



وجودشواهد چینه‌ای یخبندان از اردوئیسین پسین (هیرناتین) در سلسله جبال زاگرس ایران

محمد فویدل سوئی، محمد حسین احسانی، دانشگاه تهران

لئوئید بوف، دپارتمان زمین‌شناسی موزه ملی ولز، کاردیف، انگلستان

آنا سویار، گوا، انستیتو تحقیقات زمین‌شناسی سن پترزبورگ، روسیه

مقصوده قبادی پور، دانشگاه گلستان

جی. جی. آوارو، مرکز زیست‌فضایی اردوز اسپانیا

چکیده

در سلسله جبال زاگرس دیامیکتیت‌ها یا کنگلومراهای یخچالی مربوط به عرض جغرافیایی بالا (سازند درگز) با زمان اردوئیسین پسین و شیل‌های سیاه کروژنی با زمان سیلورین پیشین (سازند سرچاهان) وجود دارند. این نهشته‌ها سازند درگز نامیده می‌شوند که دارای منشأ یخچالی بوده و شامل سه چرخه پیش‌رونده و پس‌رونده هستند. هر کدام از این چرخه‌ها معرف پیش‌روی و پس‌روی ناحیه‌ای ورقه‌های یخچالی در زمان اردوئیسین پسین (هیرناتین) می‌باشند. دره‌های یخچالی پر شده از ماسه‌سنگ‌های نازک لایه تا توده‌های ضخیم لایه (کمتر از ۴۰ متر) با سطح منقطع و بریده کوتاه هستند که در جهت جانبی مجموعه‌ای از چندین دگرشیبی فرسایشی بوده و در سطح زیرین خود به سازند سیاهو جوش خورده‌اند. بر اساس مطالعه پالینومرف‌ها و گراپتولیت‌ها، رسوبات دیامیکتیت (سازند درگز) دریایی بوده و دارای زمان هیرناتین می‌باشند. شیل‌های سیاه سازند سرچاهان دارای سنّ با دو زمان متفاوت بوده و در محدوده زمانی بیوزون‌های گراپتولیتی هیرناتین persculptus N. Biozone تا شروع شیل‌های سیلورین پیشین (آرونین) D.triangulatus Biozone قرار دارد. این غیرهم‌زمانی، ناشی از ته‌نشست آنها به صورت کلاهکی روی برجستگی قدیمی در ناحیه مورد مطالعه است که در اعماق مختلف دره‌هایی با منشأ رسوبات متفاوت به خوبی دیده می‌شود. اطلاعات موجود وجود کلاهک‌های یخچالی را در مجاور حاشیه‌های عربی زاگرس نشان می‌دهد و با استفاده از این رسوبات می‌توان خلاء گسترش جانبی ورقه‌های یخ را در اردوئیسین پسین (هیرناتین) پر کرد.

واژگان کلیدی: دیامیکتیت، شیل‌های سیاه‌رنگ، دگرشیبی، ورق عربی، گندوانا

مقدمه

و همکاران (۲۰۰۸) و مناطق مجاور آن مانند عمان (هیوز و کلارک ۱۹۸۸)، اردن (آرمسترانگ و همکاران ۲۰۰۵)، ترنر و همکاران ۲۰۰۵ و آرمسترانگ و همکاران (۲۰۰۹) و ترکیه (مونود و همکاران ۲۰۰۳ و قینیه و همکاران ۲۰۱۰) گزارش شده ولی گسترش ورقه‌های یخ مربوط به اردوئیسین پسین (هیرناتین) در حاشیه عربی گندوانا مدت‌ها

اگرچه رسوبات یخچالی مربوط به اردوئیسین پسین از عربستان سعودی (مک کلور ۱۹۷۸ و ۱۹۸۸، وصله ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰، مک گیلوری و حسینی ۱۹۹۲، سنالپ و ال-لبون ۲۰۰۰، سنالپ و همکاران ۲۰۰۲، ملوین و همکاران ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴، کلارک-لوس ۲۰۰۵ و مسکاریلو

* نویسنده‌دار عهده‌دار مکاتبات

دوران اول زمین‌شناسی این مناطق را تشکیل می‌دهد (لونینگ و همکاران ۲۰۰۵، لی هرون و همکاران ۲۰۰۹). این رسوبات سیاه‌رنگ در زمان سیلورین پیشین (رودانین-تلیچین) و سیلورین میانی (ونلاکین) ته‌نشین شده‌اند و به شیل‌های غنی از مواد آلی (TOC) موسومند. این شیل‌ها دارای مواد رادیواکتیو زیادی هستند و از این رو اشعه گامای قابل توجهی از خود ساطع می‌کنند که روی نمودارهای الکتریکی در چاه‌ها به خوبی قابل مشاهده هستند (لونینگ و همکاران ۲۰۰۵). دره‌های یخچالی تونل‌مانند اردو سین پسن (هیرناتین) در عربستان ۴۰۰ متر عمق و ۸۰ کیلومتر عرض دارند و مخازن هیدروکربنی با اهمیتی را تشکیل می‌دهند که به وسیله سنگ‌های غنی از مواد آلی یا شیل‌های گراپتولیت‌دار سیلورین پوشانده شده‌اند.

هدف این مقاله ارائه سه عنوان زیر است:

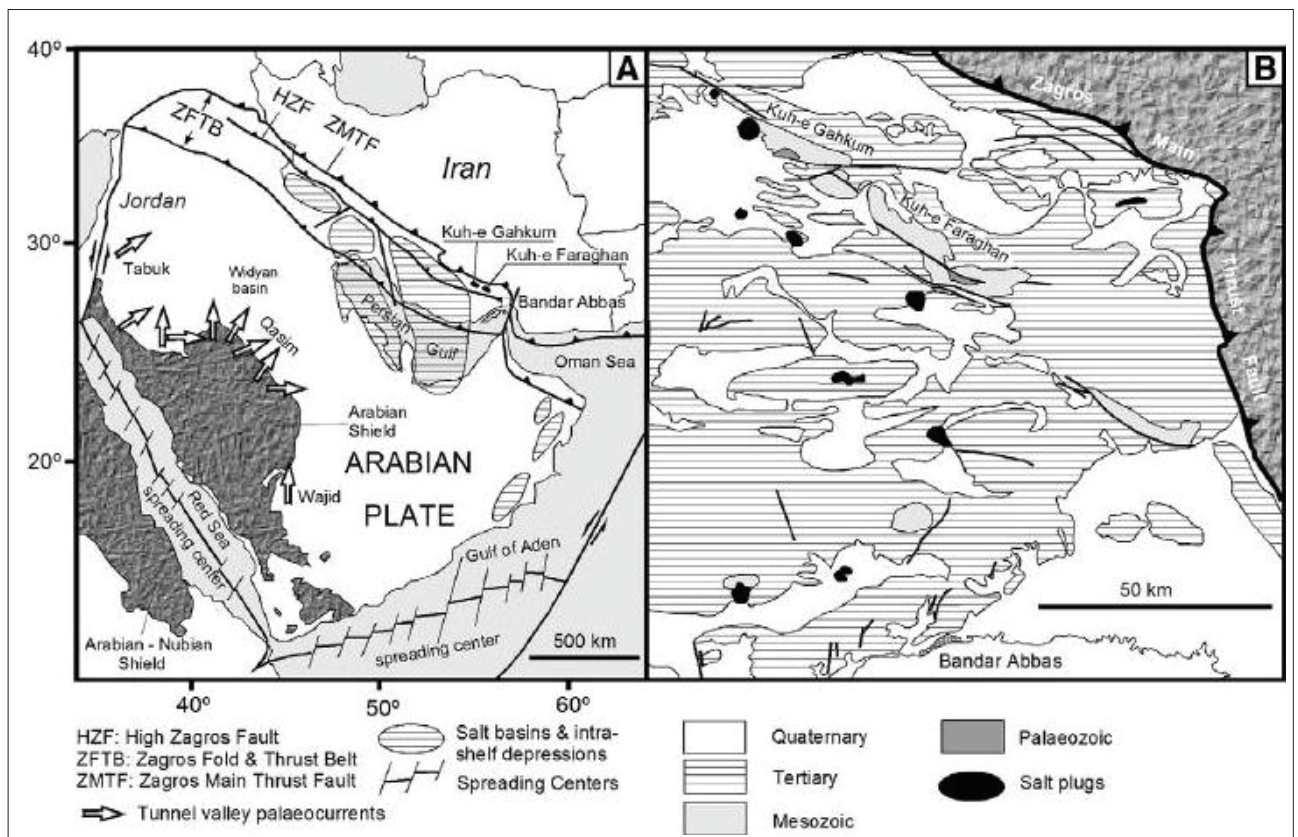
(الف) بررسی رسوبات بیرون‌زده مربوط به اردو سین پسن (هیرناتین) در سلسله جبال زاگرس و تهیه چارچوبی در گذر از اردو سین به سیلورین.

(ب) تطابق چینه‌شناسی ناحیه مورد مطالعه با توالی شناخته‌شده هم‌زمان آن در عربستان سعودی و اردن.

(ج) معرفی رسوبات یخچالی و توزیع ورقه‌های یخ در حاشیه عربی

مورد بحث بوده است. دره‌های یخچالی اردو سین پسن (هیرناتین) به صورت شبکه‌ای متقاطع بین نواحی نزدیک به مرکز یخبندان مانند الجزایر، عربستان، اردن، لیبی و موریتانی (قینه ۲۰۰۲، لی هرون و همکاران ۲۰۰۴، قینه و همکاران ۲۰۰۷ و آرمسترانگ و همکاران ۲۰۰۹) و نواحی حاشیه یخچالی از قبیل مراکش و ترکیه (مونودو همکاران ۲۰۰۳، لی هرون و همکاران ۲۰۰۷) وجود دارد. لی هرون و داود زولز در سال ۲۰۰۹ درباره چندین ورقه یخ مجزا که در سرتاسر گندوانای شمالی گسترش داشته بحث کرده‌اند اما درباره ورقه‌های یخ پیوسته‌ای که میان آفریقای شمالی-عربستان، آفریقای جنوبی و آمریکای جنوبی قرار گرفته‌اند بحثی نکرده‌اند. هم‌چنین از وجود تعدادی از کلاهک‌های یخ پراکنده که روی نواحی مرتفع حاشیه گندوانای شمالی وجود داشته گزارشی در دست نیست (به‌عنوان مثال لی هرون و همکاران ۲۰۰۷، آلوارو و وان‌ویلت ۲۰۰۹ و گوتیز-مارکو و همکاران ۲۰۱۰). بدین لحاظ از وجود رسوبات یخچالی در کمربند رورانده زاگرس چین‌خورده واقع در حاشیه عربی گندوانا خبری نبوده است.

شیل‌های سیاه سیلورین پیشین (سازند سرچاهان) کوه فراقون در سراسر آفریقای شمالی، شبه‌جزیره عربستان و خلیج فارس وجود دارد که از نظر مواد آلی بسیار غنی بوده و منشاء ۹۰ درصد از هیدروکربورهای



شکل ۱ | (A) ویژگی‌های مهم تکتونیکی صفحه عربی و نواحی مجاور آن (مبوری، ۲۰۰۸)، تونل‌های قدیمی دره‌ای (وصله ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰، کلارک-لونیس ۲۰۰۵، ملوین و همکاران ۲۰۰۳ و موسکاریلو و همکاران ۲۰۰۸) (B) نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه در گوشه جنوب‌شرقی کمربند گسل تراست زاگرس چین‌خورده، شمال بندرعباس (آقایی و سالک ۱۹۷۷)



قاره گندوانا.

به بالا سه بخش قابل تشخیص است: نخست؛ واحد کنگلومرای پایینی به ضخامت ۲۰ متر که شامل کنگلومرا با قطعاتی از منشاء مختلف و لایه‌های شیلی متناوب است. دوم؛ بخش ماسه‌سنگی میانی با ضخامت ۴۶۰ متر که تناوبی از لایه‌های شیل و ماسه‌سنگ همراه با سیلستون‌های سفیخته و لایه‌های کربناته فسیل دار است. این ناحیه غنی از صدف‌های متنوع جانوری از جمله تریلوبیت‌ها، برایوزوآها، دوکفه‌ای‌ها، نرم‌تنان و کندونت‌هاست. سوم؛ بخش بالایی که ۲۹۰ متر ضخامت دارد و از ماسه‌سنگ و شیل‌های سیاه و نازک‌لایه تشکیل شده و سرشار از ایکنوفسیل است. سازند سیاهو شامل سن اردوئین پیشین (فلوئین) و اردوئین پسین (کتین) است که بر مبنای ظهور کندونت *Baltoniodus triangularis* در پایین و گونه‌های تریلوبیت *Svobodaina* و *Dalmanitina cf. acuta* و دو کفه‌ای *Neseuretina tursis* و *Havliceki* در بخش میانی می‌باشد. علاوه بر فسیل‌های جانوری در این بخش لایه‌های شیل سازند سیاهو دارای گونه‌های کیتینوزا و آکرتیاریش فراوان و خوب حفظ‌شده بوده و توالی زیست‌چینه‌ای خوبی ارائه می‌دهد که از بیوزون *Eremochitina brevis* در قاعده با سن اردوئین پسین (فلوئین) آغاز و تا بیوزون *Ancyrochitina merga* در انتها با سن اردوئین پسین (کتین) ادامه دارد (قویدل-سیوکی ۲۰۰۰ و مقاله حاضر).

