

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

سعیده رحمانی<sup>۱</sup> و بهروز رفیعی<sup>۲\*</sup>

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 بررسی 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. واکاوی کانی‌شناسی (XRD, BSE-EDX) برای ۳ نمونه و واکاوی عنصری (ICP-OES) برای ۲۸ نمونه انجام گرفت. نتایج بررسی‌های پتروگرافی و واکاوی‌های کانی‌شناسی نشان داد که طی رخنمون یافتن انیدریت و هیدراته‌شدن آن، ژئوپس ثانویه با ساخت و بافت چیره آلاباستر ساخته شده است. برای انجام واکاوی ژئوشیمی، به صورت انتخابی چهار برش (بوالفارس، پوتو، گل‌ترش و اناران) انتخاب شد. واکاوی عنصری نشان می‌دهد که کلسیم و گوگرد مهم‌ترین عنصر موجود می‌باشند که به صورت کانی ژئوپس دیده می‌شوند. برش بوالفارس بیش‌ترین مقدار عنصرها استرانسیم، منیزیم و سدیم و کم‌ترین مقدار عنصر آهن را دارا است که نشانگر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی و زیستی و نیز محیط کم ژرفا می‌باشد. به سمت برش گل‌ترش (شمال حوضه) مقدار عنصرها استرانسیم، منیزیم و سدیم کاهش و مقدار آهن افزایش می‌یابد که نشانگر ژرفای نسبتاً بیش‌تر در مناطق شمالی است. برش‌های پوتو و اناران بیش‌تر زیر تاثیر شرایط آب‌شناسی در منطقه بوده و روند تغییرات عنصری متغیری را نشان می‌دهند. میزان عنصر لیتیم در برش‌های مورد بررسی کم بوده که نشان از تبخیر بیش از حد در منطقه می‌باشد.

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

### پیشگفتار

کانی‌های تبخیری به ویژه انواع سولفاتی 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 ژئوپس رخ می‌دهد، 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. با این که پژوهش‌های فراوانی بر روی سازند آسماری انجام گرفته، ولی هنوز ویژگی‌های ژئوشیمیایی انیدریت قاعده‌ای بررسی نشده است. بنابراین اطلاعات کافی از شرایط حاکم بر محیط ته‌نشینی این تبخیری‌ها و ویژگی‌های ژئوشیمیایی آن‌ها در دسترس نمی‌باشد. این پژوهش برای بررسی

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

شمار ۱۲۰ نمونه از واحد تبخیری انیدریت قاعده‌ای برداشت شد. بر پایه تغییرات ظاهری شمار ۲۵ نمونه انتخاب و کانی‌شناسی آن‌ها با دستگاه XRD (Italstructures, Cu  $\alpha$ , 40kV, 30 mA, 2-70° 2 $\theta$ ) در دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. برای شناسایی نوع کانی همراه با تبخیری، سه نمونه توسط دستگاه SEM, EDS (Leo1450 VP) در شرکت فرآوری مواد معدنی تهران واکاوی نقطه‌ای شد. برای انجام واکاوی ژئوشیمیایی از تاقدیس‌های بولفارس، پوتو، گل‌ترش و اناران هر کدام یک بُرش انتخاب شد. با توجه به تفاوت ظاهری، شمار ۲۸ نمونه از ژپیس آلاباستر از مجموع ۴ برش برداشت گردید و از نظر ترکیب عنصری مورد بررسی قرار گرفت. واکاوی شیمیایی ICP-OES این نمونه‌ها در شرکت زرآزما تهران دستگاه (Varian 735) و واکاوی شناسایی عنصر استرانسیم هشت نمونه توسط دستگاه جذب اتمی (Varian SpectrAA lamp, 10 mA, 460.7 nm, 5-7) در دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد.

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

### روش پژوهش

هفت بُرش سطحی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است که از نظر جایگاه جغرافیایی در سه استان همسایه 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 بیش‌ترین ستبرای بود، به صورت سیستماتیک و با فواصل یک متر انجام شد. در مجموع

جدول ۱. جایگاه جغرافیایی و ستبرای برش‌های سطحی مورد بررسی در تاقدیس‌های مختلف

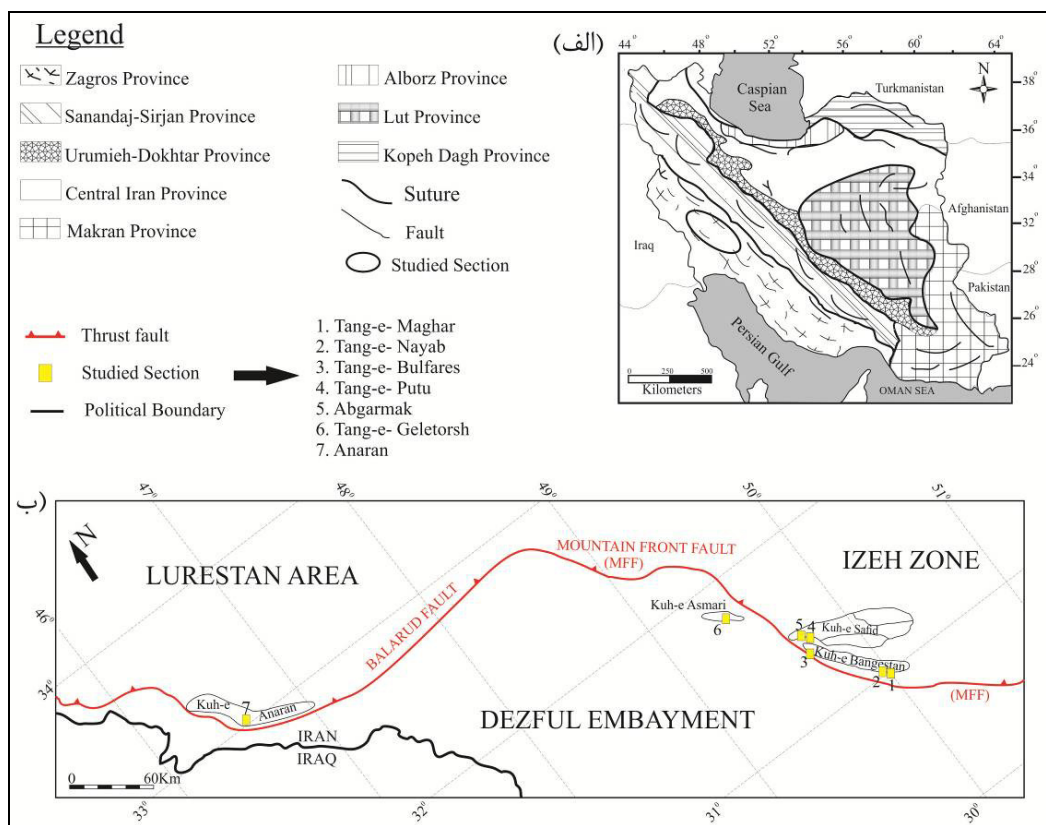
نام برش	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	محل برش	ستبرای (m)
تنگ ماغر	۵۰° ۰۶' ۳۸"	۳۰° ۵۸' ۴۴"	تاقدیس بنگستان	۴
تنگ نایاب	۵۰° ۰۱' ۵۸"	۳۱° ۰۳' ۴۸"	تاقدیس بنگستان	۱۲
تنگ بوالفارس	۴۹° ۵۶' ۰۳"	۳۱° ۱۰' ۴۴"	تاقدیس بنگستان	۱۲
تنگ پوتو	۴۹° ۵۸' ۳۲"	۳۱° ۱۷' ۱۶"	تاقدیس کوه سفید	۱۵
آبگرمک	۴۹° ۵۸' ۱۱"	۳۱° ۱۷' ۴۹"	تاقدیس 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 جایگاه زمین‌شناسی، برش‌های مورد بررسی در زون ساختاری زاگرس قرار دارند (شکل ۱الف). بر پایه 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؛ فرزوی‌پور-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<sup>۱</sup> و در زمان اکی‌تاین رسوب کرده است. صیرفیان و همکاران (۱۳۸۶) و رحمانی (۱۳۹۶) بر این باورند که در این زمان نبود ارتباط حوضه با آب‌های آزاد منجر به محدود شدن حوضه و افزایش شوری در حوضه‌ی درون پلت‌فرمی شده و در سرانجام نهشته شدن تبخیری‌ها را به دنبال داشته است. جایگاه انیدریت قاعده‌ای در منطقه مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است.

