



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
E-ISSN: 2423-8007
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 4, No. 77, Winter 2020, pp. 39-54
Received: 13.07.2019 Accepted: 26.10.2019

Biostratigraphy and palaeoecology of marine microphytoplankton cysts from Member 4 of the Mila Formation, Mila Kuh, eastern Alborz

Navid Navidi-Izad

Ph.D. student of Stratigraphy and Palaeontology, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

navid.geo@gmail.com

Hossein Hashemi *

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

h.hashemi@khu.ac.ir

Abstract

Well preserved and diverse organic-walled marine microphytoplankton cysts (acritarchs *sensu lato*) occur in Member 4 (comprising mostly of fine-grained clastics with thin carbonate intercalations) of the Mila Formation at the type section, southwestern Damghan. Based on the association of such index acritarch taxa as *Timofeevia phosphoritica*, *Cristallinium cambriense*, *Ninadiacrodium dumontii*, *Vulcanisphaera africana*, *Ooidium rossicum*, *Cymatogalea cuvillieri*, *Caldariola glabra*, and *Dasydiacrodium* sp. in the material studied, an local biozone, namely *Ooidium rossicum-Vulcanisphaera africana* assemblage biozone dated as Late Cambrian (Furongian), and a barren interval are introduced in the upper and lower parts, respectively, of the rock unit investigated. Occurrence in the examined assemblages of such middle latitude acritarchs as *Ninadiacrodium* indicates that the Alborz Ranges was located in southern mid-latitudes (30°–60°) during the Late Cambrian. Retrieved marine microphytoplankton cysts from Member 4 of the Mila Formation is comparable with the Late Cambrian assemblages recorded from elsewhere, this allows for the pertinent assemblages to be associated with peri-Gondwanan palynofloras.

Keywords: Biostratigraphy, Palaeoecology, Acritarchs, Late Cambrian, Mila Formation.

Introduction

Biostratigraphic zonation of the Middle and Upper Cambrian strata is based mainly on trilobites, particularly planktonic agnostids and olenids. For example, in South China base of the Furongian Series is defined by *Glyptagnostus reticulatus* Zone (Peng et al. 2004). In the last decades, organic-walled microfossils (acritarchs) have been widely used for Palaeozoic stratigraphic subdivisions (Molyneux et al. 1996). The Acritarch group is defined as organic-walled microfossils of unknown biological affinities by Evitt (1963). They are a heterogeneous group of various microfossils and may include the remains of a wide range of different kinds of organisms, such as egg of small metazoans, spores of different algal classes, and resting cysts (Servais 1996). Recently, some of the acritarchs have been attributed to different groups of algae e.g. Prasinophytes or Chlorophytes (Colbath and Grenfell 1995).

In the last decades, organic-walled microphytoplankton have been widely used for stratigraphic correlation both regionally and globally and their utility in dating Proterozoic and Palaeozoic marine sedimentary rocks is widely recognized (Playford 2003). Acritarchs feature a relatively rapid development of morphological innovations and a large number of new morphotypes appeared. Several palynological

investigations have been undertaken on the Upper Cambrian strata across the world; e.g., Canada (Martin and Dean 1988; Palacios 2012), Russia (Raevskaya and Golubkova 2006), Germany (Montenari and Servais 2000), Iran (Ghavidel-Syooki 2006; Ghavidel-Syooki and Vecoli, 2008), North Africa (Vecoli 1999), England (Potter et al. 2012) and Spain (Albani et al. 2006). The Mila Formation is the first lithostratigraphic unit representing the Middle–Upper Cambrian strata in the Alborz Ranges and the other parts of Iran (Aghanabati 2004). Palaeontological and structural geological studies in the Alborz indicate that northern Iran, along with central Iran and Zagros located on the divergent margin of protopaleotethys and north of the Gondwana palaeocontinents. The Mila Formation at its type section measured 585 m (Stöcklin et al. 1964) and subdivided into five members: Member 1, dolostone–marl; Member 2, terrigenous – carbonate; Member 3 fossiliferous limestone; and mainly terrigenous members 4 and 5. According to palaeontological and stratigraphical studies the first 2 units attributed to the Middle Cambrian and members 3 and 4 to the Late Cambrian. The former Member 5 of this unit was later considered to be equivalent of the Lashkarak Formation (Early Ordovician). The Mila Formation at the its type section is underlain and overlain by the Lalun and Jeirud formations, respectively. The Mila

*Corresponding author

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Formation generally consists of dolostone, thin-bedded, crystalline, glauconitic limestone, marl, coloured shales and sandstones. Several palaeontological investigations have been conducted such as on trilobites (Kushan 1973; Peng et al. 1999), brachiopods (Popov et al. 2009, 2013), conodonts (Müller 1973; Fazli and Hamdi 2008; Jahangir et al. 2016) and palynomorphs (Ghavidel-Syooki 2006). Considering the stratigraphic significance of organic-walled marine microphytoplankton in the Lower Palaeozoic biostratigraphy, the aim of this study is to determine relative age and to derive palaeogeographic implications for the Member 4 at its type section.

Material & Methods:

To retrieve palynological content of the Member 4 of Mila Formation at the type section, 21 surface samples collected from this rock unit. All samples prepared in palynological laboratories at Kharazmi University, Tehran and University of Lille, France using standard palynological processing procedures, encompassing initial treatment with HCl 10-50% and HF 40% for dissolution of carbonates and silicates, respectively. Then the residues saturated with ZnCl₂ solution (2.0 gr/cm³) for mineral separation. All residues are sieved with 15 and 20 µm mesh and three slides of each sample are made.

Discussion of Results & Conclusions:

Well-preserved and diverse palynomorphs occur in Member 4 of the Mila Formation at the Mila Kuh section. The assemblage contains 14 species assigned to 13 genera of acritarchs and one species of prasinophytes. Based on the occurrence and stratigraphic distribution of index acritarch taxa such as *Timofeevia phosphoritica*, *Cristallinium cambriense*, *Ninadiacrodium dumontii*, *Vulcanisphaera africana*, *Ooidium rossicum*, *Cymatiogalea cuvillieri*, *Caldariola glabra*, and *Dasydiacrodium* sp. one local assemblage biozone namely *Ooidium rossicum-Vulcanisphaera africana* assemblage biozone is introduced in 41 m of the Member 4 and assigned to the Late Cambrian (Furongian). Additionally, one barren interval zone at the base (45 m) of the rock unit is also identifiable. The biozone (*Ooidium rossicum-Vulcanisphaera africana*) introduced herein is comparable to microflora A2 (partial) – A6 of Martin and Dean (1981, 1988) and RA3–RA10 microflora of Parsons and Anderson (2000) as well as the upper part of VK2 to VK5 of Volkova (1990) at the East European Platform. Furthermore, it is equivalent with the Zone II to IV of Ghavidel-Syooki and Vecoli (2008) in the High Zagros Mountains, southern Iran. Occurrence of such mid-latitude taxa as *Ninadiacrodium* and comparison of the acritarch assemblages with those from elsewhere in the world indicates the peri-Gondawanian affinity; thus supporting a 30°-60°S palaeolatitude for the eastern Alborz in the Late Cambrian.

زیست‌چینه‌نگاری و دیرینه‌بوم‌شناسی میکروفیتوپلانکتون‌های دریایی عضو ۴ سازند میلا، میلاکوه، البرز شرقی

نوید نویدی ایزد، دانشجوی دکتری چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

navid.geo@gmail.com

حسین هاشمی*، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

h.hashemi@khu.ac.ir

چکیده

مجموعه متنوعی از میکروفیتوپلانکتون‌های دریایی با دیواره آلی (آکریتارک‌ها) و حفظ‌شدگی خوب در رسوبات (غالباً نهشته‌های آواری ریزدانه با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های کربناته) عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو جنوب غربی دامغان وجود دارد. بر اساس حضور آکریتارک‌های شاخص مانند *Ninadiacrodium*, *Cristallinium cambriense*, *Timofeevia phosphoritica*, *Ooidium rossicum*, *Vulcanisphaera africana*, *dumontii* و *Caldariola glabra*. *Cymatiogalea cuvillieri*. *Ooidium rossicum* در نهشته‌های مورد مطالعه، یک بیوزون تجمعی محلی با عنوان *Dasydiacrodium* sp. *Ooidium rossicum*- *Vulcanisphaera africana* assemblage biozone مربوط به کامبرین پسین (فورونگین) در بخش بالایی و یک *barren interval* در نهشته‌های بدون پالینومورف بخش پایینی این واحد سنگی در نظر گرفته شد. وجود آکریتارک‌های مربوط به عرض‌های جغرافیایی میانی مانند *Ninadiacrodium* در پالینوفلورای مورد مطالعه تأییدی بر موقعیت عرض جغرافیایی دیرینه میانی (۳۰ تا ۶۰ درجه عرض جنوبی) برای البرز در کامبرین پسین است. با توجه به شباهت مجموعه میکروفیتوپلانکتون‌های عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو با پالینوفلوراهای کامبرین پسین دیگر نقاط جهان، مجموعه فسیلی مورد مطالعه به اجتماعات مربوط به حاشیه گندوانا نسبت داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌چینه‌نگاری، پالئواکولوژی، آکریتارک‌ها، کامبرین پسین، سازند میلا