۲-۱- سازند درگز

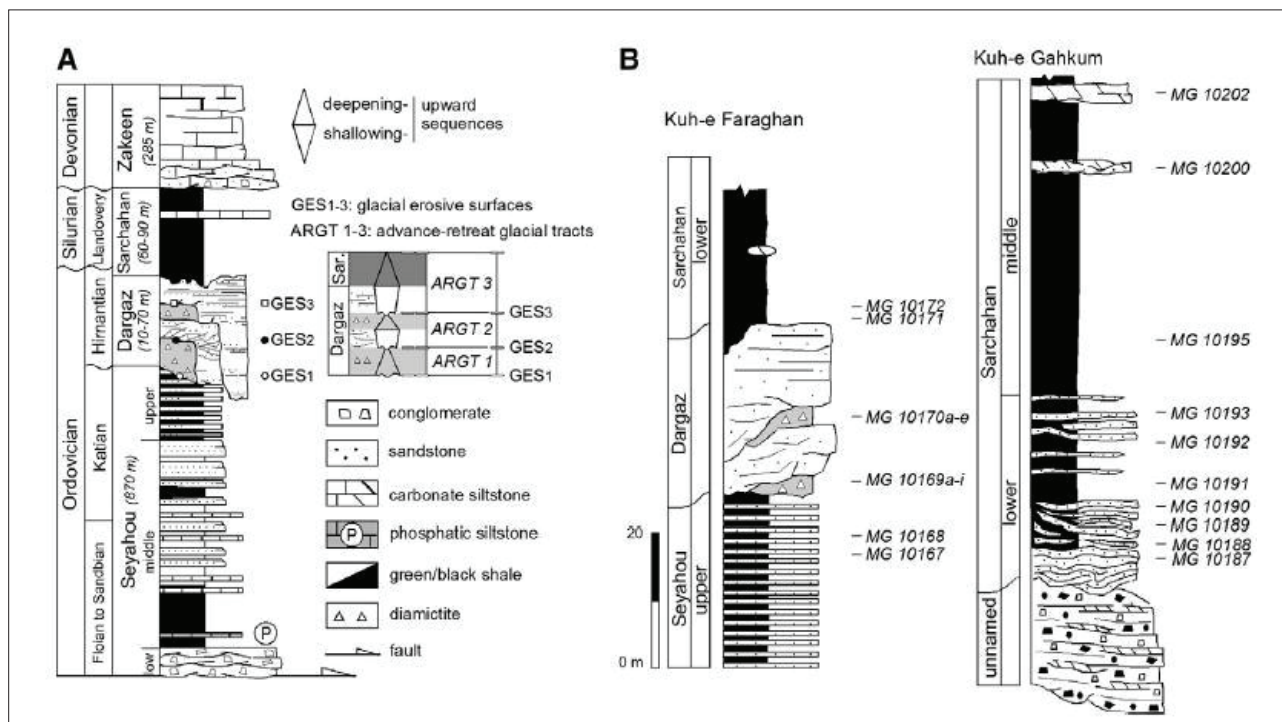
این سازند در استراتوتایپ خود در کوه فراقون ضخامت

۱- وضعیت زمین‌شناسی و سنگ‌چینه‌ای ناحیه مورد مطالعه

سلسله جبال زاگرس یک کمربند روئانده چین‌خورده است که در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی قرار دارد. این منطقه در شمال شرق به وسیله گسل تراست اصلی زاگرس (ZMTF در شکل ۱-۱)، در شمال غرب توسط ناحیه گسلی دریای مرده (DSFZ)، در جنوب غرب به وسیله حاشیه کافت دریای سرخ (RSRM) و در جنوب شرق توسط حاشیه غیرفعال اقیانوس هند (IOPM) محدود می‌شود (علوی ۲۰۰۴، سپهر و کاسگرو ۲۰۰۴ و شرکتی و همکاران ۲۰۰۶). رسوبات اردوئین و سیلورین در سلسله جبال زاگرس فقط در دو ناحیه در شمال بندرعباس (شکل ۱-۲) با نام‌های کوه فراقون و کوه گهکم (ولفارت ۱۹۸۱، داوودزاده و همکاران ۱۹۸۶ و مشری ۲۰۰۵) بیرون زدگی دارد که استراتوتایپ‌های مربوط به سازندهای سیاهو، درگز، سرچاهان و زاگرس در آنها قرار دارد (شکل ۲).

۱-۱- سازند سیاهو

این واحد سنگ‌چینه‌ای که در سال ۱۹۹۵ توسط قویدل-سیوکی و خسروی معرفی شده در استراتوتایپ کوه فراقون ۸۷۰ متر ضخامت دارد که شامل شیل‌های سیاه و سبزرنگ با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ نازک‌لایه، کنگلومرا و سیلستون‌های کربناته می‌باشد (شکل ۲). سطح تماس این سازند در قاعده گسله بوده و سطح فوقانی آن با یک دگرشیبی فرسایشی مشخص می‌شود. در سازند سیاهو از پائین



۲ الف) واحدهای سنگ‌چینه‌ای پالئوزوئیک پیشین در کوه فراقون و هم‌برری سازند درگز (هیرنانتین) با سازندهای سیاهو و سرچاهان در سلسله جبال زاگرس (ب) ستون‌های چینه‌ای حد واسط اردوئین پسین (هیرنانتین) و سیلورین پیشین در کوه فراقون و کوه گهکم همراه با محل نمونه‌های دارای افق‌های فسیل‌دار که در این مقاله گزارش شده‌اند.

گردید. گراپتولیت‌ها در حد گونه و جنس در موزه علمی-تحقیقاتی زمین‌شناسی چرنیشف اف.ان. سن پترزبورگ روسیه شناسائی شد و این نمونه با علامت اختصاری CNIGR در آن موزه بایگانی شد. پالینومرف‌ها نیز در انستیتوی مهندسی نفت دانشگاه تهران با شماره‌های MG-10001 و MG-10212 مطالعه و نگهداری می‌شود.

۱-۲- کیتینوزواها

کیتینوزواها در رسوبات مرز اردوین-سیلورین، در کوه‌های زاگرس برای اولین بار توسط قویدل-سیوکی (۲۰۰۰) و قویدل-سیوکی و وینچستر-ستو (۲۰۰۴) مطالعه شدند. این مطالعات وجود گونه شاخص کیتینوزوا (الف) بیوزون‌های *Ancyrochitina merga* و *Armoricochitinanigerica* را که مربوط به کیتین است در بخش فوقانی سازند سیاهو (ب) بیوزون *Spinachitina fragilis* که معرف انتهای هیرنانتین تا ابتدای رودانین در قسمت پایینی سازند سرچاهان کوه فراقون است تأیید کرد. اجتماع کیتینوزواهای مذکور انتساب ناحیه مورد مطالعه را به گندوانای شمالی، به ویژه مغرب (آفریقای شمالی) و عربستان سعودی محرز ساخت (برای جزئیات بیشتر به پاریس ۱۹۹۰، پاریس و همکاران ۲۰۰۰ الف، ۲۰۰۰ ب، وی و همکاران ۲۰۰۴ رجوع شود).

نمونه‌برداری جدید مشخص کرد که با وجود گرشیبی‌های فرسایشی، توالی کاملی از بیوزون‌های کیتینوزوا مربوط به اردوین-سیلورین در کوه فراقون وجود دارد. حفظ‌شدگی کیتینوزواها در لایه‌های رسوبی معمولاً ضعیف است و بخش نسبتاً مهمی از پالینومرف‌ها را شامل می‌شود. با وجود این برخی از اق‌ها دارای اجتماع کیتینوزوا هیرنانتین پیشین هستند که معرف قاره گندوانا با عرض جغرافیایی بالایی است. این بیوزون‌ها شامل *Armoricochitina nigerica*, *Spinachitina oulebsiri*, *Belonechitina pseudarabiensis* و *Tanuchitina cf. elongate* همراه با گونه‌های *Calpichitinalenticularis* (Plate-I) و *Desmochitina minor* (جدول-۱) می‌باشد.

با ظهور این گونه بیوزون *Tanuchitina elongata* و تعدادی گونه دیگر، در افق MG10169c تقریباً سه متر بالاتر از قاعده دیامیکتیت پایین سازند درگز (Plate-I) و جدول-۱) قرار دارند. اجتماع همراه آن شامل *Armoricochitina nigerica*, *Calpichitinalenticularis*, *Euconochitina sp* و *Lagenochitina baltica* می‌باشند که همگی آنها از مرز سازندهای سیاهو/درگز عبور می‌کنند. *Desmochitina minor* فقط در یک نمونه (افق MG10169c) در قسمت میانی سازند درگز وجود دارد. دیامیکتیت بالایی درگز (افق MG10170a, MG10170c) اجتماع الیگوتاکسیکی را دربر می‌گیرد که شامل *Tanuchitina cf. elongate*, *Armoricochitinanigerica*, *Belonechitina pseudarabiensis* و *Calpichitinalenticularis* می‌باشد.

اولین ظهور (FAD) ناحیه *Spinachitina oulebsiri* در توالی رسوبی مورد مطالعه، در بخش بالایی دیامیکتیت سازند درگز (افق MG10170d) همراه با *Belonechitina pseudarabiensis* و *Cyathochitina caputoi* (جدول-۱) مشخص می‌شود. *B. pseudarabiensis* اساساً از سازند مدوارا مربوط به سیلورین

۷-۱۰ متری داشته و شامل ماسه‌سنگ‌های سفید و دیامیکتیت‌های بدون ساختار رسوبی مشخص می‌باشد و دو توالی ماسه‌سنگی سفید/دیامیکتیتی را تشکیل داده است (شکل-۲). هر دو سطح پایینی و بالایی سازند درگز دارای دگرشیبی فرسایشی است. این سازند اگرچه دارای گسترش محدودی است اما روی زمین و نقشه در گوشه جنوب شرقی کوه فراقون به خوبی قابل تشخیص می‌باشد (شکل-۷ الف). سن سازند درگز اردوین-سیلورین (هیرنانتین) است که در بخش‌های بعدی به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۱-۳- سازند سرچاهان

این سازند که در سال ۱۹۹۵ توسط قویدل-سیوکی معرفی شد دارای ضخامت ۵۶-۹۰ متر در کوه فراقون و ۱۷۰-۱۰۲ متر در استراتوتایپ خود در کوه گهگم است. این سازند شامل توالی شیل‌های سیاه تا خاکستری‌رنگ در کوه فراقون و لایه‌های کنگلومرای و شیل‌های نازک لایه، ماسه‌سنگ، دولومیت و کنگلومرای کربناته با قله‌هایی در اندازه سانتی‌متر تا یک متر در کوه گهگم می‌باشد (شکل-۲). سطح پایینی و بالایی سازند سرچاهان در نواحی مورد مطالعه دارای دگرشیبی فرسایشی بوده و سن آن سیلورین پیشین است.

سازند سرچاهان با وجود گراپتولیت‌ها (بری و بوکات ۱۹۷۲، ولفارت ۱۹۸۱، الشرحان و نارین ۱۹۷۷ و ریکارد و همکاران ۲۰۰۰)، آکریتارشاها و کیتینوزواها (قویدل-سیوکی و خسروی ۱۹۹۵، قویدل-سیوکی ۲۰۰۰ و قویدل-سیوکی و وینچستر-ستو ۲۰۰۴) مشخص شده است. در کوه گهگم بیش از ۱۰۰ متر از شیل‌های سیاه سیلورین وجود دارد که کربن آلی (TOC) آن بین ۳/۴-۱ درصد متغیر است. این مقدار کربن آلی دارای ارزش سنگ مادر (سنگ منشاء) است اما درجه پختگی آن زیاد می‌باشد و حتی می‌توان گفت که به مرحله گرافیتی رسیده است. مقادیر کربن آلی (۳۰/۸ درصد) این سازند قابل مقایسه با مقادیر کربن آلی شیل‌های سیلورین نواحی مجاور خلیج فارس از جمله عمان و عربستان سعودی است. نقشه‌های بازسازی شده هم‌ضخامت نشان می‌دهد که شیل‌های سیلورین کوه گهگم قبل از مرحله اصلی کوه‌زایی زاگرس طی دوره پلیوسن دست کم در عمق ۶ کیلومتری مدفون بوده است (بردانوف و بروود ۱۹۹۰ و جونز و استامپ ۱۹۹۹). طبق مطالعات ژئوشیمیائی این سازند، عقیده بر آنست که سازند سرچاهان در ایجاد ذخایر عظیم گاز در سازندهای دالان و کنگان (نام قبلی سازند دالان خوف است) و لایه‌های زیرین آن در ایران، قطر و ابوظبی نقش اساسی داشته است (بردانوف و بروود ۱۹۹۰، محمود و همکاران ۱۹۹۲ و بردانوف ۲۰۰۸). علاوه بر این تصور می‌شود که ذخایر گازی میدان سورو (چند کیلومتری غرب بندرعباس) و سلخ (جزیره قشم) احتمالاً از شیل‌های سیلورین پیشین (سازند سرچاهان) منشاء گرفته باشند (علا و همکاران ۱۹۸۰).