<sup>1</sup>Intrashelf basin depression



شکل ۱. جایگاه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی، الف: تقسیمات ساختمانی ایران (حیدری و همکاران، ۲۰۰۳)؛ ب: بخشی از تقسیمات ساختمانی زاگرس (فرزی پور-صاین و همکاران، ۲۰۰۹)



شکل ۲. جایگاه انیدریت قاعده‌ای در تنگ نایاب. این نهشته‌ها بر روی سازندهای پابده و گورپی و زیر سازند آسماری واقع شده است.

### نتایج

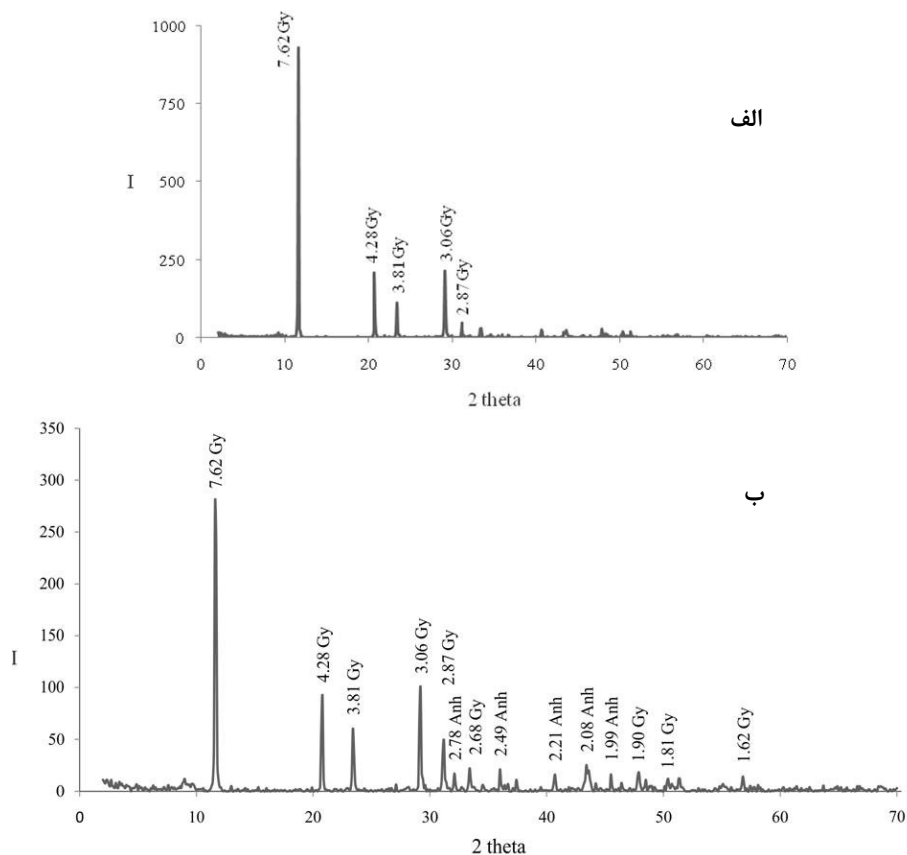
نتایج مطالعات انجام شده از هفت برش تبخیری مورد بررسی را می‌توان در سه بخش بررسی فابریک، کانی‌شناسی و ژئوشیمی ارائه داد. بررسی فابریک‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی واحدهای تبخیری نشان می‌دهد که فابریک غالب از نوع

آلاباستر می‌باشد (جدول ۲). ضمناً در بسیاری از برش‌ها فابریک برشی نیز مشاهده شده است. فابریک سلنیتی فقط در برش نایاب و آگرگات شعاعی در برش بوالفارس دیده شد. کانی‌شناسی رسوبات تبخیری توسط واکاوی‌های XRD و EDX و پتروگرافی انجام گردید. بر پایه نتایج برگرفته از

عنصرها بر پایه میانگین غلظت در نمونه‌های برش‌های مختلف به ترتیب  $Sr > Mg > Na > Fe > Li$  تغییر می‌کنند. تنها در برش گل‌ترش این روند به صورت  $Sr > Mg > Fe > Na > Li$  است. در این برش میانگین عنصر آهن نسبت به سایر برش‌های مورد بررسی غلظت بیش‌تری را نشان می‌دهد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت عنصر  $Sr$  به ترتیب در برش‌های بوالفارس (۳۶۵۴ ppm) و گل‌ترش (۱۹۴۹ ppm) دیده شد. بیش‌ترین مقادیر  $Mg$  در برش‌های پوتو (۱۱۲۴ ppm) و گل‌ترش (۱۰۴۸ ppm) و کم‌ترین آن در برش اناران (۲۶۳ ppm) اندازه‌گیری شد. 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 رسید. 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) دیده شد.

