

ژئوشیمی عنصری و ایزوتوپی سازند بهرام (دونین میانی-بالایی) در شرق ایران

مهدی حسین آبادی^۱، غلامرضا میراب شهبستری^{۲*}، اسداله محبوبی^۳ و احمد معتمد^۴

۱- دانش‌آموخته دکترا، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: gshabestari@birjand.ac.ir

دریافت: ۹۵/۳/۳ پذیرش: ۹۵/۸/۱۹

چکیده

در این پژوهش، شرایط اقلیمی دیرینه و سیستم دیاژنزی سازند بهرام (دونین میانی-بالایی) با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی و ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و کربن مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور سه برش چینه‌ای از این سازند در مناطق چشمه شیر (شمال شرق طبس) با ضخامت ۱۸۰ متر، کمرکوه (جنوب کاشمر) با ضخامت ۱۸۸ متر و حوض دوراه (شرق طبس) با ضخامت ۱۹۲ متر در شرق ایران مطالعه شده است. توالی‌های مورد مطالعه از سنگ‌آهک‌های نازک لایه تا ضخیم لایه خاکستری رنگ فسیل‌دار تشکیل شده است. بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی به دست آمده، سبک بودن مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}\text{O}$ (میانگین $-7/66$) در برش کمرکوه، $-8/11$ در برش چشمه شیر و $-8/21$ در برش حوض دوراه) در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه و همچنین نسبت استرانسیم بهنجار شده توسط کلسیت در برابر آهن و منگنز، می‌تواند نشانگر یک سامانه نیمه باز و تبادل آب به سنگ نسبتاً بالا باشد. تلفیق نتایج ژئوشیمیایی عنصری (از جمله پایین بودن نسبت استرانسیم به منگنز و بالا بودن منگنز) و روند تغییرات ایزوتوپ کربن و اکسیژن نشان می‌دهد که تاثیر دیاژنز متوریک بر روی نهشته‌ها بیش‌تر بوده است.

واژه‌های کلیدی: سازند بهرام، دونین پسین، شرق ایران، عناصر اصلی و فرعی، ایزوتوپ اکسیژن و کربن

۱- مقدمه

سازند بهرام را متشکل از سنگ‌های آهکی به رنگ آبی-خاکستری و سیاه در محل سرتخت بهرام (جنوب ازبک کوه) به سن دونین میانی-بالایی و با ضخامت ۳۰۰ متر معرفی کردند. پژوهش‌های پیشین انجام شده بر روی این سازند در منطقه به طور عمده در زمینه مطالعات زیست‌چینه‌ای و سنگ چینه‌ای بوده است، اما در سال‌های اخیر، مطالعات دیگری در زمینه محیط رسوبی، دیاژنز، چینه‌نگاری سکansı و ژئوشیمی سازند بهرام در شرق ایران [۲،۳،۴،۶،۷] به انجام رسیده است. بر مبنای مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی چهار کمر بند رخساره‌ای کربناتی (پهنه جزرومدی، لاگون، پشته و دریای باز) و یک رخساره آواری (پهنه ساحلی) تشخیص داده شد و محیط رسوبی این نهشته‌ها پلت‌فرم کربناته از نوع رمپ تک شیب تفسیر گردید [۶، ۲۲]. در این پژوهش، شرایط اقلیمی دیرینه (حاره‌ای، معتدله و قطبی) و سیستم دیاژنزی با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی در سه برش

موقعیت کشور ایران در جغرافیای دیرینه زمان دونین سبب شده که این نهشته‌ها تقریباً در فاصله زمانی ۳۵۴ تا ۴۱۷ میلیون سال قبل و به طور گسترده در اقصی نقاط ایران بر جای گذاشته شود. با تکیه بر نتایج پالینولوژی و توصیف ویژگی‌های چینه‌شناسی، سنگ‌های دونین ایران را می‌توان در دو گروه سنگ‌های آواری به سن دونین پیشین و سنگ‌های به طور عمده کربناته به سن دونین میانی-پسین جای داد [۱]. در نواحی ایران مرکزی به ویژه در نواحی شرقی آن، دونین زیرین را به نام سازند پادها، و دونین میانی و بالایی را با نام سازندهای سبزار، بهرام و شیشتو (شیشتو ۱) نام‌گذاری و معرفی کرده‌اند [۵]. سازند بهرام به سن دونین میانی-پسین (ژیوسین-فرازنین)، دومین سازند گروه ازبک کوه، واحدی سنگی است که مابین سازندهای سبزار در پایین و شیشتو در بالا قرار دارد و شامل سنگ آهک‌های آبی-خاکستری و سیاه رنگ می‌باشد. روتنر و همکاران [۳۱]

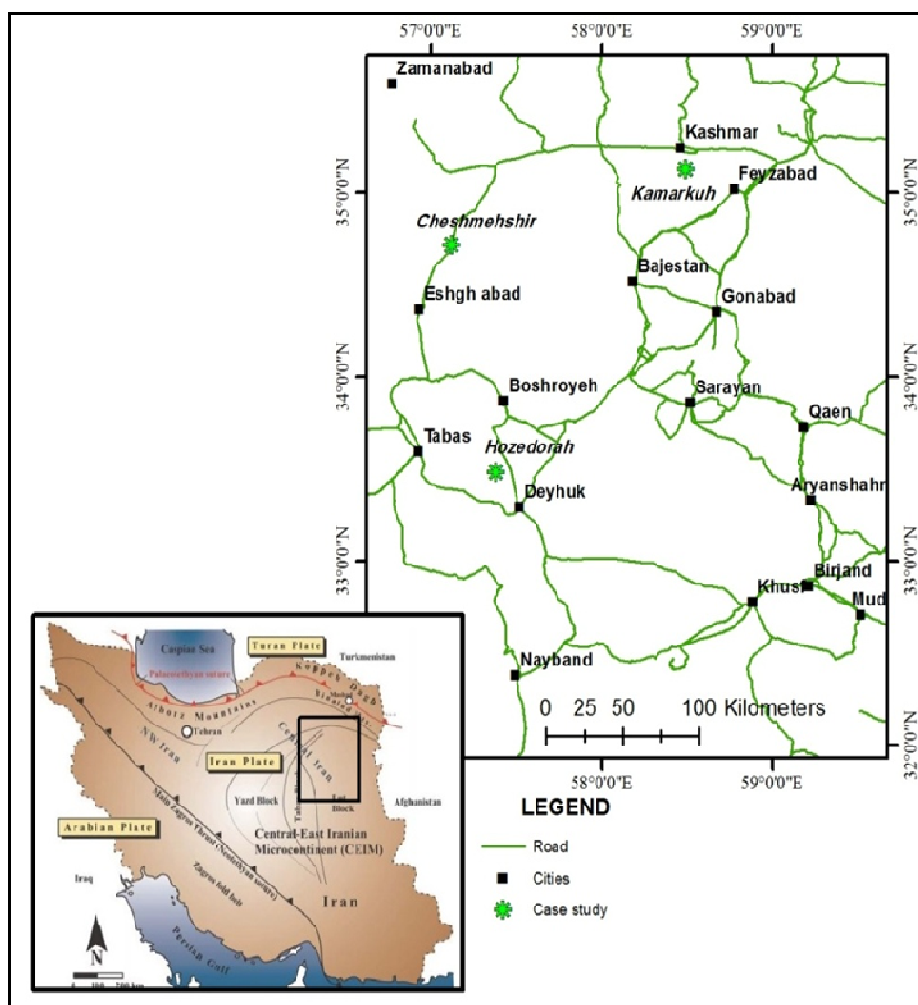
۱۱.۹° ۷' ۵۷" طول شرقی و ضخامت ۱۸۰ متر در شمال شرقی روستای چشمه‌شیر در ۳۰ کیلومتری شمال‌شرقی عشق‌آباد (شمال‌شرق طبس) قرار دارد. مرز پایینی آن با دولومیت خاکستری رنگ سازند سبزار در این منطقه پیوسته بوده و مرز بالایی آن فرسایشی است. سنگ‌شناسی عمده این سازند از قاعده به سمت بالا شامل سنگ آهک‌های خاکستری رنگ متوسط تا ضخیم لایه دارای فسیل بازوپایان، سنگ آهک خاکستری روشن با میان لایه‌های دولومیت متوسط لایه، سنگ آهک ضخیم لایه دارای فسیل‌های بازوپایان و کرینوئید و شکم پایان می‌باشد. از قاعده به سمت بالا فسیل بازوپایان کاهش پیدا کرده است (شکل ۲).

چینه‌شناسی چشمه شیر (شمال‌شرق طبس)، کمرکوه (جنوب کاشمر) و حوض دوراه (شرق طبس) در شرق ایران مطالعه شده است.