۲- کنترل زیست‌چینه‌ای

از دیامیکتیت‌های سازند درگز و شیل‌های سیاه سازند سرچاهان هم‌به‌منظور بررسی پالینومرف‌ها (کیتینوزواها و آکریتارشاها) و هم گراپتولیت‌ها نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها از نظر فسیل‌شناسی مطالعه

آکریتارش شناخته شده از سازند درگز دارای انتشار چینه‌شناسی از کیتین تا هیرنانتین هستند و فقط گونه‌های *Veryhachium triangulatum* (Konzalova-Mazancova), *Dactylofusa ctenista* (Loeblich and Tappan) و *Petaloferidium stigii* (Jacobson) به هیرنانتین از توالی چینه‌ای اردویسین پسین شمال گندوانای محدود می‌شود (وکولی و لی‌هریسی ۲۰۰۴؛ شکل ۴). به علاوه گونه آکریتارش *Crassianguilina tessellata*، از سیلورین میانی-دونین گزارش شده است (جوردن و همکاران ۱۹۷۲). اما در اینجا برای اولین بار از رسوبات اردویسین (هیرنانتین) گزارش می‌شود. گونه آکریتارش *Neoverhachium carminae* نیز مربوط به سیلورین میانی است (اگرچه برخی از افراد از جمله مولینکس ۱۹۸۸ و وکولی ۱۹۹۹ آنرا از اردویسین پسین آفریقای شمالی دانسته‌اند). این گونه، در دیامیکتیت‌های سازند درگز مربوط به اردویسین پسین (هیرنانتین) کوه فراقون مشاهده شده که به آفریقای شمالی شباهت دارد. فیتوبلانکتون‌های مربوط به دیامیکتیت‌های سازند درگز دارای گونه‌های آکریتارش فراوان از قبیل *Dorsennidium*، *Dactylofusa spinata*، *Villosacapsula irrorata*، *Multiplicisphaeridium spp.*، *hamii* و *Villosacapsula setosapellicula* می‌باشد که این اجتماع تحت بیوزون TAS3 نیز از اردویسین پسین کوه‌های تاروس ترکیه (پاریس و همکاران ۲۰۰۷) گزارش شده است. در سال‌های اخیر مشابه این بیوزون آکریتارشی از اردویسین پسین (هیرنانتین) ایران، در بیوزون *Tanuchitina elongate* بخش فوقانی شیبست‌های گرگان در ناحیه رادکان، جنوب شهر کردکوی در شمال شرق سلسله جبال البرز مشاهده شده است (قویدل-سیوکی ۲۰۰۸).

۳- گراپتولیت‌ها

۳-۱- کوه فراقون

وجود گراپتولیت‌های اردویسین پسین (هیرنانتین) در قاعده سازند سرچاهان کوه فراقون ابتدا توسط ریکارد و همکارانش (۲۰۰۰) گزارش داده شد (اگرچه محل چینه‌ای نمونه‌ها به وضوح شرح داده نشده است). در این پروژه نمونه‌های مورد مطالعه از دو افق (نمونه‌های MG-10171 و MG-10172) که روی ضلع غربی تنگ پاشقو در ضخامت ۲۰-۴۰ سانتی متری از قاعده سازند سرچاهان (به ترتیب از فواصل ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری؛ شکل ۲) قرار دارد تهیه شد. این اجتماع گراپتولیت از تنوع متوسطی برخوردار است و شامل گونه‌های *(N. parvulus)*، *(Lapworth)*، *(Legrand)*، *(Normalograptus ajjeri)*، *(Tornquist)*، *(N. persculptus)*، *(Elles & Wood)*، *(medius)*، *(Churkin & Carter)*، *(lungmaensis G.?)*، *(Sun)*، *(Churkin & Carter)*، *(N. rhizinus)*، *(wangjiawanensis)*، *(Mu & Li)*، *(Glyptograptus lanpherei)*، *(Li & Yang)*، *(N. ex gr. normalis)*، *(Lapworth)* و *(N. ex gr. normalis)* (Li & Yang) می‌باشد.

این اجتماع گراپتولیت از کوه فراقون، مشابه مجموعه گراپتولیتی است که از قسمت میانی و فوقانی زونگراپتولیت *Normalograptus persculptus* زمان اردویسین پسین (هیرنانتین)، یانگ تسه جنوب چین (زو و همکاران ۲۰۰۵) گزارش شده است. با وجود این باید گفت که

پیشین واقع در اردن توصیف شده است که به نواحی گراپتولیتی *ascensus-acuminatus* محدود می‌شود (بوچر ۲۰۰۹). اطلاعات حاصل از کوه فراقون نشان می‌دهد که این گونه، محدوده چینه‌شناسی گسترده‌تری دارد و سن آن از هیرنانتین تا رودانین تغییر می‌کند. یکی دیگر از گونه‌های همراه آن، گونه *C. caputoi* است که دارای کاربنای ضخیم و کوتاه و مشخص است (برای اطلاعات بیشتر به گراهن ۲۰۰۶ و بوچر ۲۰۰۹ مراجعه شود).

بوچر (۲۰۰۹) پیشنهاد داد که گونه *Spinachitina oulebsiri* مترادف یا هم‌نام با گونه *Spinachitina fragilis* (نستور ۱۹۸۰) است. سپس در سال ۲۰۰۹ بروکه و همکاران پیشنهاد کردند که رسوبات مرز اردویسین-سیلورین می‌تواند چندین گونه مربوط به جنس *Spinachitina* داشته باشد که از لحاظ شکل مشابه باشند. گونه *S. fragilis* یکی از این گونه‌هاست که به سیلورین پیشین (رودانین) محدود می‌شود. شک بسیار اندکی وجود دارد که تاکسونومی گونه‌های جنس *Spinachitina* در گذر از اردویسین-سیلورین به بررسی دوباره نیاز داشته باشد (وندروکه و همکاران ۲۰۰۹ و وکولی و لایبری ۲۰۱۰). بازنگری گونه *S. Fragilis* توسط بوچر (۲۰۰۹) در متن شکل ۵- مبنی بر مطالب توپوتایپ آن از شمال استونی استوار است که می‌توان آنرا به عنوان گام مهمی در این جهت در نظر گرفت. اما تا زمانی که تاکسونومی *Spinachitina fragilis* و گونه‌های مرتبط با آن روشن نشود گونه *S. oulebsiri* را به عنوان گونه مستقل در نظر می‌گیریم. در این مطالعه گونه *Spinachitina fragilis* در قاعده سازند سرچاهان ظاهر می‌شود و تا بخش بالای بیوزون گراپتولیتی *Normalograptus persculptus* که معرف اردویسین پسین (هیرنانتین) می‌باشد ادامه می‌یابد (قویدل-سیوکی و وینچستر-سیتو ۲۰۰۴). بنابراین اطلاعات حاصل از مقطع چینه‌شناسی کوه فراقون نشان می‌دهد که اولین ظهور گونه *S. Fragilis* در لایه‌های رسوبی هیرنانتین پسین است.

۲-۲- آکریتارش‌ها

تمام نمونه‌های سازند درگز دارای گونه‌های مختلف آکریتارش و کریپتوسپور است که به خوبی حفظ شده و از فراوانی کافی برخوردارند و رنگ آنها از زرد تا نارنجی تغییر می‌یابد (شکل ۴). هم‌چنین تعداد کمی از جنس‌ها و گونه‌های آکریتارش به صورت نابرجا^۱ در سازند درگز وجود دارد که شامل *Coryphidium sp.* و *Aureotesta sp.* و *Striatotheca sp.* بوده و غالباً در دیامیکتیت بخش زیرین سازند درگز وجود دارند (شکل ۴- و جدول ۱). این جنس‌ها و گونه‌های آکریتارش نابرجا به احتمال زیاد از لایه‌های رسوبی خاکستری تا قهوه‌ای و سیاه‌رنگ زیر سازند سیاهو (سازند زردکوه) مشتق شده‌اند.

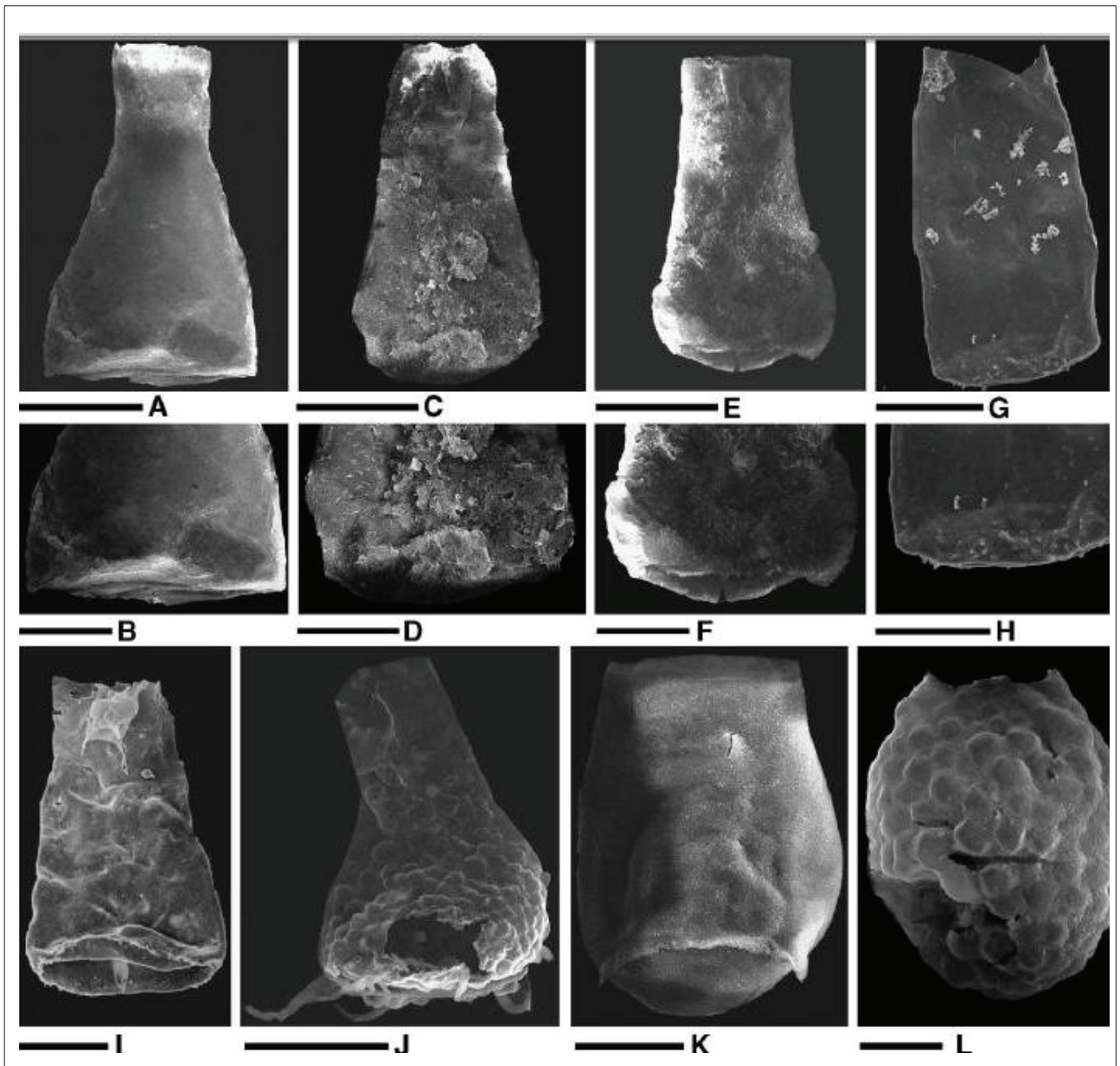
تا کنون دیدگاه مشترکی در مورد کاربرد بایو استراگرافی آکریتارش‌های اردویسین پسین (هیرنانتین) ارائه نشده است. در این خصوص وکولی (۲۰۰۸) و وکولی و دالبری (۲۰۱۰) عنوان کرده‌اند تا زمانی که اجتماعات آکریتارشی به‌طور کامل شرح داده نشود، نمی‌توان بین اجتماع آکریتارش‌های اردویسین پسین (هیرنانتین) نواحی مختلف مقایسه و انطباق انجام داد. اغلب گونه‌های

مبنی بر داده‌هایی است که توسط ریکاردز و همکاران (۲۰۰۰) منتشر شده است. او مجموعه گراپتولیتی با تنوع متوسط را از قاعده سازند سرچاهان گزارش کرده است که شامل بیوزون‌های گراپتولیتی *Lituigraptus convolutes* و *Stimulograptus sedgwickii* است که این دو بیوزون مشخص کننده سیلورین پیشین (آرونین پسین) می‌باشند. مطالعه مان‌شان می‌دهد که پایین‌ترین بخش سازند سرچاهان در کوه گهکم (افق‌های MG-10187a و MG-10188a) دارای بیوزون گراپتولیتی *tri-angulatus* Demirastrites است که معرف سیلورین پیشین (آرونین

این بیوزون گراپتولیتی در ایران با وفور زیاد گونه *N. ajjeri* و کم‌بودن گونه *N. persculptus* مشخص می‌شود که این ویژگی، مجموعه گراپتولیتی قاعده سازند سرچاهان در کوه فراقون را با جنوب چین و مشابه شمال آفریقا (لگران ۲۰۰۱) و بخش‌های کندوانیک حاشیه عربی (لویدل ۲۰۰۷) متفاوت می‌سازد.