واکاوی XRD، ژئوپس کانی اصلی ساخته‌دهنده نمونه‌های تبخیری مورد بررسی می‌باشد (شکل ۳ الف). البته در برخی از نمونه‌ها، کانی انیدریت نیز به عنوان کانی فرعی به همراه ژئوپس دیده شد (شکل ۳ ب). نتایج واکاوی EDX نیز حضور کانی ژئوپس و سلسیت را تایید می‌کند (شکل ۴). سلسیت به صورت بلورهای کوچکی در متن کانی‌های ژئوپسی دیده شد. این کانی به دلیل فراوانی کم در تبخیری‌ها توسط XRD قابل شناسایی نیست. در مطالعات پتروگرافی نیز سلسیت دیده شد (شکل ۷ الف) اما شناسایی آن بسیار دشوار بوده و عملاً حضور آن توسط واکاوی EDX تایید شده است. افزون بر کانی‌های یادشده، دولومیت در برخی از نمونه‌ها (برش‌های بوالفارس و پوتو) دیده شد (شکل ۷ ب، پ).

نتایج واکاوی ژئوشیمیایی (ICP-OES) نمونه‌های تبخیری در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که جدول نشان می‌دهد عنصر کلسیم و گوگرد دارای فراوانی بیش‌تری بوده و حتی از حد شناسایی تجاوز نموده است.



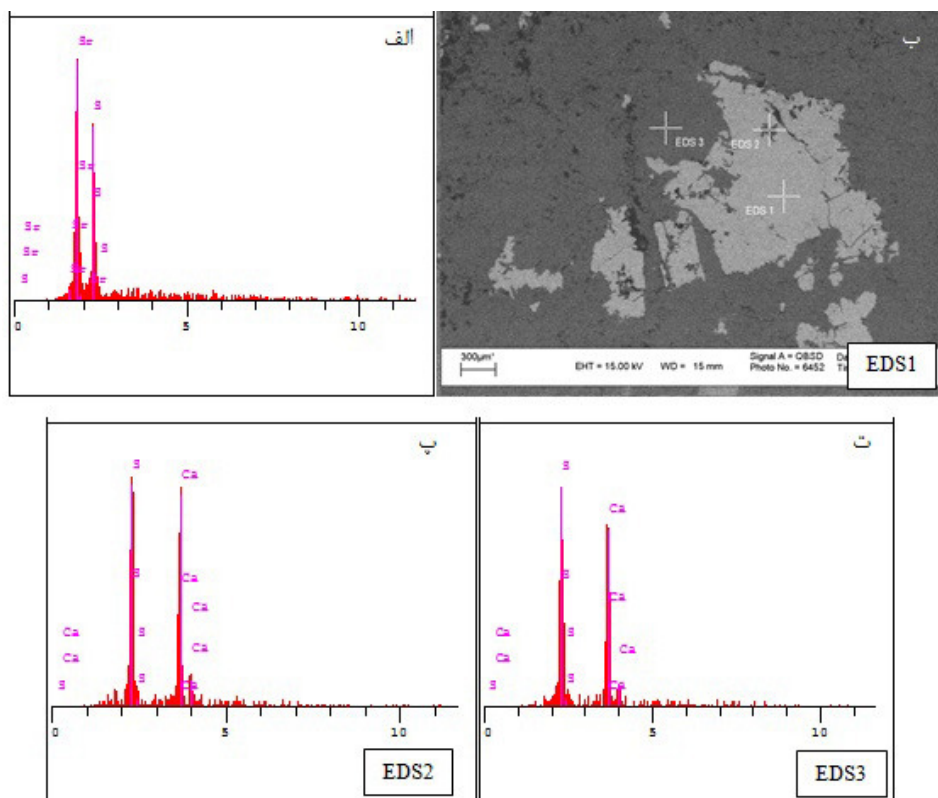
شکل ۳. الف) نمودار XRD نمونه تبخیری برش نایاب (ب) نمودار XRD نمونه تبخیری برش گل‌ترش. کانی‌های ژئوپس (Gy) و انیدریت (Anh) در نمودار مشخص شده‌اند.

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

پورفیروبلاست		برشی	آلاباستر	نام ساخت
آگرگات شعاعی	سلنیتی			نام بُرش
----	----	*	*	ماغر
----	*	*	*	نایاب
*	----	*	*	بوالفارس
----	----	*	*	پوتو
----	----	*	*	آبگرمک
----	----	*	*	گل‌ترش
----	----	#	*	اناران

جدول ۳. واکاوی شیمیایی نمونه‌های تبخیری در برش‌های مورد بررسی (غلظت برحسب  $\text{mgkg}^{-1}$ )

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
گل‌ترش	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	
<b>1</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>Detection limit</b>



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

ثانویه ساخته شده است. از طرفی بافت‌های انیدریت نیز تغییر شکل یافته و دوباره متبلور شده‌اند. ژپس ثانویه در برش‌های مورد بررسی شامل سه بافت متفاوت آلاباستر، پورفیروبلاست و فیبری می‌باشد (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷).

#### کانی‌شناسی

نهنجته‌های تبخیری می‌تواند دارای مقادیر متفاوتی از ناخالصی‌ها مانند کانی‌های رسی، کوارتز، سولفور و سلسیت باشد. برخی از تبخیری‌ها به صورت میان لایه‌ای با رسوبات دیگر (معمولاً کربنات‌ها) یافت می‌شوند (بوگز، ۲۰۰۹). نتایج واکاوی XRD نشان داد که کانی اصلی ساخته دهنده‌ی نمونه‌های تبخیری مورد بررسی، ژپس به همراه مقدار کمی انیدریت است (شکل ۳).

نتیجه‌ی واکاوی نقطه‌ای<sup>۴</sup> برخی از نمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. واکاوی نقطه‌ای در نقطه (EDS1) که رنگ روشن‌تری نسبت به زمینه دارد، عنصرها استرانسیم و گوگرد را نشان می‌دهد و مشخص کننده‌ی

#### بحث

#### ساخت و بافت‌های تبخیری

ساخت: در تمام برش‌های مورد بررسی فابریک ماکروسکوپی (ساخت) ژپس از نوع آلاباستر است. افزون بر آن ژپس پرشی و ژپس پورفیروبلاست، شامل ژپس سلنیت (از نوع palisade) و آگرگات‌های شعاعی نیز در منطقه دیده شد (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷) (جدول ۲). مواد همراه با ژپس، ندول‌های انیدریتی (با قطر ۶-۲۱ cm) و گوگرد خالص<sup>۱</sup> (با قطر ۱-۴ cm) هستند، که به ترتیب در برش آبگرمک و بولفارس دیده شد (رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷).