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۱۴۸۴۷۳

مقدمه

زون‌بندی‌های زیست‌چینه‌نگاری نهشته‌های کامبرین میانی و بالایی (فورونگین) عمدتاً بر اساس تریلوبیت‌ها به‌ویژه آگنوستیدهای پلانکتون و اولنیدها (Olenids) انجام شده‌اند؛ برای نمونه در جنوب چین، قاعده سری فورونگین با *Glyptagnostus reticulatus* Zone مشخص شده است (Peng et al. 2004). در چند دهه گذشته، کاربرد مجموعه میکروفسیل‌های با دیواره آلی (آکریتارک‌ها) برای تقسیمات چینه‌نگاری پالئوزوئیک به‌ویژه نهشته‌های پالئوزوئیک زیرین موفقیت‌آمیز بوده است (Molyneux et al. 1996). (Evitt 1963) گروه آکریتارک‌ها را میکروفسیل‌هایی با دیواره آلی و قرابت زیستی نامشخص معرفی کرده است؛ این گروه از پالینومورف‌ها، گروه ناهمگنی از میکروفسیل‌های با قرابت مختلف را تشکیل می‌دهند و طیف وسیعی از انواع موجودات مانند تخم متازوآهای کوچک، اسپورهای رده‌های مختلف جلبکی و سیست غیرفعال (resting cyst) را شامل می‌شوند (Servais 1996). در سال‌های اخیر، برخی آکریتارک‌ها به گروه‌های مختلف جلبک‌های میکروسکوپی مانند Prasinophytes یا Chlorophytes نسبت داده شده‌اند. قرابت زیستی بیشتر آکریتارک‌ها مبهم است، اما اغلب آکریتارک‌های پالئوزوئیک سیست غیرفعال میکروفیتوپلانکتون‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Colbath and Grenfell 1995).

در چند دهه گذشته، میکروفیتوپلانکتون‌های با دیواره آلی به‌طور گسترده در تطابق چینه‌نگاری منطقه‌ای و جهانی استفاده شده‌اند و مزیت آنها در تعیین سن نسبی نهشته‌های دریایی پروتروزوئیک و پالئوزوئیک به‌خوبی شناخته شده است (Playford 2003). در پالئوزوئیک زیرین، آکریتارک‌ها به‌سرعت دستخوش تغییرات شدند و انواع مورفولوژیک جدیدی از آنها ظاهر شدند. آکریتارک‌ها ارزش چینه‌نگاری زیادی برای مطالعه رسوبات کامبرین به‌ویژه نهشته‌های بدون ماکروفسیل این دوره دارند و تنوع و فراوانی آنها در آغاز پالئوزوئیک افزایش درخور توجهی دارد. مطالعه‌های پالینولوژی متعددی درباره نهشته‌های کامبرین به‌ویژه سنگ‌های کامبرین بالایی در مناطق مختلف جهان مانند کانادا (Martin and Dean 1988; Palacios 2012)، روسیه (Raevskaya and Golubkova 2006)، آلمان (Montenari and Servais 2000)،

ایران (Ghavidel-Syooki 2006; Ghavidel-Syooki and Vecoli 2008)، شمال آفریقا (Vecoli 1999)، انگلستان (Potter et al. 2012) و اسپانیا (Albani et al. 2006) انجام شده‌اند. سازند میلا نخستین واحد سنگ‌چینه‌ای معرف رسوبات کامبرین میانی-بالایی البرز و دیگر نقاط ایران به‌جز ناحیه کرمان است (Aghanabati 2004).

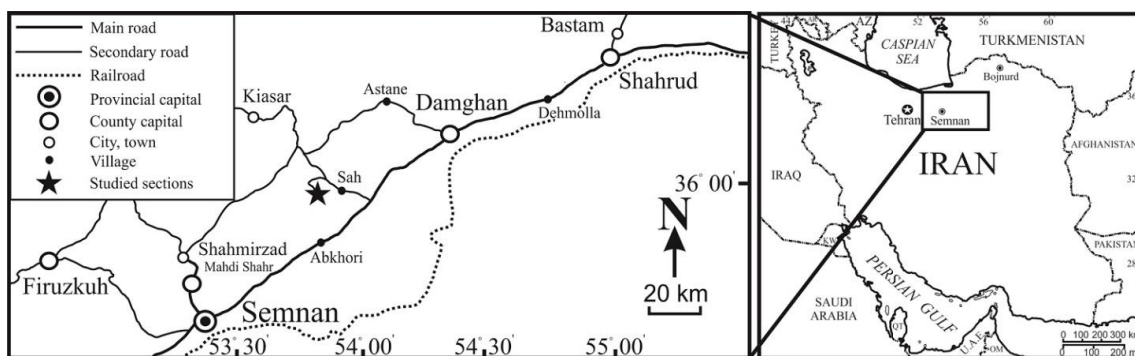
یافته‌های دیرینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی پالئوزوئیک پیشین البرز گویای اینست که در این زمان، شمال ایران همراه با ایران مرکزی و زاگرس در حاشیه واگرای حوضه پروتوپالئوتتیس و در شمال ابرقاره گندوانا قرار داشته است. بالاآمدن سطح آب دریای پروتوپالئوتتیس در انتهای کامبرین پیشین، گسترش دریای کم‌عمق و پویایی دوباره پلت‌فرم‌های کربناته در حاشیه شمالی ابرقاره گندوانا، شرایط را برای تشکیل رخساره‌های عمدتاً کربناته-تخریبی و گاهی تبخیری سازند میلا فراهم کرده است (Lasemi 2001). (Stöcklin et al. 1964) سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو را ۵۸۵ متر اندازه‌گیری و آن را به پنج بخش شامل عضو ۱) دولوستونی-مارنی، عضو ۲) تخریبی-کربناته، عضو ۳) آهک فسیل‌دار و بخش‌های عمدتاً تخریبی ۴ و ۵ تقسیم کرده‌اند. بر اساس مطالعه‌های دیرینه‌شناسی و چینه‌شناسی، عضوهای ۱ و ۲ سازند میلا به کامبرین میانی و عضوهای ۳ و ۴ به کامبرین پسین نسبت داده می‌شوند (Stöcklin et al. 1964)؛ عضو ۵ سابق این واحد سنگی نیز امروزه هم‌ارز سازند لشکرک (اردوئین پیشین) در نظر گرفته می‌شود (Aghanabati 2004). سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو به‌طور هم‌شیب روی سازند لالون و زیر سازند جبرود قرار دارد. در بیشتر نقاط ایران، سازند میلا از دولوستون، سنگ‌آهک نازک‌لایه، سنگ‌آهک متبلور، سنگ‌آهک گلوکونیت‌دار، مارن، شیل‌های رنگین و گاهی ماسه‌سنگ تشکیل شده است. مطالعه‌های دیرینه‌شناسی متعددی درباره سازند میلا به‌عنوان پرفسیل‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای کامبرین البرز انجام شده‌اند که مطالعه‌های مربوط به تریلوبیت‌ها (Kushan 1973; Peng et al. 1999)، برآکوپودها (Popov et al. 2009, 2013)، کنودونت‌ها (Müller et al. 2016; Jahangir et al. 1973; Fazli and Hamdi 2008) و پالینومورف‌های (Ghavidel-Syooki 2006) این سازند اهمیت بیشتری دارند. باتوجه به اهمیت چینه‌شناسی

۴۸' ۵۳° طول شرقی قرار دارد. به منظور دسترسی به این برش چینه‌شناسی باید از کیلومتر ۴۰ جاده دامغان- سمنان وارد جاده آسفالت قدیمی شویم و پس از طی تقریباً ۲۲ کیلومتر به سمت شمال به برش چینه‌شناسی الگوی سازند میلا می‌رسیم (شکل ۱). رسوبات پالئوزوئیک زیرین این منطقه از قدیم به جدید سازندهای سلطانیه، باروت، زاگون، لالون، میلا و لشکرک را شامل می‌شوند (شکل ۲). در این محل، عضو ۴ سازند میلا از ۸۶ متر سنگ‌آهک فسیل‌دار (دارای تریلوبیت و براکیوپودا)، ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل تشکیل شده است (شکل ۳).

