

# یافته‌های جدید در خصوص فسیل‌های ادیاکارن از سری کوشک در مناطق بافق و بهاباد، ایران مرکزی

سیدحمید وزیری<sup>۱</sup>، محمودرضا مجیدی فرد<sup>۲</sup> و مارک لفلم<sup>۳</sup>

استاد، گروه زمین‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
 دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
 دانشیار، گروه علوم فیزیک و شیمی، دانشگاه تورنتو، میسیساگا، کانادا  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

## چکیده

سری پرکامبرین کوشک در مناطق بافق و بهاباد ایران مرکزی حاوی مجموعه‌ای متنوع از فسیل‌های اواخر ادیاکارن است که بسیار متنوع‌تر از فسیل‌های شاخص شناخته شده از سیستم ادیاکارن پایانی هستند که تاکنون در سراسر جهان معرفی شده است. سری کوشک با بیش از ۵۰۰ متر ضخامت در ناحیه کوشک از مجموعه‌ای از رخساره‌های کربناته (سنگ آهک دولومیتی ماسه‌ای و دولومیت) و سیلیسی آواری (شیل، سنگ‌ماسه و سنگ سیلتی) همراه با سنگ‌هایی از ریولیت‌های ولکانیکی، میکرودیوریت و توف تشکیل شده و شیل‌های آرژیلی آن حاوی مجموعه‌ای از فسیل‌های ادیاکارن فراوان شامل *Kuckaraukia multituberculata*, *Persimedesites chahgazensis*, *Corumbella wernerii*, *Cloudina* sp., *Chuarua* sp., *Kimberella persii*, *Gibbavasis kushkii*, *Erniettomorpha*, *Rangeomorpha* فسیل‌های شاخص *Corumbella* و *Cloudina* در این مجموعه سن اواخر ادیاکارن (مجموعه ناما- حدود ۵۳۹ تا ۵۴۵ میلیون سال قبل) را برای این نهشته‌ها تأیید می‌کند. این مجموعه فسیلی به بسط درک از اواخر دوره ادیاکارن قبل از انقراض این دوره و انفجار موجودات مختلط کامبرین کمک می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** پرکامبرین، سری کوشک، کوشک، چاه‌میر، ایران.

**\*نویسنده مسئول:** سیدحمید وزیری

E-mail: h\_vaziri@iau-tnb.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

اواخر دوره ادیاکارن با یک انقلاب حیاتی بنیادی همراه بوده است. پس از آخرین عصر یخبندان و افزایش قابل توجه اکسیژن، مجموعه‌ای از موجودات نرم‌تن در دوره ادیاکارن می‌زیسته‌اند - که دقیقاً قبل از انفجار کامبرین در ۵۳۹ میلیون سال قبل بوده که منجر به ظهور اکثر موجودات شده است - و یک گسترش جهانی را در اواخر دوره ادیاکارن (۵۳۹-۵۷۰ میلیون سال قبل) نشان می‌دهند و مشخصه طبقات اواخر پرکامبرین در سراسر جهان هستند (Narbonne, 1998; Linnemann et al., 2019). با وجود این که تقریباً ۲۰۰ گونه از این جانداران وجود دارد، هنوز مرموز و ناشناخته هستند، چرا که تعداد انگشت‌شماری از آنها به ارگانسیم‌های زنده یا منقرض شده شباهت دارند. زیستگاه دوره ادیاکارن، تکامل مبهم زندگی چندسلولی‌ها را در ابتدای این دوره و ظهور خارق‌العاده موجودات را در دوره کامبرین (Xiao and Laflamme, 2009) نشان می‌دهد. ارتباطات فیلوژنتیکی موجودات ادیاکارن بحث‌برانگیز است، با این حال، در خصوص اینکه آنها مجموعه‌ای متنوع از حیوانات گروه ساقه‌دار علاوه بر چندین طبقه غیر متازون تاج‌دار هستند، اتفاق نظر وجود دارد (Narbonne, 2005; Xiao and Laflamme, 2009). موجودات ادیاکارن از بیش از ۴۰ مکان در سراسر جهان نظیر ایران، کانادا، آمریکا، استرالیا، آرژانتین، برزیل، روسیه، هند، چین، عمان، قزاقستان، اسپانیا، غنا، نامیبیا، ایرلند، مکزیک، انگلستان و کشورهای اسکاندیناوی یافت شده‌اند که مهم‌ترین این مناطق در تقسیم‌بندی اصلی این موجودات در سه مجموعه زیستی نیوفاندلند (Newfoundland) کانادا، Flinders Ranges جنوب استرالیا، منطقه دریای سفید (White Sea Region) روسیه و نامیبیا (Narboone, 2005; Fedonkin et al., 2008) قرار دارند (Narbonne et al., 2012). این سه مجموعه زیستی عبارتند از: (۱) قدیمی‌ترین جوامع ادیاکارن از مجموعه آوالون (Avalon assemblage): (Ma 579-559)، که عمدتاً شامل *Rangeomorpha* (Narbonne, 2004); (۲) *Clapham et al., 2004*; (۳) *Narbonne et al., 2009* و بالقوه اسفنج *Thectardis* است (Clapham et al., 2004); (۴) *Sperling et al., 2011* (White Sea assemblage):