۲-۳- کوه گهکم

دانش کنونی ما از گراپتولیت‌های سیلورین در کوه گهکم اساساً



شکل ۳ | کیتینوزوهای شاخص بخش بالایی سازند سیاهو و دیامیکتیت سازند درگز A-B (*Cyathochitina caputoi* (اواخر هیرناتین) از دیامیکتیت بالایی سازند درگز. C-F (*Belonechitina pseudarabiensis*) (اواخر هیرناتین) از دیامیکتیت بخش بالایی سازند درگز. G-I (*Spinochitina oulebsiri*) (اواخر هیرناتین) از دیامیکتیت بالایی سازند درگز. J (*Ancyrochitina merga*) (کیتین پایانی) از بخش بالایی سازند سیاهو. K (*Armoricochitina nigerica*) (ساندین-کیتین پسین) از چینه‌های سیاهو و لایه‌های زیرین آن. L (*Desmochitina minor*) (فلوین-هیرناتین) از دیامیکتیت بخش پایینی درگز.



پیشین) می باشد که قبلاً از کوه گهگم گزارش نشده است. از این رو سَن قاعده سازند سرچاهان در کوه گهگم به طور قابل ملاحظه ای جوان تر از کوه فراقون است. زیرا در کوه فراقون قاعده سازند سرچاهان اردویسین پسین (هیرنانتین) است؛ در حالی که پایین ترین افق (MG-10187a) سازند سرچاهان در کوه گهگم دارای گونه های گراپتولیت از قبیل tamariscus-(Nicholson) Harkness (emirastrites ex gr. triangulates) Glyptograptus ex gr. Pribylograptus? sp. و (شکل ۶- C-D-K) است. افق گراپتولیت دار دوم (MG-10188a) در کوه گهگم دارای گونه های Demirastrites cf. triangulatus triangulatus Demirastrites (Harkness) Neodiplograptus cf. Glyptograptus ex gr. Tamariscus praedecipiens (شکل ۶- A-B-E-L-M-O) و Neolagarograptus sp. می باشد. گراپتولیت های اواخر آرونین، بیوزون Lituigraptus convolutus است که در افق (MG-10192) وجود دارد. علاوه بر این گونه شاخص در این بیوزون، گونه های دیگری از گراپتولیت از قبیل Pristiograptus phleoides Rastrites Normalograptus sp., Pribylograptus praecursor Petalolithus regularis Pseudoretiolites cf. perla- و (شکل ۶- N-T-U-X-Z) tus ex gr. argutus نیز وجود دارد.

بیوزون گراپتولیتی Stimulograptus sedgwickii در دو افق (MG-10193 و MG-10195) وجود دارد. اولین افق نمونه (MG-10193) است که اجتماعی تک گونه ای تشکیل می دهد که با وفور گونه Neolagarograptus tenuis مشخص می شود. گونه cf. variabilis Pristiograptus در این بیوزن فراوانی زیادی دارد (شکل ۶- P-S-V). اجتماع گراپتولیت افق MG-10195 با تنوع کم مشخص می شود و دارای گونه گراپتولیت Stimulograptus

۴- مجموعه های رخساره و دگرشیبی های فرسایشی

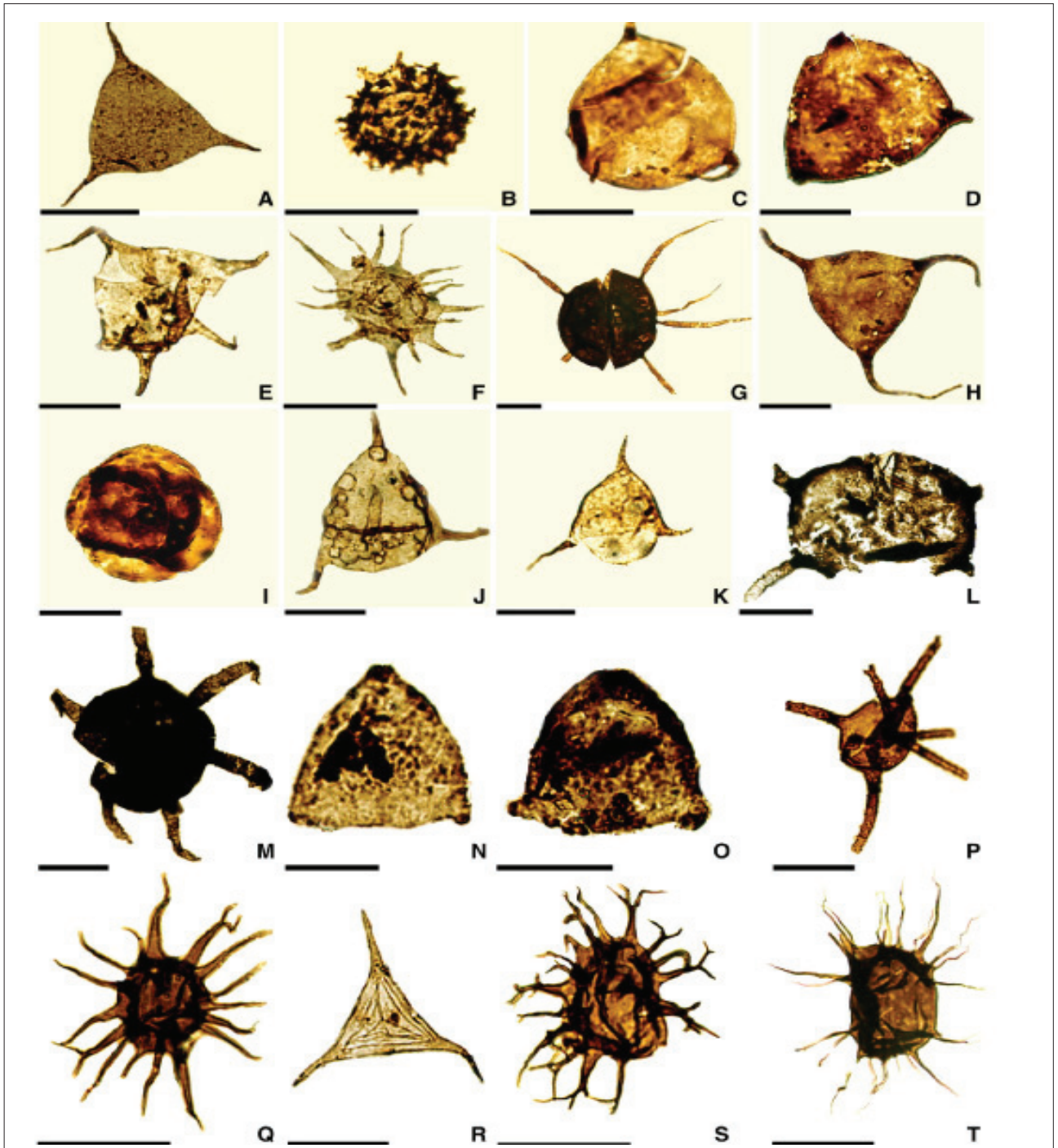
۴-۱- دیامیکتیت های سازند درگز

دیامیکتیت های زیرین و فوقانی سازند درگز از حالت توده ای تا لایه های مسطح ناهموار تغییر می کند و بیش از ۶ متر ضخامت دارد. این بخش های دیامیکتیتی از گرانول، قلوه سنگ و قطعات نسبتاً بزرگ (عمدتاً سنگ های کوارتزیتی مجزا) و یا قطعات معزای دیگر تشکیل شده و به طور نامنظم (درهم) در یک زمینه سیلتستون رسی سبزرنگ قرار دارند. (شکل ۷- D-E) از نظر سنگ شناسی، دیامیکتیت فوقانی سازند درگز نسبتاً یکنواخت است؛ در حالی که دیامیکتیت زیرین این سازند اساساً از ماسه سنگ های ضمیمه لایه، جوش خورده با چینه بندی متقاطع و اغلب کم زاویه (شکل ۷- F) همراه با قالب های وزنی و شیار مانند تشکیل شده که جهت جریان های قدیمی را از شمال به شمال شرق نشان می دهد. در مقاطع نازک میکروسکوپی، این ماسه سنگ ها مخلوطی از دانه های ریز تا متوسط ماسه است که با درصد زیادی از خاک رس همراه است. گاهی اوقات دانه های کوارتزیت در اندازه گرانول و گرانول های کوارتزیت در زمینه ای از خاک رس شناور می باشند (شکل ۸- A).

وجود قطعات بزرگ سنگ در دیامیکتیت های توده ای کوه فراقون، معرف فرآیندهای ذوب کوه های یخی است که تا به نشینی مواد ریزدانه معلق و آزاد شدن قطعات درشت تر در محل جبهه یخبندان است. لایه بندی ضعیف ممکن است نشانه فعالیت جریان ناشی از طوفان، توریدیتی یا فرآیندهای تحت تأثیر امواج باشد. کانال های متقاطع در دیامیکتیت زیرین سازند درگز معرف دوره های پرنرژی است و به احتمال زیاد این نهشته های حاصل از ذوب پیشانی کوه یخ است که به صورت رسوبات رودخانه ای حاصل از ذوب یخچال ها یا ته نشست های دریایی حاصل از ذوب یخچال ها در دریا دیده می شود.

لیست آکریتارشاها (۱۵۷۷ نمونه شمارش شده با ۸۴/۳ درصد فراوانی)، کیتینوزها (۱۶۷ نمونه شمارش شده با ۸/۹ درصد فراوانی)، کریپتوسپورها (۱۲۱ نمونه شمارش شده با ۶/۵ درصد فراوانی) و اسکلوکو دونه ها (۶ نمونه شمارش شده با ۰/۳ درصد فراوانی) یافت شده در دیامیکتیت های زیرین و فوقانی سازند درگز. بیوزون های Tanuchitina elongata و Spinachitina oulebsiri مربوط به هیرنانتین هستند (سایه های خاکستری نشان دهنده گونه هایی است که تنها در دیامیکتیت فوقانی قرار دارند)

Dargaz diamictites	Lower (levels 10169)										Upper (levels 10170)					total
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a	b	c	d	e		
Actinaria																
Actinostaurus crassus	2	0	0	2	10	3	5	5	5	15	10	2	0	14		
Aureocella sp.	1	0	2	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0		
Craspidium sp. (reworked)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Craspidium sessifid	0	0	0	0	3	0	2	0	3	0	0	0	0	0		
Dactylopus spinata	2	2	0	2	10	0	3	0	4	10	0	0	0	3		
Dactylopus irritax	3	5	2	2	3	0	3	0	0	0	0	0	0	5		
Dendrograptus demissulus	5	2	3	2	15	12	12	7	12	16	12	15	5	16		
Derevichia hant	0	0	0	0	0	5	0	2	10	5	7	0	4	33		
Gorgonopharidium antiquum	0	0	3	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	13		
Leptopharidia sp.	6	3	9	3	12	0	10	10	10	30	20	15	0	4		
Multiophaeridium bifurcans	0	0	0	0	5	2	0	5	3	10	5	2	5	27		
Neverychium carmineae	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
Orthophaeridium recurvum	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	2		
Orthophaeridium tessigium	0	2	0	0	0	2	3	0	0	4	0	5	0	21		
Pseudograptus sagitt	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
Polygrium grade	2	0	0	0	3	1	2	1	1	2	1	2	0	19		
Spiriferella sp.	2	1	3	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	0		
Sylvanidium paucibrachium	14	5	6	3	0	0	0	0	0	12	10	10	0	10		
Tepostrophia sp.	0	0	0	0	10	3	10	0	0	10	0	0	0	1		
Tylopusia sp.	0	1	1	0	3	0	0	0	7	2	4	0	2	7		
Verychium oklahomaense	4	2	3	0	30	3	4	5	6	35	12	11	0	29		
Verychium redium	0	0	0	0	10	0	7	0	0	0	0	0	0	17		
Verychium subglobosum	12	6	14	2	25	5	5	6	15	55	55	62	0	44		
Verychium triangulatum	2	5	4	5	12	4	7	8	3	30	10	0	4	104		
Villosopora thronae	3	6	17	3	5	2	4	0	0	15	10	7	0	5		
Villosopora sesosophtalca	0	5	12	3	1	6	10	10	8	25	20	14	0	20		
Dactylopus crenata	0	0	7	0	0	0	0	0	0	25	10	12	0	21		
Dendrograptus silesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5		
Leptophaeridium sylvanum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	11	0	16		
Multiophaeridium trivagiale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3		
Pires sp. (reworked)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	5		
Chitinozoans																
Amorochitina angusta	0	0	5	4	2	2	4	2	2	3	0	0	0	7		
Caprichitina lentaculata	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	9		
Demochitina minor	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1		
Eucrochitina sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
Lagerochitina ballica	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	6		
Rhibochitina ustata	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
Trochochitina elongata	0	0	4	2	2	0	0	0	3	2	7	5	0	25		
Befonochitina pseudobimbiensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	20	25	60		
Cyathochitina capuati	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10		
Spinachitina oulebsiri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30		
Cyrtospores	0	12	14	0	7	4	5	7	12	21	25	0	0	121		
Scolocobans	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	6		



