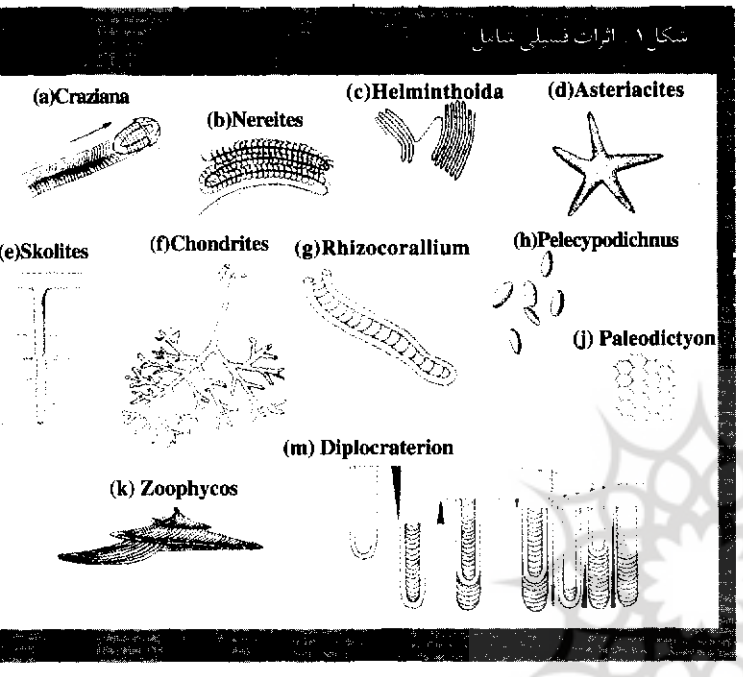
۴. اثرات همراه با «اسپریت»[7] (یک ساختمان شبکه مانند که معمولاً با یک سلسله از آثار متمرکز شده همراه است) که غالباً حالت Uشکل دارد و نشان‌دهنده‌ی حرکت جانور در رسوبات است؛ مانند: لوله‌های Uشکل افقی (Rhizocoralium)، لوله‌های Uشکل عمودی (Diplocraterion) و یا شکل‌های مارپیچ کج‌شده (Zoophycus) که می‌تواند توسط جانوران گوناگون ایجاد شده باشد.

۵. اثرات کیسه‌شکل، مانند: حفاری توسط دوکفه‌ای (Pelecypodichuns) و اثرات استراحت تریلوبیت (Rusophycus).

۶. سایر موارد که منشأ آن‌ها مشخص نیست؛ مانند: پالئودیکتیون (Paleodictyon).

اثرات فسیلی مربوط به قسمت (m)، از چپ به راست عبارند از: ۱. لوله‌ی Uشکل معمولی؛ ۲. لوله‌ی Uشکل که در رسوبات به طرف پائین حرکت کرده است؛ ۳. لوله‌ی Uشکل که جانور در آن به طرف بالا حرکت کرده و به سرعت عمل رسوب‌گذاری انجام شده است؛ و شماره‌های ۴ تا ۷، لوله‌های Uشکل هستند که در زمان‌های متفاوت، حرکت را نسبت به رسوب‌گذاری و فرسایش سطح در رسوبات نشان می‌دهند. جهت فلش‌ها، جهت حرکت را قبل از فرسایش و رسوب‌گذاری لایه‌های بالایی نشان می‌دهد [Simpson, 1975، اخذ شده با تغییرات از: Clarckson, 1989].

شکل ۱. اثرات فسیلی شامل



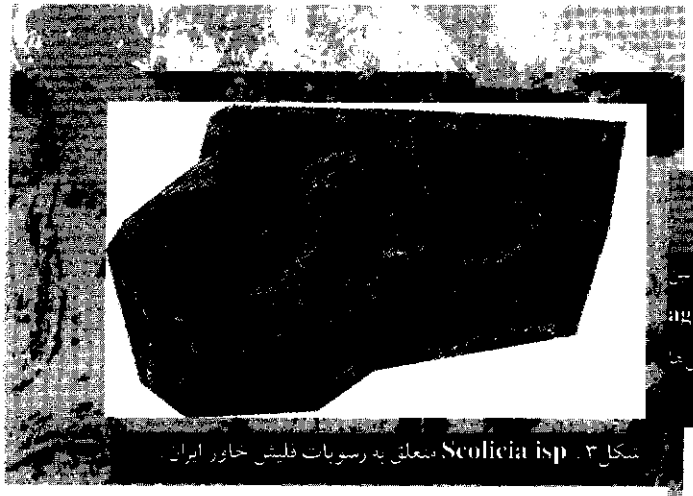
این تقسیم‌بندی که اولین بار توسط سیلاچر (۱۹۶۴) ارائه شد، توسط برواملی (۱۹۹۶) نیز مورد تأئید قرار گرفت (شکل ۲).

