

ژئوشیمی انیدریت قاعده‌ای (سازند آسماری) در تاقدیس‌های بنگستان، سفید، آسماری و اناران در حوضه‌ی رسوبی زاگرس، جنوب‌باختری ایران

سعیده رحمانی^۱ و بهروز رفیعی^{۲*}

۱ و ۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: b_rafeei@basu.ac.ir*

دریافت: ۹۶/۱۱/۳ پذیرش: ۹۷/۴/۲۴

چکیده

انیدریت قاعده‌ای واحد تبخیری مهمی در بخش پایینی سازند آسماری (الیگو-میوسن) می‌باشد که ویژگی‌های ژئوشیمیایی آن تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهش برای پی بردن به ویژگی‌ها و شرایط ژئوشیمیایی حاکم در زمان ته‌نشینی این واحد تبخیری، هفت برش سطحی از چهار تاقدیس بنگستان، سفید، آسماری و اناران در حوضه رسوبی زاگرس انتخاب شد. آنالیز کانی‌شناسی (XRD, BSE-EDX) برای ۳ نمونه و آنالیز عنصری (ICP-OES) برای ۲۸ نمونه انجام گرفت. نتایج مطالعات پتروگرافی و آنالیزهای کانی‌شناسی نشان داد که طی رخنمون یافتن انیدریت و هیدراته شدن آن، ژئپس ثانویه با ساخت و بافت غالب آلاباستر تشکیل شده است. برای انجام آنالیز ژئوشیمی، به صورت انتخابی چهار برش (بوالفارس، پوتو، گل‌ترش و اناران) انتخاب گردید. آنالیز عنصری نشان می‌دهد که کلسیم و گوگرد مهم‌ترین عنصر موجود می‌باشند که به صورت کانی ژئپس مشاهده می‌شوند. برش بوالفارس بیش‌ترین مقدار عناصر استرانسیم، منیزیم و سدیم و کم‌ترین مقدار عنصر آهن را دارا می‌باشد که بیانگر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی و زیستی و نیز محیط کم عمق می‌باشد. به سمت برش گل‌ترش (شمال حوضه) مقدار عناصر استرانسیم، منیزیم و سدیم کاهش و مقدار آهن افزایش می‌یابد که مشخص کننده‌ی عمق نسبتاً بیش‌تر در مناطق شمالی است. برش‌های پوتو و اناران بیش‌تر تحت تاثیر شرایط هیدرولوژیکی در منطقه بوده و روند تغییرات عنصری متغیری را نشان می‌دهند. میزان عنصر لیتیم در برش‌های مورد مطالعه کم بوده که حاکی از تبخیر بیش از حد در منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سازند آسماری، انیدریت قاعده‌ای، ژئوشیمی، زاگرس

مقدمه

در کانی‌های تبخیری به ویژه انواع سولفات‌ها به شرایط محیط ته‌نشینی مانند شوری و غلظت کاتیون‌ها در شورابه و ترکیب مواد انتقال یافته به محیط (تاثیرات غیر دریایی)، ارتباط دارد (کاسپرزیک، ۲۰۰۳). اثرات دیاژنتیکی، مانند آنچه در طول واکنش‌های انحلال-ته‌نشینی دوباره و طی آب‌گیری و آب‌زدایی ژئپس اتفاق می‌افتد، بر روی ترکیب کانی تاثیر می‌گذارد (کا و همکاران، ۲۰۰۱).

انیدریت قاعده‌ای از لایه‌های تبخیری مهم در سازند آسماری (با سن الیگو-میوسن) بوده که در بخش زیرین این سازند قرار گرفته است. علی‌رغم مطالعات فراوانی که بر روی سازند آسماری صورت گرفته، ولی هنوز ویژگی‌های ژئوشیمیایی انیدریت قاعده‌ای بررسی نشده است. بنابراین اطلاعات کافی از شرایط حاکم بر محیط ته‌نشینی این تبخیری‌ها و خصوصیات ژئوشیمیایی آن‌ها در دسترس نمی‌باشد. این پژوهش به منظور مطالعه

تبخیری‌ها گروهی از نهشته‌های رسوبی هستند که از تبخیر آب و افزایش غلظت املاح نتیجه می‌شوند. اگر این رسوبات در معرض گرما و فشار و یا عوامل سطحی قرار گیرند، کانی‌هایی با ترکیبات جدیدی را ایجاد می‌کنند (تونهافل، ۱۹۵۰). تبخیری شامل سنگ‌هایی می‌شوند که کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها توسط مکانیسم‌هایی مانند مخلوط شدن آب‌ها و یا تغییر دما ایجاد می‌شوند (نیوندورف و همکاران، ۲۰۰۵). این کانی‌ها را می‌توان بر اساس منشأ به تبخیری‌های دریایی و غیر دریایی تقسیم نمود. هاردی (۱۹۸۴) معتقد است که رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی و معیارهای ژئوشیمیایی می‌توانند در تشخیص این دو گروه از یکدیگر کمک کند. شیمی آب در تشکیل نوع کانی مهم است. از آنجایی که تبخیری‌های دریایی از آب دریا نهشته می‌شوند، ترکیب کانی‌ها نسبتاً ثابت می‌باشد (بوگز، ۲۰۰۹). ترکیب عناصر ردیاب موجود

تعداد ۱۲۰ نمونه از واحد تبخیری انیدریت قاعده‌ای برداشت شد. بر اساس تغییرات ظاهری تعداد ۲۵ نمونه انتخاب و کانی‌شناسی آن‌ها با دستگاه XRD (Italstructures, Cu α , 40kV, 30 mA, 2-70° 2 θ) دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. برای تشخیص نوع کانی همراه با تبخیری، سه نمونه توسط دستگاه SEM, EDS (Leo1450 VP) در شرکت فرآوری مواد معدنی تهران تحت آنالیز نقطه‌ای قرار گرفت. به منظور انجام آنالیز ژئوشیمیایی از تاقدیس‌های بولفارس، پوتو، گل‌ترش و اناران هر کدام یک برش انتخاب شد. با توجه به تفاوت ظاهری، تعداد ۲۸ نمونه از ژیبس آلاباستر از مجموع ۴ برش برداشت گردید و از نظر ترکیب عنصری مورد مطالعه قرار گرفت. آنالیز شیمیایی ICP-OES این نمونه‌ها در شرکت زرآزما تهران دستگاه (Varian 735) و آنالیز تعیین عنصر استرانسیم هشت نمونه توسط دستگاه جذب اتمی (Varian SpectraAA lamp, 10 mA, 460.7) (5-7 sec, mm) در دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد.

ویژگی‌های ژئوشیمیایی انیدریت قاعده‌ای در برش‌های مختلف از حوضه‌ی رسوبی زاگرس انجام شده است. بررسی تغییرات عمودی عناصر ردیاب در هر برش و مقایسه آن‌ها در برش‌های مختلف از دیگر اهداف متن پیش‌رو می‌باشد.

روش پژوهش

هفت برش سطحی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است که از نظر موقعیت جغرافیایی در سه استان هم‌جوار خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و ایلام واقع شده‌اند (جدول ۱). این هفت برش سطحی که دارای رخنمون انیدریت قاعده‌ای بودند، شامل سه برش از یال جنوبی تاقدیس بنگستان، دو برش از یال جنوبی کوه سفید، یک برش در کوه آسماری و یک برش در کوه اناران می‌باشند. نمونه‌برداری از مکانی که انیدریت قاعده‌ای دارای حداکثر ستیرا است، به صورت سیستماتیک و با فواصل یک متر انجام گردید. در مجموع

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ستبرای برش‌های سطحی مورد مطالعه در تاقدیس‌های مختلف

نام برش	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	محل برش	ستبرای (m)
تنگ ماغر	۵۰° ۰۶' ۳۸"	۳۰° ۵۸' ۴۴"	تاقدیس بنگستان	۴
تنگ نایاب	۵۰° ۰۱' ۵۸"	۳۱° ۰۳' ۴۸"	تاقدیس بنگستان	۱۲
تنگ بولفارس	۴۹° ۵۶' ۰۳"	۳۱° ۱۰' ۴۴"	تاقدیس بنگستان	۱۲
تنگ پوتو	۴۹° ۵۸' ۳۳"	۳۱° ۱۷' ۱۶"	تاقدیس کوه سفید	۱۵
آبگرمک	۴۹° ۵۸' ۱۱"	۳۱° ۱۷' ۴۹"	تاقدیس کوه سفید	۱۰
تنگ گل‌ترش	۴۹° ۳۵' ۰۱"	۳۱° ۴۲' ۵۸"	تاقدیس آسماری	۷
اناران	۴۶° ۵۸' ۴۰"	۳۲° ۴۹' ۳۷"	تاقدیس اناران	۷

زمین‌شناسی منطقه

از نظر موقعیت زمین‌شناسی، برش‌های مورد مطالعه در زون ساختاری زاگرس قرار دارند (شکل ۱الف). بر اساس تاریخچه رسوبی و شکل ساختاری، زون زاگرس در محدوده کشور ایران به پنج بخش لرستان، فارس، زاگرس مرتفع، فروافتادگی دزفول و ایذه تقسیم شده است (فالکن، ۱۹۷۴؛ مطیعی، ۱۳۷۴؛ فرزی‌پور-صاین و همکاران، ۲۰۰۹) که منطقه‌ی مورد نظر در بخش‌های فروافتادگی دزفول، زون ایذه و لرستان واقع شده است (شکل ۱ب). کاووسی و شرکتی (۲۰۱۲) انیدریت قاعده‌ای سازند آسماری را بخشی از عضو کلهر در نظر