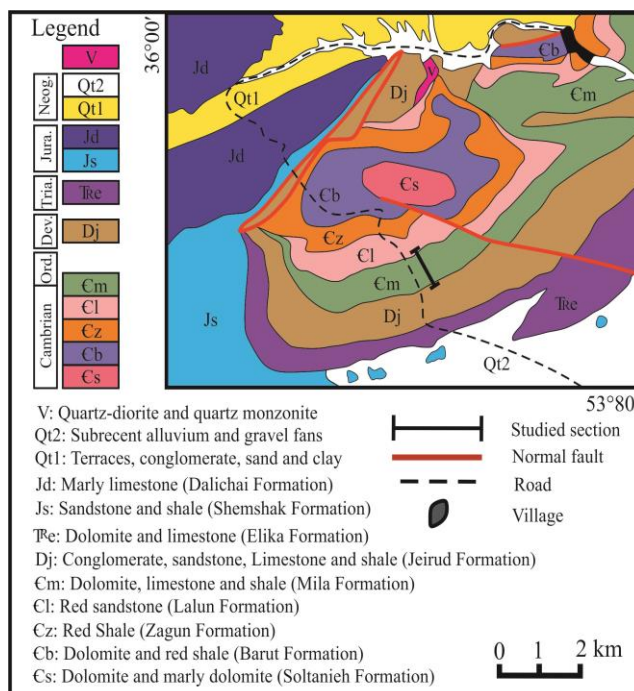
میکروفیتوپلانکتون‌های دریایی با دیواره آلی در بیواستراتیگرافی نهشته‌های پالئوزوئیک زیرین، هدف مطالعه حاضر تعیین سن نسبی و بررسی جغرافیای دیرینه نهشته‌های عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو بر اساس این گروه از پالینومورف‌هاست.

موقعیت جغرافیایی

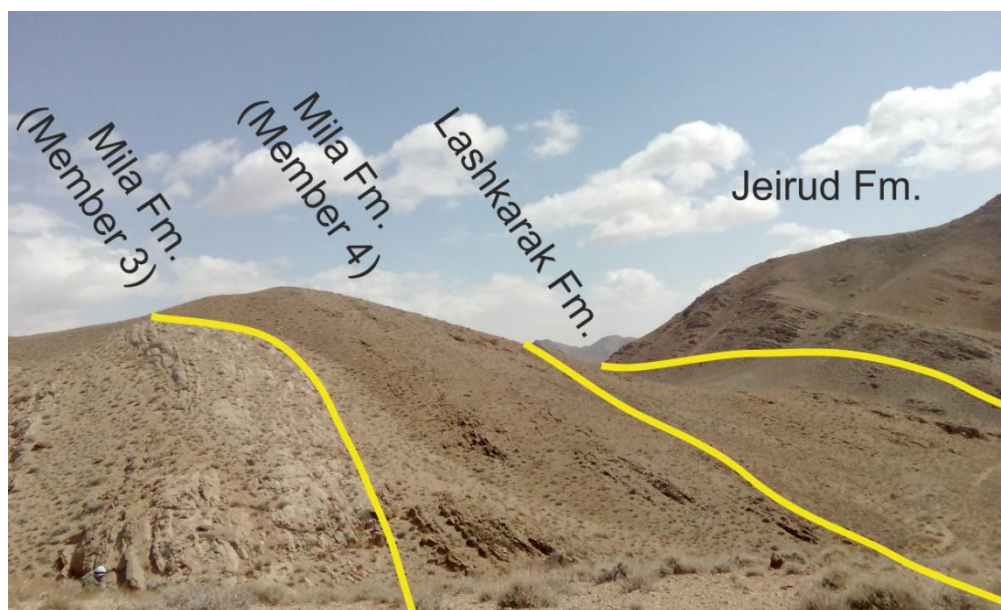
برش چینه‌شناسی میلاکوه در ۵۰ کیلومتری جنوب‌غربی دامغان و ۲۵ کیلومتری شمال‌غربی روستای قوشه، در یال جنوبی میلاکوه با مختصات ۵۴' ۵۸' ۳۵° عرض شمالی و ۴۴"



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به برش چینه‌شناسی میلاکوه، جنوب‌غرب دامغان



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی میلاکوه و موقعیت برش الگوی چینه‌شناسی سازند میلا (Stöcklin et al. 1964)



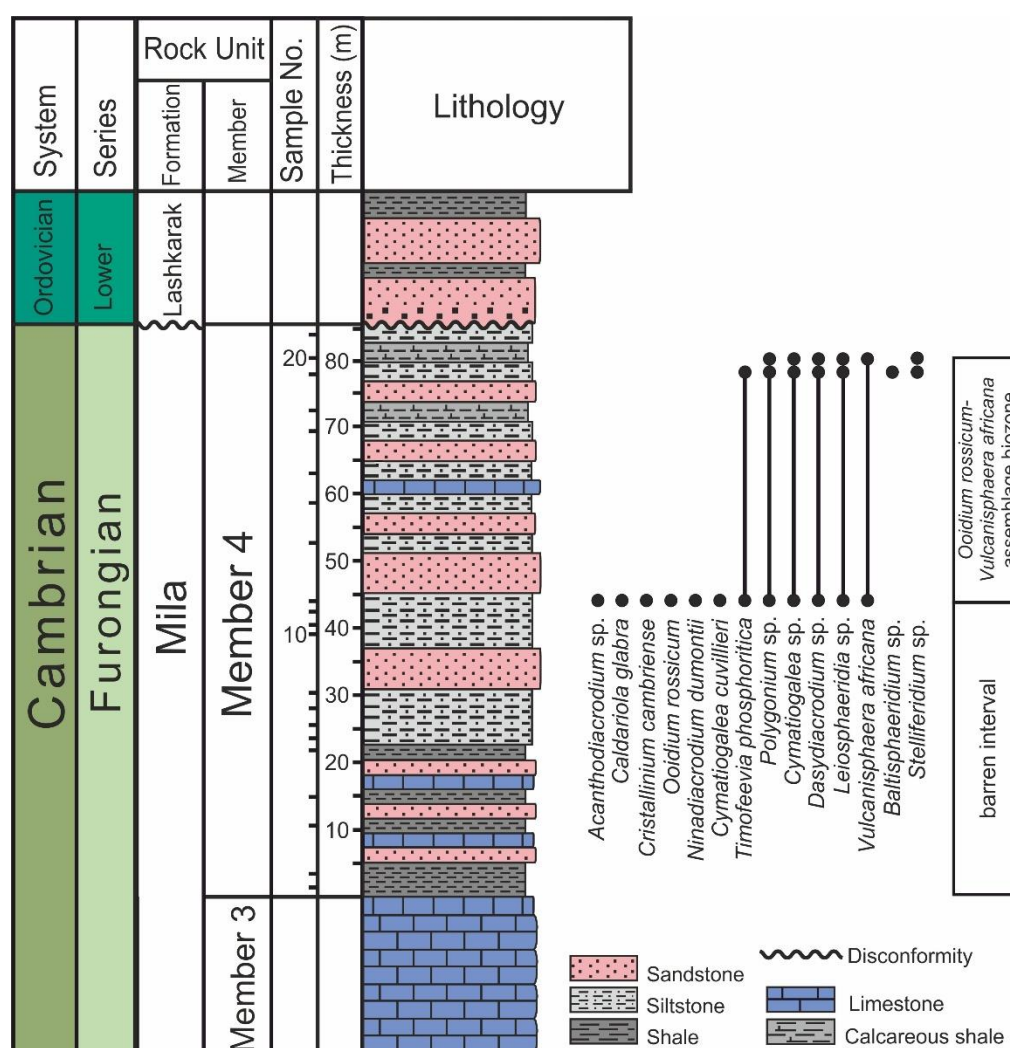
شکل ۳- برش چینه‌شناسی الگوی سازند میلا و موقعیت عضو ۴ این واحد سنگی در جنوب غرب دامغان، دید به سمت شرق

روش کار

به منظور مطالعه میکروفیتوپلانکتون‌های عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی میلاکوه، ۲۱ نمونه سنگی از افق‌های مختلف این واحد سنگی برداشت شد. آماده‌سازی و جداسازی پالینومورف‌ها از رسوبات دربرگیرنده در آزمایشگاه‌های پالینولوژی دانشگاه خوارزمی تهران و دانشگاه لیل فرانسه انجام شد. پس از شستن و خرد کردن نمونه‌های سنگی، کلریدریک‌اسید ۱۰ درصد برای انحلال کربنات‌ها، فلوریدریک‌اسید ۴۰ درصد برای حذف سیلیکات‌ها و کلریدریک‌اسید ۵۰ درصد برای از بین بردن ژل سیلیکاته استفاده شد (Phipps and Playford 1984). محلول سنگین کلروروی ($ZnCl_2$) با وزن مخصوص ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب به منظور جدا کردن پالینومورف‌ها از کانی‌های سنگین استفاده شد. نمونه‌های باقیمانده از فیلترهای ۱۵ تا ۲۰ میکرونی عبور داده شدند و از مواد باقیمانده روی فیلترها، اسلایدهای پالینولوژی تهیه شد.