۱. اثرات استراحت[9] که Cubichnia نیز نامیده می‌شود: این اثرات توسط جانوران متحرکی که برای مدتی روی رسوبات ساکن می‌شوند، به‌وجود می‌آیند؛ مانند Asteriacites که اثر استراحت ستاره دریایی است و Rusophycus که اثر استراحت تریلوبیت است. Cubichnia توسط جانورانی ایجاد می‌شود که در لایه‌های ماسه‌ای سطحی زندگی می‌کنند. دیده می‌شود که دو کفه‌ای‌ها چنین رفتاری را از خود نشان می‌دهند.

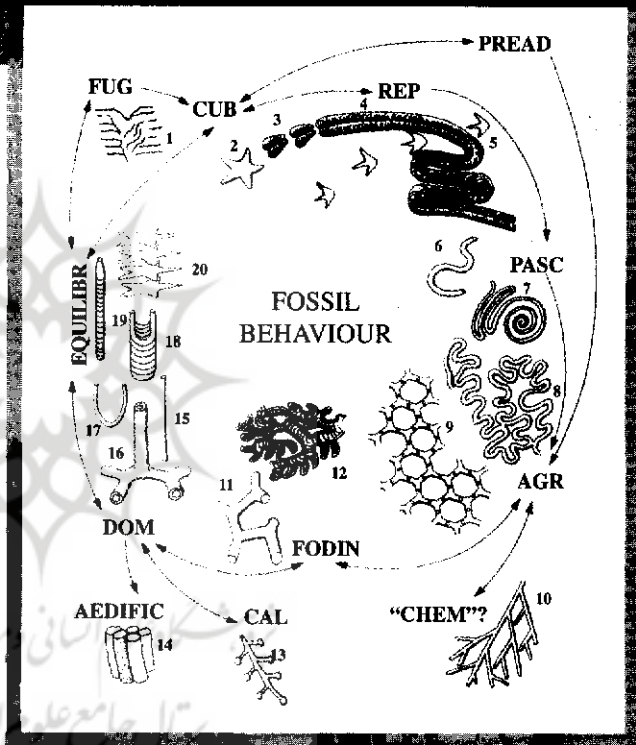
۲. اثرات خزیدن[10] که Repichnia نیز نامیده می‌شود: این ساختمان‌ها اثر ناشی از حرکت هستند و جانورانی که در سطح رسوبات پرسه می‌زنند، آن‌ها را می‌سازند. جانورانی که این اثرات را می‌سازند به دنبال غذا بوده‌اند. Diplichnites و Cruziana از انواع این نوع اثر فسیلی هستند.

۳. اثرات چریدن[11] که نیز Pascichnia نامیده می‌شود: وقتی اثرات راه رفتن یا حرکت، با اثرات مارپیچی دنبال می‌شود، نشان‌دهنده‌ی آن است که جانور در یک ناحیه‌ی خاص به دنبال مواد غذایی بوده است. از این نوع اثر فسیلی می‌توان Scolicia, Nerites, Phycosiphon و Helminthoida را نام برد. در این حالت جانور در سطح رسوبات و گاهی زیر سطح رسوبات

حرکت می‌کنند و به تغذیه از جمله مواد غذایی، باکتری‌ها می‌پردازد. جالب این که حرکت جانور به نحوی که هرگز اثرات قبلی تغذیه را قطع نمی‌کند و به مسیر قبلی خود نیز برنمی‌گردد (شکل ۳).