که معرف اوج تنوع زیستی ادیاکارن و تفاوت بین آنها (Ma 558-550) است (Shen et al., 2008; Erwin et al., 2011) در مناطق زیادی از سراسر دامنه جغرافیای دیرینه (Laflamme et al., 2013) و شامل اولین رخسادهای متازون‌های تاج‌دار نظیر *Kimberella* است (Fedonkin and Waggoner, 1997; Fedonkin et al., 2007). (۳) جوان‌ترین جوامع ادیاکارن با عنوان مجموعه ناما (Nama assemblage): (Ma 549-539) که تحت تأثیر کاهش قابل توجهی در تنوع ادیاکارن‌ها و محدوده جغرافیایی آنها بوده (Darroch et al., 2016; Linnemann et al., 2019) و احتمالاً نشان‌دهنده اولین انقراض جهانی مجموعه زیستی است. سایت‌های ناما (Nama sites) معمولاً شامل مجموعه‌های کم تنوع از تاج‌های عجیب و غریب ادیاکارن‌ها مانند *Erniettomorpha* (*Swartpuntia*, *Ernietta* و *Rangeomorpha* (Rangea)) و *Pteridinium*، ارگانسیم‌های لوله‌ای کلسیتی شده (*Cloudina*, *Namacalathus*) و احتمالاً *Corumbella* (Cnidarians scyphozoa) یا اسفنج‌ها (*Ausia*) هستند. در ایران فسیل‌های ادیاکارن از بخش شیل زیرین (شیل چپقلو) سازند سلطانیه در شمال ایران (حمدی، ۱۳۷۴؛ Hamdi et al., 1989; Jafari et al., 2007) و از رسوبات شیلی سری کوشک در نواحی کوشک (بافق) و چاه‌میر (بهاباد) ایران مرکزی گزارش شده‌اند (حمدی، ۱۳۷۴؛ Hahn and Pflug, 1980; Glaessner, 1984; Vickers-Rich et al., 2017; Vaziri et al., 2018).

رسوبات شیلی سری کوشک در نواحی کوشک، چاه‌میر و دردهو حاوی یک مجموعه متنوعی از فسیل‌های ادیاکارن جدیدی هستند که در تحقیق حاضر طی دو مرحله مطالعات صحرایی جمع‌آوری و بررسی شده‌اند. در این مطالعات توالی سری کوشک از جنبه‌های چینه‌نگاری سنگی، محیط رسوبی و فسیل‌شناسی مورد بررسی دقیق قرار گرفت و تعداد قابل توجهی فسیل ادیاکارن از شیل‌های آرژیلی (زیرواحد ۶) سری کوشک که میزان موجودات نرم‌تن فراوان بوده است، جهت معرفی مجموعه‌ای جدید از فسیل‌های ادیاکارن در گذر تدریجی ادیاکارن به کامبرین در ایران جمع‌آوری و مطالعه شد.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

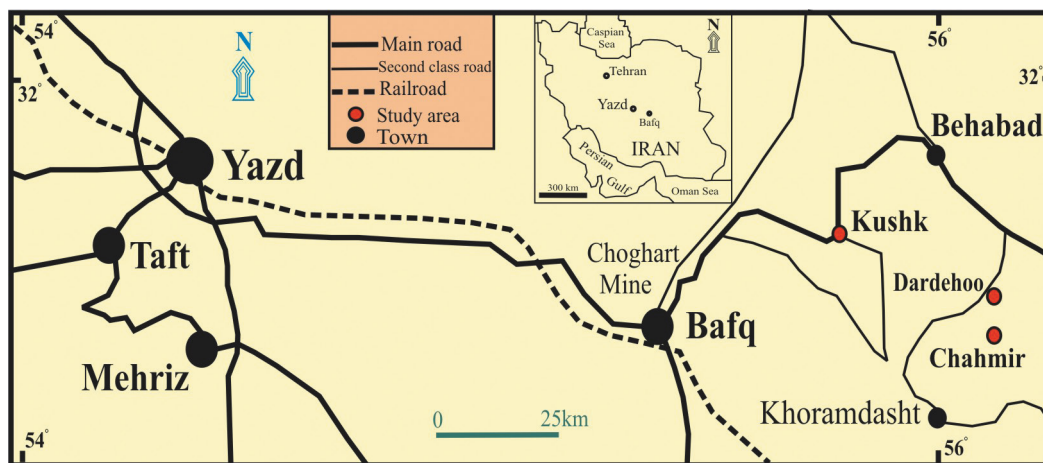
نواحی کوشک (باقق) و چاه‌میر (بهاباد) در زون ساختاری ایران مرکزی در قسمتی از حوضه زریگان-چاه‌میر واقع شده‌اند که در بخش جنوبی خردقاره ایران مرکزی در شمال باختری حاشیه قاره گندوانا قرار دارد و به عنوان منطقه معدنی بافق نیز شناخته می‌شوند که میزان مواد معدنی مهمی نظیر سرب و روی هستند (Rajabi et al., 2012 and 2014). باز شدن حوضه زریگان-چاه‌میر را به دلیل انقباض خردقاره ایران مرکزی در اواخر نئوپروتروزوئیک تا ابتدای کامبرین ناشی از ریف‌پشت کماتی حاشیه قاره در نظر می‌گیرند که همزمان با همگرایی پروتو پالتوتیس (لاسمی، ۱۳۷۹) در امتداد حاشیه قاره رخ داده است (Rajabi et al., 2014).

## ۳- موقعیت جغرافیایی نواحی مورد مطالعه

نواحی مورد مطالعه در محدوده معادن سرب و روی کوشک (باقق) و چاه‌میر (بهاباد) قرار دارند (شکل ۱). معدن سرب و روی کوشک با مختصات جغرافیایی  $55^{\circ} 45'$  طول خاوری و  $31^{\circ} 45'$  عرض شمالی، در فاصله ۱۶۵ کیلومتری جنوب خاور یزد و ۴۵ کیلومتری شمال خاور شهرستان بافق واقع شده است. راه دسترسی به این معدن از طریق جاده یزد به بافق به طول ۱۱۰ کیلومتر و بافق-بهاباد به طول حدود ۴۰ کیلومتر است. معدن سرب و روی چاه‌میر با مختصات جغرافیایی  $2^{\circ} 56'$  طول خاوری و  $31^{\circ} 38'$  عرض شمالی، در ۱۲۸ کیلومتری خاور بافق و ۳۰ کیلومتری جنوب بهاباد (استان یزد) در واحدهای رسوبی آذرآوری پرکامبرین پسین با روند تقریبی خاوری-باختری و در حاشیه جنوب خاوری پهنه ساختاری پشت بادام واقع شده است.