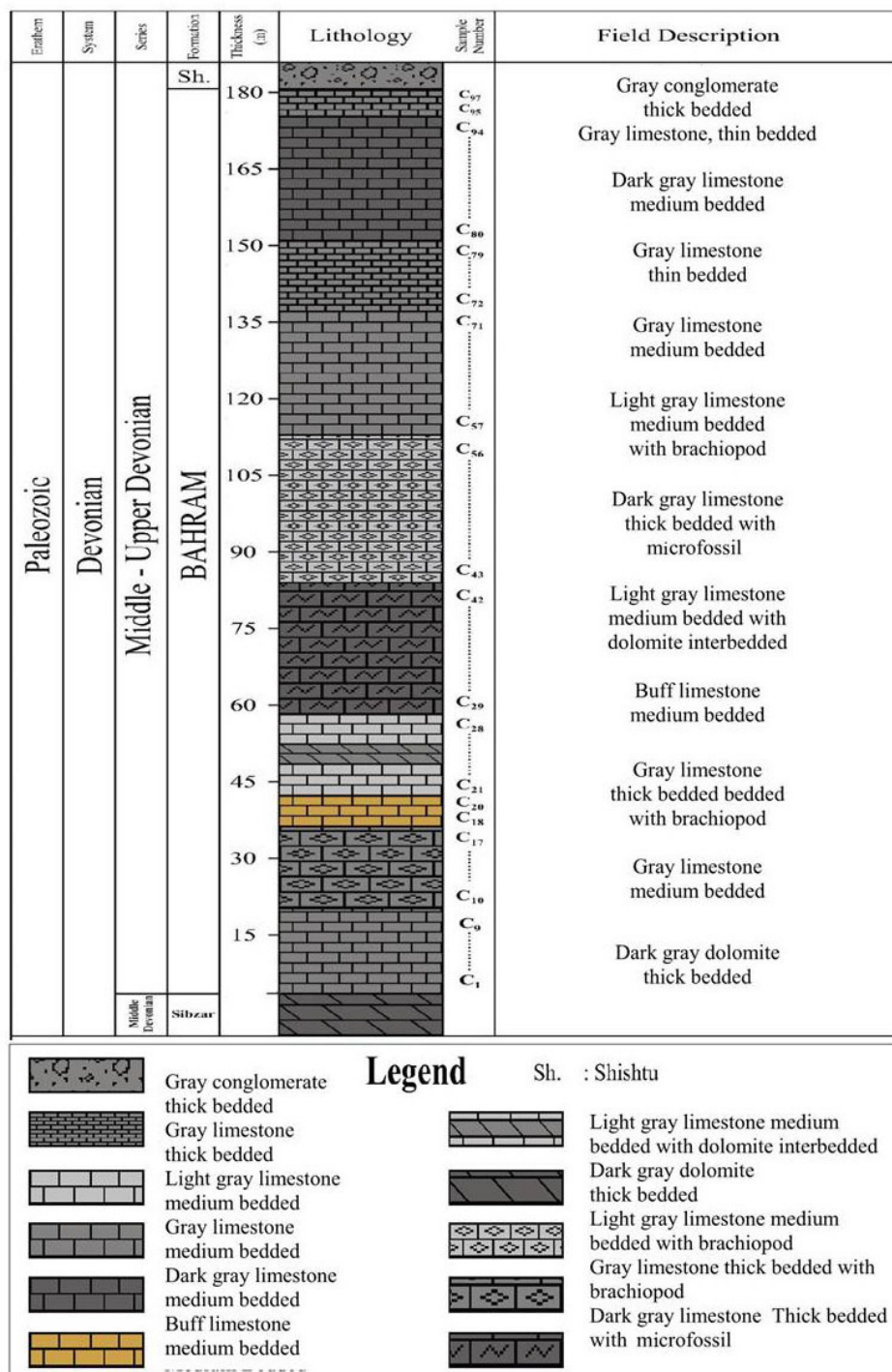
۲- موقعیت زمین‌شناسی و چینه‌شناسی مناطق مورد مطالعه

به منظور مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی سازند بهرام سه برش چینه‌شناسی در شرق ایران شامل برش‌های چشمه شیر، کمر کوه و حوض دوراه با مشخصات زیر انتخاب گردید، که موقعیت مناطق مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

قاعده برش چینه‌شناسی چشمه‌شیر با مختصات جغرافیایی "۱۰.۸ ۳۴' ۳۴° عرض شمالی و



شکل ۱. موقعیت راه‌های دسترسی به برش‌های مورد مطالعه



شکل ۲. توالی سنگ چینه‌ای سازند بهرام در برش چشمه‌شیر

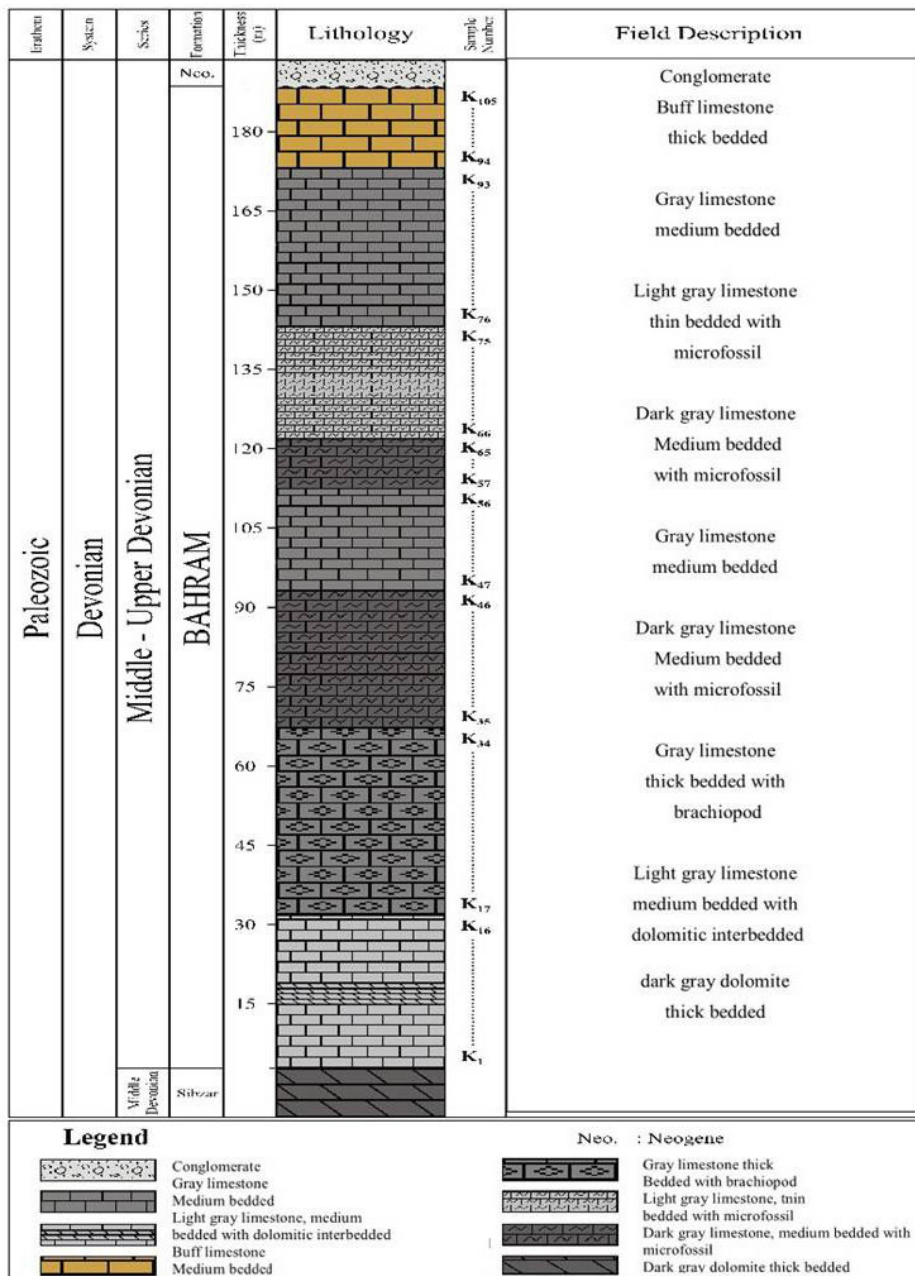
می‌پوشاند و توسط رسوبات نئوژن پوشیده می‌شود. سنگ‌شناسی عمده این سازند از قاعده به سمت بالا شامل سنگ آهک خاکستری روشن با تداخل‌هایی از دولومیت، سنگ آهک خاکستری تیره متوسط تا ضخیم لایه به همراه فسیل‌های بازو‌پایان، دوکفه‌ای و شکم‌پایان

قاعده برش چینه‌شناسی کمرکوه با مختصات جغرافیایی "۴۸° ۲۶' ۴۴.۴" عرض شمالی و "۵۸° ۲۶' ۴۴.۴" طول شرقی و ضخامت ۱۸۸ متر در ۵ کیلومتری جنوب روستای اسحاق آباد در کمرکوه (جنوب کاشمر) واقع است. در این محل سازند بهرام به صورت هم‌شیب سازند سبزار را

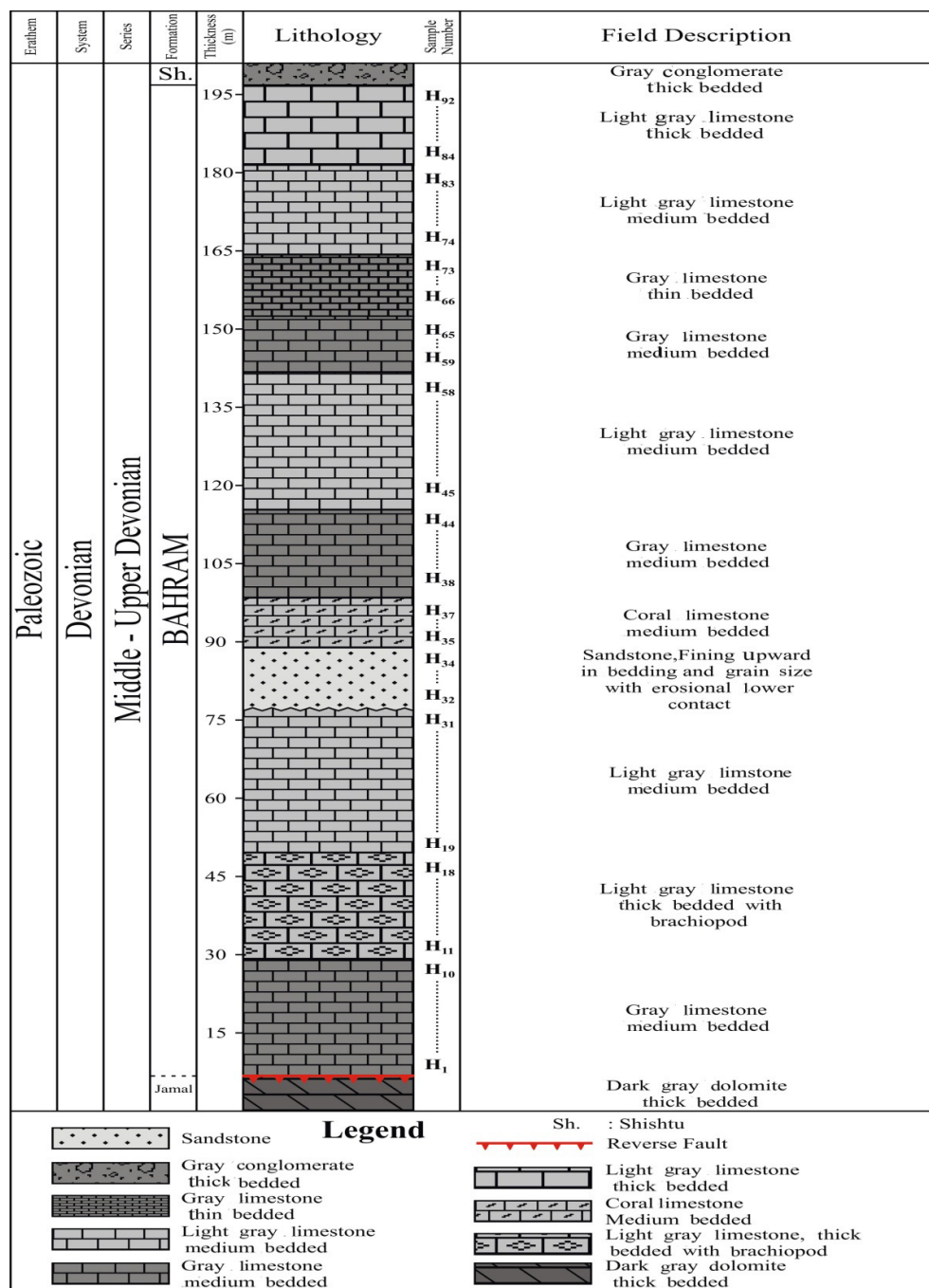
دیهوک (شرق طبس) واقع است. مرز پائینی در این محل با سازند جمال گسلی بوده و توسط سازند شیشتو پوشیده می‌شود. سنگ‌شناسی عمده این سازند از قاعده به سمت بالا شامل سنگ آهک خاکستری متوسط لایه، سنگ آهک ضخیم لایه دارای فسیل بازوپایان، ماسه‌سنگ قهوه‌ای رنگ دارای ساختمان رسوبی ریپل‌مارک، باندستون مرجانی فاقد گسترش جانبی و سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه دارای بریوزوئر می‌باشد (شکل ۴).