بافت: بررسی‌های پتروگرافی انیدریت قاعده‌ای در سازند آسماری نشان می‌دهد که انیدریت در برش‌های یادشده تبخیری اولیه می‌باشد. بافت میکروسکوپی انیدریت شامل تیغه‌هایی است که به صورت شعاعی<sup>۲</sup> یا بادبزی شکل<sup>۳</sup> مرتب شده‌اند (بهرامی، ۱۳۹۳؛ رفیعی و رحمانی، ۲۰۱۷). طی رخنمون یافتن انیدریت و هیدراته‌شدن آن، ژپس

<sup>۱</sup>Native Sulphur

<sup>۲</sup>Rosette-like

<sup>۳</sup>Fan

<sup>۴</sup>EDX

است (شکل ۵ الف). با توجه به نمودار جعبه‌ای در برش گل‌ترش بازه تغییرات استرانسیم کم بوده اما در برش بوالفارس و اناران این تغییرات زیاد می‌باشد (شکل ۵ ب). بر پایه نتایج گزارش شده و کارهای آزمایشگاهی کوشنیر (۱۹۸۰) مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده‌ی مقدار استرانسیم در ژئیس، غلظت شورابه است. بر پایه 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 ژرف‌تر حوضه و یا ورود آب شیرین‌تر به حوضه باشد. توزیع مکانی استرانسیم در ژئیس‌های برش‌های مختلف، ارتباط میان مقدار استرانسیم و جایگاه جغرافیایی دیرینه حوضه رسوبی را نیز نشان می‌دهد (ماتانو و همکاران، ۲۰۰۵). مقدار زیاد استرانسیم نشان از نزدیکی جایگاه 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 ژرف‌تر پلتفرم (برش گل‌ترش) به همین دلیل است (شکل ۵ پ). افزون 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 گفتن است که کربنات‌های کم ژرف 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 ژئیس اولیه دریایی را ۱۵۰۰ تا ۲۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد. ژئیس‌های ثانویه (در نتیجه تبدیل انیدریت به ژئیس) نسبت به استرانسیم کم بوده و معمولاً مقدار آن کم‌تر از  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  است. ناهنجاری در مقدار استرانسیم اندازه‌گیری شده (چندین هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دلیل حضور سلسیت، سرشار بودن نمونه ژئیس از کربنات و یا حضور بازائیت (کانی حواسط انیدریت و ژئیس با فرمول  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) می‌باشد (راسل و همکاران، ۱۹۹۸؛ پلایا و همکاران، ۲۰۰۰؛ کاسپریک، ۲۰۰۳؛ پلایا و راسل، ۲۰۰۵؛ ماتانو و همکاران، ۲۰۰۵).

حضور سلسیت در نمونه است. نقاط (EDS2) و (EDS3) یا همان زمینه که رنگ تیره‌تری دارد، دارای عنصرها کلسیم و گوگرد یا همان سولفات کلسیم است. سلسیت و گوگرد هر دو کانی دیاژنزی هستند. در زمان تبدیل انیدریت به ژئیس، تمام استرانسیم موجود در انیدریت نمی‌تواند در فضای بلوری ژئیس ثانویه وارد شود و بدین ترتیب سلسیت ساخته می‌شود (تستا و لوگلی، ۲۰۰۰؛ تابرر و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین استرانسیم لازم برای ساخته سلسیت از ژئیس شدن انیدریت فراهم شده است. حضور تکه‌هایی<sup>۵</sup> از گوگرد درون ژئیس در منطقه مورد بررسی 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 بررسی تاییدی بر این ادعا است.

### ژئوشیمی

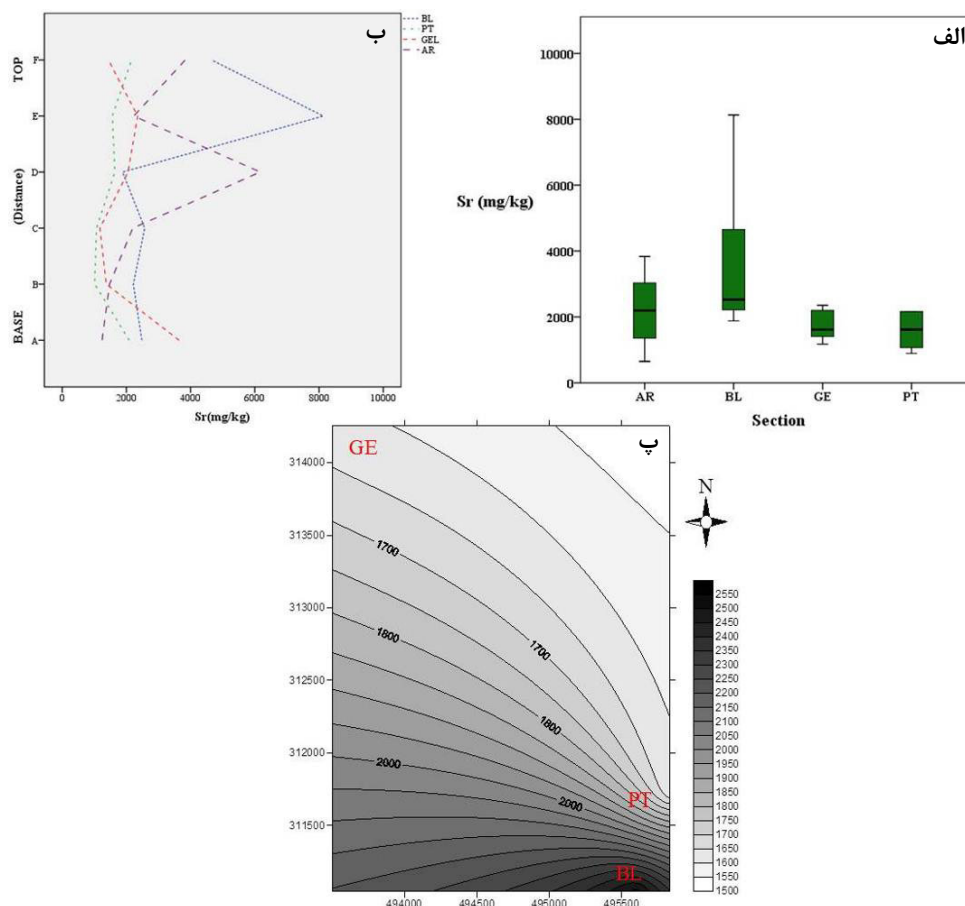
ژئیس در منطقه مورد بررسی بیش‌تر از نوع آلاباستر (ریز بلور) و بدون میانبار سیال است. از نتایج واکاوی عنصری در تبخیری‌ها می‌توان برای تفسیر ترکیب شورابه و شناخت جایگاه حوضه رسوبی بهره‌گیری نمود. روند تغییر مقدار عنصرها استرانسیم، منیزیم، آهن، سدیم و لیتیم توسط نمودارهای خطی و جعبه‌ای بررسی شده است. به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