سری کوشک به عنوان قدیمی‌ترین سنگ‌های زون ایران مرکزی در نواحی کوشک و چاه‌میر از مجموعه‌ای آمیخته از سنگ‌های آتشفشانی، سیلیسی آواری و کربناته تشکیل شده (حمدی، ۱۳۷۴) و معرف محیط‌های کم‌عمق و عمیق دریا بوده که قابل مقایسه با بخش‌های ۱ و ۲ (بخش‌های دولومیت زیرین و شیل زیرین) سازند سلطانیه (Stöcklin et al., 1964) است. سری کوشک ابتدا به عنوان بخشی از سری

سری کوشک به عنوان قدیمی‌ترین سنگ‌های زون ایران مرکزی در نواحی کوشک و چاه‌میر از مجموعه‌ای آمیخته از سنگ‌های آتشفشانی، سیلیسی آواری و کربناته تشکیل شده (حمدی، ۱۳۷۴) و معرف محیط‌های کم‌عمق و عمیق دریا بوده که قابل مقایسه با بخش‌های ۱ و ۲ (بخش‌های دولومیت زیرین و شیل زیرین) سازند سلطانیه (Stöcklin et al., 1964) است. سری کوشک ابتدا به عنوان بخشی از سری



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به نواحی مورد مطالعه در مناطق بافق و بهاباد ایران مرکزی.

## ۴- سری کوشک

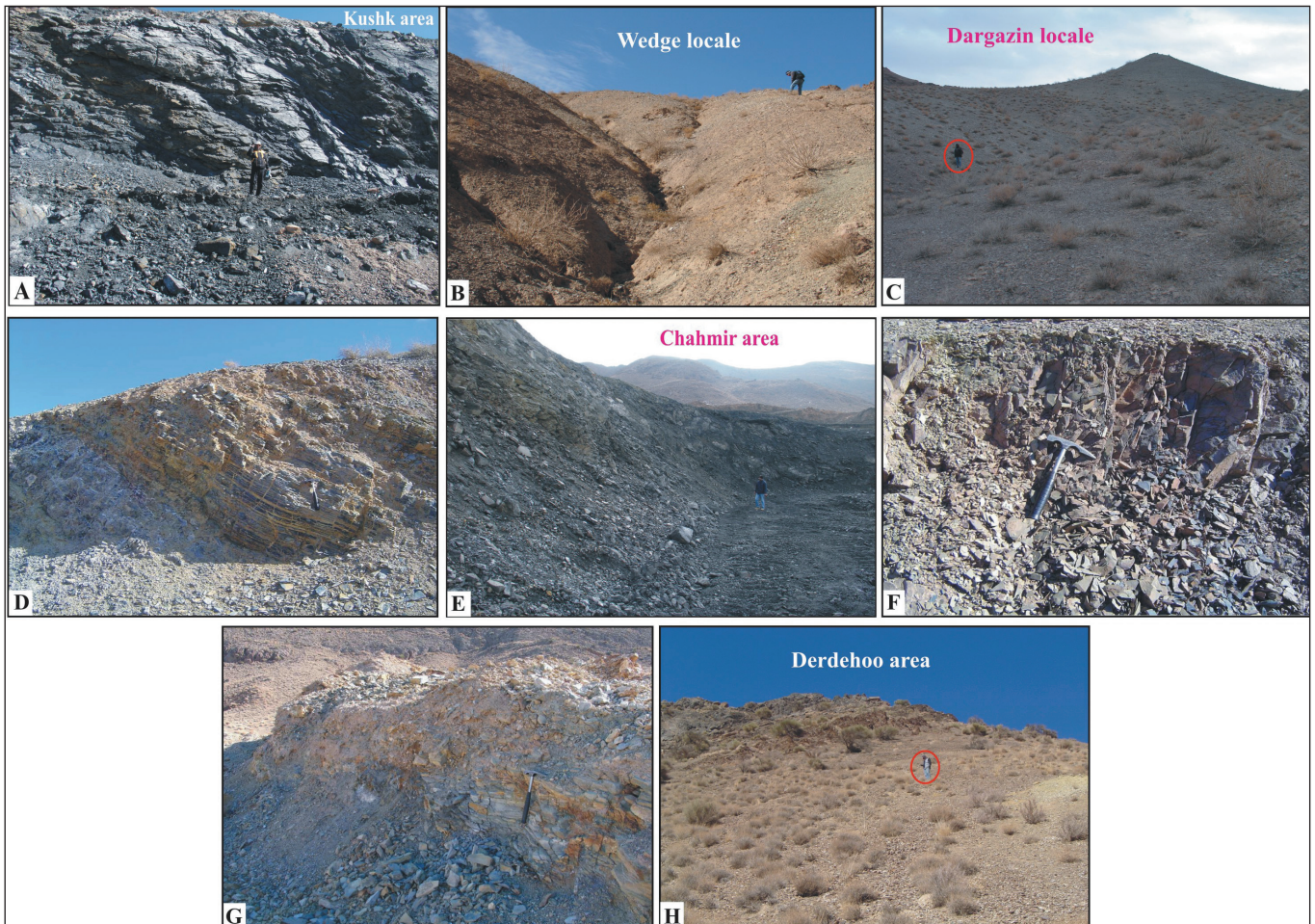
این فسیل‌ها شامل *Permedusites changazensis*, *Dickinsonia*, *Palaeoplota* و *Pteridinium*, *Spriggina*, *Yazdia*, *Kushkia* هستند که معرفی آنها بر اساس دانش و اطلاعات نام‌گذاری تاکسون‌های ادیاکارن در دهه ۱۹۸۰ میلادی بوده و تاکنون تغییرات قابل توجهی پیدا کرده است. در مطالعات فوق بر اساس حضور *Permedusites changazensis* (Pl. 1a-f) که اخیراً با نام‌گذاری نادرست از آرژانتین (Arrouy et al., 2016) نیز گزارش شده است، سن پرکامبرین (وندین) برای سری کوشک پیشنهاد شد. (Vickers-Rich et al., 2017) نیز در گزارشی اولیه به معرفی فسیل‌های *Permedusites*, *Corumbella* و اشکال شبیه *Namalia* از شیل‌های سری کوشک در نواحی کوشک و چاه‌میر پرداخته‌اند. هر چند برخی تصاویری معرفی شده به عنوان فسیل‌های فوق بیشتر به ساختارهای رسوبی شباهت دارند.