و سنگ آهک‌های خاکستری تا نخودی رنگ دارای کرینوئید، بریوزوئر و بازوپایان می‌باشد. بازوپایان و دوکفه‌ای فراوان‌ترین فسیل مشاهده شده در این برش می‌باشد، به طوری که به سمت بالای برش مورد مطالعه از فراوانی آن‌ها کاسته می‌شود (شکل ۳).

قاعده برش چینه‌شناسی حوض دوراه با مختصات جغرافیایی "۶۰' ۲۰" عرض شمالی و "۳۲' ۲۰" طول شرقی و ضخامت ۱۹۲ متر در ۲۵ کیلومتری



شکل ۳. توالی سنگ چینه‌ای سازند بهرام در برش کمرکوه



شکل ۴. توالی سنگ چینه‌ای سازند بهرام در برش حوض دوراه

۳- روش مطالعه

برای مطالعه ژئوشیمیایی سازند بهرام در برش‌های مورد مطالعه ۱۷ نمونه سنگ آهک از برش چشمه شیر، ۱۷ نمونه از برش کمر کوه و ۱۸ نمونه از برش حوض دوراه (در کل ۵۲ نمونه) برای مطالعه تجزیه عنصری انتخاب گردید. پودر این نمونه‌ها توسط مته دندان پزشکی و از زمینه گل آهکی موجود و به دور از رگه‌ها تهیه شده و

سپس برای تعیین عناصر اصلی و فرعی با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (AAS) در آزمایشگاه شیمی دستگاهی گروه شیمی دانشگاه فردوسی مشهد مورد آزمایش و مقادیر عناصر اصلی (شامل Ca و Mg) بر حسب درصد و عناصر فرعی (شامل Sr، Na، Mn و Fe) بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. کلیه مقادیر به دست آمده از آنالیز توسط دستگاه طیف‌سنج

سديم در نمونه‌های مورد مطالعه در برش کمرکوه بين ۴۲۶/۶ تا ۷۵۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۵۹۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در برش چشمه شیر بين ۳۶۱/۶ تا ۹۰۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۵۷۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوراه بين ۲۵۲ تا ۵۵۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۴۰۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نوسان است. مقادير منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه برش کمرکوه بين ۲۶۴/۵ تا ۲۰۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۰۶۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برش چشمه شیر بين ۱۴۷/۳ تا ۹۵۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۶۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوراه بين ۴۵/۵ تا ۴۳۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۳۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تغيير است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقدار میانگین استرانسیم، سديم و منگنز در نمونه‌های کربناتی سازند بهرام در برش کمرکوه بیش‌تر از دیگر برش‌ها است. مقادير آهن در نمونه‌های مورد مطالعه برش کمرکوه بين ۱۷/۱ تا ۱۲۰۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۹۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در برش چشمه شیر بين ۵۸ تا ۲۲۳۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۳۰۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوراه بين ۱۸۲/۱ تا ۴۰۸۶/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۲۰۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تغيير است. میانگین میزان آهن در نمونه‌های کربناتی سازند بهرام در برش حوض دو راه بیش‌تر از دیگر برش‌ها است. دامنه تغییرات ایزوتوپ اکسیژن در آهک‌های سازند بهرام در برش چشمه شیر بين ۷/۱۲- تا ۹/۴۲- (میانگین ۸/۱۱-)، در برش کاشمر بين ۶/۹۹- تا ۸/۸۷- (میانگین ۷/۶۶-) و در حوض دوراه بين ۶/۸۱- تا ۹/۵۵- (میانگین ۸/۲۱-) در تغيير است. مقدار ایزوتوپ کربن در برش چشمه شیر بين ۲/۲۱- تا ۱/۳۲+ (میانگین ۰/۵۱-)، در برش کاشمر بين ۰/۸۵- تا ۱/۸۶+ (میانگین ۰/۴۴+) و در برش حوض دوراه بين ۲/۱۲- تا ۲/۲۷+ (میانگین ۰/۱۱+) در نوسان است. محدوده مقادير ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{18}\text{O}$ کلسیت آب دریای دونین به ترتیب بين ۰ تا ۲+ و ۳- تا ۷- گزارش شده است [۲۳]. مقادير، میانگین و انحراف معیار ایزوتوپ اکسیژن و کربن نمونه‌های سازند بهرام در برش‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

جذب اتمی، پس از کسر مقادير حاصل از محاسبه میزان مواد نامحلول در اسید، دوباره محاسبه و مقادير تصحیح شده، برای ترسیم نمودارها به کار گرفته شده است. برای تکمیل اطلاعات، ۲۷ نمونه از پودر سنگ‌هایی که مورد آزمایش جذب اتمی قرار گرفته بودند و بر مبنای مشاهدات پتروگرافی و میکروسکوپ کاتدولومینسانس [۲۲] نیز کم‌ترین میزان دگرسانی را نشان می‌دادند، انتخاب (۱۰ نمونه از برش چشمه شیر، ۷ نمونه از برش کمرکوه و ۱۰ نمونه از برش حوض دوراه) و به آزمایشگاه ایزوتوبی دانشگاه اتاوا کانادا فرستاده شد. در این تجزیه، ۱۵ میلی‌گرم از پودر نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت تاثیر اسید فسفریک ۱۰۰ درصد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا گاز CO_2 متصاعد شده از نمونه توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی مدل Thermo Finnigan GasBench coupled to a DeltaPlus XP IRMS اندازه‌گیری شود. خطای اندازه‌گیری ایزوتوبی دستگاه % 0.1 \pm است. ترکیب ایزوتوپ اکسیژن و کربن نمونه‌ها به برحسب VPDB و برحسب قسمت در هزار گزارش گردید.

۴- نتایج

نتایج حاصل از تجزیه عناصر اصلی و فرعی در برش‌های مورد مطالعه سازند بهرام (جدول‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهد که مقدار عنصر کلسیم در رسوبات کربناته برش کمرکوه بين ۲۹/۱ تا ۳۹/۸ درصد (میانگین ۳۴/۶۵ درصد)، در برش چشمه شیر بين ۳۰/۳ تا ۳۹/۶ درصد (میانگین ۳۵/۲۰ درصد) و در برش حوض دوراه بين ۲۶/۱ تا ۳۹/۹ درصد (میانگین ۳۳/۴۵ درصد) و برای عنصر منیزیم در رسوبات کربناته برش کمرکوه بين ۰/۳ تا ۰/۵ درصد (میانگین ۰/۴ درصد)، در برش چشمه شیر بين ۰/۲ تا ۰/۶ درصد (میانگین ۰/۴ درصد) و در برش حوض دوراه بين ۰/۳ تا ۳/۴ درصد (میانگین ۰/۹۵ درصد) در نوسان است. مقادير استرانسیم در رسوبات کربناته برش کمرکوه بين ۲۴۸/۵ تا ۸۴۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۴۷۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در برش چشمه شیر بين ۲۵۵/۱ تا ۶۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۳۶۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوراه بين ۷۹/۵ تا ۳۳۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۸۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تغيير است. مقادير

جدول ۱. نتایج آنالیز عناصر اصلی و فرعی در نمونه‌های کل خمیره سنگ‌های کربناته سازند بهرام در مناطق مورد مطالعه