شکل ۱۴ | آکریتار ش‌های دیامیکتیت‌های ساز ندر گز (جدول-۱) موقعیت‌چینه‌شناسی آنها: A. *Villosacapsula setosapellicula* (سندبین-هیرناتین), B. *Tylotopalla*, C. *Veryhachium* sp (این جنس در سیلورین فراوان است اما وجود آن در هیرناتین قبلاً بوسیله وکولی و لی هریمی، ۲۰۰۴ گزارش شده است), D. *subglobosum* (کیتین), E. *Dorsenidium hamii* (سندبین-هیرناتین), F. *gracilis* (فورونجین-دونین), G. *Orthosphaeridium insculptum* (سندبین-هیرناتین), H. *Villosacapsulairrorata* (کیتین-هیرناتین), I. *Tetrahedraletes* sp (کریپتوسپور), J. *Veryhachium triangulatum* (کیتین), K. *Villosacapsula setosapellicula*, L. *Orthosphaeridium rectangul* (کیتین), M. *Orthosphaeridium insculptum* (سندبین-هیرناتین), N. *Crassianguлина tessellita*, O. *Orthosphaeridium insculptum* (سندبین-هیرناتین), P. *Diexallophasis denticulata*, Q. *Multiplicisphaeridium bifurcatum* (سندبین-دونین), R. *Neoverhachium carminae* (کیتین-ونلو کین میان), S. *Multiplicisphaeridium irregulare* (سندبین-هیرناتین), T. *Actinotodissus crassus* (سندبین-کیتین)

۴-۲- ماسه‌سنگ‌های درگز

سازند درگز به دو مجموعه ماسه‌سنگ/دیامیکتیت با ضخامت بیش از ۴۰ متر قابل تقسیم است. قاعده این سازند (GES1) در شکل ۲) و مرز پایین آن دو توده ماسه سنگی (GES2-3 در شکل ۲) با ناپوستگی فرسایشی مشخص است. در گوشه جنوب شرقی کوه فراقون و در طول ۲ کیلومتر سه سطح فرسایشی (GES) یخچالی قابل تشخیص هستند (شکل ۷؛ A-C). در سمت جنوب غرب به علت تغییرات ضخامت و قطع شدگی‌های آنها توسط لایه‌های بالایی، دنبال کردن این سطوح کلیدی در امتداد حقیقی لایه‌ها کاری دشوار است. این حالت معلول نوع فرسایش افق‌های ماسه‌سنگی است که حتی در زیر خود به لایه‌های سازند سیاه جوش خورده‌اند. این سطوح فرسایشی در جهت جانبی از یک سطح صاف تا سطح برجسته و سطح پیچیده چندمرحله‌ای تغییر می‌کنند. در نتیجه کنتاکت پایین در گوشه جنوب غربی کوه فراقون دیده نمی‌شود؛ به طوری که در این محل، سازند درگز فقط با بالاترین لایه ماسه‌سنگ قابل مشاهده است که از ساب آرکوز تا ساب گریوک (شکل ۸؛ B) تشکیل شده است. (اگرچه ساب گریوک مربوط به پدیده دیاژنتیکی یا گریواکیزاسیون است). روند درشت‌شوندگی ذرات و وجود بسته‌های بزرگ ماسه‌سنگی به سمت بالا معرف پیش‌روندگی در محیط ساحلی است؛ در حالی که بسته‌های ماسه‌سنگ بالایی معرف محیط پراترزی خط ساحلی و دشت ساحلی است. هر دو محیط قدیمی، ممکن است با دو دوره پیش‌روی در دلتای ساحلی و دشت ساحلی همراه باشند. اما به علت عدم وجود بیرون‌زدگی‌های جانبی هم‌ارز، بازسازی مناسبی امکان‌پذیر نیست.

سازند سرچاهان در محل استراتوتایپ خود (کوه گهگم)، ۱۷۰-۱۰۲ متر ضخامت دارد که به دو واحد با لیتولوژی مشخص یا دو بخش غیررسمی قابل تقسیم است. بخش پایینی ۳۵ متر ضخامت دارد که شامل لایه‌های کنگلومرای هتروژنیک و ماسه‌سنگ کنگلومرای است و در جهت جانبی به تناوبی از شیل‌های سیاه و ماسه‌سنگ دانه‌درشت تبدیل می‌شود (شکل ۸-D-C و F). در این بخش تناوبی از لایه نازک به صورت جانبی در محل بیرون زده و همواره ۲۰-۱۰ متر ضخامت دارد. یک لیتارنایت پلی میکتایت با بیش از ۱۲ متر ضخامت وجود دارد که با سیمان آهکی به هم جوش خورده‌اند و با فلوت‌مارک و خراش‌های منحصربه‌فرد مشخص می‌شوند (شکل ۸-G). به طور کلی این طبقات تقریباً حالت درهم و برهم (یا توده‌ای) دارند؛ هرچند تعدادی از آنها به وضوح از گراول تا سیلتستون تغییر می‌کنند. این لایه‌ها به سمت بالا دارای لامیناسیون خشن کم‌زاویه و ریپل‌مارک‌های نامتقارن هستند. این قطعات گرد تا کمی زاویه‌دار بوده و جورشدگی ضعیفی دارند. تشکیل‌دهنده غالباً کوارتز، کوارتزیت، چرت، فلدسپات پتاسیم‌دار، سنگ‌آهک سیاه پیریتی، دولومیت و شیل هستند (شکل ۸-H-I). آرایش ذرات از حالت فلسی تا نامنظم تغییر می‌کند که قطعات فراوان میتریکس تا فابریک دارند. تکه‌هایی از سنگ دولومیت poikilotopic و سیلیس نیز در آن وجود دارد که فراوانی آنها از لایه‌های زیرین آن (رسوبات نام‌گذاری‌نشده) کمتر است. سطح بالایی این بخش با از بین رفتن کنگلومرا و ماسه‌سنگ مشخص می‌شود. جهت یافتگی محورهای موجود در سطح زیرین لایه‌ها، به سمت شمال شرق-شرق شمال شرق است.

بخش بالایی سازند سرچاهان در کوه گهگم ۱۳۵ متر ضخامت

سازند درگز به دو مجموعه ماسه‌سنگ/دیامیکتیت با ضخامت بیش از ۴۰ متر قابل تقسیم است. قاعده این سازند (GES1) در شکل ۲) و مرز پایین آن دو توده ماسه سنگی (GES2-3 در شکل ۲) با ناپوستگی فرسایشی مشخص است. در گوشه جنوب شرقی کوه فراقون و در طول ۲ کیلومتر سه سطح فرسایشی (GES) یخچالی قابل تشخیص هستند (شکل ۷؛ A-C). در سمت جنوب غرب به علت تغییرات ضخامت و قطع شدگی‌های آنها توسط لایه‌های بالایی، دنبال کردن این سطوح کلیدی در امتداد حقیقی لایه‌ها کاری دشوار است. این حالت معلول نوع فرسایش افق‌های ماسه‌سنگی است که حتی در زیر خود به لایه‌های سازند سیاه جوش خورده‌اند. این سطوح فرسایشی در جهت جانبی از یک سطح صاف تا سطح برجسته و سطح پیچیده چندمرحله‌ای تغییر می‌کنند. در نتیجه کنتاکت پایین در گوشه جنوب غربی کوه فراقون دیده نمی‌شود؛ به طوری که در این محل، سازند درگز فقط با بالاترین لایه ماسه‌سنگ قابل مشاهده است که از ساب آرکوز تا ساب گریوک (شکل ۸؛ B) تشکیل شده است. (اگرچه ساب گریوک مربوط به پدیده دیاژنتیکی یا گریواکیزاسیون است). روند درشت‌شوندگی ذرات و وجود بسته‌های بزرگ ماسه‌سنگی به سمت بالا معرف پیش‌روندگی در محیط ساحلی است؛ در حالی که بسته‌های ماسه‌سنگ بالایی معرف محیط پراترزی خط ساحلی و دشت ساحلی است. هر دو محیط قدیمی، ممکن است با دو دوره پیش‌روی در دلتای ساحلی و دشت ساحلی همراه باشند. اما به علت عدم وجود بیرون‌زدگی‌های جانبی هم‌ارز، بازسازی مناسبی امکان‌پذیر نیست.

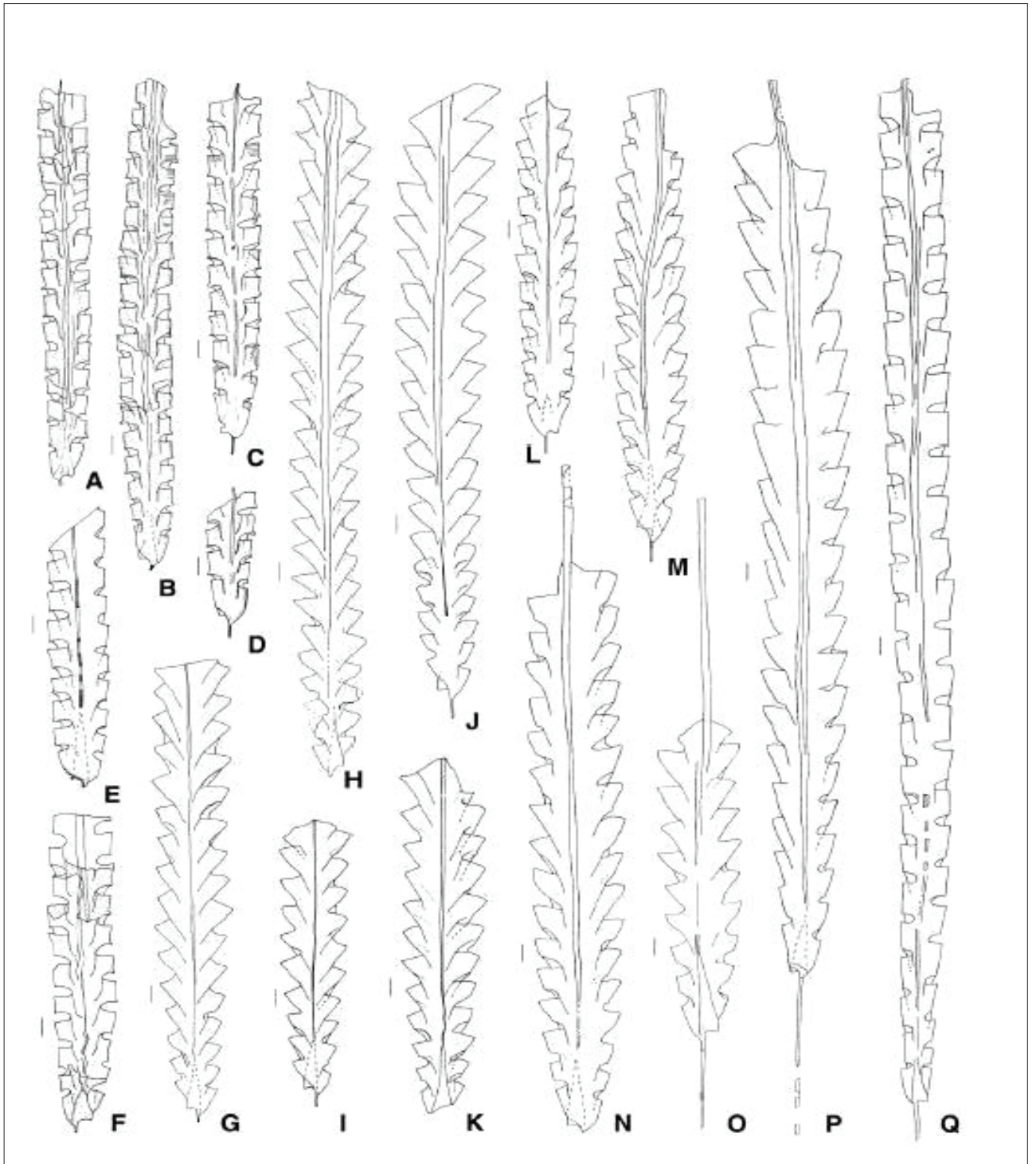
۴-۳- سازند سرچاهان در کوه فراقون

مرز سازند سرچاهان با سازند درگز با ناپوستگی فرسایشی و تغییر در سیستم‌های رسوب‌گذاری آنها مشخص می‌گردد. سازند سرچاهان از شیل‌های سیاه و خاکستری یکنواخت تشکیل شده و به طور محلی نیز متشکل از شیل‌های نازک لایه با سطوح موازی می‌باشد. این شیل‌ها غنی از مواد آلی بوده و کربن آلی (TOC) آن ۵-۴/۶ درصد می‌باشد. این سازند سرشار از گراپتولیت و کنکرسین‌های پیریت بوده و قاعده آن بدون آشفستگی زیستی است.