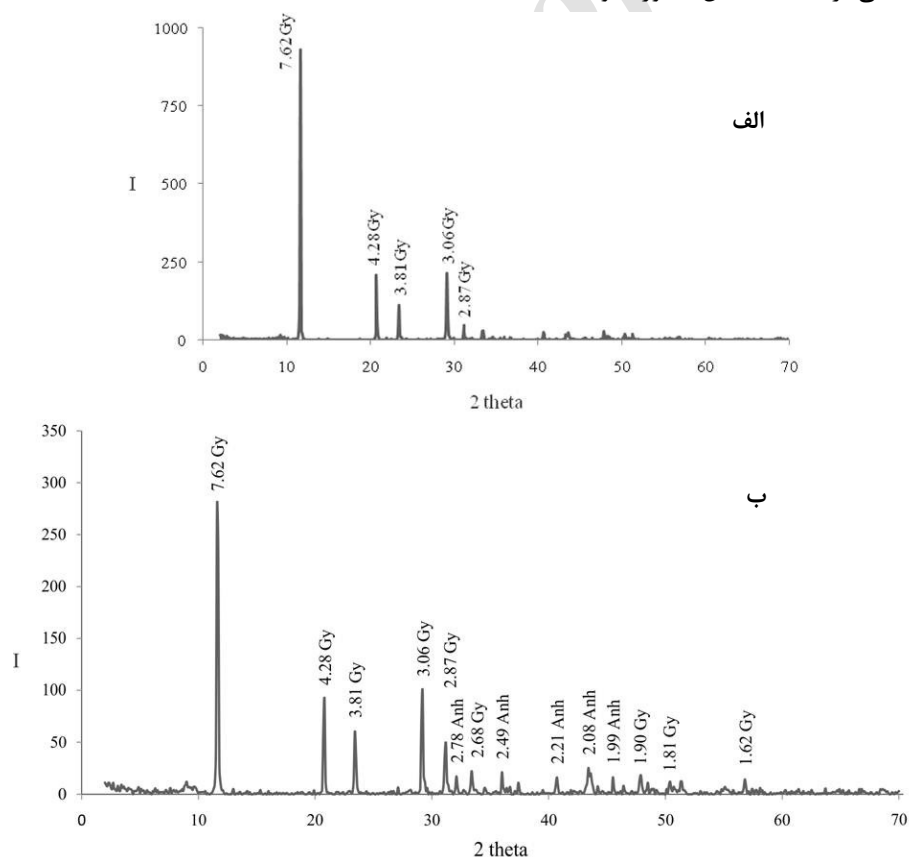
گرفته‌اند. با توجه به نظر ون بوخم و همکاران (۲۰۱۰)، انیدریت قاعده‌ای در فروافتادگی دزفول، در حوضه درون پلاتفرمی^۱ و در زمان اکی‌تاین رسوب کرده است. صیرفیان و همکاران (۱۳۸۶) و رحمانی (۱۳۹۶) معتقد هستند که در این زمان عدم ارتباط حوضه با آب‌های آزاد منجر به محدود شدن حوضه و افزایش شوری در حوضه‌ی درون پلتفرمی شده و در نهایت نهشته شدن تبخیری‌ها را به دنبال داشته است. موقعیت انیدریت قاعده‌ای در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

¹Intrashelf basin depression

عناصر بر اساس میانگین غلظت در نمونه‌های برش‌های مختلف به ترتیب $Sr > Mg > Na > Fe > Li$ تغییر می‌کنند. تنها در برش گل‌ترش این روند به صورت $Sr > Mg > Fe > Na > Li$ می‌باشد. در این برش میانگین عنصر آهن نسبت به سایر برش‌های مورد مطالعه غلظت بیش‌تری را نشان می‌دهد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت عنصر Sr به ترتیب در برش‌های بوالفارس (۳۶۵۴ ppm) و گل‌ترش (۱۹۴۹ ppm) مشاهده شده است. بیش‌ترین مقادیر Mg در برش‌های پوتو (۱۱۲۴ ppm) و گل‌ترش (۱۰۴۸ ppm) و کم‌ترین آن در برش اناران (۲۶۳ ppm) اندازه‌گیری شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر غلظت Na به ترتیب در برش‌های پوتو (۲۴۶ ppm) و اناران (۱۸۶ ppm) و Fe در برش‌های گل‌ترش (۲۳۳ ppm) و پوتو (۱۳۶ ppm) به ثبت رسیده است. عنصر Li نیز در برش‌های مختلف تغییراتی را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار این عنصر در برش گل‌ترش (۳/۷ ppm) و کم‌ترین آن در برش بوالفارس (۱ ppm) مشاهده شده است.

آنالیز XRD، ژئوپیس کانی اصلی تشکیل‌دهنده نمونه‌های تبخیری مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳ الف). البته در برخی از نمونه‌ها، کانی انیدریت نیز به عنوان کانی فرعی به همراه ژئوپیس قابل مشاهده است (شکل ۳ ب). نتایج آنالیز EDX نیز حضور کانی ژئوپیس و سلسیت را تایید می‌کند (شکل ۴). سلسیت به صورت بلورهای کوچکی در متن کانی‌های ژئوپسی قابل مشاهده است. این کانی به دلیل فراوانی کم در تبخیری‌ها توسط XRD قابل شناسایی نیست. در مطالعات پتروگرافی نیز سلسیت مشاهده می‌شود (شکل ۷ الف) اما تشخیص آن بسیار دشوار بوده و عملاً حضور آن توسط آنالیز EDX تایید شده است. علاوه بر کانی‌های یاد شده، دولومیت در برخی از نمونه‌ها (برش‌های بوالفارس و پوتو) مشاهده شده است (شکل ۷ ب، پ).

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی (ICP-OES) نمونه‌های تبخیری در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در جدول مشخص است عنصر کلسیم و گوگرد دارای فراوانی زیادی بوده و حتی از حد تشخیص تجاوز نموده است.



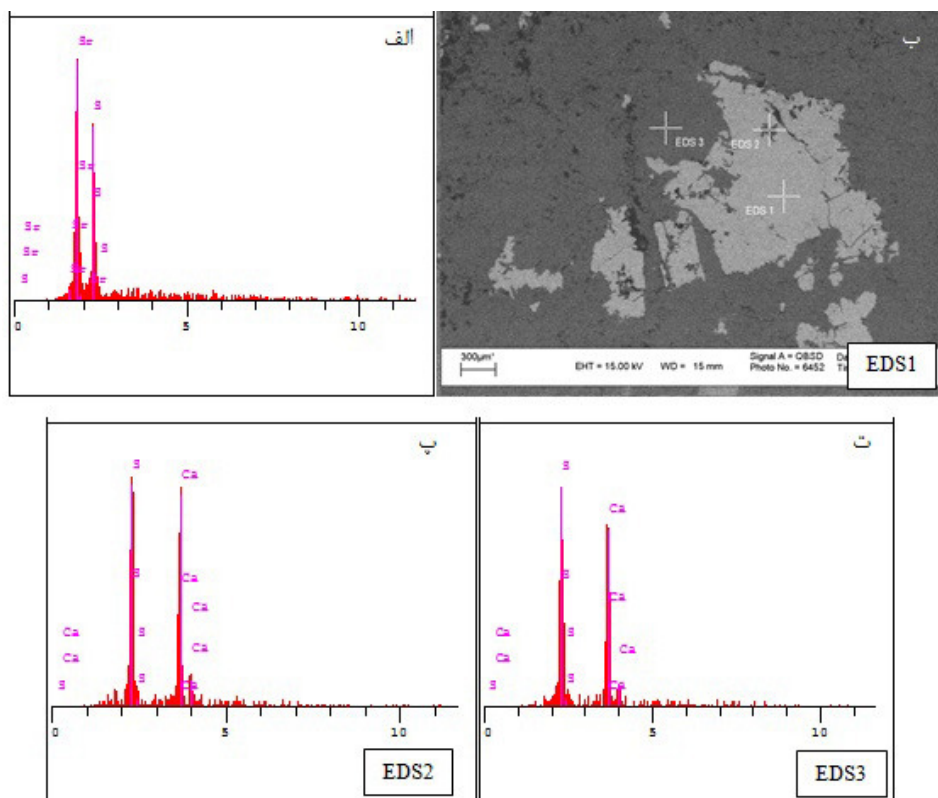
شکل ۳. الف) نمودار XRD نمونه تبخیری برش نایاب (ب) نمودار XRD نمونه تبخیری برش گل‌ترش. کانی‌های ژئوپیس (Gy) و انیدریت (Anh) در نمودار مشخص شده‌اند.