در خصوص مطالعات ژئوکرونولوژی در نواحی مورد نظر، ایزوتوپ‌های سرب ( $Pb^{207}/Pb^{206}$ ) ۳ نمونه از کانی‌های سولفیدی سرب و روی معدن کوشک اندازه‌گیری رادیومتریک شده و زمانی معادل  $715 \pm 120$ ،  $690$ ،  $595$  میلیون سال به دست آمده است (Huckriede et al., 1962) و بررسی سن مطلق ( $Pb^{207}/Pb^{206}$ ) دانه‌های زیرکن یک نمونه از سنگ‌ماسه ناحیه کوشک زمانی معادل  $581 \pm 8/6$  میلیون سال و یک نمونه گل‌سنگ از ناحیه چاه‌میر زمانی معادل  $540/7 \pm 4/8$  میلیون سال (Vickers-Rich et al., 2017) را نشان می‌دهد.

سری پرکامبرین کوشک در ناحیه کوشک با ۵۱۸ متر ضخامت از ۱۳ زیرواحد سنگی شامل رخساره‌های کربناته (سنگ آهک دولومیتی ماسه‌ای، دولومیت) و سیلیسی آواری (شیل، سنگ‌ماسه و سنگ سیلتی) همراه با حجم زیادی از سنگ‌های آتشفشانی نظیر ریولیت، میکرودیوریت و توف در یک رمپ هموکلینال طی یک چرخه پیشروی و پسروی دریا تشکیل شده است (شکل ۲؛ Vaziri and Lafflamme, 2018). که وجود سنگ‌های آتشفشانی فوق می‌تواند معرف یک حوضه ریف‌تی کششی مربوط به باز شدن دریای پروتو پالتوتیس (لاسمی، ۱۳۷۹) در شمال باختری قاره گندوانا باشد. مرز زیرین سری کوشک در نواحی مورد مطالعه رخنمون ندارد اما مرز بالایی آن در ناحیه کوشک با سازند هشتم (کامبرین زیرین) به صورت گسلی است. این سری در ناحیه چاه‌میر با ضخامت کمتر (۱۷۵ متر) از شیل آهکی سیاه، توف سیلیسی، شیل و سنگ سیلتی خاکستری پرفسیل تشکیل شده است و صرفاً شامل زیرواحد‌های ۵، ۶، ۹ و سری کوشک است (شکل ۲؛ Vaziri and Lafflamme, 2018). شیل‌های آرژیلی زیرواحد ۶ سری کوشک در نواحی کوشک (باقق) و چاه‌میر (بهاباد) که بر روی شیل‌های آهکی سیاه زیرواحد ۵ قرار دارند (شکل‌های ۳- a و e)، حاوی فسیل‌های ادیاکارن فراوان هستند (شکل‌های ۳- f، d تا g) و پیش از این توسط حمدی (۱۳۷۴)، (Hahn and Pflug, 1980) و (Glaessner, 1984) گزارش و با فسیل‌های ادیاکارن جنوب استرالیا (Glaessner, 1984) مطابقت داده شده‌اند.







شکل ۳- A) شیل‌های آهکی سیاه زیر واحد ۵ در ناحیه کوشک، نگاه به سمت شمال؛ B تا D) شیل‌های آرزبلی خاکستری زیر واحد ۶ حاوی فسیل‌های ادیاکارن؛ B) برش چینه‌شناسی وج (ناحیه کوشک)، نگاه به سمت شمال خاوری؛ C و D) برش چینه‌شناسی درگزین (ناحیه کوشک)، نگاه به سمت شمال خاوری؛ E) شیل‌های آهکی سیاه زیر واحد ۵ در ناحیه چاه‌میر، نگاه به سمت جنوب؛ F تا H) شیل‌های آرزبلی خاکستری و گل‌سنگ زیر واحد ۶ حاوی فسیل‌های ادیاکارن؛ G و F) ناحیه چاه‌میر؛ H) ناحیه دردهو، نگاه به سمت شمال باختری.

## ۵- روش مطالعه

به منظور مطالعه فسیل‌های ادیاکارن سری کوشک، از شیل‌های آرزبلی زیر واحد ۶، ۹۵ نمونه از ناحیه کوشک (وج و درگزین)، ۱۵۰ نمونه از ناحیه چاه‌میر و ۵ نمونه از ناحیه دردهو جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. ابتدا تمام نمونه‌ها شسته شدند و بر اساس ریخت‌شناسی (morphology) در گروه‌های مختلف قرار گرفتند. سپس مراحل شناسایی، توصیف، عکسبرداری و تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده انجام پذیرفت.