شرط لازم و اساسی برای تشکیل شیل‌های سیاه کروژن‌دار، تخلیه طولانی مدت اکسیژن در آب‌های اعماق دریا و رسوبات آنست که این وضعیت با نبود آشفستگی زیستی^۱ و خوب حفظ‌شدگی گراپتولیت‌ها در کوه فراقون تأیید می‌شود. این شرایط احیایی می‌تواند با به‌وسیله حجم وسیعی از آب‌های در محیط‌های بسته و بدون جریان با میزان بسیار زیاد بازدهی فیتوپلانکتون‌ها یا ترکیب این دو ایجاد شود. وجود گل یکنواخت ساکن با شرایط احیایی، پدیده گسترده‌ای است که در سرتاسر حاشیه آفریقای شمالی مربوط به قاره گندوانا در زمان اردوئین پسین-سیلورین پیشین (هیرناتین-لاندورین) روی داده است (لوانینگ و سایرین ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵، و کولی ۲۰۰۸ و له‌هرون و دیگران ۲۰۰۹).

۴-۴- سازند سرچاهان در کوه گهگم

بیرون‌زدگی‌های سازند سرچاهان در کوه گهگم ۰/۴ هکتار است. این بیرون‌زدگی‌ها به سمت غرب توسط یک گسل و از سمت



۵ | گراپتولیت‌های شاخص هیرناتین (اردویسین پسین) از قاعده سازند سرچاهان در کوه فراقون (همه این گونه‌ها در بایوزون گراپتولیتی *Normalograptus Persculptus* وجود دارد)

A-D. *Normalograptus ajjeri* (Legrand), E. *Normalograptus medius* (Tomquist), F. *Normalograptus ex gr. normalis* (Lapworth), G-I. *Glyptograptus? lacinosus* (Churkin and Carter). *Glyptograptus? lungmaensis* (Sun), J-M. *Normalograptus parvulus* (Lapworth), N. *Normalograptus persculptus* (Elles and Wood), O. *Glyptograptus lanpherei* (Churkin and Carter), P. *Normalograptus wangjiawanensis* (Mu and Lin), Q. *Normalograptus rhizinus* (Li and Yang)

دارد و شامل شیل‌های سیاه همگن است که به‌طور محلی توسط لایه‌های یک متری دولومیت با قالب‌های دو کفه‌ای فراوان قطع می‌شوند.

اگرچه علت محدودیت رخنمون‌های سازند سرچاهان در کوه گهکم نمی‌توان تفسیر رسوب‌شناسی کاملی از آن به‌عمل آورد اما در مقایسه با بیرون‌زدگی‌های آن در کوه فراقون، به‌طور تلویحی می‌توان آنرا تفسیر کرد. پی‌سنگ سازند سرچاهان در کوه گهکم یک سازند بدون نام است (به‌علت عدم حضور سازند سیاهو که سن فلویین-کیتین دارد و وفور گسترده قطعات مشتق‌شده از لایه‌های زیرگنبد نمکی احتمالاً از زمان پری فلویین می‌باشد) که نقش توپوگرافی قدیمی ناحیه را در زمان پیش‌روی دریای سیلورین نشان می‌دهد. در ابتدای سیلورین پیشین (لاندورین) این برجستگی قدیمی منشائی برای فرسایش و ریختن رسوب کافی به دریا شد که به‌صورت زبانه تخریبی بادبزنی شکل، ورق‌های کنگلومرای پلی ژنتیک را تشکیل داده و هنوز در جنوبی‌ترین بخش این توده در کوه گهکم (در اصطلاح سازند بدون‌نام از شکل ۲-۲) وجود دارد. ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت نازک لایه و تبدیل آنها به شیل‌های سیاه هم‌ارز خود به‌طور جانبی نشان می‌دهد که این شیل‌ها در محیط احیایی (کم اکسیژن) و در دامنه شیب‌دار تنش‌بین شده و به‌صورت دوره‌ای از جریان‌های توریدیتی با غلظت زیاد برخوردار بوده‌اند. اگرچه در پایین‌ترین بخش سازند سرچاهان نمی‌توان تفاوت زیادی با جریان‌های ذرات مشاهده کرد اما ساختارهای رسوبی graded beds هم‌بستگی زیادی با توریدایت‌های کلاسیک بوما (Ta؛ شاموگان ۱۹۷۷) نشان می‌دهد.

روندهای موجود در نسبت شیل سیاه/ماسه‌سنگ دانه‌درشت و ضخامت ماسه‌سنگ مهم‌ترین ویژگی آن به‌نظر می‌رسد. این نسبت در روند درشت‌شوندگی به‌سمت بالا را تا ۳۰ متری نشان می‌دهد که با مجموعه‌ای از شیل سیاه همگن دنبال می‌شود و معرف محیطی با آب‌های ساکن و رسوب‌گذاری آرام است. به‌طور خلاصه شیل‌های سیاه کم‌اکسیژنه به‌طور متناوب با توریدایت‌های نازک لایه قرار دارند که روند نزدیک و دور شدن از ساحل را نشان می‌دهد. این حالت بیانگر کاهش روند پستی و بلندی در حوضه رسوبی است. توریدایت‌های قاعده سازند سرچاهان از رسوبات سنگ منشاء و نزدیک به رسوبات نام‌گذاری نشده (کنگلومرای پلی ژنتیک و برش‌های کنگلومرای) مشتق بوده است. سه احتمال برای تفسیر جغرافیای گذشته ناحیه مورد مطالعه می‌توان در نظر گرفت تا بتوان رسوبات دریایی عمیق بخش زیرین سازند سرچاهان را تفسیر کرد: الف) شروع block faulting که موجب افزایش شیب دامنه و ناپایداری محیط رسوبی گردید ب) فرسایش برجستگی بلند با پستی و بلندی کم موجود در ناحیه ج) پر شدن دره‌های یخچالی اردوئین پسین (هیرنانتین). دفن نهایی این برجستگی قدیمی به‌وسیله رسوبات بخش بالایی سازند سرچاهان که معرف شیل‌های کروژن‌دار کلاسیک سیلورین پیشین (لاندورین) بوده و در شمال قاره گندوانا گسترش دارد.

۵- رخداد چینه‌ای هیرنانتین و مفهوم جغرافیایی گذشته آن

در کوه فراقون، رسوبات یخچالی سازند درگز به‌صورت دگرشیب روی رسوبات پیش از یخبندان یا بخش بالایی سازند سیاهو قرار

می‌گیرند (شکل ۲-۲). این بخش از سازند سیاهو به‌زمان کیتین مربوط بوده و از رسوبات نواحی جزر و مدی ریتمیک تشکیل شده و دارای آشفستگی زیستی فراوان می‌باشد. سازند درگز سکانشی کلیدی از رویدادهای زیر است:

الف) چرخه پیش‌رونده-پس‌رونده اولیه که با خرده سنگ‌های رسوبات قبل از یخبندان (سازند سیاهو با سن کیتین) و ته‌نشین شدن اولین دیامیکتیت یخچالی-دریایی با حالت پیش‌رونده مشخص می‌شود.

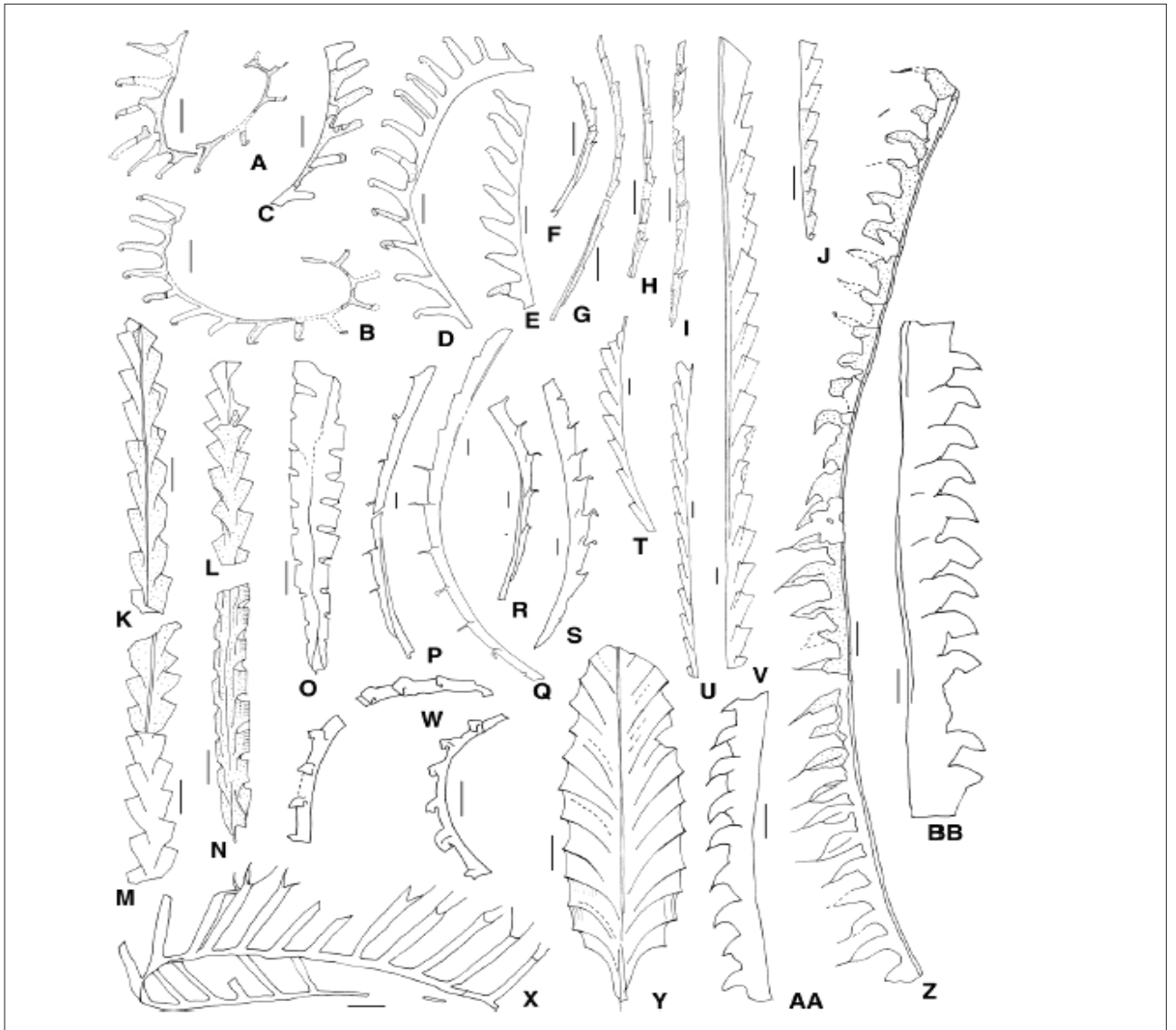
ب) چرخه دوم مربوط به پیش‌روی-پس‌روی (یا پیش‌روی/پس‌روی) کوه یخ است که منجر به تشکیل دو سری دیامیکتیت یخچالی-دریایی در نواحی کم‌عمق دریا شده است.

ج) چرخه سوم چرخه قبلی را دنبال می‌کند؛ اگرچه در قسمت پایینی آن نهشته‌های دشت ساحلی با چیرگی کامل همراه است. به‌دنبال آن ذوب یخ‌ها صورت گرفته که منجر به بالا آمدن سطح آب دریا و تشکیل شیل‌های سیاه کروژنی سازند سرچاهان شده است.

ادامه بالا آمدن سطح آب دریا، برجستگی‌های قدیمی مجاور خود را هم در کوه فراقون و هم در کوه گهکم مدفون کرده است. تقسیم‌بندی محتمل دیگر، در نظر گرفتن مرزهای فرسایشی بزرگ^۳ در سکانشی‌های رسوبی ناحیه مورد مطالعه است. در این حال، واحد سرچاهان پایینی-درگز در کوه فراقون می‌تواند به چرخه‌های پیش‌رونده-پس‌رونده تقسیم گردد که دربر گیرنده ES1, GES2, GES3 و سطح فرسایشی سازندهای درگز/سرچاهان می‌باشد.