جدول ۲. پراکندگی ساخت‌های مشاهده شده در برش‌های مورد مطالعه (*: حضور، #: مقدار کم، ---: نبود)

پورفیروبلاست		پرشی	آلاباستر	نام ساخت
آگرگات شعاعی	سلنیتی			نام بُرش
----	----	*	*	ماغر
----	*	*	*	نایاب
*	----	*	*	بوالفارس
----	----	*	*	پوتو
----	----	*	*	آبگرمک
----	----	*	*	گل ترش
----	----	#	*	اناران

جدول ۳. آنالیز شیمیایی نمونه‌های تبخیری در برش‌های مورد مطالعه (غلظت برحسب mgkg^{-1})

برش	نمونه	Ca	S	Sr	Mg	Na	Fe	Li
بوالفارس	BL1	>10%	>3%	2480	5467	273	<100	<1
	BL2	>10%	>3%	2217	1988	248	114	1
	BL3	>10%	>3%	2569	2531	225	<100	1
	BL4	>10%	>3%	1881	3682	232	107	1
	BL5	>10%	>3%	8130	345	238	471	1
	BL6	>10%	>3%	4652	151	187	236	1
	mean			3654.83	360.67	233.83	179.67	0.96
پوتو	PT1	>10%	>3%	2087	114	182	144	1
	PT2	>10%	>3%	1013	318	199	128	1
	PT3	>10%	>3%	1069	588	181	123	1
	PT5	>10%	>3%	1640	1202	205	102	1
	PT6	>10%	>3%	1561	129	202	121	1
	PT7	>10%	>3%	2163	239	596	111	9
	PT8	>10%	>3%	1593	<100	203	158	1
	PT9	>10%	>3%	6015	5403	241	196	1
	PT10	>10%	>3%	894	2054	208	143	1
	mean			2003.89	1124.67	246.33	136.22	1.89
گل ترش	GE1	>10%	>3%	3639	1348	181	161	2
	GE2	>10%	>3%	1372	2247	211	273	4
	GE3	>10%	>3%	1174	1149	197	323	9
	GE4	>10%	>3%	2050	1493	186	176	2
	GE5	>10%	>3%	2353	641	207	190	2
	GE6	>10%	>3%	1440	192	197	330	3
	GE7	>10%	>3%	1615	269	176	182	4
mean			1949	1048.43	193.57	233.57	3.71	
اناران	AR1	>10%	>3%	1242	334	190	410	5
	AR2	>10%	>3%	1475	197	186	202	3
	AR3	>10%	>3%	2199	548	190	169	3
	AR4	>10%	>3%	6169	162	169	106	2
	AR5	>10%	>3%	2231	323	199	141	1
	AR6	>10%	>3%	3833	206	188	134	1
	AR7	>10%	>3%	650	<100	184	<100	<1
mean			2542.71	263.57	186.57	176.71	2.25	
1		100	100	100	2	50	100	Detection limit



شکل ۴. الف) تصویر BSE (محل آنالیز نقطه‌ای با علامت + مشخص شده است). ب، پ) و ت) نتایج آنالیز نقطه‌ای عنصری (EDX)

هیدراته شدن آن، ژئپس ثانویه تشکیل شده است. از طرفی بافت‌های انیدریت نیز تغییر شکل یافته و دوباره متبلور شده‌اند. ژئپس ثانویه در برش‌های مورد مطالعه شامل سه بافت متفاوت آلاباستر، پورفیروبلاست و فیبری می‌باشد (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷).

کانی‌شناسی

نهشته‌های تبخیری می‌تواند دارای مقادیر متفاوتی از ناخالصی‌ها مانند کانی‌های رسی، کوارتز، سولفور و سلسیت باشد. بعضی تبخیری‌ها به صورت بین لایه‌ای با رسوبات دیگر (معمولاً کربنات‌ها) یافت می‌شوند (بوگز، ۲۰۰۹). نتایج آنالیز XRD نشان داد که کانی اصلی تشکیل دهنده نمونه‌های تبخیری مورد مطالعه، ژئپس به همراه مقدار کمی انیدریت می‌باشد (شکل ۳).

نتیجه‌ی آنالیز نقطه‌ای^۴ برخی از نمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. آنالیز نقطه‌ای در نقطه (EDS1) که رنگ روشن‌تری نسبت به زمینه دارد، عناصر استرانسیم و گوگرد را نشان می‌دهد و مشخص کننده‌ی حضور

بحث

ساخت و بافت‌های تبخیری

ساخت: در تمام برش‌های مورد مطالعه فابریک ماکروسکوپی (ساخت) ژئپس از نوع آلاباستر می‌باشد. علاوه بر آن ژئپس برشی و ژئپس پورفیروبلاست، شامل ژئپس سلنیت (از نوع palisade) و آگرگات‌های شعاعی نیز در منطقه مشاهده شده است (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷) (جدول ۲). مواد همراه با ژئپس، ندول‌های انیدریتی (با قطر ۲۱-۶ cm) و گوگرد خالص^۱ (با قطر ۱-۴ cm) می‌باشند، که به ترتیب در برش آبگرمک و بولفارس مشاهده شده‌اند (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷).

بافت: مطالعات پتروگرافی انیدریت قاعده‌ای در سازند آسماری نشان می‌دهد که انیدریت در برش‌های مورد مطالعه تبخیری اولیه می‌باشد. بافت میکروسکوپی انیدریت شامل تیغه‌هایی است که به صورت شعاعی^۲ یا بادبزی شکل^۳ مرتب شده‌اند (بهرامی، ۱۳۹۳؛ رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷). طی رخنمون یافتن انیدریت و

^۱Native Sulphur

^۲Rosette-like

^۳Fan

^۴EDX

برش گل‌ترش بازه تغییرات استرانسیم کم بوده اما در برش بوالفارس و اناران این تغییرات زیاد می‌باشد (شکل ۵ ب). بر اساس نتایج گزارش شده و کارهای آزمایشگاهی کوشنیر (۱۹۸۰) مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده‌ی مقدار استرانسیم در ژئوپس، غلظت شورابه است. بر اساس نظرات راسل و همکاران (۱۹۹۸) و ماتانو و همکاران (۲۰۰۵) کم شدن مقدار میانگین استرانسیم در تبخیری‌ها نشان‌دهنده‌ی کاهش شوری آب حوضه می‌باشد، که می‌تواند به دلیل ارتباط با بخش‌های عمیق‌تر حوضه و یا ورود آب شیرین‌تر به حوضه باشد. توزیع مکانی استرانسیم در ژئوپس‌های برش‌های مختلف، ارتباط بین مقدار استرانسیم و موقعیت جغرافیایی دیرینه حوضه رسوبی را نیز انعکاس می‌دهد (ماتانو و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار زیاد استرانسیم نشان از نزدیکی موقعیت رسوب‌گذاری به خشکی و نواحی حاشیه‌ای حوضه دارد. وجود مقادیر بالاتر و تغییرات زیاد در مقدار استرانسیم در نواحی حاشیه‌ای (برش بوالفارس) و مقادیر پایین‌تر و همگن‌تر در بخش‌های عمیق‌تر پلتفرم (برش گل‌ترش) به همین دلیل است (شکل ۵ پ). علاوه بر شوری، حضور سلسیت از جمله عواملی است که میزان استرانسیم را کنترل می‌کند. حضور سلسیت در برش بوالفارس موجب ایجاد ناهنجاری در مقدار استرانسیم شده است. شایان ذکر است که کربنات‌های کم عمق و یا ترکیب اولیه آراگونیتی سازند آسماری نیز پارامتر مهم دیگری است که بر روی میزان استرانسیم انیدریت قاعده‌ای می‌تواند تاثیرگذار بوده باشد.

ناهنجاری در مقدار استرانسیم: یودوسکی (۱۹۷۳) مقدار استرانسیم موجود در انیدریت و ژئوپس اولیه دریایی را ۱۵۰۰ تا ۲۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش داد. ژئوپس‌های ثانویه (در نتیجه تبدیل انیدریت به ژئوپس) نسبت به استرانسیم فقیر بوده و معمولاً مقدار کم‌تر از 1000 mgkg^{-1} را نشان می‌دهند. ناهنجاری در مقدار استرانسیم اندازه‌گیری شده (چندین هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دلیل حضور سلسیت، غنی بودن نمونه ژئوپس از کربنات و یا حضور بازائیت (کانی حدواسط انیدریت و ژئوپس با فرمول $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) می‌باشد (راسل و همکاران، ۱۹۹۸؛ پلایا و همکاران، ۲۰۰۰؛ کاسپرزیک، ۲۰۰۳؛ پلایا و راسل، ۲۰۰۵؛ ماتانو و

سلسیت در نمونه می‌باشد. نقاط (EDS2) و (EDS3) یا همان زمینه که رنگ تیره‌تری دارد، دارای عناصر کلسیم و گوگرد یا همان سولفات کلسیم است. سلسیت و گوگرد هر دو کانی دیاژنتیکی می‌باشند. در زمان تبدیل انیدریت به ژئوپس، تمام استرانسیم موجود در انیدریت نمی‌تواند در فضای بلوری ژئوپس ثانویه وارد شود و بدین ترتیب سلسیت تشکیل می‌شود (تستا و لوگلی، ۲۰۰۰؛ تابرر و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین استرانسیم لازم برای تشکیل سلسیت از ژئوپس شدن انیدریت فراهم شده است. حضور تکه‌هایی^۵ از گوگرد درون ژئوپس در منطقه مورد مطالعه را با توجه به نظر عارف (۱۹۹۸) و جاورسکا (۲۰۱۲) می‌توان به آب‌گیری انیدریت و کلسیتی‌شدن سولفات نسبت داد. هم‌چنین گوگرد محصول ثانویه از کلسیتی‌شدن سولفات‌ها نیز می‌تواند باشد (جاورسکا، ۲۰۱۲) که حضور بلورهای ریز کلسیت به همراه گوگرد در نمونه‌های مورد مطالعه تاییدی بر این ادعا است.