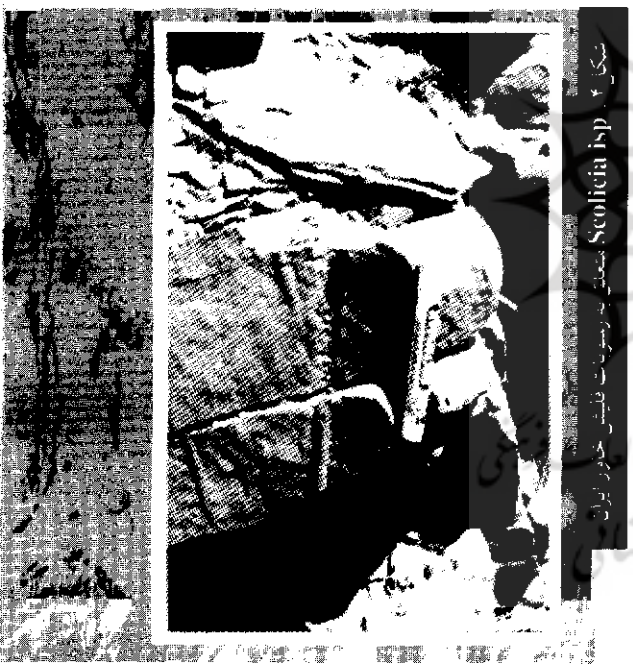


شکل ۳. Scolicia isp متعلق به رسوبات فلیش خاور ایران



۴. اثرات تغذیه‌ای[12] که Fodinichnia نیز نامیده می‌شود: ترکیبی از مواد غذایی و ایجاد حفره برای اسکان از مشخصات این نوع اثر است. این ساختمان‌ها نشان‌دهنده‌ی بهره‌برداری جانوری از رسوبات زیرسطحی برای تغذیه است. Thalassinoides و Rhizocorallium دو مثال از این نوع اثر فسیلی هستند.

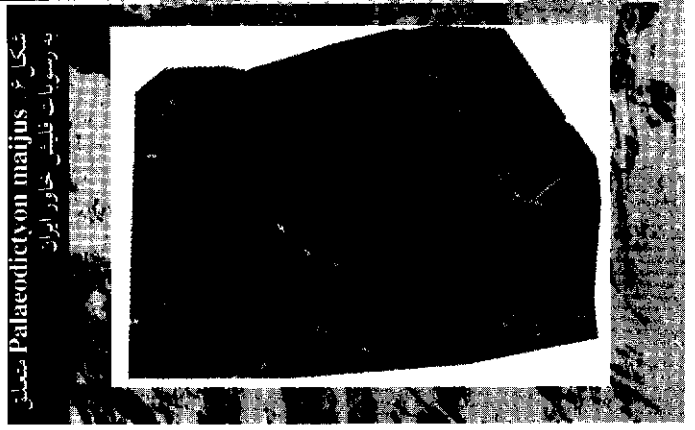
۵. اثرات حفره‌ای[13] که Domichnia نیز نامیده می‌شود: ساختمان‌هایی هستند که جانوران در آن‌ها زندگی می‌کنند. البته ممکن است جانور در طول زندگی‌اش چندین بار این ساختمان‌ها را بسازد. معمولاً جانورانی که زندگی ثابت دارند و از ذرات و مواد غذایی معلق در آب استفاده می‌کنند، این نوع اثر را می‌سازند. این نوع اثر فسیلی توسط جانوران همه‌چیزخوار که به دنبال شکار هستند و از کرم‌های داخل رسوبات تغذیه می‌کنند نیز، ایجاد می‌شوند. از نمونه‌های این نوع اثر فسیلی می‌توان به Ophiomorpha, Skolitos و Arenicolites اشاره کرد (شکل ۴).



شکل ۴. Scolicia isp متعلق به رسوبات فلیش خاور ایران

۶. اثرات تله‌ای و باغی[14] که Agrichnia نیز نامیده می‌شود: این اثرات ناشی از فعالیت‌های رفتاری متفاوتی هستند که Graphoglyptids نیز نامیده می‌شوند و قبلاً جزو Pascihnia در نظر گرفته می‌شدند. به هرحال، آن‌ها پیچیده‌تر از آثار چریدن هستند. در بعضی از شکل‌های این نوع، جانور حفره‌های متعددی می‌سازد که دارای منافذی به کف دریا، و به همدیگر متصل هستند. از این سیستم می‌توانسته برای تغذیه از میکروب‌ها استفاده کند. از انواع تله‌ای شناخته شده می‌توان به Spirohaphe و Cosmorhaphe و از انواع باغی می‌توان به Helicolithes, Palaeodictyon و Chondrites اشاره کرد (شکل‌های ۵ و ۶).

۷. اثرات شکار[15] که Praedichnia نیز نامیده می‌شود: این تقسیم‌بندی توسط **اکدال**[16] (۱۹۸۵) پیشنهاد شده و شامل اثراتی است که رفتارهای ناشی از شکار نشان می‌دهد. بعضی از این



شکل ۶ Palaeodictyon maijus متعلق به رسوبات فلیش خاور ایران

ساختمان‌ها در سطوح سخت دیده می‌شوند؛ مانند Oichnus که پوسته‌های فسیلی سخت را مورد حمله قرار می‌دهد. بعضی انواع آن نیز در رسوبات نرم دیده می‌شوند. جنسن[17] (۱۹۹۰) معتقد است، Cruziana در ارتباط نزدیکی با Planolites است که احتمالاً مشخص می‌کند، حیوانی که Cruziana را ایجاد کرده، به دنبال

شکل ۵ Cosmorhaphe isp متعلق به رسوبات فلیش خاور ایران

حیوانی بوده که Planolites را ایجاد کرده است.