پالینوستراتیگرافی

۱۴ گونه آکریتارک متعلق به ۱۳ جنس و ۱ گونه پرازینوفیت در نهشته‌های آواری ریزدانه (شیل و سیلت‌سنگ) عضو ۴ سازند میلا شناسایی شدند. پالینومورف‌های شاخص مانند *Ninadiacrodium dumontii*, *Vulcanisphaera africana*, *Dasydiacrodium* sp., *Cristallinium cambriense*, *Timofeevia phosphoritica*, *Acanthodiacrodium* sp., *Ooidium*, *Leiosphaeridia* sp., *Polygonium* sp. و *Stelliferidium* sp., *Caldariola glabra*, *rossicum* در این مجموعه وجود دارند (Plates 1, 2). بر اساس تجمع (association) میکروفیتوپلانکتون‌های دریایی با تنوع و حفظ‌شدگی خوب در نهشته‌های مورد مطالعه، یک بیوزون تجمعی محلی *Ooidium rossicum*-*Vulcanisphaera africana* assemblage biozone به ضخامت ۴۱ متر و سن کامبرین پسین (Furongian) در این بخش از رسوبات عضو ۴ سازند میلا پیشنهاد شد (شکل ۴)؛ علاوه بر این، بخش قاعده‌ای عضو ۴ سازند میلا در این برش چینه‌شناسی (به ضخامت ۴۵ متر) که پالینومورف ندارد، با عنوان barren interval در نظر گرفته شد.



شکل ۴- ستون چینه‌شناسی، موقعیت نمونه‌ها و گسترش چینه‌شناسی پالینومورف‌های عضو ۴ سازند میلا، برش چینه‌شناسی میلاکوه، جنوب غرب دامغان

مشخص نیست، اما احتمالاً درون بایوزون تریلوبیتی *Acerocare* (انتهای کامبرین پسین) قرار دارد. جنس *Ninadiacrodium* از کامبرین بالایی مناطق مختلف دنیا گزارش شده است و گسترش جهانی دارد (Raevskaya and Servais 2009).

گونه‌های *Ninadiacrodium dumontii* (Vanguetaine) و *Ninadiacrodium caudatum* (Vanguetaine) Raevskaya and Servais 2009 از مناطق مختلفی در شمال گندوانا و مناطق مجاور آن مانند شرق نیوفوندلند، کانادا (Martin and Dean 1988; Parsons and Ribecai and Vanguetaine 2000)، بلژیک، فرانسه

قدیمی‌ترین گزارش درباره *Ninadiacrodium dumontii* (Vanguetaine) Raevskaya and Servais 2009 از قاعده بایوزون تریلوبیتی *Parabolina spinulosa* کامبرین پسین شرق نیوفوندلند کانادا و حوضه مسکو است (Martin and Dean 1988; Volkova 1999). در حالی که نمونه‌های به دست آمده از سازند Ülgase در استونی نشان‌دهنده بخش بالایی بایوزون تریلوبیتی *Olenus* و بخش پایینی بایوزون تریلوبیتی *Parabolina spinulosa* به سن کامبرین پسین و از نظر سنی، کمی قدیمی‌تر از نمونه‌های یافت شده در حوضه مسکو و شرق نیوفوندلند کانادا هستند (Paalits 1992; Mens et al. 1993). گسترش بالایی *Ninadiacrodium dumontii* به خوبی

گونه *Dasydiacrodium* sp. موجود در نمونه‌های عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو مشابه با نمونه‌های گزارش‌شده توسط (Montenari and Servais 2000) از کامبرین پسین - اردوئین پیشین جنوب غربی آلمان است. زیرگروه غیررسمی آکریتارک‌های Diacromorphitae که Downie et al. (1963) آن را معرفی کرده است، شامل آکریتارک‌های با بدنه مرکزی دوقطبی دارای یا بدون زوائد یا (تزئینات) در هر قطب است؛ *Acanthodiacrodium* Timofeev 1958 ex و *Dasydiacrodium* Timofeev 1962 از مهم‌ترین جنس‌هایی‌اند که در این زیرگروه قرار دارند. قدیمی‌ترین پراکندگی چینه‌شناسی نمونه‌های *Acanthodiacrodium* کامبرین پسین *Dasydiacrodium* و جنس‌های مربوط به دیاکرومورف‌ها از *Parabolina spinulosa* trilobite Biozone شرق نیوفوندلند گزارش شده است (Martin and Dean 1988). دیاکرومورف‌ها که در کامبرین پسین کمیابند، در اردوئین پیشین فراوان و متنوع شده‌اند و از عناصر اصلی مجموعه آکریتارک‌های ترمادوسین محسوب می‌شوند (Molyneux et al. 1996).

زیرگروه غیررسمی Polygonomorphitae Downie et al. 1963 شامل آکریتارک‌های با وزیکل چندضلعی و زوائد با قاعده پهن و شامل شکل‌های بدون تزئینات (*Polygonium* و *Goniosphaeridium*) و نمونه‌های دارای تزئینات (*Stellechinatum*) است. برخی نمونه‌های موجود در این مجموعه پالینومورفی را می‌توان به polygonomorphs به‌ویژه جنس *Polygonium* Vavrdová 1966 نسبت داد. انواع پلی‌گونومورف‌های بدون تزئینات ارزش بیواستراتیگرافی کم و پراکندگی چینه‌شناسی گسترده (کامبرین پیشین - عهد حاضر) دارند (Montenari and Servais 2000).

گونه *Ooidium rossicum* Timofeev 1957 دیگر آکریتارک شاخص کامبرین است که از کامبرین پسین نروژ (Welsch 1986)، روسیه (Volkova 1990)، شمال آفریقا (Vecoli

1993)، الجزایر (Vecoli et al. 1999)، اسپانیا (Albani et al. 2006)، زاگرس ایران (Ghavidel-Syooki and Vecoli 2008) و انگلستان (Potter et al. 2012) گزارش شده‌اند. گزارش‌های متعددی دربارهٔ این جنس از فورونگین پسین بالتیک به‌ویژه استونی (Paalits 1992; Mens et al. 1993) و روسیه (Volkova 1999; Raevskaya and Golubkova 2006; Raevskaya and Servais 2009) وجود دارند. نمونه‌های مربوط به این جنس قبلاً از محیط‌های معتدل تا سرد نیمکرهٔ جنوبی گزارش شده‌اند (Raevskaya and Servais 2009).

گونه *Cristallinium cambriense* (Slavíková) Vanguetaine 1978 از کامبرین میانی تا ترمادوسین گسترش جهانی دارد و از ولز (Young et al. 1994)، مراکش (Vanguetaine and Van Looy 1983)، کامبرین پسین کانادا (Martin and Dean 1988; Parsons and Anderson 2000; Albani et al. 2015)، غرب لیبی و جنوب تونس (Albani et al. 1991)، کامبرین پسین اسپانیا (Mette 1989; Albani et al. 2006)، سوئد (Di Milia et al. 1989)، شرق اروپا (Volkova 1990)، کامبرین پسین روسیه (Raevskaya and Golubkova 2006)، کامبرین میانی و پسین ایرلند (Vanguetaine and Brück 2008)، کامبرین میانی و پسین الجزایر (Vecoli et al. 2008)، کامبرین پسین انگلستان (Potter et al. 2012) و مرز کامبرین - اردوئین بولیوی (Vergel et al. 2013) گزارش شده است. *Vulcanisphaera africana* Deunff 1961 به‌طور گسترده از فورونگین تا ترمادوسین بسیاری از مناطق دنیا گزارش و در کامبرین پسین تا ترمادوسین کانادا (Martin and Dean 1988; Parsons and Anderson 2000)، فورونگین تا ترمادوسین نروژ (Welsch 1986)، فورونگین سوئد (Di Milia et al. 1989)، فورونگین بلژیک و شمال فرانسه (Ribecai and Vanguetaine 1993)، فورونگین تا ترمادوسین الجزایر (Vecoli 1996)، فورونگین تا ترمادوسین آرژانتین (Rubenstein et al. 2003)، فورونگین تا ترمادوسین ایران (Ghavidel-Syooki and Vecoli 2008) و فورونگین انگلستان (Potter et al. 2012) یافت شده است.

قدیمی‌ترین ثبت فسیلی این گونه از بایوزون تریلوبیتی *Parabolina spinulosa* به سن کامبرین پسین در روسیه گزارش شده است (Volkova 1990). حضور مجموعه آکریتارک‌های *galeate* مانند *Caldariola glabra*، *Stelliferidium* sp. و *Cymatiogalea cuvillieri* فسیلی مورد مطالعه نشان‌دهنده نخستین ظهور این گونه‌ها در عضو ۴ سازند میلا در زمان کامبرین پسین است.