**استرانسیم (Sr):** استرانسیم یون خارجی رایج در سولفات‌ها طی رسوب‌گذاری و یا دیاژنز است (کوشنیر، ۱۹۸۱، ۱۹۸۰؛ اورتی-کابو و همکاران، ۱۹۸۴؛ درونکرت، ۱۹۸۵؛ کاسپریک، ۱۹۹۴). تغییرات مقدار عنصر استرانسیم از بخش 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

<sup>5</sup>Patches

بهره گیری از واکاوی XRD قابل شناسایی است. بنابراین با توجه به واکاویهای انجام شده و نتیجه‌ی واکاوی نقطه‌ای (EDX) می‌توان نتیجه گرفت که در برش‌های مورد بررسی وجود سلسیت ناهنجاری را در مقدار استرانسیم ایجاد کرده است.

به همین منظور علت ناهنجاری در مقدار استرانسیم نمونه‌های مورد بررسی قرار گرفته شد. با بهره گیری از روش تیتراسیون (کارور، ۱۹۷۱) مشخص شد که نمونه‌های مورد بررسی بدون کربنات بوده و یا دارای مقدار ناچیزی از کربنات می‌باشند. نبود بازایت با



شکل ۵. پراکندگی عنصر استرانسیم در برش‌های مورد بررسی (الف) روند تغییر مقدار عنصر استرانسیم از بخش 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)

شدند. بعد از خشک کردن، نیم گرم از پودر را در ۲۵۰ 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 شد. نتایج حاصل از این روش در جدول ۴ نمایش داده شده است. در این نتایج، نمونه‌های ژئوسی 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 می‌باشد. بعد از حذف سلسیت، وجود مقدار بالای

به طور کلی برای پی بردن به شرایط آبشناسی و جایگاه حوضه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری، کانی حاصل از فرآیند دیاژنزی که عامل ناهنجاری استرانسیم در نمونه‌ها است باید از نمونه‌ها خارج شود. برای بررسی میزان تاثیر سلسیت بر روی مقدار استرانسیم، سلسیت از نمونه‌ها حذف شد. برای حذف سلسیت شمار هشت نمونه از ژئوس موجود در منطقه و از نمونه‌هایی که دارای کمترین و بیشترین مقدار استرانسیم بودند، انتخاب شدند. بر پایه آزمایش‌های ارائه شده توسط پلایا و راسل (۲۰۰۵) در این پژوهش ابتدا نمونه‌ها با HCl 2N شستشو



هم‌چنین کلسیت و دولومیت دیاژنزی در برش بوالفارس حضور دارند (شکل ۷) که در نتیجه فرآیند دیاژنزی و کلسیتی‌شدن ساخته 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 ژرفا بودن محیط دلیل دیگر بر میزان زیاد منیزیم در این برش می‌باشد.

کاهش مقادیر میانگین منیزیم از جنوب به شمال منطقه مورد بررسی 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 بررسی در شکل (۶ پ) نشان داده شده است.

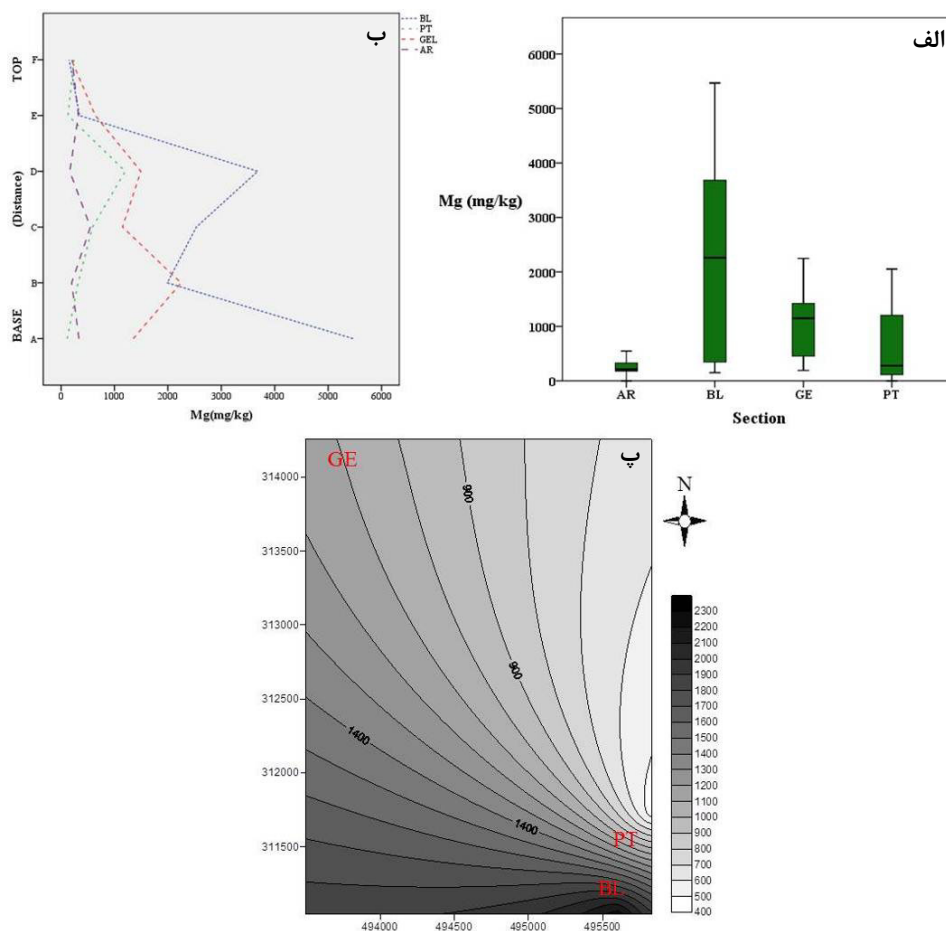
**عنصر آهن (Fe):** با مقایسه مقدار آهن در چهار برش مورد بررسی مشخص گردید که میزان تغییرات آهن در برش بوالفارس بسیار زیاد بوده و از پایین به سمت بالای واحد تبخیری، میزان آهن افزایش می‌یابد. در حالی که تغییرات این عنصر در سه برش دیگر ناچیز بوده و مقدار آهن کاهش می‌یابد (شکل ۸ الف، ب).