Sample No.	Insoluble Residues (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Na (ppm)
1(C3)	6.22	31.6	0.4	977.6	178.9	289.5	370.9
2(C15)	8.14	32.6	0.3	199.4	271.4	278.5	521.1
3(C20)	9.25	34.1	0.3	88.9	301.7	255.1	485.1
4(C29)	9.80	36.3	0.3	125.5	222.0	405.0	361.6
5(C37)	8.75	39.5	0.4	2238.3	200.5	365.7	722.7
6(C41)	5.95	31.7	0.4	151.9	205.7	447.8	661.2
7(C45)	7.25	35.5	0.3	63.2	292.0	356.9	564.8
8(C50)	5.74	30.3	0.2	159.5	147.3	379.7	532.7
9(C54)	7.85	32.6	0.3	162.4	188.6	348.4	530.8
10(C55)	7.44	33.5	0.3	133.3	187.1	386.3	526.7
11(C63)	8.13	33.9	0.3	138.7	254.3	350.5	642.5
12(C67)	8.85	34.7	0.4	58.7	259.6	298.0	472.1
13(C68)	6.55	38.7	0.4	71.6	172.7	373.8	568.4
14(C77)	7.19	34.8	0.4	58.8	231.4	304.8	559.9
15(C78)	9.35	39.6	0.3	172.0	215.8	428.7	699.6
16(C92)	7.05	39.5	0.6	139.4	957.7	625.0	909.1
17(K3)	9.20	33.4	0.4	21.4	1396.9	278.1	628.6
18(K4)	6.65	30.8	0.3	28.6	2015.0	248.5	599.2
19(K11)	6.34	30.4	0.3	1163.4	1477.3	252.6	508.5
20(K13)	6.89	36.0	0.4	1201.6	1099.9	339.1	754.1
21(K17)	9.05	35.7	0.4	28.6	739.8	356.7	552.2
22(K19)	8.15	35.2	0.4	21.6	802.9	341.6	565.3
23(K21)	7.55	32.1	0.4	32.1	1114.3	427.4	666.3
24(K24)	7.15	29.1	0.4	992.3	761.2	346.5	680.3
25(K29)	5.95	35.6	0.5	32.1	692.0	787.9	677.8
26(K30)	8.24	35.2	0.4	37.0	1051.3	718.0	502.8
27(K33)	6.05	35.1	0.5	436.3	264.5	792.7	618.9
28(K37)	7.35	33.5	0.4	19.1	786.7	846.2	669.5
29(K44)	9.15	38.2	0.3	32.8	1586.8	301.7	426.6
30(K46)	8.65	34.1	0.3	556.6	619.6	655.4	575.0
31(K51)	8.12	38.1	0.3	20.5	1113.2	418.6	465.6
32(K55)	9.25	37.3	0.4	19.8	972.6	416.9	562.7
33(K63)	7.48	39.8	0.5	17.1	1024.7	491.9	630.0
34(K75)	6.28	35.2	0.3	23.7	1436.5	413.4	614.4
35(D5)	8.55	35.1	0.5	229.1	45.5	131.5	403.2
36(D17)	6.50	38.3	0.4	182.1	53.3	121.1	400.3
37(D18)	7.75	30.2	1.1	258.4	58.9	131.4	304.1
38(D21)	8.20	31.7	0.8	185.3	54.3	118.6	367.8
39(D26)	8.15	26.1	1.3	4086.1	405.5	79.5	346.5
40(D37)	6.60	30.1	0.3	4023.4	430.4	332.8	433.2
41(D40)	7.65	29.9	3.4	2401.4	180.9	119.3	335.3
42(D43)	5.90	33.7	3.3	2464.9	176.9	122.5	355.2
43(D46)	6.56	33.6	0.3	653.2	92.7	212.5	321.5
44(D49)	6.20	35.2	0.3	483.3	84.1	185.9	369.5
45(D640)	7.12	39.9	0.4	839.4	114.2	267.7	528.8
46(D64)	8.40	33.2	0.4	1265.4	157.5	138.6	382.3
47(D65)	8.22	35.4	0.6	369.9	64.8	327.6	553.4
48(D74)	7.48	35.1	0.4	355.5	55.5	216.0	480.6
49(D76)	7.35	35.2	0.4	329.3	59.5	202.0	470.8
50(D78)	9.22	35.3	0.3	342.2	83.9	186.7	252.0
51(D81)	8.45	39.1	0.3	402.0	85.5	206.3	466.8
52(D85)	9.05	37.2	0.5	924.2	111.0	238.5	485.2

جدول ۲. مقادیر کمترین، بیش‌ترین و میانگین عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های کربناته سازند بهرام در مناطق مورد مطالعه

نام برش	مقدار	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Na (ppm)
چشمه شیر	کمترین	0.2	30.3	255.1	147.3	58	361.6
	بیش‌ترین	0.6	39.6	625	957.7	2238.3	909.1
	میانگین	0.3	29.1	248.5	264.5	17.1	426.6
کمر کوه	کمترین	0.3	29.1	248.5	264.5	17.1	426.6
	بیش‌ترین	0.5	39.8	846.2	2015	1201/6	754.1
	میانگین	0.4	26.1	476.4	1061.7	295.2	593.9
حوض دوراه	کمترین	0.3	26.1	79.5	45.5	45.5	182.1
	بیش‌ترین	3.4	39.9	322.8	430.4	5086.1	553.3
	میانگین	0.95	33.45	187.5	139.5	1203.2	403.1

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار مقادیر ایزوتوپ اکسیژن (^{18}O) و کربن (^{13}C) در برش‌های مورد مطالعه (PDB)

برش مورد مطالعه	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$
کاشمر	-7.66 ± 0.68	0.44 ± 0.97
چشمه شیر	-8.11 ± 0.84	-0.51 ± 0.99
حوض دوراه	-8.21 ± 0.97	0.11 ± 1.35

جدول ۴. مقادیر ایزوتوپ اکسیژن و کربن در سنگ آهک‌های سازند بهرام در برش‌های مورد مطالعه (PDB)

برش مورد مطالعه	شماره نمونه	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$
کاشمر	K19	-7.39	0.13
کاشمر	K24	-7.89	-0.19
کاشمر	K29	-8.16	1.86
کاشمر	K37	-6.99	1.62
کاشمر	K46	-8.87	0.27
کاشمر	K55	-7.09	0.25
کاشمر	K33	-7.23	0.85
چشمه شیر	C15	-7.91	-2.21
چشمه شیر	C37	-8.00	-0.9
چشمه شیر	C55	-7.52	-0.47
چشمه شیر	C68	-8.07	-1.39
چشمه شیر	C3	-9.42	1.32
چشمه شیر	C29	-8.98	-0.96
چشمه شیر	C50	-7.28	-0.34
چشمه شیر	C41	-9.29	-0.12
چشمه شیر	C78	-7.51	-0.68
چشمه شیر	C 54	-7.12	0.61
حوض دوراه	D 65	-6.89	2.27
حوض دوراه	D74	-7.64	1.55
حوض دوراه	D46	-9.55	1.34
حوض دوراه	D21	-7.85	-0.42
حوض دوراه	D17	-8.15	-0.69
حوض دوراه	D18	-8.24	-0.74
حوض دوراه	D49	-8.27	-0.73
حوض دوراه	D78	-9.18	0.88
حوض دوراه	D5	-9.50	-0.24
حوض دوراه	D76	-6.84	-2.12

۵- بحث و بررسی

۵-۱- عناصر فرعی و اصلی

– کلسیم و منیزیم (Ca, Mg): با استفاده از نمودار مقادیر کلسیم در مقابل منیزیم می‌توان سنگ‌های آهکی را از دولومیت‌ها تفکیک نمود. نتایج حاصل نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه از نوع سنگ آهک است (شکل ۵).

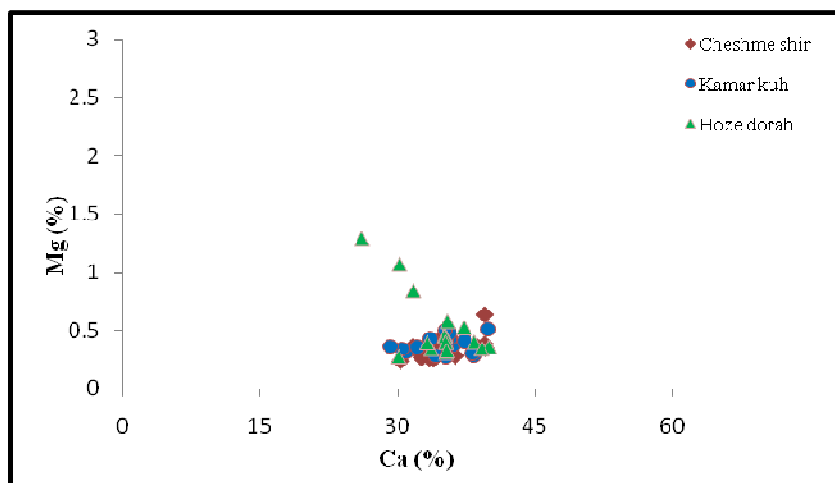
– استرانسیم (Sr): اغلب سنگ‌های آهکی قدیمه در طی دیاژنز نظیر تبدیل آراگونیت به کلسیت، انحلال و قرار گرفتن در سیستم باز دیاژنتیکی استرانسیم خود را از دست می‌دهند [۳۷، ۱۸، ۱۲]. بیش‌ترین مقدار استرانسیم شرکت کننده در شبکه کلسیت غیربیوتیک، ۱۰۰۰ پی

پی‌ام است [۳۹] و وجود مقادیر بیش از این در شبکه کلسیت، نشان دهنده تاثیر کم فرایندهای دیاژنتزی [۳۲]، [۳۵] و به ارث رسیدن مقداری از این استرانسیم از کانی اولیه آراگونیتی به کلسیت است. با توجه به میزان استرانسیم در نمونه‌های مورد مطالعه (میانگین ۴۷۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای برش کمرکوه، ۳۶۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای برش چشمه شیر و ۱۸۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای برش حوض دو راه) که نسبت به کربنات‌های حاره‌ای عهد حاضر که بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم [۲۵] و کربنات‌های معتدله که بین ۱۶۴۲ تا ۵۰۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم [۳۰، ۲۹] کاهش یافته، می‌تواند نشانگر تاثیر دیاژنز متئوریک باشد. مطالعات پیشین بر روی برش الگوی سازند بهرام نیز