بایوزون تجمع *Ooidium rossicum-Vulcanisphaera africana* assemblage biozone معرفی شده در نهشته‌های عضو ۴ سازند میلا (کامبرین پسین) در برش چینه‌شناسی میلاکوه با میکروفلورای A2(partial)-A6 در رسوبات تقریباً هم‌زمان متعلق به کانادا (Martin and Dean 1981, 1988)، RA3-RA10 (Parsons and Anderson 2000) و بخش بالایی VK2(partial)-VK5 (Volkova 1990) کامبرین بالایی پلت فرم شرق اروپا قابل مقایسه است (شکل ۵)؛ علاوه بر این، پالینوفلورای عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو با بایوزون‌های ۲ تا ۴ رسوبات کامبرین بالایی منطقه زاگرس قابل مقایسه است. (Ghavidel-Syooki and Vecoli 2008).
شکل‌های مشترک موجود در نهشته‌های مورد مطالعه با توالی‌های کامبرین بالایی منطقه زاگرس مرتفع عبارتند از: *Timofeevia*، *Leiosphaeridia*، *Cristallinium cambriense*، *Ninadiacrodium dumontii*، *phosphoritica*، *Vulcanisphaera africana*، *Cymatiogalea* و *Dasydiacrodium*.

1999 و ایران (Ghavidel-Syooki 2006) گزارش شده است. 1978 *Timofeevia phosphoritica* Vanguetaine گسترش چینه‌شناسی طولانی از سری ۳ سابق کامبرین (Miaolingian) تا ترمادوسین و پراکندگی جهانی در زمان کامبرین پسین است. قدیمی‌ترین ثبت فسیلی این گونه از کامبرین میانی لیبی (Albani et al. 1991) و اسپانیا (Mette 1989) است. ظهور *Timofeevia lancarae* و *Timofeevia phosphoritica* مشخصه قاعده بایوزون A2 در شرق نیوفوندلند کانادا به سن درومین (Drumian) پسین تا فورونگین است (Martin and Dean 1988). دیگر گروه مهم و نسبتاً فراوان میکروفیتوپلانکتون‌های موجود در مطالعه حاضر، آکریتارک‌های *galeate* شامل جنس‌های *Cymatiogalea*، *Stelliferidium*، *Priscogalea* Deunff 1961، *Deunff* 1961 و *Caldariola* Molyneux in Deunff et al. 1974 و Molyneux and Rushton 1988 هستند که با داشتن وزیکل نیمکره‌ای و بازشدگی دایره‌ای بزرگ (pylome) در رسوبات به سن کامبرین پسین و اردوئیسین پیشین فراوانند (Servais and Eiserhardt 1995). گونه *Caldariola glabra* (Martin) Molyneux in Molyneux and Rushton 1988 در رسوبات به سن ترمادوسین ظاهر شده و گسترش یافته است؛ هرچند به احتمال زیاد، نخستین حضور آن در کامبرین پسین بوده است (Volkova 1989). گونه *Cymatiogalea cuvillieri* (Deunff) Deunff 1964 پراکندگی جهانی در رسوبات کامبرین بالایی و اردوئیسین زیرین (ترمادوسین) دارد.

Global standard Series & Stages		Macrofaunal biozones	Eastern Newfoundland		East European Platform (Volkova 1990)	Zagros, southern Iran (Ghavidel-Syooki & Vecoli 2008)	This Study
Ord.	Tremadocian		Martin & Dean (1981, 1988)	Parsons & Anderson (2000)			
Furongian	Stage 10	<i>Acerocare</i>	A6	R A10b	V K5	Zone IV	<i>Ooidium rossicum</i> - <i>Vulcanisphaera africana</i> assemblage biozone
				R A10a			
			R A9				
		<i>Peltura scarabaeoides</i>	Not sampled	R A8	V K4B V K4A		
				R A7b			
				missing			
			?				
			R A7a				
		<i>Peltura minor</i>	A5b?	R A6b	Zone IV		
			Not sampled	R A6a			
	A5b		R A5				
	Not sampled						
<i>Protopeltura praecursor</i>	A5a	R A5					
	Not sampled						
Jiangshanian	<i>Leptoplastus</i>	A4	missing	V K3			
	<i>Parabolina spinulosa</i>		R A4	V K2	Zone III		
Paibian	<i>Olenus</i>	upper A2				Zone II	

شکل ۵- تطابق بایوزون‌های معرفی شده بر اساس میکروفیتوپلانکتون‌های دریایی در کامبرین بالایی (Furongian)

سازند میلا (برش چینه‌شناسی الگو) با داده‌های مربوط به زاگرس و سایر مناطق دنیا

جغرافیای دیرینه

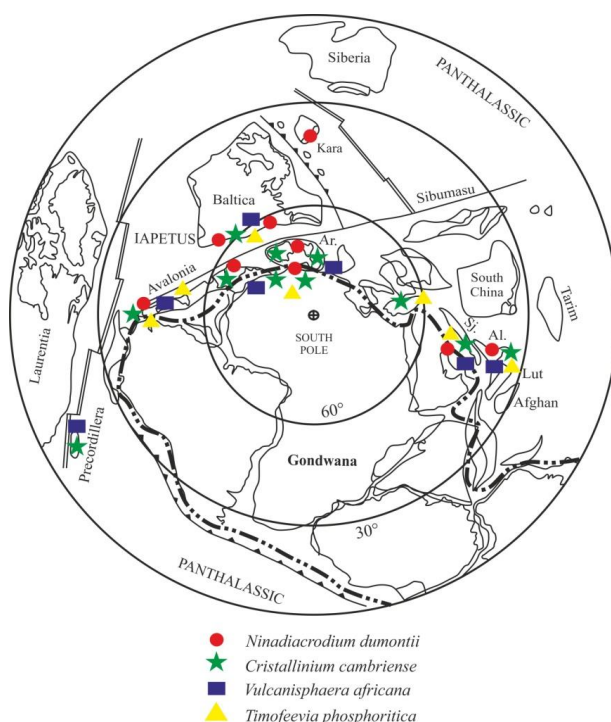
داده‌های جغرافیایی دیرینه و شباهت شکل‌های فسیلی (تریلوبیت، براکیوپودا، پالینومورف‌های دریایی، اکتینودرم‌ها و دیگر گروه‌های فسیلی) ایران با مناطق دیگر در پالئوزوئیک پیشین نشان می‌دهد سرزمین ایران (البرز، ایران مرکزی و زاگرس) در حاشیه شمالی ابرقاره گندوانا peri-Gondwana قرار داشته است (Peng et al. 1999; Lefebvre et al. 2005; Ghavidel-Syooki 2006; Popov et al. 2009). با مقایسه مجموعه فونای اکتینودرم‌های اردوئین نهشته‌های البرز شرقی و ایران مرکزی بیان کردند این مجموعه قرابت زیادی با مجموعه‌های بالتیک، جنوب چین و حاشیه شمالی گندوانا دارد و ایران در عرض‌های جغرافیایی معتدل حاشیه شمال شرقی ابرقاره گندوانا قرار داشته است. پژوهش‌های جغرافیایی دیرینه، موقعیت قاره‌های اصلی (مانند

لورنسیا، بالتیک، سبیری و گندوانا) در پالئوزوئیک پیشین را به‌خوبی تعیین کرده‌اند، اما موقعیت دقیق قاره‌های کوچک و جزایر قوسی پیرامون بخش استرالیا- آسیای گندوانا موضوع بحث‌های بسیاری است. (Ghobadi Pour et al. 2007) ایران مرکزی را درون حاشیه گندوانا، اما البرز شرقی را بخشی از قاره کوچکی (microcontinent) در عرض‌های جغرافیایی معتدل (جایی بین قاره چین جنوبی و حاشیه غربی گندوانا) می‌دانند. (Ghavidel-Syooki and Vecoli 2008) پالینومورف‌های کامبرین میانی- پسین و اردوئین پیشین حوضه زاگرس را مطالعه و بیان کردند مجموعه آکریتارک‌های کامبرین زاگرس قرابت مشخصی با آوالونیا نشان می‌دهند و اشتراک نسبتاً زیادی با مجموعه‌های بالتیک، شمال آفریقا و گندوانا دارند و این مجموعه پالینومورف‌ها قلمرو جغرافیای زیستی میکروفیتوپلانکتون‌های آب‌های سرد را نشان می‌دهند

و لورنسیا، میسوری، آرکانزاس (Wood and Stephenson 1989) مقایسه کردند و به‌استثنای لورنسیا، دیگر مناطق در عرض‌های جغرافیایی دیرینه میانی تا بالای نیمکره جنوبی قرار داشتند. برخی از مهم‌ترین جنس‌های کامبرین پسین مانند *Cristallinium*، *Cyamatiogalea* و *Stelliferidium* در لورنسیا و جزیره Kolguev واقع در بالتیک، کمترین شباهت را با دیگر مناطق نشان می‌دهند و این مناطق شامل جنس‌هایی‌اند که از کامبرین پسین در دیگر نقاط گزارش نشده‌اند (Molyneux et al. 2013). Ghavidel-Syooki and Vecoli (2008) این تفاوت در مجموعه‌های لورنسیا با دیگر مناطق را ناشی از محدودیت‌های نمونه‌برداری و همچنین وجود شکل‌های غیرمعمول در لورنسیا را به‌سبب عوامل جغرافیایی دیرینه مانند جدایی قاره‌های دیرینه می‌دانند.