## ۶- دستاوردها

مجموعه فسیل‌های ادیاکارن جمع‌آوری شده از شیل‌های آرزبلی (زیر واحد ۶) سری کوشک در نواحی کوشک، چاه‌میر و دردهو (شکل‌های ۳- b تا f و h) حکایت از وجود یک مجموعه متنوع‌تر از فسیل‌های ادیاکارن پایانی شناخته شده در سراسر جهان (Lafamme et al., 2013; Darroch et al., 2015; Boag et al., 2016) دارد که اواخر دوره ادیاکارن (Latest Ediacaran) را نشان می‌دهند (جدول ۱). این مجموعه فسیلی از برش چینه‌شناسی وج (ناحیه کوشک) با مختصات جغرافیایی  $31^{\circ} 45' 50''$  عرض شمالی و  $46^{\circ} 01' 55''$  طول خاوری، برش چینه‌شناسی درگزین (ناحیه کوشک) با مختصات‌های جغرافیایی  $31^{\circ} 46' 13/3''$  و  $46^{\circ} 10/9''$  عرض‌های شمالی و  $30/7' 45^{\circ}$  و  $33/1' 45^{\circ}$  طول‌های

خاوری، ناحیه چاه‌میر با مختصات جغرافیایی  $38^{\circ} 38' 31/8''$  عرض شمالی و  $27/5' 2' 56''$  طول خاوری و ناحیه دردهو با مختصات جغرافیایی  $42' 7/77''$  عرض شمالی و  $31/33' 2' 56''$  طول خاوری جمع‌آوری شد که تنوع و توزیع خوبی در نواحی مورد مطالعه دارند و در نقاط دیگر جهان نیز یافت شده‌اند. این مجموعه شامل فسیل‌های زیر است:

*Kuckaraukia multituberculata*, *Persimedesites chahgazensis*, *Cloudina* sp., *Chuaria* sp., *Corumbella wernerii*, *Kimberella persii*, *Gibbavasis kushkii*, *Erniettomorpha*, *Rangeomorpha* and numerous tubular organisms (جدول ۱) و پلیت‌های ۱ و ۲).

این مجموعه فسیلی متفاوت با فسیل‌های ادیاکارن شناسایی شده از بخش شیل زیرین (شیل چقلو) سازند سلطانیه نظیر *Chuaria Tawuia* و *Vendotaenia* (حمدی، ۱۳۷۴؛ Jafari et al., 2007; Hamdi et al., 1989) بوده که از شیل‌های متعلق به محیط کم‌عمق پلاتفرمی دریا گزارش شده‌اند. در حالی که فسیل‌های ادیاکارن سری کوشک در شیل‌های شکل گرفته در محیط عمیق دریای باز یافت شده‌اند و وجود فسیل‌های شاخص *Corumbella* (Pl. 11-s) و *Cloudina* (Pl. 1g-k) سن مجموعه ناما (حدود ۵۳۹-۵۴۵ میلیون سال قبل) را برای این توالی تأیید می‌کنند. تا به امروز فسیل *Corumbella* از نوپروتروزوییک غرب برزیل (Babcock et al., 2005)، غرب



(Grant, 1990). این فسیل در لایه‌هایی یافت می‌شود که بیشترین بازه زمانی تولید تاکسون‌های زیستی ادیاکارن را دارند (Knoll, 1996) و مقیاس زمانی نئوپروتروزوییک را مجدداً درجه‌بندی می‌کنند (Grotzinger et al., 1995; Knoll, 2000). نرم‌تن *Kimberella persii* (Pl. 2k, m) و اسفنج *Gibbavasis kushkii* (Pl. 2n) دو گونه جدید هستند که اخیراً از شیل‌های سری کوشک توسط Vaziri et al. (2018) یافت و نام‌گذاری شده‌اند. این دو گونه اهمیت ویژه‌ای در رفع وقفه بین مجموعه‌های متنوع ادیاکارن جنوبی استرالیا و روسیه با مجموعه اسفنج‌های کامبرین و بیلاترین‌های (Bilaterian) تاج‌دار گوناگون دارند.

آمریکا (Warren et al., 2011, 2012)، پاراگونه (Hagadorn and Waggoner, 2000)، ایران مرکزی (Vickers-Rich et al., 2017; Vaziri et al., 2018) شناخته شده است و می‌تواند در تفسیر ارتباط جغرافیای دیرینه بین سرزمین‌های جدا شده از ابرنئوپروتروزوییک پایانی ارزشمند باشد (Dalziel, 1997; Unrug, 1977). این فسیل همراه با فسیل *Cloudina* که شاخصی برای مجموعه ناما و سن نئوپروتروزوییک پایانی است (Xiao and Laflamme, 2009)، مشاهده و هر دو به عنوان شاخص زمان ادیاکارن پایانی شناخته می‌شوند. *Cloudina* یکی از اولین موجودات برای تشکیل پوسته است و توسعه آن در سراسر جهان و از نظر جغرافیایی لحظه‌ای بوده است



### Plate 1

Scale bars 1 cm (white) or 0.5 cm (black). Ku (Kushk area), Ch (Chahmir area). (a-f) *Persimedesites chahgazensis* (Ku/14/03a, Ch/14/04a, Ku/16/02, Ku/14/3a, Ku/16/01, Ch/14/04b). (g-k) *Cloudina* sp. (Ku/14/3c, Ku/16/23, Ch/16/14, Ku/16/34,49). (l-s) *Corumbella wernerii* (Ch/14/99, 73, Ku/16/51, Ku/14/56, 20, Ch/14/47, 19, 65).