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 سویی این شرایط نشانگر محیط‌های حوضه‌ای و ژرف‌تر در طول نهشته‌شدن سولفات (انیدریت) می‌باشد (کاسپرزیک، ۲۰۰۳). بنابراین زیاد بودن مقدار آهن در برش گل‌ترش را به محیط حوضه‌ای و ژرف‌تر شدن 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 بخش ندول‌های گوگرد و سلسیت وجود دارد که با توجه به نظر تابرر و همکاران (۲۰۰۲) سلسیت و گوگرد کانی‌های دیاژنزی بوده و در نتیجه احیای باکتریایی سولفات‌ها ساخته می‌شوند. بنابراین به دلیل کارکرد احیایی باکتریایی سولفات‌ها و ایجاد شرایط احیایی، میزان آهن در منطقه افزایش یافته است.

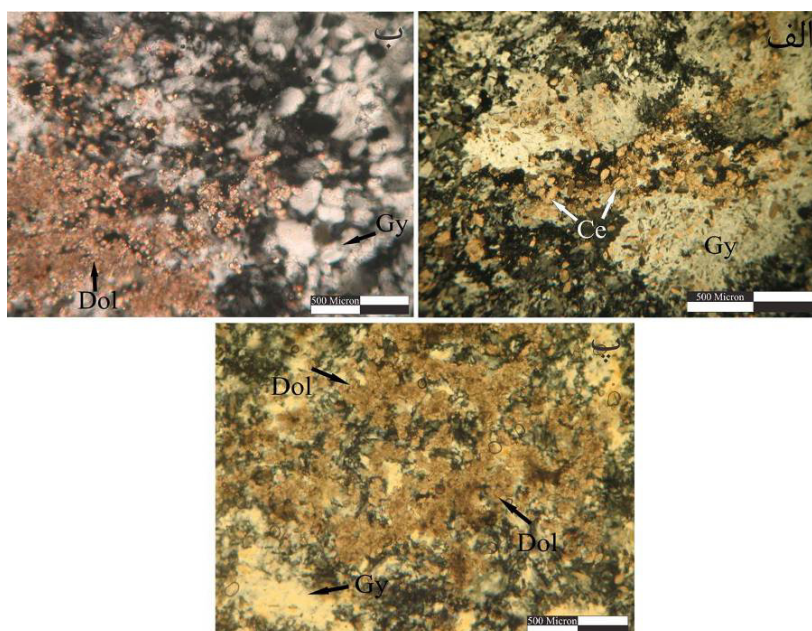
استرانسیم (بیش از  $1000 \text{ mgkg}^{-1}$ ) باقی‌مانده در نمونه‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر کانی دیاژنزی سلسیت، مقدار استرانسیم در نمونه تبخیری زیر تاثیر شرایط آبشناسی و شوری شورابه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری است. بر پایه دیدگاه گیزلر (۱۹۸۵)، شوری فاکتور مهم برای کنترل رسوب‌گذاری هم‌زمان استرانسیم در رخساره‌های تبخیری بوده و شاخص شوری برای این رخساره‌ها است. به طور کلی با حذف سلسیت (کانی دیاژنزی)، میزان استرانسیم در نمونه‌های تبخیری با یکدیگر مقایسه شدند و شرایط آبشناسی و جایگاه حوضه در زمان نهشته شدن واحد تبخیری مشخص گردید. تغییرات زیاد این عنصر در حاشیه حوضه (برش بوالفارس) نشان‌دهنده یک محیط کم ژرفا و شوری نسبتاً زیاد می‌باشد. تغییرات و ناهنجاری در میزان استرانسیم در منطقه مورد بررسی به دلیل کارکرد فرآیندهای دیاژنزی است که استرانسیم اضافی در زمان تبدیل انیدریت به ژپیس ثانویه، نتوانسته وارد شبکه‌ی ژپیس با بافت ریز آلاباستر شود و کانی سلسیت را ساخته است.

**منیزیم (Mg):** در تمام برش‌های مورد بررسی، 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 ژپیس 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 است (شکل ۶ ب).