ژئوشیمی

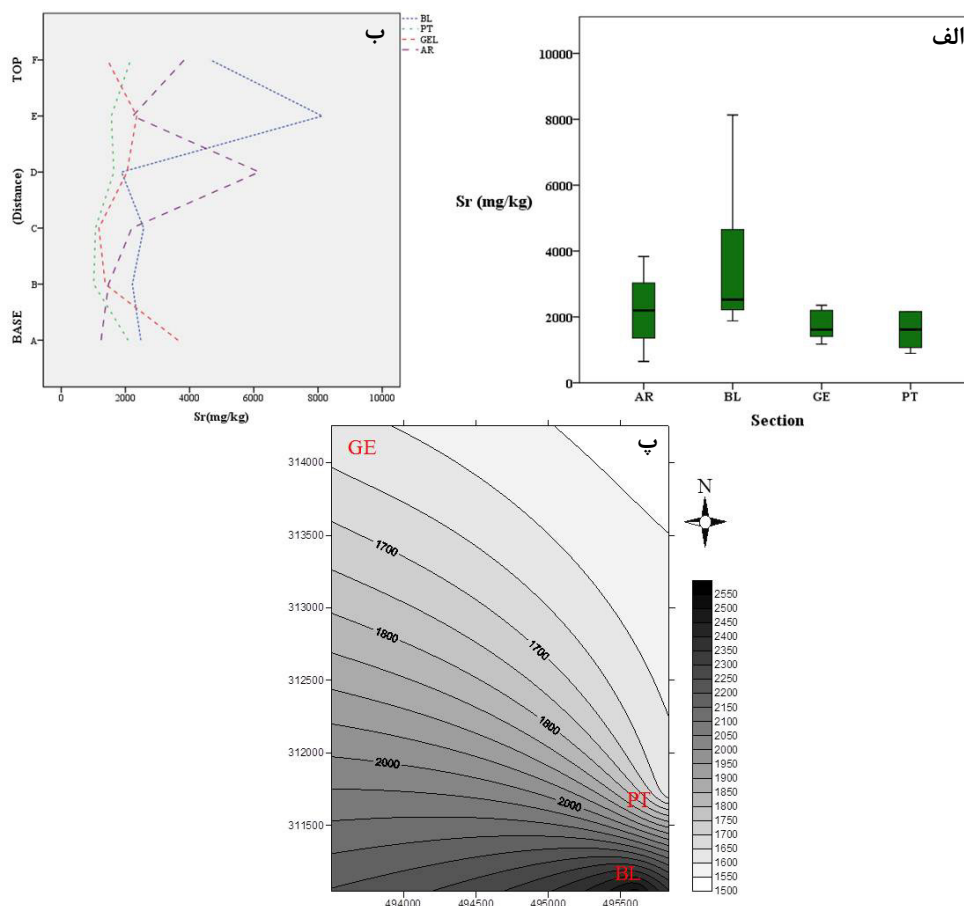
ژئوپس در منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوع آلاباستر (ریز بلور) و بدون میانبار سیال می‌باشد. از نتایج آنالیز عنصری در تبخیری‌ها می‌توان برای تفسیر ترکیب شورابه و تعیین موقعیت حوضه رسوبی استفاده نمود. روند تغییر مقدار عناصر استرانسیم، منیزیم، آهن، سدیم و لیتیم توسط نمودارهای خطی و جعبه‌ای بررسی شده است. به دلیل فاصله زیادی که برش اناران با سه برش دیگر (بوالفارس، پوتو و گل‌ترش) دارد، نقشه‌ی پراکندگی میانگین عناصر تنها برای این سه برش نزدیک یکدیگر ترسیم گردید. از سوی دیگر، برش اناران به عنوان برش تیپ عضو کلهر بوده، بنابراین ترکیب ژئوشیمیایی آن جهت مقایسه با سایر برش‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است.

استرانسیم (Sr): استرانسیم یون خارجی رایج در سولفات‌ها طی رسوب‌گذاری و یا دیاژنز می‌باشد (کوشنیر، ۱۹۸۰، ۱۹۸۱؛ اورتی-کابو و همکاران، ۱۹۸۴؛ درونکرت، ۱۹۸۵؛ کاسپرزیک، ۱۹۹۴). تغییرات مقدار عنصر استرانسیم از قسمت پایین به بالای لایه انیدریت قاعده‌ای در برش گل‌ترش روند کاهشی را نشان می‌دهد در حالی که در برش بوالفارس و برش اناران این روند افزایشی می‌باشد (شکل ۵ الف). با توجه به نمودار جعبه‌ای در

⁵Patches

بازانیت با استفاده از آنالیز XRD قابل شناسایی است. بنابراین با توجه به آنالیزهای انجام شده و نتیجه‌ی آنالیز نقطه‌ای (EDX) می‌توان نتیجه گرفت که در برش‌های مورد مطالعه وجود سلسیت ناهنجاری را در مقدار استرانسیم ایجاد کرده است.

همکاران، (۲۰۰۵). به همین منظور علت ناهنجاری در مقدار استرانسیم نمونه‌های مورد بررسی قرار گرفته شد. با استفاده از روش تیتراسیون (کارور، ۱۹۷۱) مشخص شد که نمونه‌های مورد بررسی بدون کربنات بوده و یا دارای مقدار ناچیزی از کربنات می‌باشند. عدم حضور



شکل ۵. پراکندگی عنصر استرانسیم در برش‌های مورد مطالعه (الف) روند تغییر مقدار عنصر استرانسیم از قسمت پایین به بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر استرانسیم (پ) نقشه‌ی پراکندگی میانگین عنصر استرانسیم در هر برش که نشان از تمرکز این عنصر در بخش حاشیه‌ای حوضه دارد. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل ترش؛ AR: اناران)

در این پژوهش ابتدا نمونه‌ها با HCl 2N شستشو شدند. بعد از خشک کردن، نیم گرم از پودر را در ۲۵ ml آب مقطر حل کرده (میزان انحلال ۲/۴ g/l در دمای ۲۵°C) و به مدت دو روز تکان داده شد. سپس مقدار Sr^{+2} توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل از این روش در جدول ۴ نمایش داده شده است. در این نتایج، نمونه‌های ژئپسی که دارای بیش‌ترین مقدار استرانسیم (ناهنجاری) هستند، کاهش چشم‌گیری را در مقدار استرانسیم نشان می‌دهند در حالی که در نمونه‌های دارای مقدار استرانسیم پایین‌تر، مقدار این کاهش، کم

به طور کلی برای پی بردن به شرایط هیدرولوژیکی و موقعیت حوضه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری، کانی حاصل از فرآیند دیازتری که عامل ناهنجاری استرانسیم در نمونه‌ها است از نمونه‌ها باید خارج شود. به این منظور و برای بررسی میزان تاثیر سلسیت بر روی مقدار استرانسیم نمونه‌های مورد مطالعه، سلسیت از نمونه‌ها حذف گردید. برای حذف سلسیت تعداد هشت نمونه از ژئپس موجود در منطقه و از نمونه‌هایی که دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار استرانسیم بودند، انتخاب شدند. بر اساس آزمایش‌های ارائه شده توسط پلایا و راسل (۲۰۰۵)

به غنی‌شدگی آب منفذی در لایه‌های کربناته استروماتولیت باندستون و نفوذ آن در لایه‌های تبخیری می‌توان نسبت داد. هم‌چنین کلسیت و دولومیت دیاژنزی در برش بوالفارس حضور دارند (شکل ۷) که در نتیجه فرآیند دیاژنزی و کلسیتی‌شدن تشکیل شده‌اند. حضور این کانی‌ها نشان از تاثیر عوامل زیستی و دیاژنزی بر نهشته تبخیری است. از طرف دیگر این برش در حاشیه حوضه قرار گرفته است، در نتیجه کم عمق بودن محیط دلیل دیگر بر میزان زیاد منیزیم در این برش می‌باشد.

کاهش مقادیر میانگین منیزیم از جنوب به شمال منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که محیط از حالت محدود شده (برش بوالفارس) به سمت آب‌هایی با شوری نسبتاً کم‌تر (برش گل‌ترش) پیش رفته و حوضه‌ی رسوبی عمیق‌تر شده است. توزیع عنصر منیزیم در بین برش‌های مورد مطالعه در شکل (۶ پ) نشان داده شده است.