۸. اثرات فراری[18] که Fugichnia نیز نامیده می‌شود: این نوع اثرات ناشی از حرکت جانور به طرف بالا یا پائین در رسوبات هستند. حرکات جانور می‌تواند به دلایل متفاوتی باشد. گاه ناشی از فرار از عوامل طبیعی و جانوران شکارچی است و گاهی نیز به سرعت مواد رسوبگذاری وابسته است. در صورتی که سرعت رسوبگذاری زیاد، و محیط پرانرژی باشد، جانور به منظور این‌که ارتباط خودش را با سطح دریا از دست ندهد، به طرف بالا حرکت می‌کند. در صورتی که عوامل فرسایشی عمل کنند، جانور به حفر بیش‌تر می‌پردازد. از این نوع ساختمان می‌توان Diplocraterion و Cerianthus را مثال زد. این ساختمان توسط نرم‌تنان حفار ایجاد می‌شود.

اثرات فسیلی دیگری همچون اثرات تعادلی[19] یا Equilibrichnia، و اثرات مرتبط با تنفس[20] یا Calichnia نیز وجود دارند که تعداد آن‌ها در رسوبات فراوان نیست و یا شناخت آن‌ها به سادگی امکان ندارد.

* کارشناس ارشد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم بیرجند

زیرنویس

1. Trace fossil
2. Ichnology
3. Simpson
4. Seilacher
5. System tracts
6. Probing
7. Spreit
8. Ethological Classification
9. Resting Traces
10. Crawling Traces
11. Grazing Traces
12. Feeding Traces
13. Dewelling Traces
14. Traps and Gardening Traces
15. Predation
16. Ekdale
17. Jensen
18. Escape Traces
19. Equilibrium
20. Breeding

منابع

1. Bromley, R. G. (1996). Trace Fossils Biology, Taphonomy and Application. Second Edition. Chapman and Hall. 361 pp.
2. Clarkson, E. N. K. (1989). *Invertebrate Paleontology and Evolution* Unwin Hyman Inc. 332 R.
3. Crimes, T. P. and Harper, J. C. (1970). *Trace Fossils*, Geological Journal. Special Issues 3. P. 547. Liverpool. Steel House.
4. Crimes, T. P. and Harper, J. C. (1977). *Trace Fossils* 2. Geological Journal. Special Issues 9. P 345.
5. Ekdale, A. A. (1985). Paleoecology of marine endobenthos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 50. 63-81.
6. Ekdale, A. A. (1988). Pitfalls of paleobathymetric interpretations based on trace fossil assemblages. *Palaios* 3. 464-472.
7. Frey, R. W. (1975). *The Study of Trace Fossils*. Springer-Verlag. New York. 562 pp.
8. Frey, R. W. and Howard, J. D. (1990). Trace fossils and depositional sequences in a clastic shelf setting. Upper Crataceous of Utah. *Journal of Paleontology* 64. 803-20.
9. Hantzschel, W. (1975). Trace fossils and Probelmatica. In: *Treatise on Invertebrate Paleontology* (ed. C. Teichert). Part W. Geological Society of America and Kansas University Press. Boulder and Lawrence.
10. Jensen, S. (1990). Predation by early Cambrian trilobites on infaunal worms- evidence from the Swedish Mickwitzia Sanstone. *Lethaia* 23. 29-42.
11. MacEachern, J. A., Raychudhuri, I. and Pemberton, S. G. (1992). Stratigraphic capplication of the *Glossifungites* ichnofacies: Delineating discontinuities in the rock record. In: *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration* (ed. S. G. Pemberton). *SEPM Core Workshop* 17. 169-198.
12. Oschmann, W. (1988). Upper Kimmeridgian and Portlandian marine macrobenthic associations from southern England and northern France. *Facies* 18. 49-82.
13. Sarvda, C. E., Bottjer, D. J. and Seilacger, A. (1991). Redox-related benthic events. In: *Cycles and events in stratigraphy* (eds G. Einsele, W. Ricken and A. Seilacher) Springer- Verlag, Berlin. Heidelberg. pp.524-41.
14. Seilacher, A. (1964). Biogenic sedimentary structures. In : *Approaches to Paleocology* (eds J. Imbrie and N. Newell). Wiley. New York. pp. 296-316.
15. Simpson, S. (1975). Classification of Trace fossils. In: *The Study of Trace fossils* (R. W. Frey ed.). 39-54. Springer. Berlin.