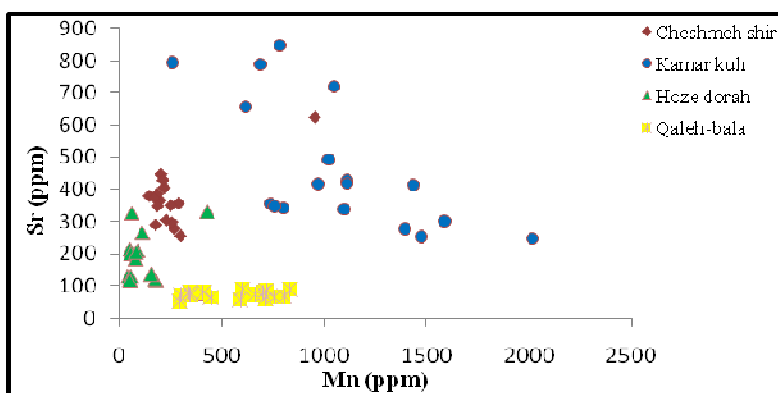
- **منگنز (Mn):** مقدار منگنز در کربنات‌های دریایی بسته به کانی‌شناسی اولیه، ساختمان بلوری کانی، میزان تمرکز Mn در آب دریا، شرایط Eh، مواد آلی، میزان دگرسانی و فرآیندهای میکروبی دارد [۳۴، ۱۸]. مقدار منگنز در سنگ‌های کربناته آراگونیتی عهد حاضر کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در نمونه‌های کربناته مناطق معتدله عهد حاضر بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد [۳۰]. مقدار منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه برش کمرکوه بین ۲۶۴/۵ تا ۲۰۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۰۶۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برش چشمه شیر بین ۱۴۷/۳ تا ۹۵۷/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۶۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوره بین ۴۵/۵ تا ۴۳۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۱۳۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تغییر است. افزایش مقدار منگنز نسبت به سنگ‌های آهکی مناطق حاره‌ای عهد حاضر و مناطق معتدله عهد حاضر می‌تواند ناشی از تاثیر دیاژنز متئوریک (غیردریایی) در شرایط احیایی بر روی کربنات‌های مورد مطالعه باشد. اصولاً مقدار منگنز با افزایش فرآیندهای دیاژنز متئوریک بیشتر می‌شود، زیرا ضریب توزیع منگنز برای کانی آراگونیت در آب‌های متئوریک بالایی (حدود ۱۵) است [۲۷، ۱۳، ۹]. افزایش میزان منگنز را می‌توان به حاکمیت شرایط احیایی در محیط و هم‌این‌طور سیستم به نسبت باز، نسبت داد [۱۶]. مطابق شکل (۶) تغییرات منگنز در نمونه‌های مربوط به برش چشمه شیر نسبت به سایر برش‌ها کمتر است که این موضوع می‌تواند بیانگر دگرسانی کمتر و یا بسته‌تر بودن سامانه دیاژنتیکی نمونه‌های این برش باشد.

موید تاثیر دیاژنز متئوریک در یک سیستم دیاژنزی نیمه باز و ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی بوده است [۶]. مقدار استرانسیم با افزایش میزان آراگونیت افزایش و با افزایش میزان کلسیت کاهش می‌یابد [۲۰، ۱۹، ۱۷].

- **سدیم (Na):** مقدار سدیم در سنگ‌های آهکی آراگونیتی غیر زیستی حاره‌ای عهد حاضر بین ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۲۵۰۰ پی‌پی‌ام) در تغییر است و در کلسیت‌های کم منیزیم غیر زیستی مناطق معتدله عهد حاضر تمرکز سدیم حدود ۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد [۳۹]. تمرکز سدیم در رسوبات کربناته تابع برخی عوامل نظیر درجه شوری، کانی‌شناسی، عمق آب، تفریق زیستی و اثرات جنبشی است [۳۰، ۸]. مقادیر سدیم با افزایش شوری و عمق آب و میزان آراگونیت افزایش می‌یابد و در آب‌های متئوریک تمرکز پایینی دارد. مقدار سدیم در نمونه‌های مورد مطالعه در برش کمرکوه بین ۴۲۶/۶ تا ۷۵۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۵۹۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، در برش چشمه شیر بین ۳۶۱/۶ تا ۹۰۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۵۷۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در برش حوض دوره بین ۲۵۲ تا ۵۵۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین ۴۰۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شده است. پایین‌تر بودن مقدار سدیم در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به آراگونیت‌های عهد حاضر می‌تواند دلیل دیگری بر تاثیر دیاژنز متئوریک (غیردریایی) باشد.



شکل ۵. تغییرات درصد فراوانی Mg در مقابل Ca در نمونه‌های آهکی مورد مطالعه



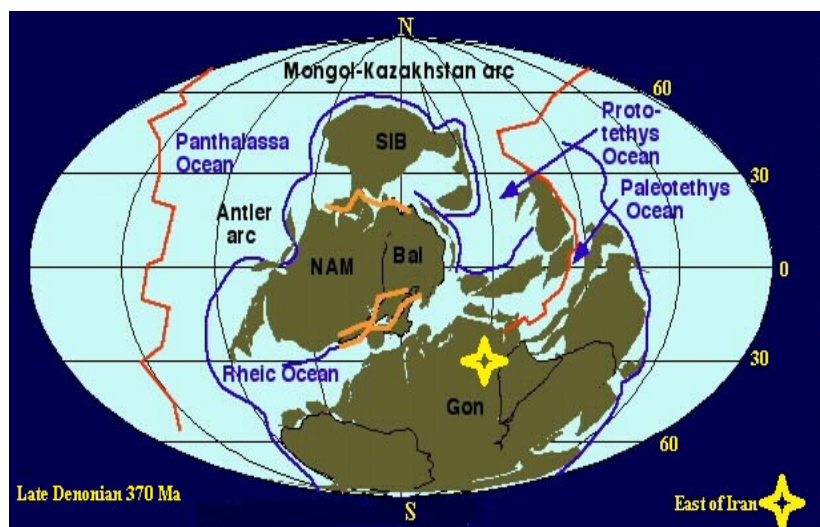
شکل ۶. تغییرات مقادیر Sr در برابر Mn در نمونه‌های آهکی سازند بهرام. مطابق این شکل تغییرات Mn در نمونه‌های مربوط به برش چشمه شیر نسبت به سایر برش‌ها کمتر است.

کاهش نسبت استرانسیم به منگنز می‌شود، نمودار Sr/Mn در مقابل Mn می‌تواند معیاری به عنوان میزان انحلال کربنات‌ها باشد [۳۸،۲۸،۱۱،۸]. در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Sr/Mn در برش کمرکوه بین ۰/۱ تا ۳، در برش چشمه شیر بین ۰/۷ تا ۲/۶ و در برش حوض دوره بین ۰/۲ تا ۲/۶ می‌باشد و با مقادیر Mn رابطه معکوس نشان می‌دهد، که نشانگر تاثیر دیاژنز متئوریک و فرآیند انحلال در یک سیستم ژئوشیمیایی نیمه باز می‌باشد (شکل ۸).

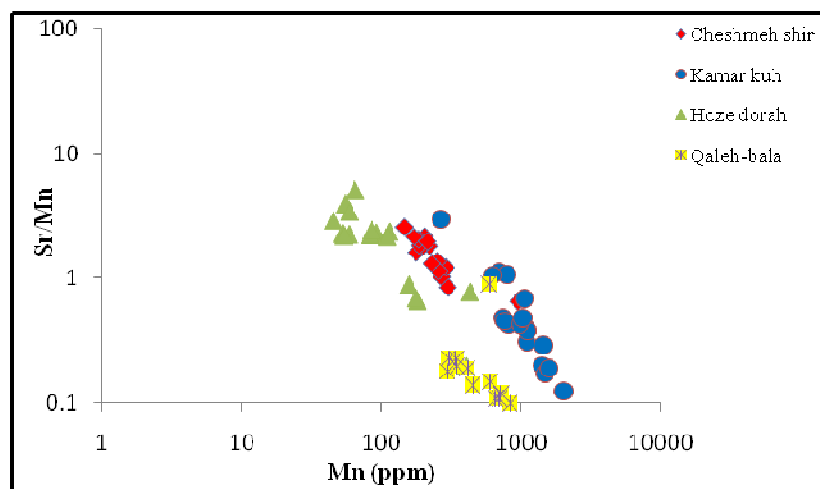
– نسبت استرانسیم به کلسیم (Sr/Ca): بر پایه نسبت استرانسیم بهنجار شده توسط کلسیت ($1000 * Sr/Ca$ (wt)) در برابر آهن و منگنز می‌توان به باز و بسته بودن سیستم دیاژنزی، نسبت کنش و واکنش آب به سنگ و شرایط اکسیدان و احیایی محیط پی برد. نسبت Sr/Ca در کربنات‌ها به نسبت Sr/Ca آب دریا و ضریب توزیع عنصر استرانسیم در کربنات‌ها بستگی دارد [۲۶،۱۵]. در سیستم‌های دیاژنتیکی باز با افزایش تبادلات آب به سنگ، نسبت Sr/Ca کاهش می‌یابد، در صورتی که در سیستم‌های دیاژنتیکی نیمه بسته که تبادلات آب و سنگ کم است، این نسبت در فازهای دیاژنزی تغییرات محسوسی نسبت به ترکیبات اولیه ندارد. در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Sr/Ca در برش کمرکوه بین ۳/۵ تا ۱۱/۲، در برش چشمه شیر بین ۳/۷ تا ۷/۷ و در برش حوض دو راه بین ۱/۴ تا ۴/۹ در نوسان است. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ نمونه‌های کربنات‌ها برش حوض دوره نسبت به سایر نمونه‌ها میزان Sr/Ca کمتری داشته، که می‌تواند گویای سیستم دیاژنزی نیمه باز برای آن باشد.

– نسبت استرانسیم به سدیم (Sr/Na): تغییرات نسبت استرانسیم به سدیم عامل مهمی در تفکیک کانی‌شناسی اولیه آراگونیت در برابر کلسیت و نیز کربنات‌های حاره‌ای عهد حاضر و دیرینه از معادل‌های غیرحاره‌ای است، به طوری که رسوبات کربنات‌ها آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر دارای نسبت Sr/Na بین ۳ تا ۵ می‌باشند، ولی در سنگ‌های آهکی کلسیتی مناطق معتدله عهد حاضر این نسبت پایین (حدود ۱) و میزان Mn بالا می‌باشد [۴۰،۲۷،۸]. این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه در دو برش کمرکوه و چشمه شیر بین ۰/۵ تا ۱/۱ (به ترتیب با میانگین ۰/۷۸ و ۰/۶۵) و در برش حوض دو راه بین ۰/۲ تا ۰/۸ (میانگین ۰/۴۵) در نوسان است و با توجه به این که در اغلب نمونه‌ها این نسبت کمتر از یک است، لذا به نظر می‌رسد شرایط آب و هوایی دیرینه در زمان تشکیل می‌تواند مشابه شرایط نیمه حاره‌ای عهد حاضر باشد. بررسی نقشه‌های جغرافیای دیرینه دونین میانی- پسین نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه بخشی از قاره گندوانا بوده و در محدوده مدار ۳۰ درجه جنوبی قرار داشته است [۳۳]. که با نتایج ژئوشیمیایی مذکور هم خوانی دارد (شکل ۷).