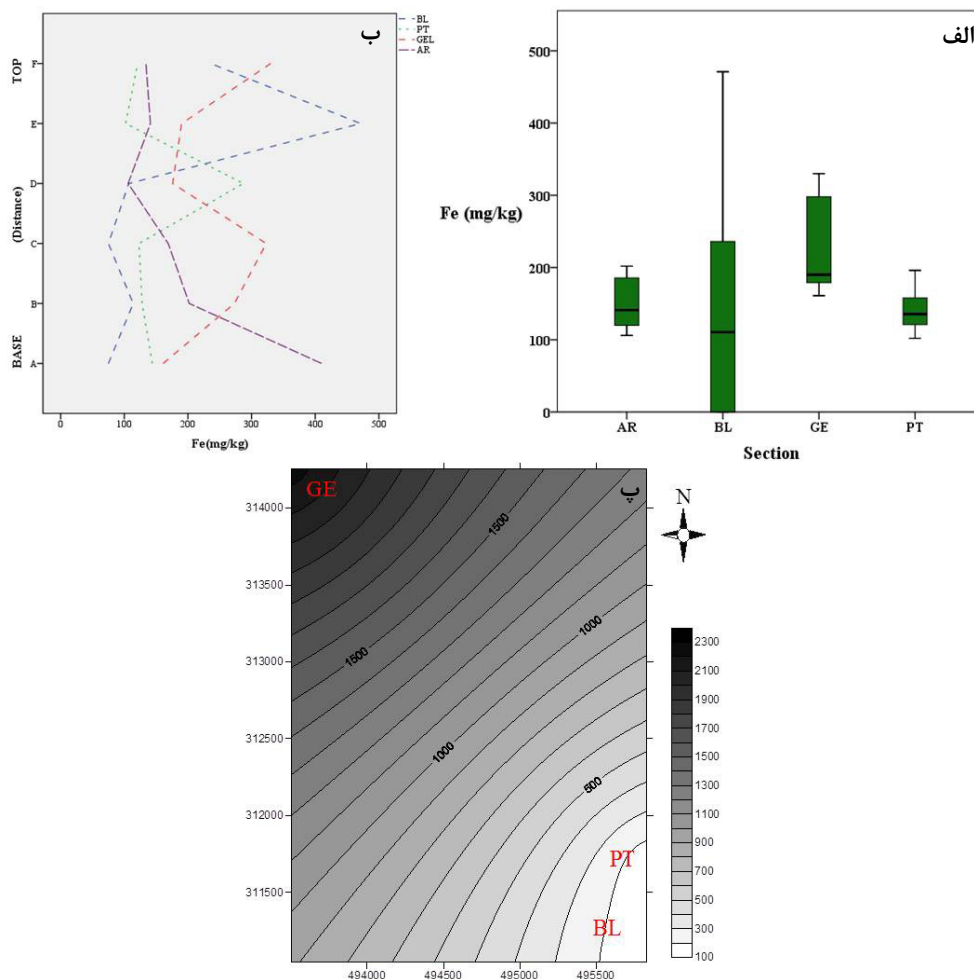
سرشاری نمونه‌های تبخیری نسبت به منیزیم به دلیل حضور میانبار، دولومیت و یا به دلیل تغییر در ژرفای حوضه و میزان نسبت  $\text{Mg/Ca}$  آب دریا در طول ته‌نشینی تبخیری می‌باشد. بر پایه مطالعات لیونز و همکاران (۱۹۸۴) و طاهر و همکاران (۲۰۱۴) می‌توان گفت که  $\text{Ca}^{2+}$  در آب منفذی توسط عوامل زیستی و متابولیسم باکتریایی و یا نهشته شدن آراگونیت و کلسیت، حذف شده و غلظت  $\text{Mg}^{2+}$  در آب منفذی زیاد می‌شود. بیش‌ترین مقدار منیزیم در لایه‌های تبخیری نزدیک به لایه‌های کربناته استروماتولیت باندستون است. بنابراین مقدار زیاد منیزیم در لایه‌های تبخیری را می‌توان به سرشاری آب منفذی در لایه‌های کربناته استروماتولیت باندستون و نفوذ آن در لایه‌های تبخیری نسبت داد.



شکل ۶. پراکندگی عنصر منیزیم در برش‌های مورد بررسی (الف) روند تغییر مقدار عنصر منیزیم از بخش پایین به سوی بالای انیدریت قاعده‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عنصر منیزیم (پ) 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 بررسی الف) روند تغییر مقدار عنصر آهن از بخش پایین به سوی بالای انیدریت قاعده-ای ب) نمودار جعبه‌ای عنصر آهن پ) نقشه‌ی پراکندگی عنصر آهن. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل ترش، AR: اناران)

منفدی 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 ساخته شده متفاوت از ترکیب فاز والد خواهد بود (کا و همکاران، ۲۰۰۱). از آنجایی که میانبارهای سیال و جامد در ژیبس‌های مورد بررسی دیده نشد، تهی‌شدگی ژیبس از سدیم نشانگر این است که تبخیری اولیه از شورابه‌ای مشابه با آب دریا یا نزدیک اشباع ژیبس/انیدریت نهشته شده است. افزایش مقدار سدیم می‌تواند نشان از افزایش

عنصر سدیم (Na): تغییرات عنصر سدیم در هر برش از پایین به بالای لایه‌ی انیدریت قاعده‌ای مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹ الف). بیش‌ترین مقدار عنصر سدیم در بخش‌های پایینی برش بوالفارس دیده شد. 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.

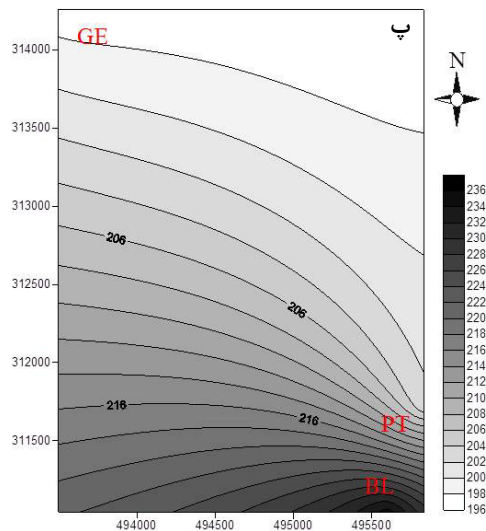
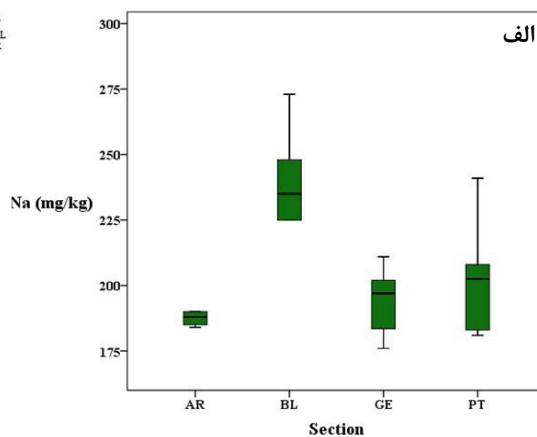
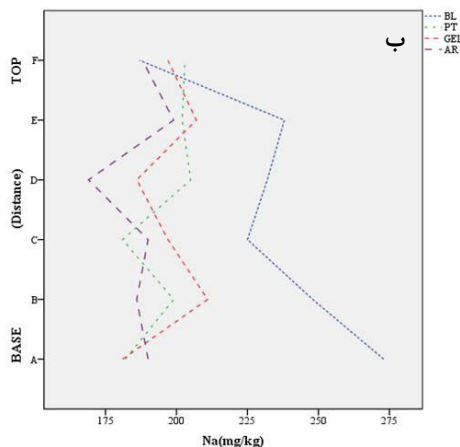
عنصر سدیم به وجود میانبار در نهشته‌ها بسیار حساس است (لیو و همکاران، ۱۹۹۷). زمانی که واکنش‌های آب‌گیری انیدریت و یا آب‌زدایی ژیبس زیر تاثیر سیالات

(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 زیر تاثیر فعالیت‌های آب بوده است. میزان پراکندگی عنصر لیتیم در شکل (۱۰، ب، پ) نشان داده شده است. بر پایه برانتلی و همکاران (۱۹۸۴) می‌توان گفت که مقدار میانگین کم عنصر لیتیم در برش بوالفارس و پوتو نشان دهنده‌ی ساخته انیدریت قاعده‌ای در مراحل اولیه تبخیر و در زمان کم ژرف بودن حوضه بوده است.