مجموعه میکروفتیوپلانکتون‌های به‌دست‌آمده از عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو قرابت نزدیکی با مجموعه‌های هم‌سن در دیگر نقاط جهان مانند شرق کانادا، شمال آفریقا، شمال و شرق اروپا دارد و مؤید سن کامبرین پسین (فورونگین) برای این نهشته‌ها و موقعیت جغرافیایی دیرینه حاشیه گندوانایی آنهاست.

(Molyneux et al. 1996)؛ حضور آکریتارک‌هایی مانند *Ninadiacrodium* (شکل ۶) با گسترش جهانی در کامبرین پسین که در نیمکره جنوبی و مجموعه‌های فیتوپلانکتونی سرد و معتدل حضور داشتند، تأییدی بر این نتیجه‌گیری است (Raevskaya and Servais 2009). (Molyneux et al. 2013) در تحلیل خوشه‌بندی (cluster analysis) پراکندگی جنس‌های آکریتارک‌های کامبرین پسین بیان کردند تعدادی از جنس‌ها پراکندگی جهانی دارند که در این بین، جنس‌های مهم و شاخص کامبرین پسین مانند *Timofeevia* و *Vulcanisphaera* از تمام یا تقریباً تمام مناطق، حتی لورنسیا که در زمان کامبرین پسین در موقعیت استوایی قرار داشته است، گزارش شده‌اند. Ghavidel-Syooki and Vecoli (2008) جغرافیای دیرینه آکریتارک‌های کامبرین میانی و پسین حوضه زاگرس را با مجموعه‌های آکریتارکی هم‌زمان در بالتیک مانند پلت‌فرم شرق اروپا (Volkova 1990)، شمال نروژ (Welsch 1986)، حاشیه آلونیایی گندوانا مانند شرق نیوفوندلند (Martin and Dean 1981, 1988)، بلژیک و شمال فرانسه (Vanguetstaine 1978)، انگلستان و ولز (Downie 1984)، گندوانا شامل شمال آفریقا (Albani et al. 1991; Vecoli 1996)



شکل ۶- نقشه جغرافیای دیرینه نیمکره جنوبی و پراکندگی آکریتارک‌های مهم و شاخص کامبرین پسین، برگرفته از (Cocks and Torsvik 2002).

Al. Alborz, Sj. Sanandaj-Sirjan, Ar. Armorica.

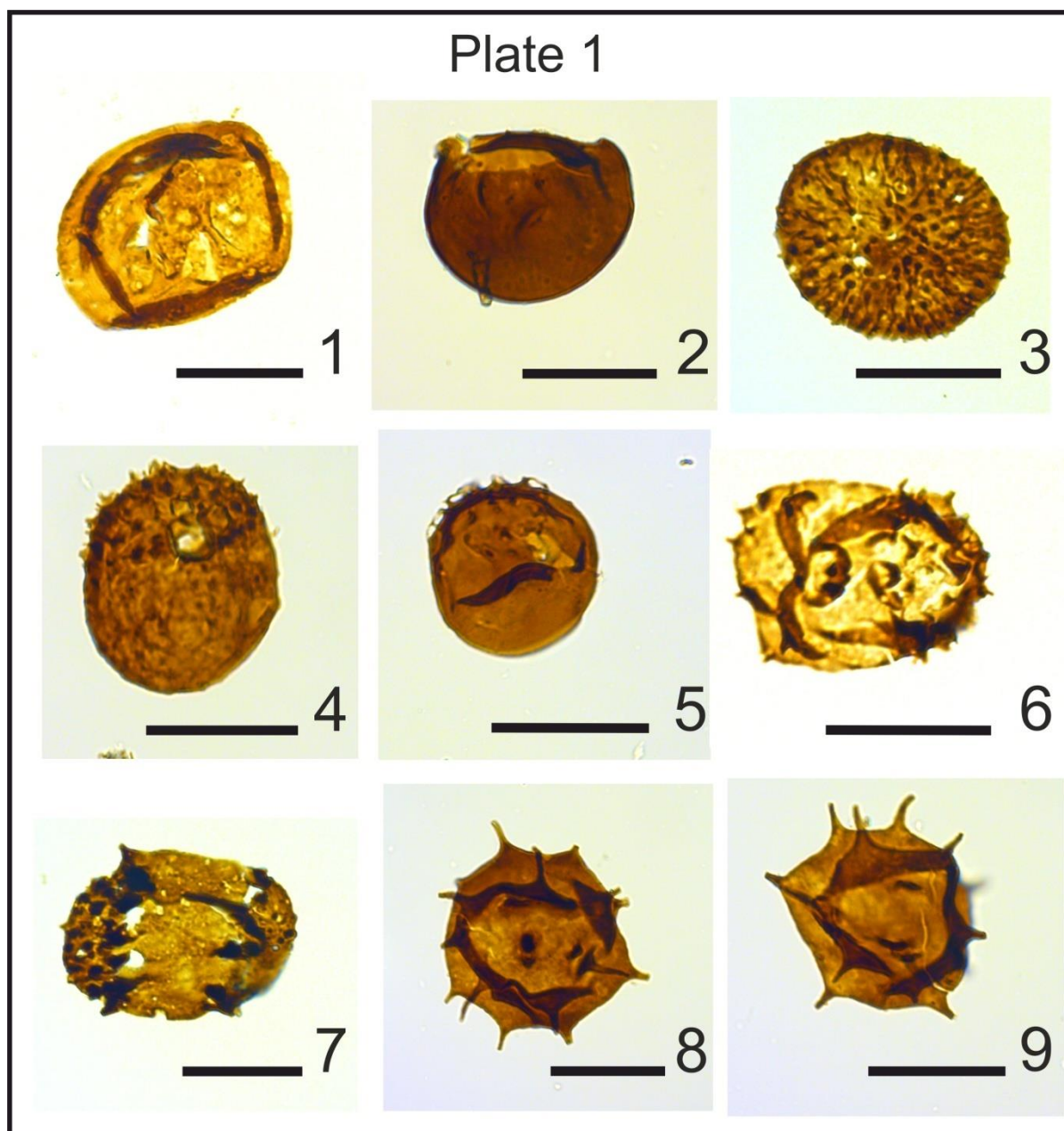


Plate 1: Scale bar is 20 µm.

1. *Leiosphaeridia* sp.
2. *Caldariola glabra* (Martin) Molyneux in Molyneux and Rushton 1988.
3. *Baltisphaeridium* sp.
4. *Ooidium rossicum* Timofeev 1957.
5. *Ooidium rossicum* Timofeev 1957.
6. *Dasydiacrodium* sp. 1.
7. *Dasydiacrodium* sp. 2.
8. *Polygonium* sp. 1.
9. *Polygonium* sp. 2.