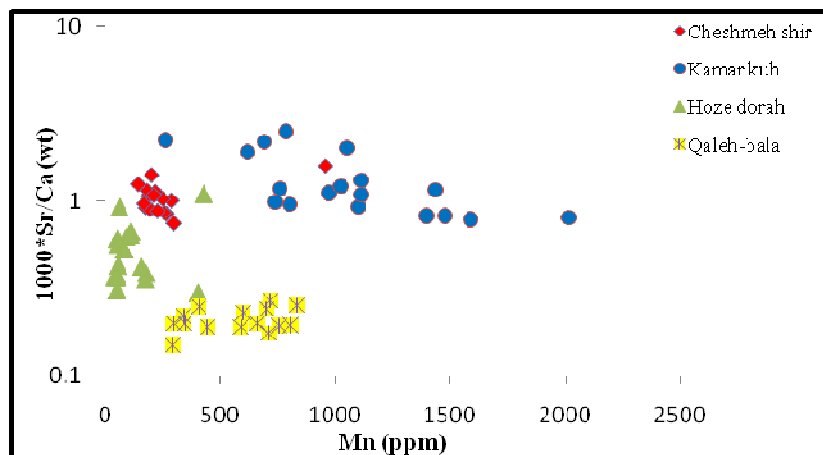
– نسبت استرانسیم به منگنز (Sr/Mn): دیاژنز در سنگ‌های آهکی فرآیند انحلالی مرطوب و ته‌نشست مجدد است [۱۰]. در اثر انحلال آراگونیت و کلسیت دارای منیزیم زیاد و تبدیل آن‌ها به کلسیت کم منیزیم، مقدار استرانسیم کاهش یافته و در برابر آن تمرکز منگنز افزایش خواهد یافت. این فرآیند به مقدار قابل توجهی توسط خروج رسوبات از آب و حضور سیالات متئوریکی تسهیل می‌گردد [۱۴]. از آن جا که این فرآیندها موجب



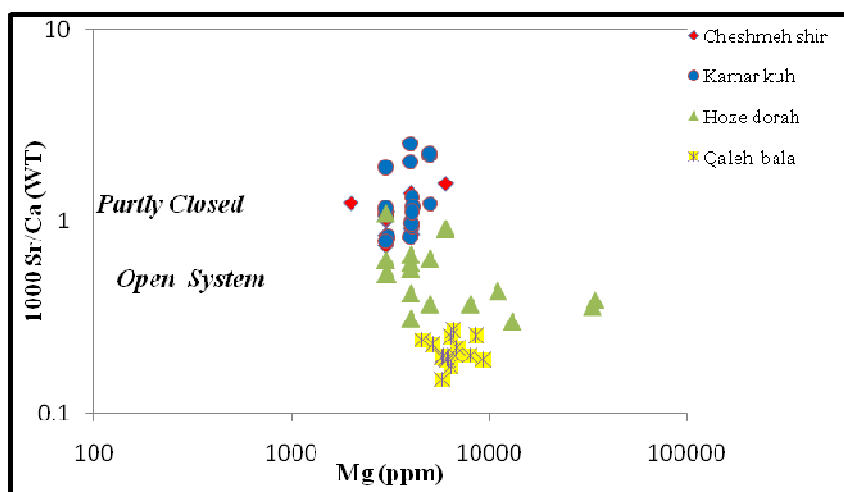
شکل ۷. نقشه جغرافیای دیرینه دونین بالایی [۳۸]. موقعیت مناطق مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است.



شکل ۸. تغییرات میزان Sr/Mn در برابر Mn در نمونه‌های کربناته سازند بهرام، همراه با محدوده نمونه‌های سازند بهرام در برش قلعه بالا [۶]. اکثر نمونه‌ها به دلیل باز بودن سامانه دیازنتیکی دارای نسبت Sr/Mn پایین و Mn بالا می‌باشند.



شکل ۹. تغییرات نسبت $1000 * Sr/Ca$ (wt) در برابر منگنز در نمونه‌های آهکی سازند بهرام [۱۵]، همراه با محدوده نمونه‌های سازند بهرام در برش قلعه بالا [۶]. پایین‌تر بودن نسبت استرانسیم بهنجارشده توسط کلسیت در نمونه‌های مربوط به برش حوض دوراه بیانگر تبادل آب به سنگ بیش‌تر این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.



شکل ۱۰. تغییرات نسبت 1000 Sr/Ca (wt) در برابر منیزیم در نمونه‌های آهکی سازند بهرام [۱۵] که نشانگر باز بودن سامانه دیاژنزی بر روی نمونه‌های حوض دوره و نیمه باز بودن نمونه‌های کمرکوه و چشمه شیر است، همراه با محدوده نمونه‌های سازند بهرام در برش قلعه بالا [۶]

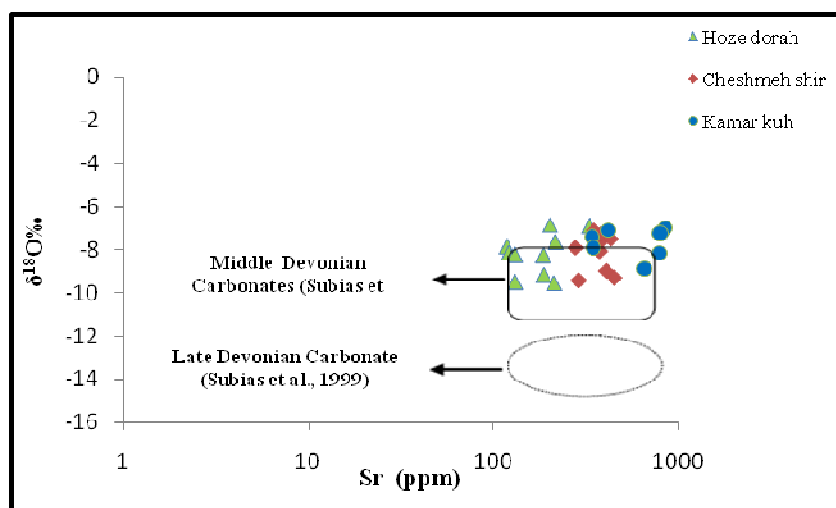
منگنز در شبکه کربنات جایگزین می‌شود. از آن جایی که مقادیر منگنز در نمونه‌های چشمه‌شیر و حوض دوره نسبتاً پایین است، چنین استنباط می‌شود که یک شرایط اکسیدی تا نیمه‌احیایی بر محیط دیاژنزی حاکم بوده است، در حالی که در مورد نمونه‌های کاشمر مقادیر بیشتر منگنز (نزدیک به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌تواند به دلیل شرایط احیایی محیط دیاژنتیکی تدفینی بوده باشد. مقادیر منگنز در برابر ایزوتوپ اکسیژن در نمونه‌های متعلق به سازند بهرام با نمونه‌های کربناته دونین میانی و بالائی اسپانیا مقایسه شده است (شکل ۱۲).

مقادیر ایزوتوپ کربن در مقابل استرانسیم: مقادیر استرانسیم با سبک شدن ایزوتوپ کربن در اکثر نمونه‌ها به طور نسبی کاهش می‌یابد (شکل ۱۳). از آن جایی که مقدار ایزوتوپ کربن در آب‌های متئوریکی و دوز بسیار پایین است، سبک بودن تعدادی از نمونه‌های کربناته در برش چشمه‌شیر و حوض دوره حاکی از این است که این نمونه‌ها تحت تاثیر دیاژنز متئوریکی (دوز) واقع شده‌اند، اما سنگین بودن ایزوتوپ کربن در اکثر نمونه‌های مربوط به برش کاشمر حاکی از عدم تاثیر و یا تاثیر کمتر دیاژنز متئوریکی کم‌تر در این نمونه‌ها است. علت پایین بودن مقادیر استرانسیم در نمونه‌های کربناته به دلیل تاثیر فرآیندهای دیاژنزی متئوریکی توسط آب‌های جوی است. مقادیر استرانسیم در برابر ایزوتوپ کربن در نمونه‌های سازند بهرام با نمونه‌های کربناته دونین میانی و بالایی اسپانیا مقایسه شده است (شکل ۱۳).

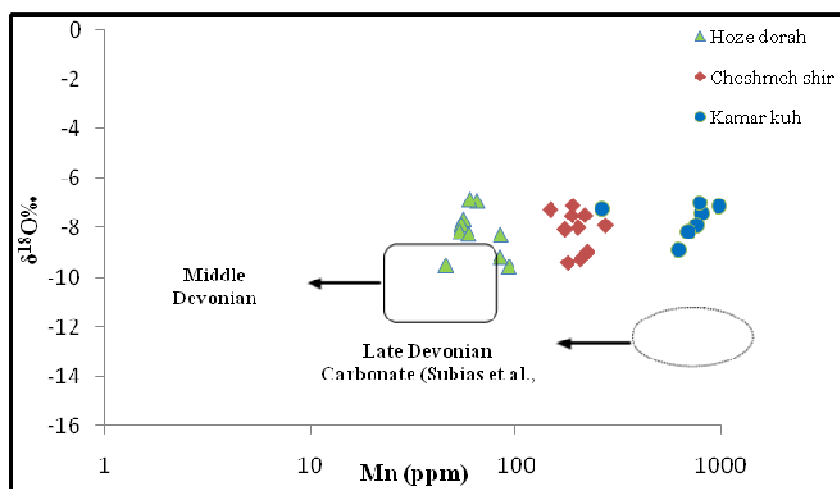
۵-۲- تغییرات عناصر فرعی در برابر ایزوتوپ اکسیژن و کربن

مقادیر ایزوتوپ اکسیژن در مقابل استرانسیم: تغییرات ایزوتوپ اکسیژن در مقابل استرانسیم در سنگ آهک‌های کلسیتی سازند بهرام در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. در اکثر نمونه‌ها مقادیر پائین‌تر Sr به مقادیر سنگین‌تر $\delta^{18}\text{O}$ مطابقت دارد که می‌تواند به مینرالوژی کلسیتی نسبت داده شود، زیرا مقادیر Sr در کلسیت به مراتب کم‌تر از آراگونیت است [۳۰، ۲۵]. تهی‌شدگی ایزوتوپ اکسیژن نمونه‌ها به همراه کاهش استرانسیم موید فرآیندهای دیاژنزی غیر دریایی در یک محیط دیاژنزی نیمه باز است. لازم به ذکر است که مقادیر ایزوتوپ اکسیژن و استرانسیم در نمونه‌های کربناته سازند بهرام در برش‌های کاشمر، چشمه شیر و حوض دوره با کربنات‌های دونین میانی و بالائی بخش مرکزی رشته کوه پیرنه در اسپانیا [۳۶] مقایسه شده است (شکل ۱۱).