**Plate 2**

Scale bars 1 cm (white) or 0.5 cm (black). Ku (Kushk area), Ch (Chahmir area). **(a)** *Chuarua* sp. (Ku/14/49). **(b, c)** *Kuckaraukia multituberculata* (Ch/14/30, Ch/16/32). **(d, e)** *Erniettomorph* (Ku/14/61, 67). **(f)** *Rangeomorph* (Ku/14/15). **(g-j)** tubular organism (Ch/14/114, Ku/14/08, 13, 09a). **(k, m)** *Kimberella persii* (Ch/14/62, 49b). **(n)** *Gibbavasis kushkii* (Ch/14/56a).

جدول ۱- تنوع فسیل‌های ادیاکارن یافت شده از سری کوشک در نواحی کوشک و چاه‌میر ایران مرکزی.

Specimen	Number	Length/major diameter (in mm)	Width/minor diameter (in mm)
<i>Chuarua</i> sp.	1	10	8
<i>Cloudina</i> sp.	37	5-30	1-5
<i>Corumbella weneri</i>	108	5-75	5-34
<i>Erniettomorph</i>	1	30	14
<i>Gibbavasis kushkii</i>	10	4-14	2-7
<i>Kimberella persii</i>	9	9-25	5-15
<i>Kuckaraukia multituberculata</i>	4	9-18	8-15
<i>Persimedesites chahgazensis</i>	41	5-38	5-25
<i>Rangeomorph</i>	1	21	9
<i>Tubular organism</i>	16	7-40	2-5



## ۷- نتیجه گیری

که توسط موجودات، درست قبل از انقراض ادیاکارن در حیطه فراوانی بیلاتریا (Bilateria) حاکم بوده است و به درک از اواخر دوره ادیاکارن، قبل از انقراض این دوره و ظهور فراوان و ناگهانی موجودات مختلط کامبرین کمک می کند. تنوع فسیل های ادیاکارن پایانی در سری کوشک، به مطالعات زیست-چینه ای وندین- کامبرین و ایجاد یک ارتباط زیست-جغرافیایی بین رخساره ها در ایران مرکزی و سایر نقاط کمک می کند.

## سپاسگزاری

از همکاری شرکت معادن بافق و هلدینگ توسعه معادن روی ایران، دانشگاه تورنتو میسیساگا و راهنمایی های ارزشمند آقایان دکتر بهالدین حمدی (پژوهشگر علوم زمین)، دکتر یعقوب لاسمی (سازمان زمین شناسی ایلینویز)، دکتر داود جهانی و دکتر نادر کهنسال قدیموند (دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال)، مهندس محمدمهدی زند، مهندس علی شریعتی و مهندس حسن امید (معدن کوشک) و مهندس زمانی (معدن چاه میر) تشکر و قدردانی می شود.

سری ادیاکارن کوشک از رخساره های کربناته و سیلیسی- آواری عمیق دریا تشکیل شده و حاوی انباشته های وسیعی از ریولیت های آتشفشانی، میکرودیوریت و توف است. شیل های آرژیلی سری کوشک در مناطق بافق (کوشک) و بهاباد (چاه میر و دردهو) که به محیط عمیق دریای باز تعلق دارند، حاوی یک مجموعه غنی از فسیل های ادیاکارن پایانی و در نوع خود منحصر به فرد هستند. وجود فسیل های کلاسیک پرکامبرین (*Chuarina*; Pl. 2a) و شاخص ادیاکارن پایانی (*Corumbella* و *Cloudina*; Pl. 1g-s) در این مجموعه معرف سن اواخر ادیاکارن (Nama Assemblage ~545-539 Ma) برای سری کوشک است که بر خلاف فسیل های ادیاکارن یافته شده در شیل های کم عمق (بخش شیل زیرین) سازند سلطانیه، در رخساره های شیلی عمیق دریا یافته شده اند که حکایت از تفاوت محیط زیست آنها با نمونه های شمال ایران دارد. فسیل های ادیاکارن یافته شده در سری کوشک گسترش جهانی دارند و در مقایسه با نمونه های شناخته شده از جنوب غرب آمریکا و چین یک ارتباط زیست-جغرافیایی را بین مرکز ایران و این مناطق نشان می دهند. فسیل های یافت شده تأکیدی بر یک اکوسیستم پروتروزییک پایانی دارند

## کتابنگاری

- حمدی، ب. و ژیانگ، ژ، ۱۳۷۱- فسیل های پالئوزوییک از سری های مراد و ریزو در ایران مرکزی. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال اول، شماره ۴، صص. ۲۶ تا ۳۵.
- حمدی، ب.، ۱۳۷۴- زمین شناسی ایران: سنگ های رسوبی پرکامبرین- کامبرین در ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۵۳ ص.
- لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- رخساره ها، محیط های رسوبی و چینه نگاری سکانسی نهشته سنگ های پرکامبرین بالایی و پالئوزوییک ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کتاب شماره ۷۸، ص ۱۸۰.