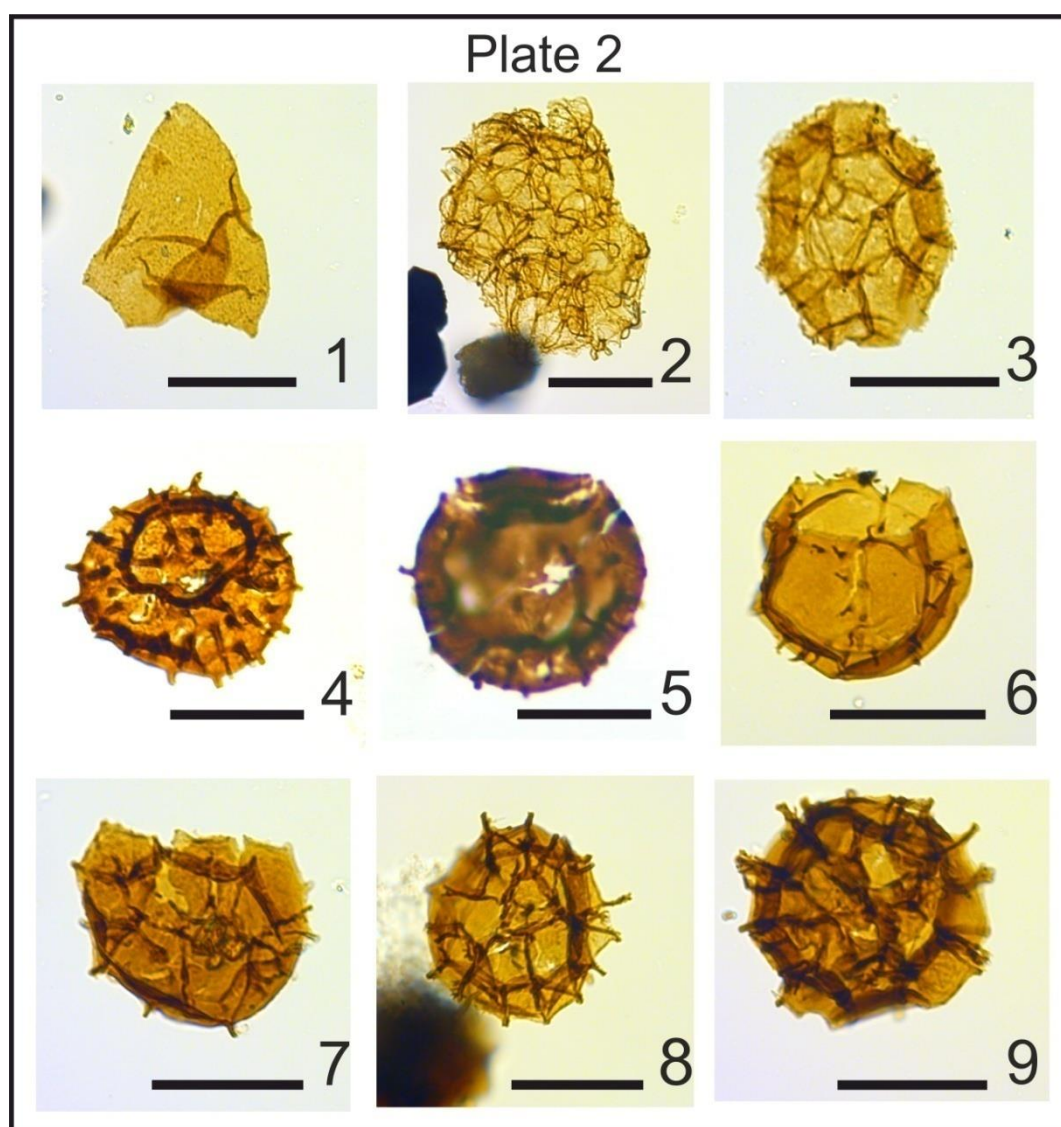


Plate2: Scale bar is 20 μ m.

1. *Ninadiacrodium dumontii* (Vanguestaine) Raevskaya and Servais 2009.
2. *Vulcanisphaera africana* Deunff 1961.
3. *Cristallinium cambriense* (Slavíková) Vanguestaine 1978.
4. *Stelliferidium* sp. 1.
5. *Stelliferidium* sp. 2.
6. *Cymatiogalea cuvillieri* (Deunff) Deunff 1964.
7. *Cymatiogalea* sp.
8. *Timofeevia phosphoritica* Vanguestaine 1978.
9. *Timofeevia phosphoritica* Vanguestaine 1978.

نتیجه

مجموعه فیتوپلانکتون‌های دریایی با دیواره آلی و دارای تنوع و فراوانی کم و حفظ‌شدگی خوب در عضو ۴ سازند میلا در برش چینه‌شناسی الگو مطالعه شدند. باتوجه‌به گسترش

چینه‌شناسی آکریتارک‌های شاخص *Vulcanisphaera*، *Ninadiacrodium*، *Cristallinium cambriense*، *africana*، *Timofeevia*، *Dasydiacrodium* sp.، *dumontii* و *phosphoritica* و مقایسه آن با دیگر

- Cambrian acritarchs from the *Peltura scarabaeoides* Trilobite Zone at Degerhamn (Öland, Sweden). *Palaeontographia Italica*, 76: 1-56.
- Downie C. 1984. Acritarchs in British stratigraphy. Geological Society of London, Special Report, 17: 1-26.
- Downie C. Evitt W.R. and Sarjeant W.A.S. 1963. Dinoflagellates, hystrichospheres and the classification of the acritarchs. Stanford University Publications, Geological Series, 7(3): 1-16.
- Evitt W.R. 1963. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres and acritarchs, II. Proceedings of the United States National Academy of Science, 49: 298-302.
- Fazli L. and Hamdi B. 2008. Biostratigraphy study of Mila Formation in Shahmirzad section, north of Semnan with special reference to conodonts. *Scientific Quarterly Journal Geosciences*, 68: 190-195.
- Ghavidel-Syooki M. 2006. Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud city (Kuh-e-Kharbash, near Deh Molla), Central Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139: 81-95.
- Ghavidel-Syooki M. and Vecoli M. 2008. Palynostratigraphy of Middle Cambrian to lowermost Ordovician stratal sequences in the High Zagros Mountains, southern Iran: Regional stratigraphic implications, and palaeobiogeographic significance. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 150: 97-114.
- Ghobadi Pour M. Williams M. and Popov L.E. 2007. A new Middle Ordovician arthropod fauna (Trilobita, Ostracoda, Bradoriida) from the Lashkarak Formation, Eastern Alborz Mountains, northern Iran. *GFF* 129: 245-254.
- Jahangir H. Ghobadi Pour M. Ashuri A. and Amini A. 2016. Terminal Cambrian and Ordovician (Tremadocian) conodonts from Eastern Alborz, north-central Iran. *Alcheringa*, 40: 219-243.
- Kushan B. 1973. Stratigraphie und trilobiten Fauna in der Mila-Formation Mitteltkambrium-Tremadoc im Alborz-Gebirge (N-Iran). *Palaeontographica A*, 144:113-165.
- Lasemi Y. 2001. Facies analysis, depositional environments and sequence stratigraphy of the upper Pre-Cambrian and Paleozoic rocks of Iran. Geological Survey and Mining Exploration of Iran, 180p. In Persian.
- Lefebvre B. Ghobadi Pour M. and Nardin E. 2005. Ordovician echinoderms from the Tabas and Damghan regions, Iran: palaeobiogeographical implications. *Bulletin de la Société Géologique*
- Ooidium* نقاط جهان، یک بایوزون تجمع‌ی محلی با عنوان *rossicum-Vulcanisphaera africana* assemblage biozone به ضخامت ۴۱ متر و سن کامبرین پسین (Furongian) در این رسوبات معرفی شد؛ همچنین قسمت قاعده‌ای عضو ۴ سازند میلا در این برش چینه‌شناسی (به ضخامت تقریباً ۴۵ متر) که پالینومورف ندارد، با عنوان barren interval در نظر گرفته شده است. حضور جنس‌هایی مانند *Ninadiacrodium* شاخص عرض‌های جغرافیایی میانی و مقایسه آکریتارک‌های مورد مطالعه با مجموعه‌های دیگر نقاط جهان، قرابت حاشیه گندوانایی این مجموعه را مشخص می‌کند و تأییدی بر موقعیت عرض جغرافیایی دیرینه میانی (۳۰ تا ۶۰ درجه عرض جنوبی) برای البرز در کامبرین پسین است.
- سپاسگزاری**
- نگارندگان از کمک‌های ارزنده آقای دکتر توماس سروایس از دانشگاه لیل (فرانسه) در مراحل انجام پژوهش حاضر و آقای مهندس محمد تقی‌بادی‌حق در انجام عملیات صحرائی و نمونه‌برداری صمیمانه قدردانی می‌کنند.
- References**
- Aghanabati S.A. 2004. Geology of Iran. Geological Survey and Mining Exploration of Iran, 606p. (In Persian).
- Albani R. Bagnoli G. Bernárdez E. Gutiérrez-Marco J.C. and Ribecai C. 2006. Late Cambrian acritarchs from the "Túnel Ordovícico del Fabar", Cantabrian Zone, N Spain. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139: 41-52.
- Albani R. Massa D. and Tongiorgi M. 1991. Palynostratigraphy (acritarchs) of some Cambrian beds from the Rhadames (Ghadamis) Basin (Western Libya-Southern Tunisia). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 30: 255-280.
- Cocks L.R.M. and Torsvik T.H. 2002. Earth geography from 500 to 400 million years ago: a faunal and palaeomagnetic review. *Journal of the Geological Society, London*, 159: 631-644.
- Colbath G.K. and Grenfell H.R. 1995. Review of biological affinities of Paleozoic acid-resistant, organic-walled eukaryotic algal microfossils (including "acritarchs"). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86: 287-314.
- Di Milia A. Ribecai C. and Tongiorgi M. 1989. Late