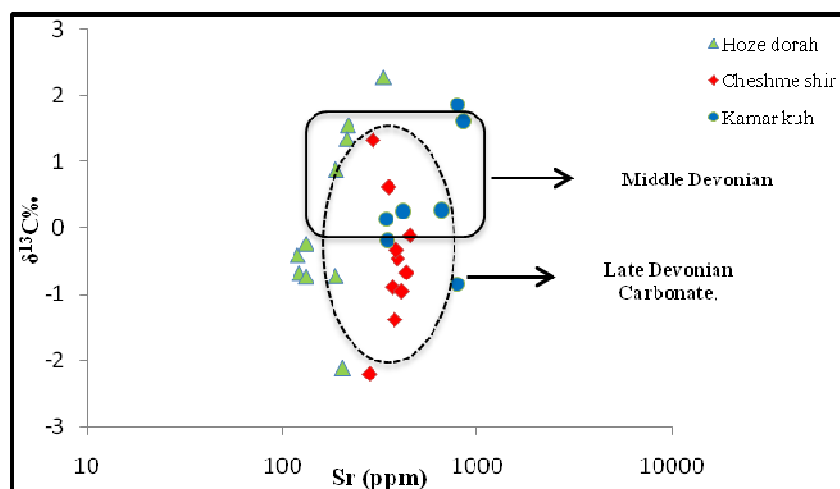
مقادیر ایزوتوپ اکسیژن در مقابل منگنز: در نمونه‌های مربوط به برش چشمه شیر و حوض دوره مقادیر منگنز با سبک‌تر شدن مقادیر ایزوتوپ اکسیژن افزایش ناچیزی را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). این روند حاکی از این است که این نمونه‌ها تحت تاثیر دیاژنز غیر دریایی در شرایط اکسیدی تا نیمه احیایی قرار گرفته‌اند. در شرایط اکسیدی یا هوای فقط مقادیر ناچیزی منگنز می‌تواند در شبکه کربنات کلسیم وارد شود، در حالی که در شرایط نیمه احیایی یا احیایی مقادیر قابل ملاحظه‌ای



شکل ۱۱. تغییرات $\delta^{18}O$ در مقابل Sr در نمونه‌های کل کربناته سازند بهرام، همراه با محدوده نمونه کربناته دونین میانی و بالایی اسپانیا



شکل ۱۲. تغییرات $\delta^{18}O$ در مقابل Mn در نمونه‌های کل کربناته سازند بهرام، همراه با محدوده نمونه کربناته دونین میانی و بالایی اسپانیا [۴۱]



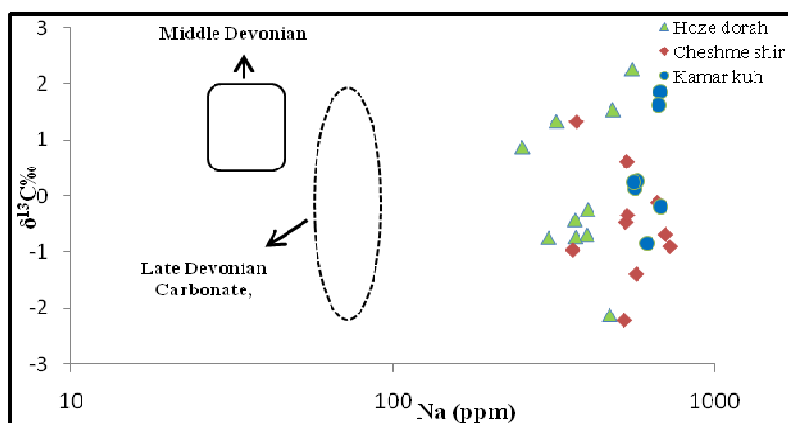
شکل ۱۳. تغییرات $\delta^{13}C$ در مقابل Sr در نمونه‌های کل کربناته سازند بهرام، همراه با محدوده نمونه کربناته دونین میانی و بالایی اسپانیا [۴۱]

رسوب‌گذاری را در سنگ‌های آهکی مورد تفسیر قرار داد [۲۶،۲۴،۲۱]. روند تغییرات ایزوتوپ اکسیژن و کربن در نمونه‌های مورد مطالعه حاکی از تغییرهای ناچیز در مقادیر ایزوتوپ اکسیژن و تغییرهای بیشتر در میزان ایزوتوپ کربن است، به گونه‌ای که روند کلی دیاژنز به طور کلی روند دیاژنز جوی را نشان می‌دهد (شکل ۱۵). سبک بودن مقادیر ایزوتوپ اکسیژن نیز به دلیل دگرسانی بیشتر در یک سامانه نیمه باز و نسبت تبادل آب به سنگ نسبتاً بالا بوده است. ایزوتوپ کربن در نمونه‌های مربوط به چشمه شیر و حوض دوره سبک‌تر از نمونه‌های کمرکوه می‌باشد، که این می‌تواند نشان دهنده انحلال بیشتر و یا تاثیر بیشتر آب‌های جوی در این نمونه‌ها نسبت به نمونه کمرکوه باشد.

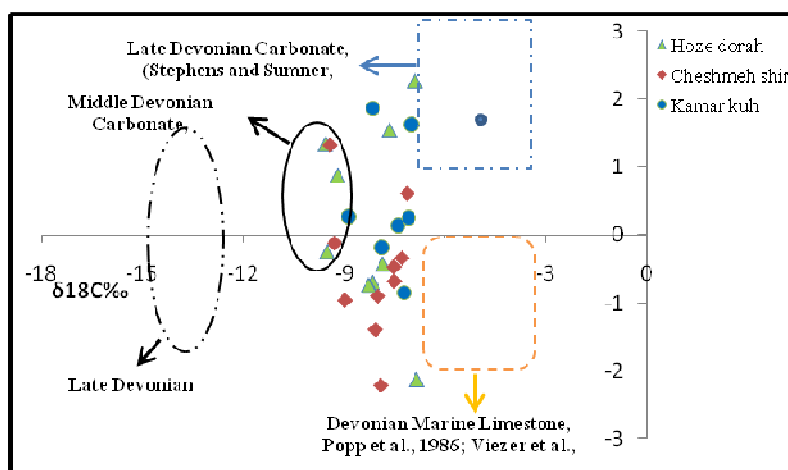
مقادیر ایزوتوپ کربن در مقابل سدیم: در بین نمونه‌های کربناته سازند بهرام در برش‌های حوض دوره و کاشمر بین مقادیر Na و $\delta^{13}\text{C}$ ارتباط مثبت (ضریب همبستگی ۰/۰۳ و ۰/۰۶) وجود دارد (شکل ۱۴). مقادیر پایین سدیم و مقادیر نسبتاً سبک‌تر $\delta^{13}\text{C}$ نمونه‌های کل کربناته حاکی از تاثیر فرآیندهای دیاژنز و یا دگرسانی بیشتر بر روی آن‌ها می‌باشد، به طوری که مقدار میانگین کم‌تر سدیم و نسبتاً سبک‌تر $\delta^{13}\text{C}$ در نمونه‌های مربوط به حوض دوره و چشمه شیر می‌تواند نشان‌دهنده دگرسانی بیشتر نسبت به نمونه‌های کاشمر باشد.

۵-۳- تعیین روند دیاژنز

بر اساس روند تغییرات عناصر فرعی و ایزوتوپی در برابر یکدیگر می‌توان تغییرات دیاژنتیکی و محیط بعد از



شکل ۱۴. تغییرات $\delta^{13}\text{C}$ در مقابل Na در نمونه‌های کل کربناته سازند بهرام. نمونه‌های مربوط به برش حوض دوره به این دلیل که بیشتر تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنتیکی قرار گرفته‌اند، دارای $\delta^{13}\text{C}$ نسبتاً سبک‌تر و Na پایین‌تری می‌باشند.



شکل ۱۵. تغییرات ایزوتوپ اکسیژن در برابر ایزوتوپ کربن نمونه‌های آهکی سازند بهرام در مناطق مورد مطالعه. این نمودار نشانگر دیاژنز جوی برای نمونه‌ها می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

* با توجه به پایین بودن نسبت Sr/Na در اغلب نمونه‌های مناطق مورد مطالعه، می‌توان اظهار داشت که شرایط آب و هوایی دیرینه در زمان تشکیل مشابه شرایط نیمه حاره‌ای عهد حاضر بوده است. بررسی نقشه‌های جغرافیای دیرینه دونین میانی- پسین نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه بخشی از قاره گندوانا بوده و در محدوده مدار ۳۰ درجه جنوبی قرار داشته است که این موقعیت جغرافیایی با شرایط اقلیمی دیرینه حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی هم‌خوانی دارد.

* بر پایه نسبت استرانسیم به‌نچار شده توسط کلسیت در برابر آهن و منگنز مشخص گردید که نمونه‌های کربناتی مربوط به برش حوض دوره نسبت Sr/Ca کم‌تری نسبت به سایر نمونه است، که این موضوع می‌تواند بیانگر تبادل سنگ با آب بیشتر و بازتر بودن سامانه دیاژنزی این نمونه‌ها نسبت به بقیه نمونه‌ها باشد.