## References

- Arrouy, M. J., Warren, L. V., Quaglio, D. G. P., Guimaraes Simoes, M., Boselli-Rosa, M. and Gomes Peral, L. E., 2016- Ediacaran discs from South America: probable soft-bodied macrofossils unlock the paleogeography of the Clymene Ocean. *Scientific Reports* 6, 30590, doi: 10.1038/srep30590.
- Babcock, L. E., Grunow, A. W., Sadowski, G. R. and Leslie, S. A., 2015- *Corumbella*, an Ediacaran-grade organism from the Late Neoproterozoic of Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220: 7- 18.
- Boag, T. H., Darroch, S. A. F. and Laflamme, M., 2016- Ediacaran distributions in space and time: testing assemblage concepts of earliest macroscopic body fossils. *Paleobiology*, 42 (4): 574- 594.
- Clapham, M. C., Narbonne, G. M., Gehling, J. G., Greentree, C. and Anderson, M. M., 2004- *Thectardis Avalonensis*: A new Ediacaran fossil from the Mistaken point biota, Newfoundland. *Journal of Paleontology*, v. 76 (6), p. 1031- 1036.
- Dalziel, I. W. D., 1997- Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 109: 16- 42.
- Darroch, S. A. F., Boag, T. H., Racicot, R. A., Tweedt, S., Mason, S. J., Erwin, D. H. and Laflamme, M., 2016- A mixed Ediacaran-metazoan assemblage from the Zaris sub-basin, Namibia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 459: 198- 208.
- Darroch, S. A. F., Sperling, E. A., Boag, T. H., Racicot, R. A., Mason, S. J., Morgan, A. S., Tweedt, S., Myrow, P., Johnston, D. T., Erwin, D. H. and Laflamme, M., 2015- Biotic replacement and mass extinction of the Ediacara Biota. *The Royal Society Publication, Proceeding B*: 1- 10.
- Erwin, D. H., Laflamme, M., Tweedt, S. M. and Sperling, E. A., 2011- The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animal. *Science*, 334: p. 1091- 1097.
- Fedonkin, M. A. and Waggoner, B. M., 1997- The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature*, 388: 868- 871.
- Fedonkin, M. A., Gehling, J. G., Grey, K., Narbonne, G. M. and Vickers-Rich, P., 2008- The Rise of Animals: Evolution and Diversification of Kingdom Animalia. *John Hopkins Press, Baltimore*, p. 344.
- Fedonkin, M. A., Simonetta, A. and Ivantsov, A. Y., 2007- New Data on *Kimberella*, the Vendian Mollusc-Like organism (White Sea Region, Russia): Palaeoecological and Evolutionary Implications, in *The Rise and Fall of the Ediacaran Biota* (Geol. Soc. London Spec. Publ. Vol. 286), Ed. by P. Vickers Rich and P. Komarower (Geol. Soc. Publ. House, London, 2007), 157- 179.
- Glaessner, M. F., 1984- *The Dawn of Animal Life*. Cambridge University Press, 296 p.
- Grant, S. W. F., 1990- Shell structure and distribution of *Cloudina*, a potential index fossil for the terminal Proterozoic. *American Journal of Science* 290A: 261- 294.