- Parsons M.G. and Anderson M.M. 2000. Acritarch microfloral succession from the Late Cambrian and Ordovician (Early Tremadoc) of Random Island, Eastern Newfoundland, and its comparison to coeval microflora particularly those of the East European Platform. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series*, 38: 123 p.
- Peng S.C. Babcock L.E. Robison R.A. Lin H.L. Rees M.N. and Saltzman M.R. 2004. Global Standard Stratotype-section and Point (GSSP) of the Furongian Series and Paibian Stage (Cambrian). *Lethaia*, 37: 365-379.
- Peng S.C. Geyer G. and Hamdi B. 1999. Trilobites from the Shahmirzad section, Alborz Mountains, Iran: Their taxonomy, biostratigraphy and bearing for international correlation. *Beringeria*, 25: 3-66.
- Phipps D. and Playford G. 1984. Laboratory technique for extraction of playnomorphs from sediments. Department of Geology, University of Queensland, 11(1): 23 p.
- Playford G. 2003. Acritarchs and prasinophyte phycmata: a short course. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series*, 41: 1-39.
- Popov L.E. Ghobadi Pour M. Hosseini M. and Holmer L.E. 2009. Furongian linguliform brachiopods from the Alborz Mountains, Iran. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists*, 37: 103-122.
- Popov L.E. Kebria-Ee Zadeh M.R. Ghobadi Pour M. Holmer L.E. and Modzalevskaya T.L. 2013. Cambrian(Furongian) rhynchonelli form brachiopods from the Eastern Alborz Mountains, Iran. *Bulletin of Geosciences*, 88(3): 525-538.
- Potter T.L. Pedder B.E. and Feist-Burkhardt S. 2012. Cambrian Furongian Series acritarchs from the Comley area, Shropshire, England. *Journal of Micropalaeontology*, 31: 1-28.
- Raevskaya E.G. and Golubkova E. 2006. Biostratigraphical implication of Middle-upper Cambrian acritarchs from Severnaya Zemlya (high Arctic of Russia). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139: 53-69.
- Raevskaya E.G. and Servais T. 2009. *Ninadiacrodium*: A new Late Cambrian acritarchs genus and index fossil. *Palynology*, 33: 219-239.
- Ribecai C. and Vanguetstaine M. 1993. Latest Middle-Late Cambrian acritarchs from Belgium and Northern France. *Special papers in Palaeontology*, 48: 45-55.
- Rubenstein C.V. Mángano M.G. and Buatois L.A. 2003. Late Cambrian acritarchs from the Santa Rosita Formation: implications for the Cambrian-Ordovician boundary in the Eastern de France, 176 (3): 231-242.
- Martin F. and Dean W.T. 1981. Middle and Upper Cambrian and lower Ordovician acritarchs from Random Island, eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 343: 1-43.
- Martin F. and Dean W.T. 1988. Middle and Upper Cambrian acritarch and trilobite Zonation at Manuels River and Random Island, eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 381: 1-91.
- Mens K. Vira V. Paalits I. and Puura I. 1993. Upper Cambrian stratigraphy of Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Science, Geology*, 42: 148-159.
- Mette W. 1989. Acritarchs from Lower Paleozoic rocks of the western Sierra Morena, SW-Spain and biostratigraphic results. *Geologica et palaentologica*, 23: 1-19.
- Molyneux S.G. Le Hérissé A. and Wicander R. 1996. Paleozoic phytoplankton. In: Jansonius J. and McGregor D.C. (Eds.), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 2: 493-530.
- Molyneux S.G. Delabroye A. Wicander R. and Servais T. 2013. Biogeography of early to mid Palaeozoic (Cambrian-Devonian) marine phytoplankton. In: Harper D.A.T. and Servais T. (Eds.), *Early Palaeozoic Biogeography and Palaeogeography*, Geological Society of London, London, *Memoir*, 38: 365-397.
- Montenari M. and Servais T. 2000. Early Paleozoic (Late Cambrian-Early Ordovician) acritarchs from the metasedimentary Baden-Baden-Gaggenau zone (Schwarzwald, SW Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113: 73-85.
- Müller K. 1973. Late Cambrian and Early Ordovician conodonts from northern Iran. *Reports of Geological Survey of Iran*, 30:1-77.
- Paalits I. 1992. Upper Cambrian acritarchs from the Petseri Formation (East European Platform). *Eesti Geoloogilise Ehituse Kõsimusi*, 956: 44-55.
- Palacios T. 2015. Acritarch assemblages from the Oville and Barrios Formations, northern Spain: A pilot proposal of a middle Cambrian (Series 3) acritarch biozonation in northwestern Gondwana. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 219: 71-105.
- Palacios T. Jensen S. White C.E. and Barr S.M. 2012. Cambrian acritarchs from the Bourinot belt, Cape Breton Island, Nova Scotia: age and stratigraphic implications. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 49: 289-307.

- Volkova N.A. 1989. Akritarkhi pogranychykh otlozhenij kembrija i Ordovika severa Estonii (Acritarchs from the Cambrian-Ordovician boundary beds of the North Estonia)", *Izvestija Akademii Nauk SSSR. Serija Geologicheskaya* 1: 59-67 (in Russian).
- Volkova N.A. 1990. Akritarkhi srednego i verkhnego Kembrija Vostochno-Evropskoj platformy (Middle and Upper Cambrian acritarchs of the East-European Platform). *Trudy, Moscow*, 454 p. (in Russian).
- Volkova N.A. 1999. Akritarkhi verkhnej chasti verkhnego kembrijanizhnego tremadoka moskovskoj sineklizy (Acritarchs from the uppermost Upper Cambrian-Lower Tremadocian of the Moscow sineclise). *Stratigraphy Geological Correlation*, 7(5): 43-55 (in Russian).
- Welsch M. 1986. Die Acritarchen der höheren Digermul-Gruppe, Mittelkambrium bis Tremadoc, Ost-Finnmark, Nord-Norwegen. *Palaeontographica B*, 201: 1-109.
- Wood G.D and Stephenson J.T. 1989. Cambrian palynomorphs from the warm-water provincial realm, Bonnetterre and Davis formations of Missouri and Arkansas (Reelfoot rift area): biostratigraphy, paleoecology and thermal maturity. In: Gregg J.M. Palmer J.R. and Kurtz V.E. (Eds.), *Field Guide to the Upper Cambrian of South Eastern Missouri: Stratigraphy, Sedimentology and Economic Geology*. Department of Geology and Geophysics, University of Missouri (Rolla), Geological Society of America Field Trip (Annual Meeting), pp. 84-102.
- Young T. Martin F. Dean W.T. and Rushton A.W.A. 1994. Cambrian stratigraphy of St Tudwal's Peninsula, Gwynedd, northwest Wales. *Geological Magazine*, 131: 335-360.
- Cordillera of northwest Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 6: 43-48.
- Servais T. 1996. Some considerations in acritarch classification. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 93: 9-22.
- Servais T. and Eiserhardt K.H. 1995. A discussion and proposals concerning the lower Paleozoic "Galeate"; acritarch plexus. *Palynology*, 19: 191-210.
- Stöcklin J. Ruttner A. and Nabavi M.H. 1964. New data on the Lower Palaeozoic and Precambrian of North Iran. *Geological Survey of Iran, Report*, 1: 29 p.
- Vanguetaine M. 1978. Critères palynostratigraphiques conduisant à la reconnaissance d'un pli couché revinien dans le Sondage de Grand-Halleux. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 100: 249-276.
- Vanguetaine M. and Brück P.M. 2008. A Middle and Late Cambrian age for the Booley Bay Formation, County Wexford, Ireland: New acritarch data and its implications. *Revue de Micropaléontologie*, 51: 67-95.
- Vanguetaine M. and Van Looy J. 1983. Acritarches du Cambrien Moyen de la Vallée de Tachedirt (Haut-Atlas, Maroc) dans le cadre d'une nouvelle zonation du Cambrien. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 106: 69-85.
- Vecoli M. 1996. Stratigraphic significance of acritarchs in Cambro-Ordovician boundary strata, Hassi-Rmel area, Algerian Sahara. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 35: 3-58.
- Vecoli M. 1999. Cambro-Ordovician palynostratigraphy (acritarchs and prasinophytes) of the Hassi-R'mel area and northern Rhadames Basin, North Africa. *Palaeontographia Italica*, 86: 1-112.
- Vecoli M. Tongiorgi M. Abdesselam-Roughi F. Benzarti R. and Massa D. 1999. Palynostratigraphy of Upper Cambrian-upper Ordovician intracratonic clastic sequences, North Africa. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 38: 331-341.
- Vecoli M. Videt B. and Paris F. 2008. First biostratigraphic (palynological) dating of Middle and Late Cambrian strata in the subsurface of northwestern Algeria, North Africa: Implications for regional stratigraphy. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 149: 57-62.
- Vergel M.M. Aceñolaza G.F. and Aráoz L. 2013. Palynology of the Isayachi Formation (Cambro-Ordovician) from the Cordillera Oriental of Southern Bolivia: New data from the western margin of Gondwana. *Geologica Acta*, 11: 167-176.