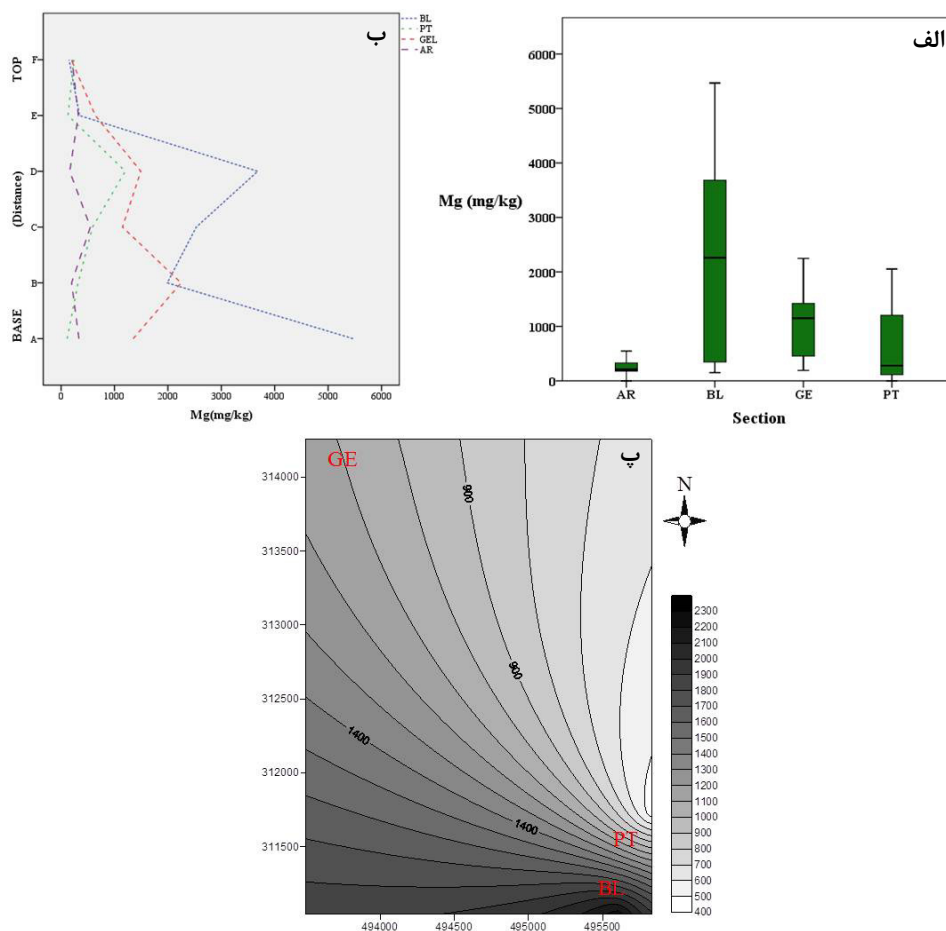
عنصر آهن (Fe): با مقایسه مقدار آهن در چهار برش مورد مطالعه مشخص گردید که میزان تغییرات آهن در برش بوالفارس بسیار زیاد بوده و از پایین به سمت بالای واحد تبخیری، میزان آهن افزایش می‌یابد. در حالی که تغییرات این عنصر در سه برش دیگر ناچیز بوده و مقدار آهن کاهش می‌یابد (شکل ۸ الف، ب).

افزایش مقدار عنصر آهن نشان‌دهنده‌ی وجود شرایط بدون اکسیژن مورد نیاز برای احیای باکتریایی سولفات، و غلظت کم سولفات در شورابه است (سونفلد، ۱۹۸۴). از طرفی این شرایط مشخص‌کننده‌ی محیط‌های حوضه‌ای و عمیق‌تر در طول نهشته‌شدن سولفات (انیدریت) می‌باشد (کاسپرزیک، ۲۰۰۳). بنابراین زیاد بودن مقدار آهن در برش گل‌ترش را به محیط حوضه‌ای و عمیق‌تر نسبت به سه برش دیگر می‌توان نسبت داد (شکل ۸ ب، پ). در بخش‌های بالایی برش بوالفارس به دلیل حضور لایه‌های آهن‌دار در نمونه‌ها، میزان آهن به طور ناگهانی افزایش یافته است. در این قسمت ندول‌های گوگرد و سلسیت وجود دارد که با توجه به نظر تا برنر و همکاران (۲۰۰۲) سلسیت و گوگرد کانی‌های دیاژنتیکی بوده و در نتیجه احیای باکتریایی سولفات‌ها تشکیل می‌شوند. بنابراین به دلیل عملکرد احیایی باکتریایی سولفات‌ها و ایجاد شرایط احیایی، میزان آهن در منطقه افزایش یافته است.

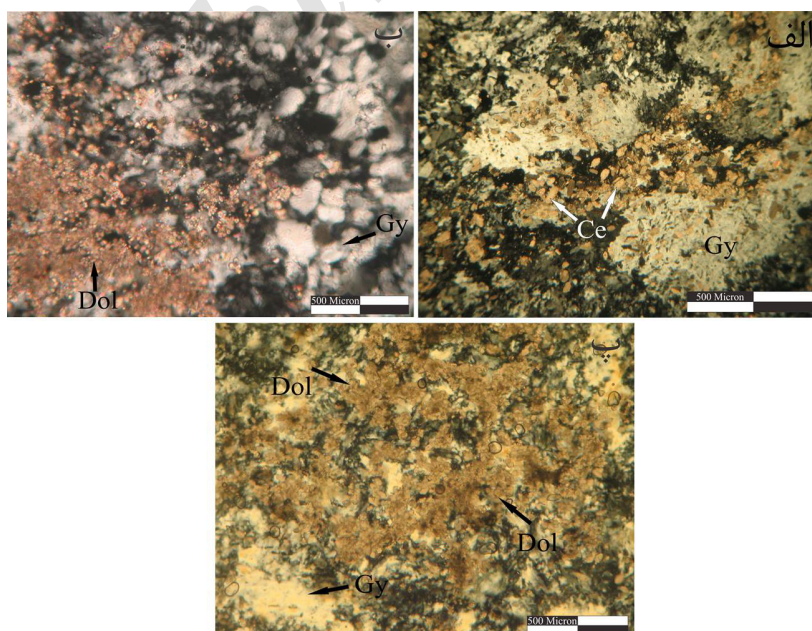
می‌باشد. بعد از حذف سلسیت، وجود مقدار بالای استرانسیم (بیش از 1000 mg kg^{-1}) باقی‌مانده در نمونه‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر کانی دیاژنزی سلسیت، مقدار استرانسیم در نمونه تبخیری تحت تاثیر شرایط هیدرولوژیکی و شوری شورابه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری است. در واقع مطابق با نظر گیزلر (۱۹۸۵) شوری فاکتور مهم برای کنترل رسوب‌گذاری هم‌زمان استرانسیم در رخساره‌های تبخیری بوده و شاخص شوری برای این رخساره‌ها می‌باشد.

به طور کلی با حذف سلسیت (کانی دیاژنزی)، میزان استرانسیم در نمونه‌های تبخیری با یکدیگر مقایسه شدند و شرایط هیدرولوژیکی و موقعیت حوضه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری مشخص گردید. تغییرات زیاد این عنصر در حاشیه حوضه (برش بوالفارس) نشان‌دهنده یک محیط کم عمق و شوری نسبتاً زیاد می‌باشد. تغییرات و ناهنجاری در میزان استرانسیم در منطقه مورد مطالعه به دلیل عملکرد فرآیندهای دیاژنزی است که استرانسیم اضافی در زمان تبدیل انیدریت به ژپس ثانویه، نتوانسته وارد شبکه‌ی ژپس با بافت ریز آلباستر شود و کانی سلسیت را تشکیل داده است.