* سبک بودن مقادیر ایزوتوپ اکسیژن $\delta^{18}O$ در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه می‌تواند به دلیل دگرسانی بیشتر در یک سامانه نیمه باز و تبادل آب به سنگ نسبتا بالا بوده باشد.

* روند تغییرات ایزوتوپ اکسیژن و کربن در نمونه‌های مورد مطالعه حاکی از تغییرهای ناچیز در مقادیر ایزوتوپ اکسیژن و تغییرهای بیش‌تر در میزان ایزوتوپ کربن است، به طوری که روند کلی، دیاژنزی جوی را نشان می‌دهد، که با نتایج حاصل از تجزیه عناصر فرعی هم‌خوانی دارد.

منابع

- [۱] آقباتی، ع (۱۳۸۹) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- [۲] حسین‌آبادی، م.، محبوبی، ا.، میراب شیبستری، غ.، معتمد، ا (۱۳۹۲) ریز رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند بهرام در برش چشمه‌شیر، شمال شرق طیس، مجموعه مقالات سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین- زمین‌شناسی بنیادی، مرکز زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور، مشهد، ص. ۴۳۵-۴۴۱.
- [۳] حسین‌آبادی، م.، ستاری، پ.، محبوبی، ا.، میراب شیبستری، غ (۱۳۹۴) آنالیز رخساره‌ای، محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های سنگ‌های دونین میانی- بالائی (سازند بهرام)، شمال شرق طیس، نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور کشور، تهران، ۹ ص.
- [۴] رستم‌نژاد، ع.، قربانی، م.، رضایی، پ.، هاشمی، ا. (۱۳۹۱) مطالعه سنگ رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و ویژگی‌های دیاژنتیکی سازند بهرام در شمال کرمان (برش هوتک)، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷ ص.
- [۵] علوی نائینی، م (۱۳۸۸) چکیده‌ای از چینه‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۸۲ صفحه.
- [۶] محمودی، ف (۱۳۹۱) مطالعه پتروگرافی و محیط رسوبی سازند بهرام (دونین میانی- پسین) در منطقه ازبک کوه، شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
- [۷] هاشمی، ا.، قربانی، م.، رضایی، پ.، رستم‌نژاد، ع.، غلامعلیان، ح.، نیکبخت، ف (۱۳۹۱) فرآیندهای دیاژنزی و توالی پاراژنتیکی سازند بهرام در برش سردر شمال کرمان. اولین همایش زمین‌شناسی فلات ایران، کرمان، ۶ ص.
- [8] Adabi, M.H. & Asadi-Mehmandosti, E (2008) Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tange-E Rashid area, Izeh, S.W. Iran: Journal of Asian Earth Sciences, v. 33, p. 267-277.
- [9] Asadi Mehmandosti, E., Adabi, M.H., Woods, A.D (2013) Microfacies and geochemistry of the Middle Cretaceous Sarvak Formation in Zagros Basin, Izeh Zone, SW Iran. Sedimentary Geology, v. 293, p. 9-20.
- [10] Bathurst, R (1975) Carbonates Sediments and their Diagenesis. Developments in Sedimentology, v. 12. Elsevier, Amsterdam, 658 p.
- [11] Brand, U., Jiang, G., Azmy, K., Bishop, J., Montane, I.P (2012) Diagenetic evaluation of a Pennsylvanian carbonate succession (Bird Spring Formation, Arrow Canyon, Nevada, U.S.A) -1: Brachiopod and whole rock comparison. Chemical Geology, v. 308, p. 26-39.
- [12] Brandano, M., Policicchio, G (2012) Strontium Stratigraphy of the Burdigalian transgression in the Western Mediterranean. Lethaia, v. 45, p. 315-328.
- [13] Brand, U., Veizer J (1981) Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system, I: trace elements. Journal of Sedimentary Petrology, v. 50, p. 1219-1236.
- [14] Budd, D.A (1992) Dissolution of high-Mg calcite fossils and the formation of biomolds during mineralogical stabilization. Carbonates and Evaporates, v. 7, p. 74-81.
- [15] Cicera, A., & Lohmann, K. C (2001) Sr/Mg variation during Rock-Water interaction:

- [25] Milliman, J.D (1974) Marine Carbonates Part 1: Recent Sedimentary Carbonate. Springer-Verlag, Berlin, 375 p.
- [26] Myrow, P.M., Hanson, A., Phelps, A.S., Creveling, J.R., Strauss, J.V., Fike, D.A., Ripperdan, R.L (2013) Latest Devonian (Famennian) global events in western Laurentia: Variations in the carbon isotopic record linked to diagenetic alteration below regionally extensive unconformities. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 386, p. 194-209.
- [27] Rao, C. P (1990) Geochemical characteristics of cool-temperate carbonate, Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, v. 5, p. 209-221.
- [28] Rao, C. P., (1991) Geochemical difference between subtropical (Ordovician) temperate (Recent and Pleistocene) and subpolar (Permian) carbonates, Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, v. 6, p. 83-106.
- [29] Rao, C. P. & Amini, Z. Z (1995) Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonate, Western Tasmania, Australia, *Carbonates and Evaporites*, v. 10, p.114-123.
- [30] Rao, C. P. & Adabi, M. H (1992) Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia, *Marine Geology*, v. 103, p. 249-272.
- [31] Ruttner, A., Nabavi, M. & Hadjian, J (1968) Geology of the Shirgesht area (Tabas area , East Iran) Geological Survey of the Iran, Rep. No 4, 133 p.
- [32] Schluter, M., Steuber, T., Parente, M (2008) Chronostratigraphy of Campanian-Mastrichtian platform carbonates and rudist association of Salento (Apulia, Italy), *Cretaceous Research*, v. 29, p. 100-114.
- [33] Scotese, C.R (2014) Paleomap Project. <http://www.scotese.com>.
- [34] Silva, A.M., Cunha, E.C., Silva, F.D.R., Leao, V.A (2012) Treatment of high-manganese mine water with limestone and sodium carbonate. *Journal of Cleaner Production*, v. 29-30, p. 11-19.
- [35] Steuber, T (2003) Stable isotope sclerochronology of rudist bivalves: growth rates and Late Cretaceous seasonality. *Geology*, v. 24, p. 315-318.
- [36] Subias, A., Yuste, I., Fanlo, C., Fernandez-Nieto & Gonzalez Lopez., J (1999) Geochemical, and stable and radiogenic isotope records in Devonian and Early Carboniferous carbonates from Valle de Tena, central Pyrenees(Spain): evidence for their diagenetic environments. *Geologie en Mijnbouw*, v. 78, p. 87-102.
- implication for secular changes in elemental chemistry of ancient seawater. *Geochim.Cosmochin. Acta*, v. 65, p. 741-761.
- [16] Conly, A.G., Scott, S.D., Bellon, H (2011) Metalliferous Manganese Oxide Mineralization Associated with the Boleo Cu-Co-Zn District, Mexico. *Economic Geology*, v. 106, p. 1173-1196.
- [17] Findlater, G., Shelton, A., Rolin, T., Andrews, J (2014) Sodium and strontium in mollusc shells: Preservation, paleosalinity and paleotemperature of the Middle Pleistocene of eastern England. *Proceedings of the Geologists Association* , 125 (1) p. 14-19.
- [18] Flügel, E (2010) *Microfacies Analysis of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag, 976 p.
- [19] Frankowiak, K., Mazur, M., Gothmann, A.M., Stolarski, J (2013) Diagenetic alteration of Triassic coral from the aragonite Konservat-Lagerstätte in Alakir Cay, Turkey: Implications for geochemical measurements. *Palaios*, v. 28, p. 333-342.
- [20] Grottoli, A.G., Adkins, J.F., Panero, W.R., Reaman, D.M., Moots, K (2010) Growth rates, stable oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$), and strontium (Sr/Ca) composition in two species of Pacific sclerosponges (*Acanthocheatetes wellsi* and *Astrosclera willeyana*) with $\delta^{18}\text{O}$ calibration and application to paleoceanography. *Journal of Geophysical Research*, v. 115, p. 1-14.
- [21] Haeri-Ardakani, O., Al-Aasm, I., Coniglio, M (2013) Petrologic and geochemical attributes of fracture-related dolomitization in Ordovician carbonates and their spatial distribution in southwestern Ontario, Canada. *Marine and Petroleum Geology*, v. 43, p. 409-422.
- [22] Hoseinabadi, M., Mahboubi , A., Shabestari ,Gh., Motamed ,A (2016) Depositional environment, diagenesis, and geochemistry of Devonian Bahram Formation carbonates, Eastern Iran , *Arabian Journal of Geosciences* , V. 6, P. 2-25.
- [23] Hurley, N. F., Lohmann, K.C (1989) Diagenesis of Devonian Reefal Carbonates in the Oscar Range, Canning Basin, Western Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 59, p. 127-146.
- [24] Korte, C., Hesselbo, S.P., Jenkyns, H.C., Rickaby, R.E.M., Spötl, C (2009) Paleoenvironmental significance of carbon and oxygen isotope stratigraphy of marine Triassic-Jurassic boundary sections in SW Britain. *Journal of the Geological Society*, v. 166, p. 431-445.

- [37] Vandeginste, V., John, C.M., Manning, Ch (2013) Interplay between depositional facies, diagenesis and early fracture in the Early Cretaceous Habshan Formation, Jebel Madar, Oman. *Marine and Petroleum Geology*, v. 43, p. 489-503.
- [38] Van Der Kooij, B., Immenhauser, A., Steuber, T., Bahamonde Rionda, J.R., Merinotome, O (2010) Controlling factors of volumetrically important marine carbonate cementation in deep slope setting. *Sedimentology*, v. 57, p. 1491-1525.
- [39] Veizer, J (1983) Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates. *Rev Mineral*, v. 11, p. 265-300.
- [40] Winefield, P.R., Nelson, C.S., and Hodder, A.P.W (1996) Discriminating temperate carbonates and their diagenetic environments using bulk elemental geochemistry, a reconnaissance study based on New Zeland Cenozoic Limestone. *Carbonates and Evaporites*, v. 17, p. 1085-1093.