- Grotzinger J. P., Bowring, S. A., Saylor, B. Z. and Kaufman, A. J., 1995- Biostratigraphic and geochronology constraints on early animal evolution. *Science*, 270: 598- 604.
- Hagadorn, J. W. and Waggoner, B., 2000- Ediacaran fossils from the Southwestern Great Basin, United States. *Journal of Paleontology*, 74 (2): 349- 359.
- Hahn, G. and Pflug, H. D., 1980- Ein neuer Medusen-Fund aus dem Jung-Präkambrium von Zentral-Iran. *Senckenbergiana lethaea*, 60(4/6): 449- 461.
- Hamdi, B., Brasier, M. D. and Zhiwen, J., 1989- Earliest skeletal fossils from Precambrian-Cambrian boundary strata, Elburz Mountains, Iran. *Geol. Mag.*, 126 (3): 283- 289.
- Huchriede, R., Kursten, M. and Venzlaff, H., 1962- Zur Geologie de Gebietes Zwischen Kerman und Sagand (Iran). *Geol. Jb., Beih.*, 51: 1-197, Abb. 1-50, Taf. 1- 10: Hannover.
- Jafari, S. M., Shemirani, A. and Hamdi, B., 2007- Microbiostratigraphy of the Late Ediacaran to Ordovician in NW Iran (Takab area). *Geological Society, London, Special Publications*, 286: 433- 437.
- Knoll, A. H., 1996- Daughter of time. *Paleobiology*, 22: 1-7.
- Knoll, A. H., 2000- Learning to tell Neoproterozoic time. *Precambrian Research*, 100: 3- 20.
- Laflamme, M., Darroch, S. A. F., Tweedt, S. M., Peterson, K. J. and Erwin, D. H., 2013- The end of the Ediacara biota: Extinction, biotic replacement, or Cheshire Cat? *Gondwana Research*, 23: 558- 573.
- Linnemann, U., Ovtcharova, M., Schaltegger, U., Gärtner, A., Hautmann, M., Geyer, G., Vickers-Rich, P., Rich, T., Plessen, B., Hofmann, M. and Zieger, J., 2019- New high-resolution age data from the Ediacaran–Cambrian boundary indicate rapid, ecologically driven onset of the Cambrian explosion. *Terra Nova*, 31(1): 49- 58.
- Narbonne, G. M., 1998- The Ediacara Biota: A Terminal Neoproterozoic Experiment in the Evolution of life. *GSA Today*, 8 (2): p. 1-6.
- Narbonne, G. M., 2004- Modular Construction of Early Ediacaran Complex Life Forms. *Science*, 305: 1141- 1144.
- Narbonne, G. M., 2005- The Ediacara biota: Neoproterozoic origin of animals and their ecosystems. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 33: 421- 442.
- Narbonne, G. M., Laflamme, M., Greentree, C. and Trusler, P., 2009- Reconstructing a lost world: Ediacaran rangeomorphs from Spaniard's Bay, Newfoundland, *Journal of Paleontology*, 83: 503- 523.
- Narbonne, G. M., Xiao, S., Shields, G. A. and Gehling, J. G., 2012- The Ediacaran Period. In Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark Schmitz and Gabi Ogg, *The Geologic Time Scale 2012- Published by Elsevier BV*. Chapter 18: 413- 435.
- Rajabi, A., Canet, C., Rastad, E. and Alfonso, P., 2014- Basin evolution and stratigraphic correlation of sedimentary-exhalative Zn–Pb deposits of the Early Cambrian Zarigan–Chahmir Basin, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 64: 328- 353.
- Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P. and Canet, C., 2012- Geology, ore facies and sulfur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam block, Central Iran. *Int. Geological Review*, 54 (14): 1635- 1648.
- Shen, Y., Zhang, T. and Hoffman, P. F., 2008- On the coevolution of Ediacaran oceans and animals. *PNAS*, 105 (21): 7376- 7381.
- Sperling, E. A., Peterson, K. J. and Laflamme, M., 2011- Rangeomorphs, Thectardis (Porifera?) and dissolved organic carbon in the Ediacaran oceans. *Geobiology*, doi: 10.1111/j.1472- 4669.2010.00259.x.
- Stöcklin, J., 1961- Lagoonal Formations and Salt domes in East Iran. *Iranian Petrol. Inst. Bull.*, 3: 29- 46.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran. A review.-*Bull Amer. Assoc. Petrol-Geol.*, 52: 1229- 1258, Tulsa.
- Stöcklin, J., 1972- Iran central, septentrional et oriental (en collaboration avec les géologues du Service Géologique de l' Iran). *Lexique Stratigr. Intern.*, 3 (fasc. 9b), Iran:1- 283, Paris.
- Stöcklin, J., 1986- The Vendian-Lower Cambrian Salt Basins of Iran, Oman, and Pakistan: Stratigraphy, Correlations, Paleogeography. *Sciences de la Terre, Memorie*, 47: 329- 345 Nancy.
- Stöcklin, J., Ruttner, A. and Navavi, M., 1964- New data on the Lower Paleozoic and Precambrian of North Iran. *Geological Survey of Iran, Report 1*, 13 p.
- Unrug, R., 1977- Rodinia to Gondwana: The Geodynamic Map of Gondwana Supercontinent Assembly. *GSA Today*, 7 (1): 1- 6.
- Vaziri, S. H. and Laflamme, M., 2018- Lithostratigraphy and sedimentary environment of the Precambrian Koushk Series of Central Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 55 (11), pp. 1284- 1296, <https://doi.org/10.1139/cjes-2017-0234>.
- Vaziri, S. H., Majidifard, M. R. and Laflamme, M., 2018- Diverse Assemblage of Ediacaran fossils from Central Iran. *Scientific Reports*, 8: 5060, doi: 10.1038/s41598-018-23442-y.
- Vickers-Rich, P., Solemani, S., Farjandi, F., Zand, M., Linnemann, U., Hofmann, M., Wilson, S. A., Cas, R. and Rich, T. H., 2017- A preliminary report on new Ediacaran fossils from Iran. *Alcheringa: An Australasian Journal of Paleontology*, doi: 10.1080/3115518.2017.1384061.
- Warren, L. V., Fairchild, T. R., Gaucher, C., Boggiani, P. C., Poiré, D. G., Anelli, L. E. and Inchausti, J. C. G., 2011- *Corumbella* and in situ *Cloudina* in association with thrombolites in the Ediacaran Itapucumi Group, Paraguay. *Terra Nova* 23: 38- 389. 17.
- Warren, L. V., Pacheco, M. L. A. F., Fairchild, T. R., Simões, M. G., Riccomini, C., Boggiani, P. C. and Caceres, A. A., 2012- The dawn of animal skeletogenesis: ultrastructural analysis of the Ediacaran metazoan *Corumbella wernerii*. *Geology* 40(8): 691- 694, doi: 10.1130/G33005.1.
- Xiao, S. and Laflamme, M., 2009- On the eve of animal radiation: Phylogeny ecology and evolution of the Ediacara biota. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 31- 40.



# New discovery on Ediacaran fossils from the Kushk Series in Bafq and Behabad regions of Central Iran

S. H. Vaziri<sup>1\*</sup>, M. R. Majidifard<sup>2</sup> and M. Laflamme<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Chemical and Physical Sciences, University of Toronto, Mississauga, Canada

Received: 2018 April 19

Accepted: 2018 July 23

## Abstract

The Precambrian Kushk Series in the Bafq and Behabad regions of Central Iran contains a diverse assemblage of latest Ediacaran fossils that showcase a fossil assemblage much more diverse than typically known from the latest Ediacaran systems worldwide. The Kushk Series reaches a thickness of >500 m and consists of carbonate (sandy dolomitic limestone and dolomite) and siliciclastic (shale, sandstone, and siltstone) facies with extensive accumulations of volcanic rhyolite, microdiorite, and tuff, which its argillaceous shales contain an assemblage of abundant Ediacaran fossils including *Kuckaraukia multituberculata*, *Persimedesites chahgazensis*, *Corumbella weneri*, *Cloudina* sp., *Chuarina* sp., *Kimberella persii*, *Gibbavasis kushkii*, *Erniettomorpha*, *Rangemomorpha* and numerous tubular organisms. The discovery of classic terminal-Ediacaran index fossils *Cloudina* and *Corumbella* in this assemblage confirms a latest Ediacaran age (Nama-Assemblage ~545-539 Ma) for these deposits. These taxa help expand our understanding of the latest Ediacaran prior to the Ediacaran extinction and the Cambrian explosion of complex animals.

**Keywords:** Precambrian, Kushk Series, Kushk, Chahmir, Iran

For Persian Version see pages 261 to 268

\*Corresponding author: S. H. Vaziri; E-mail: [h\\_vaziri@iau-tnb.ac.ir](mailto:h_vaziri@iau-tnb.ac.ir)