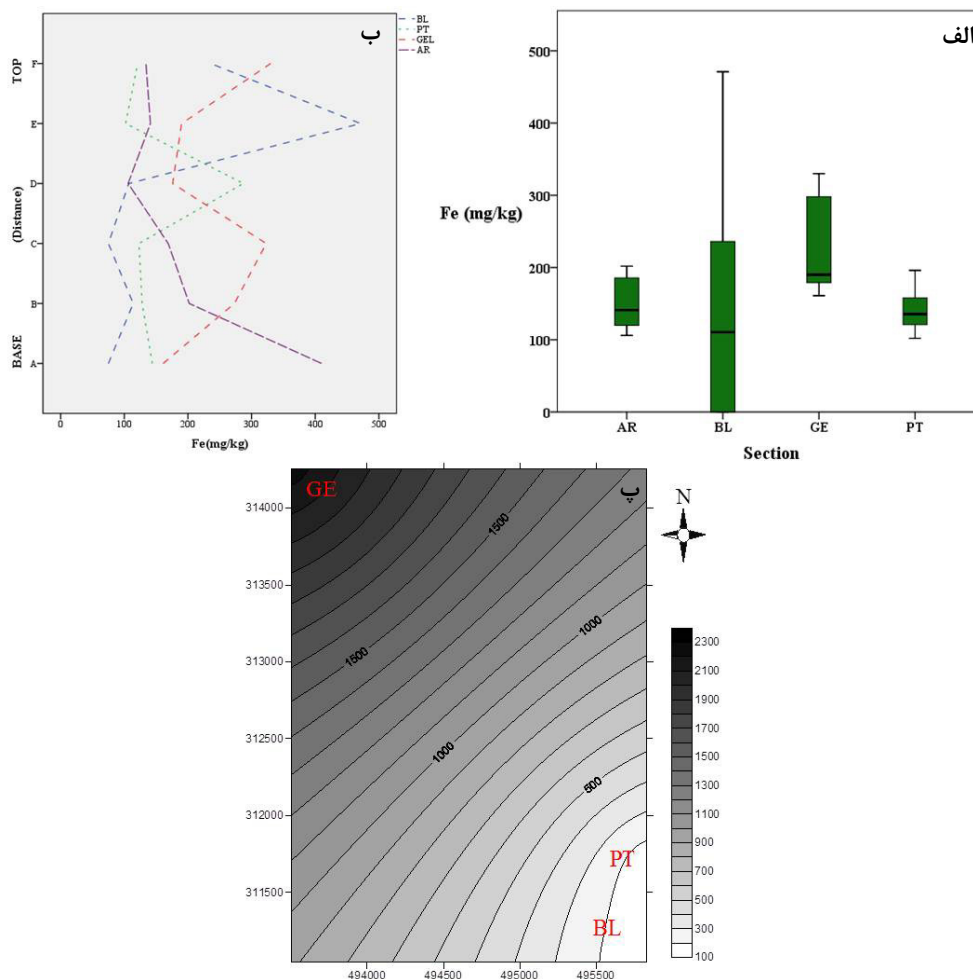
منیزیم (Mg): در تمام برش‌های مورد مطالعه، مقدار عنصر منیزیم در انیدریت قاعده‌ای از بخش استروماتولیت باندستون (لایه زیرین انیدریت قاعده‌ای) به سمت بالای توده تبخیری (لایه‌ی بریسوپسیس‌دار) کم می‌شود به طوری که نمونه‌های ژپسی نزدیک بخش استروماتولیتی میزان منیزیم بالایی را نشان می‌دهند (شکل ۶ الف). دامنه تغییرات این عنصر در برش‌های گل‌ترش، پوتو و اناران کم و در برش بوالفارس زیاد می‌باشد (شکل ۶ ب). غنی‌شدگی نمونه‌های تبخیری نسبت به منیزیم به دلیل حضور میانبار، دولومیت و یا به دلیل تغییر در عمق حوضه و میزان نسبت Mg/Ca آب دریا در طول ته‌نشینی تبخیری می‌باشد. بر اساس مطالعات لیونز و همکاران (۱۹۸۴) و طاهر و همکاران (۲۰۱۴) می‌توان گفت که Ca^{2+} در آب منفذی توسط عوامل زیستی و متابولیسم باکتریایی و یا نهشته شدن آراگونیت و کلسیت، حذف شده و غلظت Mg^{2+} در آب منفذی زیاد می‌شود. بیش‌ترین مقدار منیزیم در لایه‌های تبخیری نزدیک به لایه‌های کربناته استروماتولیت باندستون مشاهده شده است. بنابراین مقدار زیاد منیزیم در لایه‌های تبخیری را



شکل ۶. پراکندگی عنصر منیزیم در برش‌های مورد مطالعه (الف) روند تغییر مقدار عنصر منیزیم از قسمت پایین به سمت بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر منیزیم (ب) نقشه‌ی پراکندگی عنصر منیزیم. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل ترش؛ AR: اناران)



شکل ۷. (الف) حضور سلسیت (Ce) در نمونه‌های تبخیری برش نایاب (ب) حضور دولومیت (Dol) در نمونه‌های تبخیری برش بوالفارس و (پ) حضور دولومیت در زمینه ژیبسی (Gy) برش پوتو در شکل نمایان است.



شکل ۸. پراکندگی عنصر آهن در برش‌های مورد مطالعه (الف) روند تغییر مقدار عنصر آهن از قسمت پایین به سمت بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر آهن (پ) نقشه‌ی پراکندگی عنصر آهن. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل ترش، AR: اناران)

جدول ۴. مقادیر استرانسیم (برحسب $mgkg^{-1}$) نمونه‌های منتخب ژیبسی قبل و بعد از حذف سلسیت

نمونه	AR7	AR4	GE7	PT7	PT2	PT1	BL5	BL3	
مقدار Sr (قبل از حذف سلسیت)	۶۵۰	۶۱۶۹	۳۶۳۹	۸۹۴	۶۰۱۵	۵۲۴۳	۸۱۳۰	۲۵۶۹	
مقدار Sr (بعد از حذف سلسیت)	۶۴۳	۳۲۲۱	۳۳۴۷	۸۰۰	۳۲۱۰	۱۲۳۰	۴۷۳۲	۲۰۲۱	

سیالات منفذی با قدرت یونی کم قرار می‌گیرند، ترکیب کانی‌های حاصله توسط ترکیب کانی والد کنترل می‌شود (کوشنیر، ۱۹۸۰). تنها در حضور حجم بالای میانبارهای سیال یا آب‌های منفذی تغلیظ شده، ترکیب فاز کانیایی تشکیل شده متفاوت از ترکیب فاز والد خواهد بود (کا و همکاران، ۲۰۰۱). از آنجایی که میانبارهای سیال و جامد در ژیبس‌های مورد بررسی مشاهده نشده است، تهی‌شدگی ژیبس از سدیم بیان‌کننده‌ی این حقیقت است که تبخیری اولیه از شورابه‌ای مشابه با آب دریا یا نزدیک اشباع ژیبس/انیدریت نهشته شده است. افزایش

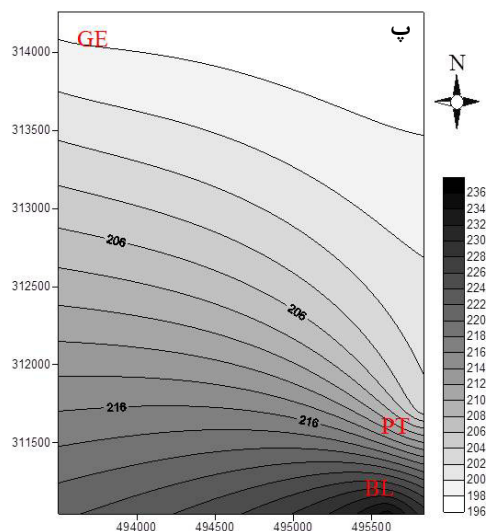
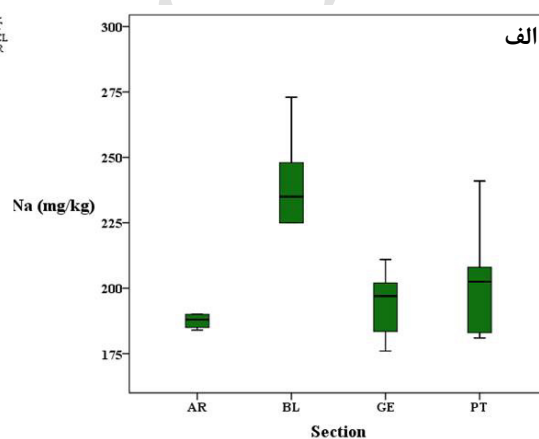
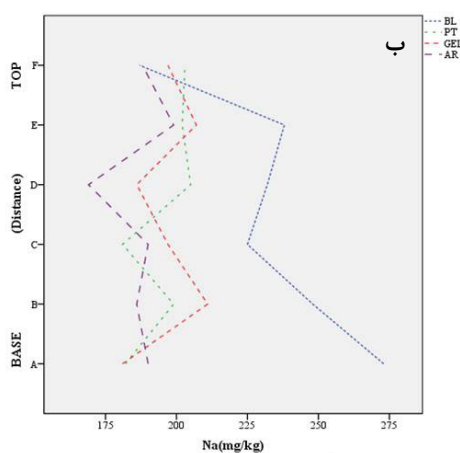
عنصر سدیم (Na): تغییرات عنصر سدیم در هر برش از پایین به بالای لایه‌ی انیدریت قاعده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۹ الف). بیش‌ترین مقدار عنصر سدیم در بخش‌های پایینی برش بوالفارس مشاهده شده است. تغییرات مقدار عنصر سدیم در سه برش دیگر ملایم و کم است. در تمام برش‌ها تغییر مقدار این عنصر به سمت بالای لایه‌ی انیدریت قاعده‌ای دارای روند کاهشی است. عنصر سدیم به وجود میانبار در نهشته‌ها بسیار حساس است (لیو و همکاران، ۱۹۹۷). زمانی که واکنش‌های آب‌گیری انیدریت و یا آب‌زدایی ژیبس تحت تاثیر

(بابل و شریبر، ۲۰۱۴). با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی انجام بر روی ژپس (تاردی و همکاران، ۱۹۷۲؛ تکین، ۲۰۰۱) می‌توان مقدار کم لیتیم را به تبخیر بیش از حد نسبت داد. با توجه به روند تغییر مقدار لیتیم (شکل ۱۰ الف)، برش‌های گل‌ترش و اناران شرایط تبخیر بسیار متغیری را متحمل شده‌اند و فرآیند نهشته شدن انیدریت قاعده‌ای تحت تاثیر فعالیت‌های آب بوده است. میزان پراکندگی عنصر لیتیم در شکل (۱۰، ب، پ) نشان داده شده است. بر اساس برانتلی و همکاران (۱۹۸۴) می‌توان گفت که مقدار میانگین کم عنصر لیتیم در برش بوالفارس و پوتو نشان دهنده‌ی تشکیل انیدریت قاعده‌ای در مراحل اولیه تبخیر و در زمان کم عمق بودن حوضه بوده است.