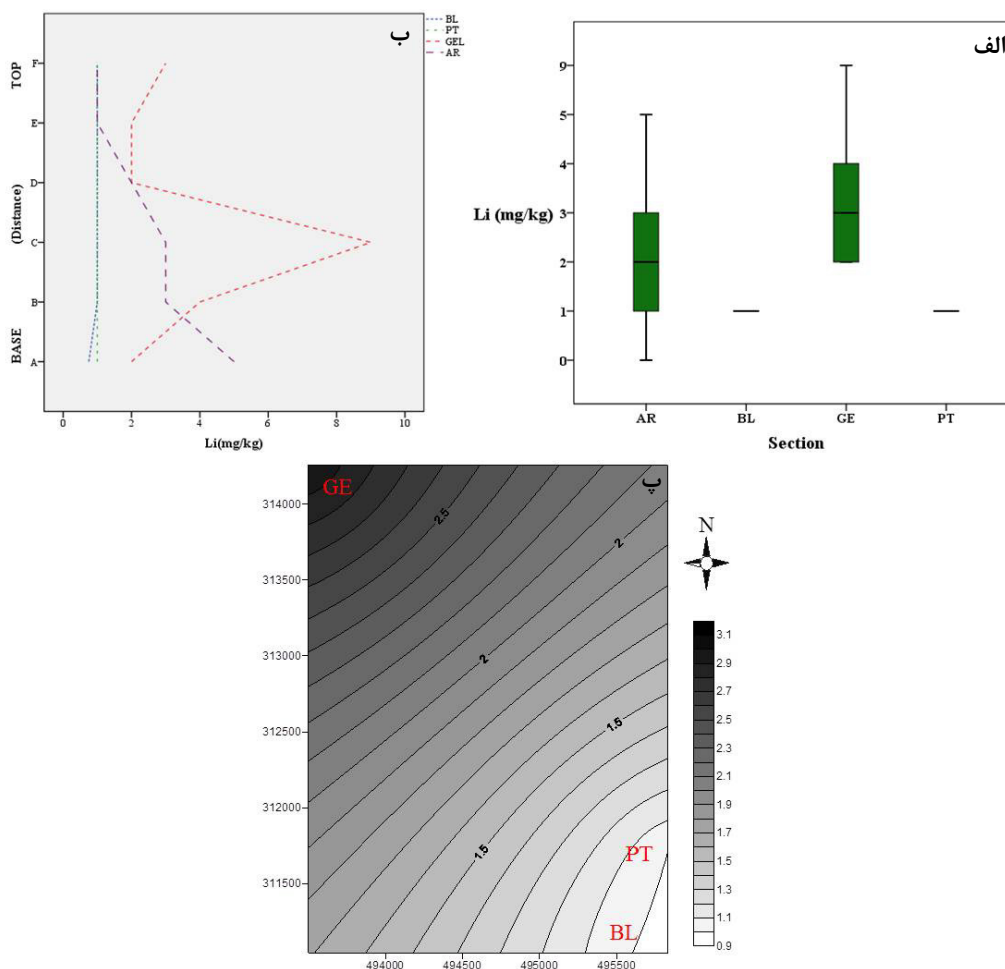
غلظت شورابه به دلیل کم‌ژرف شدن حوضه و تبخیر زیاد در منطقه باشد (شکل ۹ ب، پ).

**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 سوی بالای لایه‌ی انیدریت قاعده‌ای مقدار آن کاهش می‌یابد (شکل ۱۰ الف، ب).

برخی از عناصر مانند Cl، Mg، K، Li و Br در هر نهشته تبخیری نمی‌تواند وارد شوند. بنابراین عنصرهای یادشده در طول تبخیر در محلول انباشته می‌شوند، 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 بررسی الف) روند تغییر مقدار عنصر سدیم از بخش پایین به سوی بالای انیدریت قاعده‌ای ب) نمودار جعبه‌ای عنصر سدیم پ) نقشه‌ی پراکندگی عنصر سدیم. (PT: پوتو، BL: بوالفارس، GE: گل‌ترش، AR: اناران)



شکل ۱. پراکندگی عنصر لیتیم در برش‌های مورد بررسی الف) روند تغییر مقدار عنصر لیتیم از بخش پایین به سوی 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 بررسی، روند تغییراتی همانندی با نمونه‌های تبخیری در هر برش را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار استرانسیم ( $6550 \text{ mgkg}^{-1}$ ) 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 بالایی 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 زیر 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  $\text{mgkg}^{-1}$ ) 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	Sr
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 بررسی انیدریت طی بالا آمدن، رخنمون یافتن و هیدراته شدن، به ژئوپس 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 بررسی ساخته شده است، سلسیت و گوگرد (سولفور خالص) می‌باشد. در نتیجه‌ی تبدیل انیدریت به ژئوپس، استرانسیم لازم برای ساخته سلسیت فراهم شده است. حضور تکه‌هایی از گوگرد درون ژئوپس نشان از آب‌گیری انیدریت و کلسیتی‌شدن سولفات است. ژئوپس‌های 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 نشان از کم ژرف 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 عنصرهای استرانسیم، منیزیم و سدیم کاهش و عنصر آهن افزایش یافته که نشان از ژرف‌تر شدن نسبی محیط ته‌نشینی در منطقه است. وجود عنصر لیتیم در نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان به تبخیر بیش از حد نسبت داد. به طور کلی می‌توان گفت که در زمان نهشته شدن انیدریت قاعده‌ای، برش‌های بوالفارس و پوتو در حاشیه حوضه و برش گل‌ترش در بخش نسبتاً ژرف‌تر 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. محمودی‌قرائی، 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 ساخته انیدریت قاعده‌ای (سازند آسماری) در رخنمون‌های شمال فروافتادگی دزفول، جنوب‌غرب ایران. پایان‌نامه‌ی دکترا. دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.
- صیوفیان، 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 Solar Lake, 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 (Iguialada, 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'rauxargileux 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. 2<sup>nd</sup> 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.