نحوه فرسایش قاعده لایه‌های ماسه‌سنگ به‌گونه‌ای است که دلالت بر ته‌نشینی رسوبات در زمان پیش‌روی‌های متعدد یخچال دارد. شاهد مستقیمی از فرسایش در رسوبات زیر یخچال (تخطط در رسوبات نرم) یا بالای ته‌نشست‌های کانالی وجود ندارد. از این رو در مورد یخچال نمی‌توان هیچ شواهدی از دره‌های تونلی بزرگ مشخص کرد. زیرا بیرون‌زدگی‌های قابل دسترس سازند درگز محدود است. اما شواهدی از سطوح صیقلی حرکت یخچال‌ها و نحوه گسترش آنها در کوه فراقون وجود دارد که عبارتند از وجود دگرشیبی‌های مشخص که در زیرسکانشی‌های رسوبی مربوط به یخبندان وجود دارد. این سطوح بر اثر سایش مستقیم یخ یا آب‌های حاصل از ذوب یخ یا ترکیبی از این دو تولید شده است. احتمالاً در کوه گهکم یک پهلوئی کانال تونلی حفظ شده وجود دارد. در کوه گهکم ته‌نشست‌های بادبزنی شکل سازند سرچاهان معرف یک سیستم توریدایتی است که منشاء آنها یک برجستگی قدیمی در ناحیه بوده؛ چراکه خصوصیات سنگ‌شناسی آن متفاوت با کوه فراقون است. فرسایش سنگ منشاء هر دو ناحیه در فاصله زمانی هیرنانتین-لاندورین انجام شده که منجر به ته‌نشینی لیتارنایت‌ها (دولومیت‌ها و سنگ‌های آهک سیاه پیریتی پری فلویین) در کوه گهکم و رسوبات ساب آرکوز در کوه فراقون گردیده است.

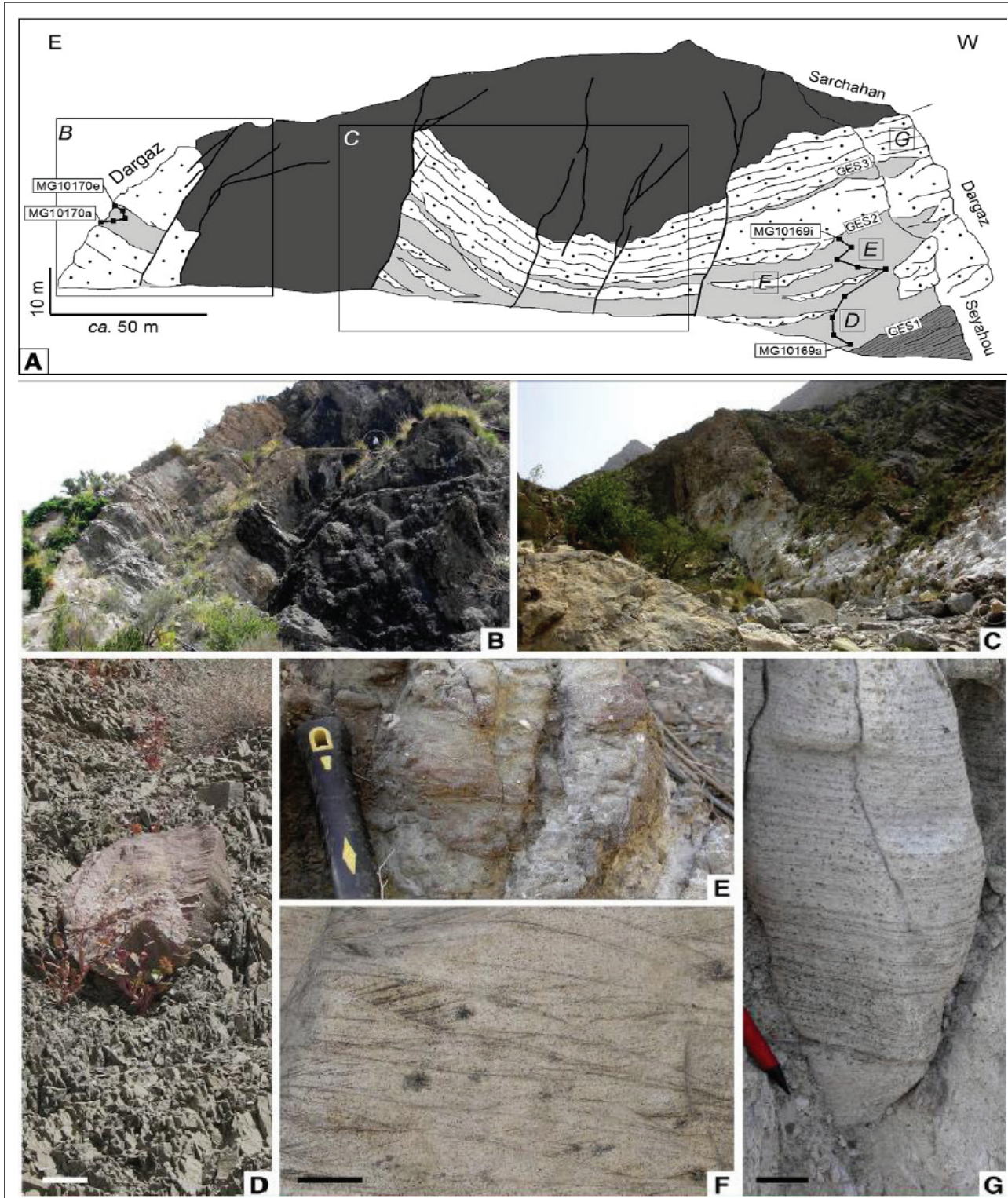
اندازه‌گیری‌های جریان‌های قدیمی از بریدگی‌های موجود در سازند درگز بیانگر آنست که امتداد جریان‌های قدیمی در جهت شمال-شمال‌شرق شیب داشته که با جهت کانال‌های تونلی موجود در عربستان سعودی و اردن (وصله ۱۹۹۰) هم‌خوانی دارد. از این رو اطلاعات، وجود یک کلاهیک یخ مربوط به زمان هیرنانتین و اتصال



۶ | گراپتولیت‌های شاخص سیلورین پیشین (آرونین) از قاعده سازند سرچاهان در کوه گهکم




A. *Demirastrites triangulatus triangulatus* (Harkness), CNIGR 1813212/, level MG10188a. B. *Demirastrites cf. praedecipiens* (Sudburi), CNIGR 1913212/, level MG10188a, C–E. *Demirastrites ex gr. triangulatus* (Harkness); C–D. CNIGR 2013212/21-13212/, fragments of various parts of rhabdosomes, level MG10187a; E, CNIGR 2213212/, level MG10188a, F–I. *Neolagarograptus sp.*, CNIGR 2313212/26-13212/, level. MG10188a, J. *Pristiograptus regularis* (Tomqist), CNIGR 2713212/, level MG10192, K–M. *Glyptograptus ex gr. tamariscus* (Nicholson); K. CNIGR 2813212/, level MG10187a; L–M. CNIGR 2913212/30, 13212/, level MG10188a, N. *Normalograptus sp.*, CNIGR 3113212/, level MG10192, *Lituigraptus convolutus* Zone, O. *Neodiplograptus cf. sinuatus* (Nicholson), CNIGR3213212/, level MG10188a, P–S. *Neolagarograptus tenuis* (Portlock), CNIGR 3313212/36-13212/, level MG10193, T–U. *Pribylograptus ex gr. argutus* (Lapworth), CNIGR 3713212/38-13212/, level MG10192, V. *Pristiograptus ex gr. variabilis* (Perner), CNIGR 3913212/, level MG10193, W. “*Monograptus*” cf. *gemmatus* (Barrande), CNIGR 4013212/, level MG10195, X. *Rastrites phleoides* Tomqist, CNIGR 4113212/, level MG10192, Y. *Petalolithus praecursor* Boucek and Přibyl, CNIGR 4213212/, level MG10192, *Lituigraptus convolutus* Zone, Z. *Lituigraptus convolutus* (Hisinger), CNIGR 4313212/, level MG10192, AA–BB. *Stimulograptus sedgwickii* (Portlock), CNIGR 4413212/45-13212/, level MG10195. Scalebars=1 mm, A–I, K–M, O, *Demirastrites triangulatus* Zone; J, N, T, U, W–Z. *Lituigraptus convolutus* Zone; P–S, V, AA, BB. *Stimulograptus sedgwickii* Zone



شکل ۷ | نمایش سازندهای سیاهو، درگز و سرچاهان در امتداد دره پاشق (تنگ پاشق) کوه فراقون. A. نمایش شماتیک سازندهای سیاهو، درگز و سرچاهان و مسیرهای نمونه برداری از دیامیکتایت‌های زیرین (MG-10169a- MG-10169i) و فوقانی (MG-10170a, MG -10170e). B-C. نمایش بیرون زدگی و ویژگی‌های سازند درگز و همپری آن با سازند سرچاهان روی زمین. D. نمایش دراپ استون (dropstone) در دیامیکتایت زیرین، سبز خاکستری. E. نمایش دیامیکتایت زیرین با تغییرات دانه بندی رسوبات تشکیل دهنده آن. F. نمایش ماسه سنگی سازند درگز با چینه بندی متقاطع (X-bedding). G. ماسه سنگ‌های فوقانی سازند درگز با لایه بندی موازی؛ مقیاس خطی: ۴ میلی‌متر



۸  A. تصویر میکروسکوپی از دیامیکتیت قاعده سازند در گز در کوه فراقون (مقیاس خطی: یک میلی‌متر). B. تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های ساب آركوز بخش زیرین سازند در گز در کوه فراقون که به‌طور بخشی به گریواک تبدیل شده (مقیاس خطی: ۰/۳ میلی‌متر). C-D. نمایش بیرون‌زدگی سازند سرچاهان در کوه گهگم با ساختار توربیدیتی بادبزنی‌شکل و دگرشیبی زاویه دار. E. لایه‌های کنگلومرای ورقه‌مانند زیر سازند سرچاهان (رسوبات نام‌گذاری نشده) در کوه گهگم. F. کنگلومرای توربیدیتی و شیل‌های تیره سازند سرچاهان در کوه گهگم (مقیاس خطی: ۳۰ سانتی‌متر). G. اختلاط توربیدیت‌های چرخه بوما (Ta) از سازند سرچاهان در کوه گهگم. H-I. تصاویر میکروسکوپی از کنگلومرایتوربیدیتی سازند سرچاهان در کوه گهگم. bl. آهک پیریتی سیاه. gl. آهک خاکستری با بلورهای اتوژنیک شش‌گوش. Q. سیمان کوارتزیتی، d. بلورهای لوزی شکل دو لومیت KF. فلدسپار پتاسیم؛ مقیاس‌های خطی به‌ترتیب: ۱ و ۰/۵ میلی‌متر

مجتبی خان ۲۰۰۹: شکل-۹). هم چنین ترنر و همکاران (۲۰۰۵) یک مدل یخچالی چهار مرحله‌ای را پیشنهاد کرده‌اند که فرورفتگی‌ها یا دره‌های یخچالی به وسیله گسل کنترل می‌شده است (فعالیت دوباره گسل‌ها با فعالیت آب‌های هیدروترمال همراه بوده است) و منجر به تشکیل دره‌های لاشکل شده است. چرخه چهار مرحله‌ای اردن هم‌زمان با مرحله دوم یخچالی در عربستان سعودی است. مرحله دوم یخچالی در عربستان به وسیله میلر و منصور (۲۰۰۷) تفسیر شده که در آن پیش‌روی و پس‌روی یخچال‌ها با پیچیدگی بیشتری از پاره‌سنگ ساره^۴ مربوط به سازند قسیم توصیف شده است. هم چنین دو سکانس یخچالی بزرگ مربوط به هیرنانتین در اسپانیا (آلوارو و ونوی لت-لانویه ۲۰۰۹)، مراکش (لوبی و همکاران ۲۰۱۰)، موریتانی (قینیه ۲۰۰۳) و ترکیه (موند و همکاران ۲۰۰۳) تشخیص داده شده است. در دو ناحیه موریتانی و ترکیه هر سکانس اصلی خود در سمت بالاتر به دو چرخه کوچک‌تر تقسیم می‌شوند و بنابراین هر چند چرخه‌هایی با فراوانی و به‌طور وسیعی ثبت نشده‌اند اما حرکات پیش‌رونده یخچندان با وقفه‌هایی در مقیاس کوچکتر همراه بوده که منجر به تغییر در حرکت یخچال و کاهش حجم یخ تفسیر می‌شود (سات کلیف و همکاران ۲۰۰۰ و آرمسترانگ و همکاران ۲۰۰۹).

یکی از ویژگی‌های بارز حاشیه صفحه عربی، عدم بریدگی‌های یخچالی در حاشیه غیرفعال گندوانا در گذر تدریجی اردویسین-سیلورین است که این حالت در آفریقای شمالی و جنوب غرب اروپا وجود دارد. از عربستان سعودی دو دوره بالا آمدن در اواخر اردویسین چنین گزارش شده است:

الف) دوره کیتین در فلات و جید که با بالا آمدن و دگرشکلی سازند دیب سیاه^۵ و فرسایش هم‌زمان دره‌های پر شده از سازند صننامه^۶ مشخص می‌شود (اتردوم و همکاران ۱۹۹۹).