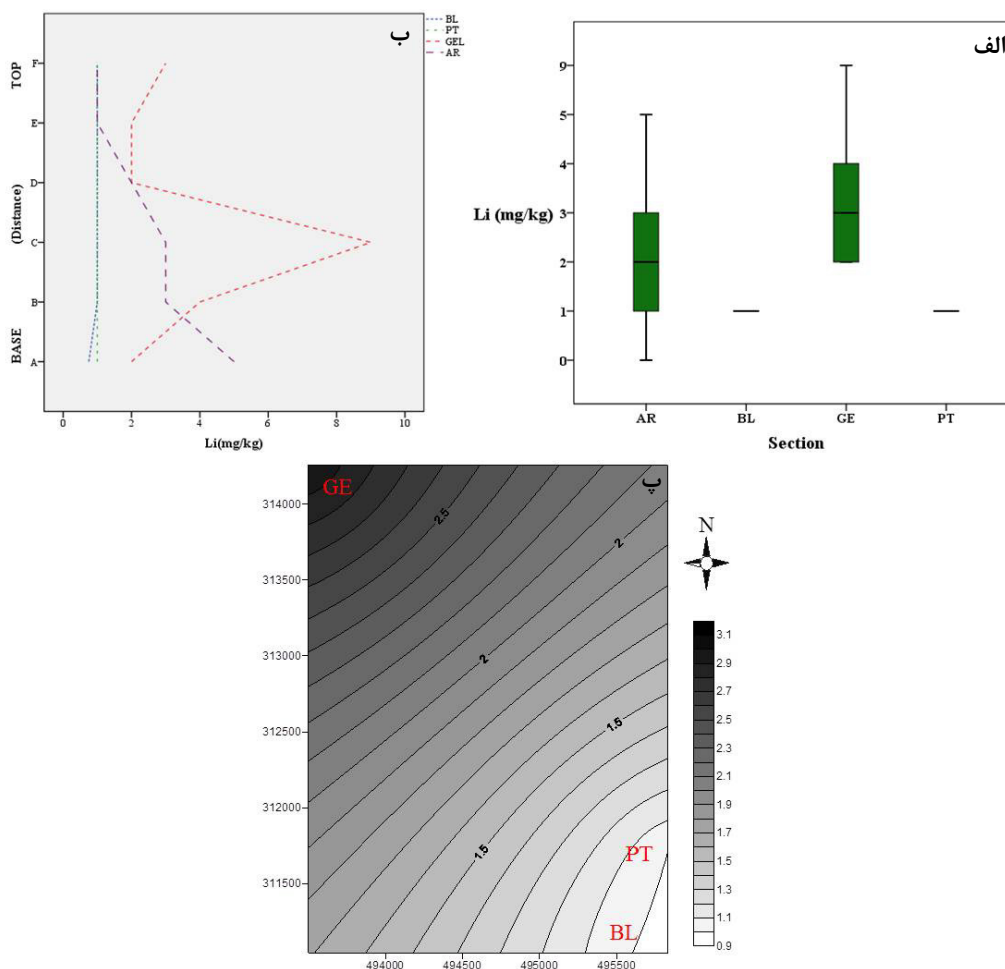
مقدار سدیم می‌تواند حاکی از افزایش غلظت شورابه به دلیل کم‌عمق شدن حوضه و تبخیر زیاد در منطقه باشد (شکل ۹، ب، پ).

عنصر لیتیم (Li): برش بوالفارس و پوتو مقدار میانگین و تغییرات کمی را برای عنصر لیتیم نشان می‌دهد در حالی که این تغییرات در برش گل‌ترش و اناران زیاد می‌باشد و به سمت بالای لایه‌ی انیدریت قاعده‌ای مقدار آن کاهش می‌یابد (شکل ۱۰ الف، ب).

بعضی از عناصر مانند Cl, Mg, K, Li و Br در هر نهشته تبخیری نمی‌تواند وارد شوند. بنابراین عناصر مذکور در طول تبخیر در محلول تجمع می‌یابند، به طوری که تبخیری‌های نهشته شده در مراحل اولیه تبخیر، میزان لیتیم کم‌تری دارند (برانتلی و همکاران، ۱۹۸۴). مقدار عنصر لیتیم در آب دریا و در زمان نهشته شدن تبخیری‌های سولفات (ژپس/انیدریت) تقریباً صفر است



شکل ۹. پراکندگی عنصر سدیم در برش‌های مورد مطالعه (الف) روند تغییر مقدار عنصر سدیم از قسمت پایین به سمت بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر سدیم (پ) نقشه‌ی پراکندگی عنصر سدیم. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل‌ترش، AR: اناران)



شکل ۱۰. پراکندگی عنصر لیتیم در برش‌های مورد مطالعه (الف) روند تغییر مقدار عنصر لیتیم از قسمت پایین به سمت بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر لیتیم (پ) نقشه‌ی پراکندگی عنصر لیتیم. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل ترش، AR: اناران)

تهی‌شدگی در مقدار استرانسیم را نشان می‌دهد. اما مقدار استرانسیم به دست آمده از نمونه‌های کربناته در رخساره زیرین انیدریت قاعده‌ای (رأس سازند پابده) در برش‌های مورد مطالعه، روند تغییراتی مشابه با نمونه‌های تبخیری در هر برش را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار استرانسیم (6550 mgkg^{-1}) مربوط به برش بوالفارس است که نمونه‌های کربناته دارای سلسیت دیاژنزی است. فرآیند توزیع استرانسیم در لایه کربناته می‌تواند به صورت ثانویه و بعد از تغییرات لایه تبخیری (انیدریت قاعده‌ای) رخ داده باشد. همان طوری که اهرنبرگ و همکاران (۲۰۰۷) وجود سلسیت در بخش‌های بالای سازند آسماری (بخش زیرین سازند گچساران) را به تدفین سازند تبخیری گچساران و تغییر کانی‌شناسی واحد تبخیری نسبت می‌دهند.

پراکندگی عنصر استرانسیم در لایه‌های (کربناته)

بالایی و پایینی انیدریت قاعده‌ای

فرآیندهای دیاژنزی و تغییرات کانی‌شناسی واحد تبخیری، ژئوشیمی لایه‌های بالایی و پایینی تبخیری را می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد. بیش‌ترین و مهم‌ترین عنصر در نمونه‌های تبخیری مورد بررسی عنصر استرانسیم است. مقدار استرانسیم در سنگ‌های کربناته دریایی (کانی کلسیت) که به طور نرمال $800-1000 \text{ mgkg}^{-1}$ می‌باشد، در طول دیاژنز سریعاً تهی می‌شوند (کا و همکاران، ۲۰۰۱؛ آدابی، ۱۹۹۶). میزان استرانسیم لایه‌های کربناته بالایی و پایینی انیدریت قاعده‌ای، در برش بوالفارس و پوتو مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). کم‌ترین مقدار استرانسیم مربوط به نمونه‌های کربناته از رخساره بالایی انیدریت قاعده‌ای (لایه‌ی تدریجی) می‌باشد که تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنزی قرار گرفته و

جدول ۵. میزان عنصر استرانسیم (بر حسب mgkg^{-1}) در نمونه‌های کربناته در رخساره‌های بالایی و پایینی انیدریت قاعده‌ای

پوتو		بوالفارس			نمونه	
PT(A3)	PA(T2)	PT(A1)	BL(A3)	BL(A2)	BL(A1)	لایه‌ی کربنات بالایی
۱۰۰>	۱۰۶	۲۶۰	۲۳۷	۳۲۰	۴۹۰	
PT(B3)	PT(B2)	PT(B1)	BL(B3)	BL(B2)	BL(B1)	لایه‌ی کربنات پایینی
۱۲۷۰	۱۳۳۹	۱۲۵۰	۵۴۰۰	۵۳۲۱	۶۶۵۰	

نتیجه‌گیری

در تمام برش‌های مورد مطالعه انیدریت طی بالا آمدن، رخنمون یافتن و هیدراته شدن، به ژپیس ثانویه تبدیل شده و عمدتاً ساخت (فابریک ماکروسکوپی) آلاباستر را نشان می‌دهد. طی فرآیندهای دیاژنزی و تغییرات کانی‌شناسی واحد تبخیری (انیدریت قاعده‌ای)، مقدار عنصر استرانسیم که در شبکه کانی تبخیری جدید نتوانسته وارد شود، در لایه کربناته به صورت ثانویه منتشر می‌شود. از جمله کانی‌های ثانویه که طی فرآیند دیاژنز در برش‌های مورد مطالعه تشکیل شده است، سلسیت و گوگرد (سولفور خالص) می‌باشد. در نتیجه‌ی تبدیل انیدریت به ژپیس، استرانسیم لازم برای تشکیل سلسیت فراهم شده است. حضور تکه‌هایی از گوگرد درون ژپیس نشان از آب‌گیری انیدریت و کلسیتی‌شدن سولفات است. ژپیس‌های ثانویه نسبت به عنصر استرانسیم فقیر هستند به استثنای مواردی که دارای کانی ثانویه سلسیت باشند. در برش بوالفارس، نسبت به سه برش دیگر، مقدار عنصر استرانسیم، منیزیم و سدیم افزایش و مقدار آهن کاهش یافته که حاکی از کم عمق بودن و نزدیکی برش به خشکی، تاثیر عوامل زیستی و دیاژنزی و نیز حاکم بودن شرایط اکسیداسیونی در منطقه است. با حرکت به سمت برش گل‌ترش (نواحی شمالی) مقدار عناصر استرانسیم، منیزیم و سدیم کاهش و عنصر آهن افزایش یافته که نشان از عمیق‌تر شدن نسبی محیط ته‌نشینی در منطقه است. وجود عنصر لیتیم در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان به تبخیر بیش از حد نسبت داد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که در زمان نهشته شدن انیدریت قاعده‌ای، برش‌های بوالفارس و پوتو در حاشیه حوضه و برش گل‌ترش در بخش نسبتاً عمیق‌تر حوضه رسوبی قرار گرفته است. برش اناران از محیط رسوبی محدود شده به سمت دریای باز پیش رفته است.

سیاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه بوعلی‌سینا به خاطر حمایت‌های مالی و در اختیار گذاشتن امکانات لازم برای انجام این پژوهش کمال تشکر را دارند.

منابع

بهرامی، ف. موسوی‌حرمی، ر. خانه‌باد، م. محمودی‌قراچی، م. ح. صادقی، ر (۱۳۹۳) رخساره‌های محیط رسوبی و عملکرد فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی رامین. رسوب‌شناسی کاربردی. جلد ۴. ص ۱۶-۳۶.

رحمانی، س (۱۳۹۶) محیط رسوبی و نحوه‌ی تشکیل انیدریت قاعده‌ای (سازند آسماری) در رخنمون‌های شمال فروافتادگی دزفول، جنوب‌غرب ایران. پایان‌نامه‌ی دکترا. دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.

صیرفیان، ع. ارزانی، ن. طاهری، ع. وزیری‌مقدم، ح. هاشمی، م (۱۳۸۶) گزارش نهایی پروژه پژوهشی و تحقیقاتی رخساره‌شناسی سازند آسماری در بلندی‌های غرب-شمال غرب زاگرس (دهلران-خرم‌آباد-چنگوله). شرکت ملی نفت ایران. مدیریت پژوهش و فناوری. قرارداد شماره: ۸۵۰۰۸-۸۱. چهار جلد.

مطیعی، ه (۱۳۷۴) زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس جلد ۱ و ۲. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۰۱ ص.

Adabi, M. H (1996) Sedimentology and geochemistry of Upper Jurassic (Iran) and Precambrian (Tasmania) carbonates. Unpubl. Ph.D. Thesis, Uni. Tasmania, Australia, 400 pp.

Aref, M. A. M (1998) Biogenic carbonates – are they a criterion for underlying hydrocarbon accumulations-an example from the Gulf of Suez region. AAPG Bulletin, 82: 336–352.

Babel, M., Schreiber, B. C (2014) Geochemistry of evaporites and evolution of seawater. Treatise on geochemistry, pp.483-560.

Boggs, S (2009) Petrology of sedimentary rocks. Cambridge University Press. 660 pp.

- evolution of the Zagros fold-thrust belt during Early Miocene in south westernmost of Iran. *Carbonates Evaporites*, 21: 55-69.
- Kushnir, J (1980) The co-precipitation of strontium, magnesium, sodium, potassium, and chloride ions with gypsum: an experimental study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44: 1471-1482.
- Kushnir, J (1981) Formation and early diagenesis of varved evaporite sediments in a coastal hypersaline pool. *Journal of Sedimentary Research*, 51: 1193-1203.
- Lu, F. H., Meyers, W. J., Schoonen, M. A (1997) Minor and trace element analyses on gypsum: an experimental study. *Chemical geology*, 142(1-2): 1-10.
- Lyons, W. B., Long, D. T., Hines, M. E., Gaudette, H. E., Armstrong, P.B (1984) Calcification of cyanobacterial mats in SolarLake, Sinai. *Geology*, 12: 623-626.
- Matano, F., Barbieri, M., Di Nocera, S., Torre, M (2005) Stratigraphy and strontium geochemistry of Messinian evaporite-bearing successions of the southern Apennines foredeep, Italy. Implications for the Mediterranean "salinity crisis" and regional palaeogeography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217 (1): 87-114.
- Neuendorf, K. K. E., Mehl, J. P., Jackson, J. A (2005) *Glossary of Geology*, Alexandria, VA: American Geological Institute. 5 edn. pp.1-779.
- Ortí -Cabo, F., Pueyo Mur, J. J., Geisler-Cussey, D., Dulau, N (1984) Evaporitic sedimentation in the coastal salinas of Santa Pola (Alicante, Spain). *Revista d'Investigacions Geològiques*, 38 (39): 169-220.
- Playà, E., Ortí, F., Rosell, L (2000) Marine to non-marine sedimentation in the upper Miocene evaporites of the Eastern Betics, SE Spain. *Sedimentological and geochemical evidence. Sedimentary Geology*, 133 (1): 135-166.
- Playà, E., Rosell, L (2005) The celestite problem in gypsum Sr geochemistry: an evaluation of purifying methods of gypsiferous samples. *Chemical geology*, 221(1): 102-116.
- Rafiei, B. Rahmani, S (2017) Textural pattern of secondary gypsum in the Basal Anhydrite of the Asmari Formation, SW Iran. *Geopersia*, 7(2): 267-278.
- Rosell, L., Ortí, F., Kasprzyk, A., Playa, E., Peryt, T. M (1998) Strontium geochemistry of Miocene primary gypsum: Messinian of southeastern Spain and Sicily and Badenian of Poland. *Journal of Sedimentary Research*, 68 (1): 63-79.
- Sonnenfeld, P (1984) *Brines and evaporates*. Academic Press, London, 613 pp.
- Taberner, C., Marshall, J. D., Hendry, J. P., Pierre, C., Thirlwall, M. F (2002) Celestite formation, Brantley, S. L., Crerear, D. A., Møller, N. E., Weare, J. H (1984) Geochemistry of a modern marine evaporite: Bocana de Virrila', Peru. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54:447-462.
- Carver, R. E (1971) *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, Wiley, 653 pp.
- Dronkert, H (1985) Evaporite models and sedimentology of Messinian and recent evaporates. *GUA Pap. Geol., Ser. 1 (24)*, pp.1-283.
- Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen, G. V., Monibi, S., Mossadegh, Z. K., Svånå, T. A., Aqrabi, A. A. M., McArthur, J. M., Thirlwall, M. F (2007) Strontium isotope stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene-Lower Miocene), SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 30 (2): 107-128.
- Falcon, N. L (1974) Southern Iran: Zagros Mountains, in A. Spencer, ed., *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts*. Geological Society of London Special Publication, 41: 199-211.
- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., Koyi, H (2009) Basin evolution of the Lurestan region in the Zagros fold-and-thrust belt, Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 32: 5-19.
- Geisler-Cussey, D (1985) *Aproche sedimentologique et geochemique des mecanismes generateurs des formations evaporite actuelles et fossils*. Ph.D. Thesi, University Nancy I.
- Hardie, L. A (1984) Evaporites: marine or non-marine. *American Journal of Science*, 284: 193-240.
- Heydari, E., Hassanzadeh, J., Wade, W. J., Ghazi, A. M (2003) Permian-Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction. Part 1. *Sedimentology: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 405-423.
- Jaworska, J (2012) Crystallization, alternation and recrystallization of sulphates. In *Advances in Crystallization Processes*. InTech. pp. 465-490.
- Kah, L. C., Lyons, T. W., Chesley, J. T (2001) Geochemistry of a 1.2 Ga carbonate-evaporite succession, northern Baffin and Bylot Islands. Implications for Mesoproterozoic marine evolution. *Precambrian Research*, 111(1): 203-234.
- Kasprzyk, A (1994) Distribution of strontium in the Badenian (Middle Miocene) gypsum deposits of the Nida area, southern Poland. *Geological Quarterly*, 38 (3): 497-512.
- Kasprzyk, A (2003) Sedimentological and diagenetic patterns of anhydrite deposits in the Badenian evaporite basin of the Carpathian Foredeep, southern Poland. *Sediment. Geol.*, 158:167-194.
- Kavoosi, M. A., Sherkati Sh (2012) Kalthur Member evaporates and tectonosedimentary

- bacterial sulphate reduction and carbonate cementation of Eocene reefs and basinal sediments (Igalada, NE Spain). *Sedimentology*, 49 (1): 171-190.
- Taher, H., Al-Zuhair, S., Al-Marzouqi, A. H., Haik, Y., Farid, M (2014) Effective extraction of microalgae lipids from wet biomass for biodiesel production. *Biomass and bioenergy*, 66: 159-167.
- Tardy, Y., Krempp, G., Trauth, N (1972) Le lithium dans les mine'raux argileux des sediments et des sols. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36: 397-412.
- Tekin, E (2001) Stratigraphy, geochemistry and depositional environment of the celestine-bearing gypsiferous formations of the Tertiary Ulaş-Sivas Basin, East-Central Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10 (1): 35-49.
- Testa, G., Lugli, S (2000) Gypsum-anhydrite transformation in Messinian evaporates of central Tuscany (Italy). *Sedimentary Geology*, 130: 249-268.
- Twenhofel, W. H (1950) Principles of sedimentation. New York: McGraw-Hill. 2nd edn, pp. 1-673.
- Usdowski, E (1973) Das geochemische Verhalten des Strontiums bei der Genese und Diagenese von Ca-karbonat- und Ca-sulfat-Mineralen. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 38 (3): 177-195.
- Van Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laursen, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N. A. H., Tahmasbi, A. R., Vedrenne, V., Vincent, B (2010) Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations), SW Iran. *Geological Society, London, special publications*, 329: 219-263.

Archive