ب) مرحله دوم بالا آمدگی در فاصله زمانی مرز اردویسین-سیلورین در همان فلات و جید است که با یک دگرشیمی زاویه‌دار همراه بوده و سازند صننامه را از بخش قصبیا جدا می‌کند (استامپ و همکاران ۱۹۹۳، استامپ و وندرایم ۱۹۹۵).

به‌علاوه در بلوک لوت ایران مرکزی، زمان گذر تدریجی اردویسین-سیلورین با گسترش زیاد فعالیت‌های آتشفشانی هم‌زمان بوده که منجر به تشکیل بیش از ۵۰۰ متر بازالت با گسترش بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر در مجاور حاشیه صفحه عربی شد که این خود بخش جدایی‌ناپذیر قاره گندوانا را در دوره اردویسین تشکیل می‌دهد (بربریان و کینگ ۱۹۸۱، حسینی ۱۹۹۰، میلسون و همکاران ۱۹۹۶، شارلند و همکاران ۲۰۰۱، باقری و استامپفیلی ۲۰۰۸ و ترسویک و کوکس ۲۰۰۹).

پایان ناگهانی یخچندان اواخر اردویسین پسین (هیرنانتین) با یک طغیان دریایی بسیار شدید مشخص می‌شود که طی آن شیل‌های غنی از مواد آلی^۷ را در نواحی وسیعی از شبه‌جزیره عربستان و شمال آفریقا بر جای گذاشته است. شروع ناهم‌زمان ذوب نهایی یخ‌ها موجب ته‌نشینی سنگ‌های کروژن‌دار شد؛ بدین معنی که شرایط احیایی کف دریا موجب تولید و حفظ مواد آلی زیاد و غنی از عناصر رادیواکتیو گردید. وجود این عناصر رادیواکتیو باعث می‌شود که اشعه

آنها با نواحی هم‌جوار زاگرس پیشنهاد می‌دهد. شدت بریدگی‌های فرسایشی مربوط به سازند در گز در کوه فراقون از ۴۵ تا ۸۰ متر تجاوز نمی‌کند که با تغییرات سطح آب دریا، در یخچندان زمان هیرنانتین همراه بوده است (لی هرون و همکاران ۲۰۱۰ و لی هرون و داود زولز ۲۰۰۹). گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که آب حاصل از ذوب یخچال‌های زمان هیرنانتین منجر به تشکیل بریدگی‌های کانال‌مانند و قابل‌نقشه‌برداری شده که این تونل‌ها در عربستان سعودی (وصله ۱۹۹۰، کلارک-لوئیس ۲۰۰۵)، اردن (پاول و همکاران ۱۹۹۴ و ترنر و همکاران ۲۰۰۵)، لیبی (لی هرون و همکاران ۲۰۰۴)، الجزایر (هیرست و همکاران ۲۰۰۲) و مراکش (لی هرون و همکاران ۲۰۰۷) تقریباً ۴-۶ کیلومتر عرض، ۵۰-۲۰ کیلومتر طول و ۱۰۰ متر عمق دارند.

۶- لبه حوضه زاگرس و حاشیه عربی گندوانا

اگرچه صفحه عربی یک واژه تکنیکی-چینه‌شناسی است و در بازسازی‌های جغرافیای دیرینه پالتوزوئیک پیشین به‌طور گسترده استفاده می‌شود اما این صفحه فقط در الیگوسن به‌وجود آمد. این صفحه پس از آن سنگ‌هایی را دربر می‌گیرد که اکنون شبه‌جزیره عربستان، سوریه، اردن، عراق و زاگرس ایران نامیده می‌شوند. در زمان الیگوسن، شروع جدا شدن صفحه عربی از خشکی آفریقا در امتداد حاشیه شمال شرقی آفریقا آغاز و بعدها منجر به باز شدن دریای سرخ و خلیج عدن گردید (شکل-۱-۱A).

در سراسر نئوپروتروزوئیک تا انتهای دوران اول صفحه عربی بخشی از قاره گندوانا بوده که در اینجا آنها به حاشیه عربی گندوانا نسبت می‌دهیم. طی نئوپروتروزوئیک، زاگرس در کمربند استوائی قرار داشته و طی اردویسین-کامبرین به سمت جنوب (به سوی قطب) حرکت کرد و در شرق و غرب گندوانا قرار گرفت و در دوره سیلورین در عرض جغرافیایی ۶۰ درجه قرار گرفت (کوکس و ترسویک ۲۰۰۲ و حیدری ۲۰۰۸).

وجود سنگ‌هایی با منشاء یخچالی در زمان هیرنانتین و دره‌های یخچالی، در ناحیه قسیم و فلات و جید و ویدیان عربستان سعودی (مک کلور ۱۹۷۸، هیوز-کلارک ۱۹۸۸، وصله ۱۹۹۰ و کلارک-لوئیس ۲۰۰۵) و نیز صحرای جنوبی اردن (آرمسترانگ و همکاران ۲۰۰۵، ترنر و همکاران ۲۰۰۵ و آرمسترانگ و همکاران ۲۰۰۹) روی حاشیه عربی توصیف شده‌اند. موقعیت دره‌های یخچالی و برجستگی‌های قدیمی تراشیده شده توسط یخچال‌ها در سطح و زیرزمین عربستان سعودی معرف آنست که ناحیه منشاء رسوبات یخچالی در ناحیه سپرهای عربی و نوین-عربی قرار داشته که رسوبات از آن به سمت ناحیه شرق-شمال شرق امروز حمل شده‌اند (شکل-۱-۱A). در بخش شمال غرب عربستان سعودی صفحات یخ بیشتری وجود داشته که از نظر اندازه مشابه صفحات یخ امروزه در قطب جنوب است (لیهرون و داودز ولز ۲۰۰۹). در حال حاضر برای یخچندان زمان هیرنانتین در اردن بیش از دو مرحله اصلی یخچندان معرفی شده (عابد و همکاران ۱۹۹۳) که قابل انطباق با دو مرحله پیش‌روی و پس‌روی یخچال‌ها شناخته شده در عربستان است (وصله ۱۹۹۰ و ال-حربی و

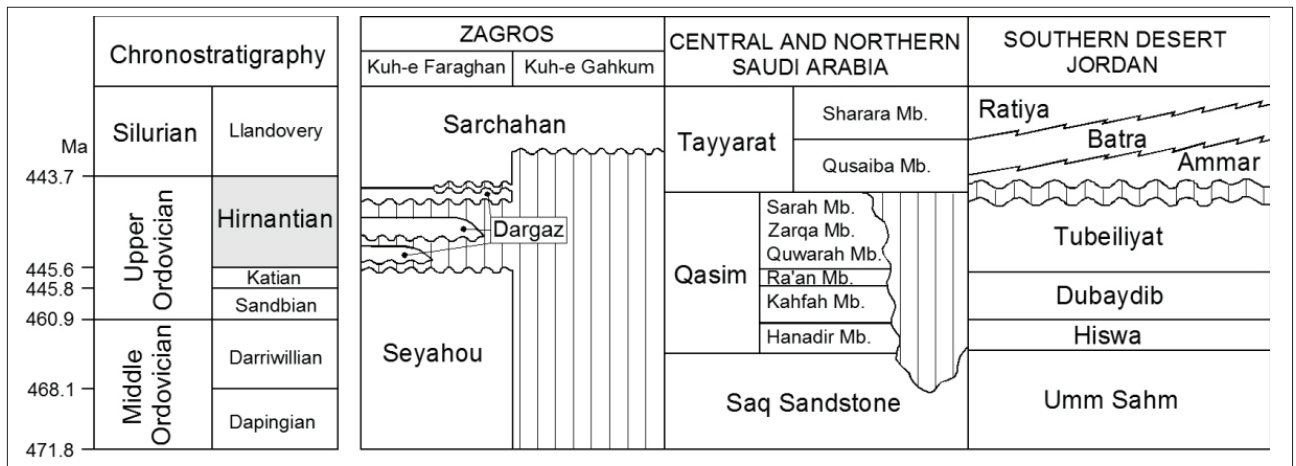
یخچالی) است که هرکدام از این سطوح با پیش‌روی/پس‌روی ناحیه‌ای ورقه‌های یخ هیرنانتین کنترل می‌شده است. شیل‌های سیاه سرچاهان به‌صورت کلاهیکی روی برجستگی قدیمی با منشاء یخچالی و سطوح دگرشیبی فرسایشی همراه است. برعکس کوه فراقون، در گز در کوه کهگم وجود ندارد؛ جایی که پی‌سنگ سازند سرچاهان از کنگلومرای مخلوط چند نوع خرده‌سنگ تشکیل شده و از قطعات سنگ کربناته و سیمان غنی بوده و مربوط به زمان پری‌فلوین می‌باشد. پایان دوره یخبندان منجر به بالا آمدن سطح آب دریا و پوشیده شدن برجستگی قدیمی از آب شد که این امر سبب به تشکیل تناوب ماسه‌سنگ‌های توریدایتی با شیل‌های سیاه کروژن‌دار تاپیوما گردید.

بر مبنای مطالعه کیتینوزوان‌ها، آکریتارشاها و گراپتولیت‌ها، دیامیکتیت‌های یخچالی-دریایی سازند در گز به‌زمان اردوئین-پسین (منحصراً هیرنانتین) نسبت داده می‌شوند؛ در حالی که جوان‌ترین شیل‌های سیاه سرچاهان، در سراسر زاگرس دو زمان متفاوت دارد که از ناحیه گراپتولیت persculptus زمان هیرنانتین تا زونگراپتولیت triangulatus در اوایل آرونین (لاندوری) تغییر می‌کند. این دیاکرونسیم احتمالاً مربوط به گسترش کلاهیکی یخ در زمان هیرنانتین روی یک برجستگی قدیمی یخچالی موجود در ناحیه است که با حفظ بریدگی‌های عمیق و سنگ‌های با منشاء مختلف همراه است. ■

گاما روی نمودارهای الکتریکی چاه‌ها واکنش مناسبی از خود نشان دهد. شیل‌های تیره اردوئین-پسین-سیلورین پیشین در سراسر شمال گندوانا از مراکش تا زاگرس به‌عنوان منشاء هیدروکربورها شناخته شده و در نتیجه رویدادهای یخبندان، حاشیه آفریقایی-عربی گندوانا را تحت تأثیر قرار داده و تأثیر به‌سزایی بر سیستم‌های گاز و نفت ناحیه داشته است. از این رو ته‌نشست سنگ مادر بلافاصله پس از مرحله نهایی ذوب یخچال‌ها صورت گرفته است (بل واسپیک ۲۰۰۶). در اردن، زمان و مدل ته‌نشست این شیل‌های سیاه هنوز مورد بحث است (وکولی و دلاپروی ۲۰۱۰). زیرا آرمسترانگ و همکاران (۲۰۰۵) شیل‌های سیاه سازند باترا^۱ را مربوط به هیرنانتین می‌دانند که با آب‌های شیرین حاصل از ذوب یخچال‌ها مربوط است. برعکس؛ لونینگ و همکاران (۲۰۰۵) این واحد را به زمان رودانین (سیلورین پیشین) نسبت داده‌اند و آن را نتیجه بالا آمدن آب‌های غنی از مواد غذایی محیط‌های دریایی کم عمق و ته‌نشست آنها در نواحی ساحلی می‌دانند.

نتیجه‌گیری

اثرات یخبندان اردوئین-پسین (هیرنانتین) در بیرون‌زدگی‌های کوه فراقون و کوه کهگم واقع در سلسله جبال زاگرس شناخته شد. در کوه فراقون رسوبات با منشاء یخچالی به نام سازند در گز نامیده شد. این سازند یک واحد سنگ‌چینه‌ای جدید در زاگرس است که شامل سه چرخه رسوبی پیش‌رونده/پس‌رونده (همراه با سه سطح فرسایشی



شکل ۹ | تطابق چارت زمانی و سنگ‌چینه‌ای، سلسله جبال زاگرس، عربستان سعودی و اردن بر مبنای کار ومله (۱۹۹۰)، آرمسترانگ و همکاران (۲۰۰۵)، کلارک-لونیس (۲۰۰۵)، ترنر و همکاران (۲۰۰۵) و بررسی حاضر (قویدل-سیوکی و همکاران ۲۰۱۱)

پانویس‌ها			
1.reworked	3.unconformity	5.Dibsiyah formation	7.hot shale
2.burrowing	4.Sarah Mb	6.Sanamah formation	8.Batra Formation

منابع
به دلیل تعداد زیاد منابع این مقاله (۱۱۵ عدد)، امکان درج نام آنها وجود ندارد. علاقمندان می‌توانند فهرست این منابع را از دفتر دبیرخانه ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز دریافت نمایند.