

## ژئوشیمی بخش ماسه‌سنگی اهواز از سازند آسماری در میدان نفتی اهواز: کاربردهایی در تعیین جایگاه زمین‌ساختی و هواز دگی اولیه سنگ منشأ

محبوبه حسینی‌برزی<sup>۱\*</sup>، مهدی جعفرزاده<sup>۲</sup> و محمدحسین آدابی<sup>۳</sup>

پست الکترونیکی: [hosseini@khayam.ut.ac.ir](mailto:hosseini@khayam.ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۱۸

### چکیده

تجزیه و تحلیل ۹ نمونه از ماسه‌سنگ اهواز (سازند آسماری) در میدان نفتی اهواز در دو چاه AZ11 و AZ85 و وارد نمودن نمونه‌ها در دیاگرام‌های طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها، ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها را ساب‌آرکوز، کوارتزآرنایت و ساب‌لیتارنایت معرفی نموده است. همچنین، مطالعات ژئوشیمیایی و استفاده از دیاگرام‌های تفکیکی، دوتایی و مثلثی، منشاء این رسوبات را کراتون و کوه‌زایی با چرخه مجدد معرفی نموده و جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها را حاشیه غیر فعال قاره‌ای نشان می‌دهد. به علاوه، اثر هواز دگی بر روی این ماسه‌سنگ‌ها در منطقه منشاء، با استفاده از اندیس 'CIW'، در حد متوسط تعیین شده است که می‌تواند حاکی از آب و هوای خشک و نیمه‌خشک، در حضور چرخه مجدد رسوبی باشد. این نتایج، رسوب‌گذاری در سمت حاشیه غیر فعال حوضه فورلند آسماری، یعنی حاشیه سمت عربستان با ورود رسوب از کراتون عربستان را پیشنهاد می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: ماسه‌سنگ اهواز، ژئوشیمی، جایگاه زمین‌ساختی، هواز دگی، کراتون

### مقدمه

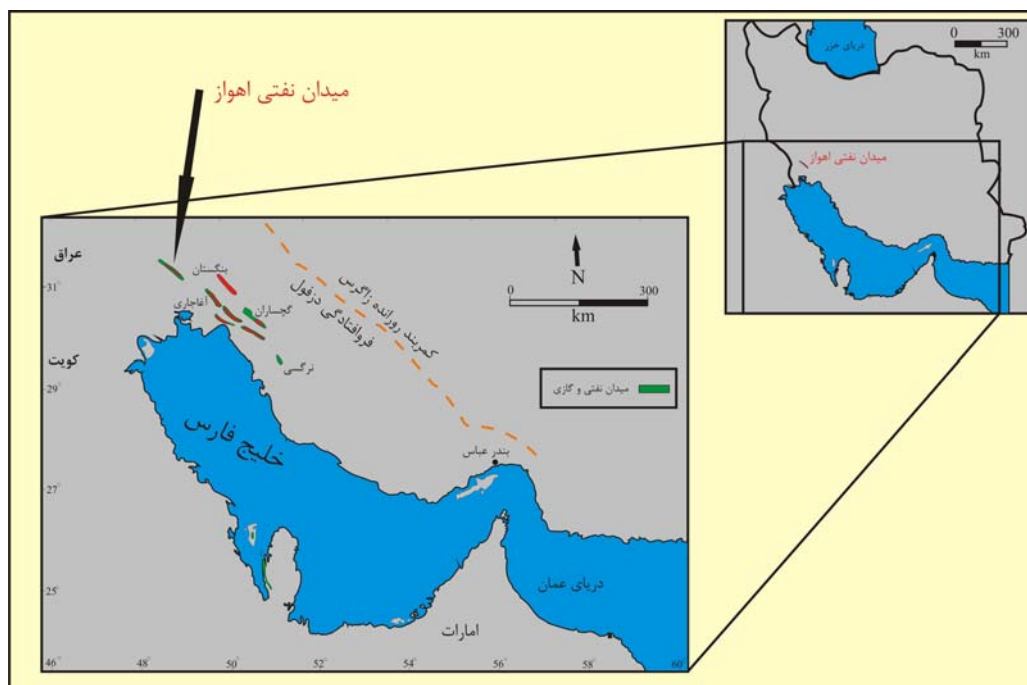
اساس، مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات و سنگ‌های سیلیسی-آواری، می‌تواند نام‌گذاری [۷ و ۸]، جایگاه‌های زمین‌ساختی [برای مثال: ۴، ۵، ۹]، سنگ منشأ [۱۰-۱۵]، و هواز دگی شیمیایی [۱۶ و ۱۷] در منطقه منشأ را، تعیین کند. سازند آسماری در میدان نفتی اهواز، شامل تناوبی از سنگ‌های کربناته و ماسه‌سنگ می‌باشد که با توجه به گونه‌های فسیلی موجود در توالی سنگ‌های کربناته همراه، سن آن از الیگوسن تا میوسن تحتانی تخمین زده شده است (۱۸).

ماسه‌سنگ‌هایی با جایگاه زمین‌ساختی متفاوت در منطقه منشأ (tectonic provenance)، دارای درصد اجزای آواری و همچنین ژئوشیمی خاص خود می‌باشند [۱-۶]. همچنین، جایگاه زمین‌ساختی محیط‌های تهنشستی (tectonic setting)، بر روی فرآیندهای رسوبی، دیاژنز و در نتیجه ترکیب نهایی سنگ‌های رسوبی تأثیر می‌گذارد [۴ و ۷]. بر همین

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، دانشجوی ارشد و استاد دانشکده علوم زمین- دانشگاه شهید بهشتی تهران

کراتونی و چرخه مجدد و همچنین سنگ منشا دگرگونی متوسط تا پایین را برای این ماسه‌سنگ‌ها نشان داده است [۲۲]. در این مطالعه مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از نقطه‌شماری به روش پتروگرافی [۲۲]، با نتایج ژئوشیمیایی این ماسه‌سنگ‌ها در جهت تعیین سنگ منشا، جایگاه زمین‌ساختی منطقه منشاء و محیط نهشت و هوازگی اولیه سنگ منشاء این نهشته‌ها انجام شده است.

تاکنون مطالعات بسیار کمی در مورد سنگ منشا، جایگاه زمین‌ساختی در منطقه منشاء و در محیط نهشت ماسه‌سنگ‌های اهواز انجام شده و اکثر مطالعات بر روی محیط رسوبی این ماسه‌سنگ‌ها تمرکز داشته است [۱۸-۲۱] و اشاره مختصری به وجود کراتون عربستان و چرخه مجدد رسوبی برای منشاء این ماسه‌سنگ‌ها شده است. همچنین با استفاده از روش‌های پتروگرافی و آنالیز نقطه‌ای وجود منشاء



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی اهواز در منطقه فروافتادگی دزفول (۲۲)

### نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز

به منظور انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی، ۱۴ نمونه از بخش‌های مختلف ماسه‌سنگ اهواز (آسماری پایینی، میانی و بالایی) انتخاب گردیدند. نمونه‌ها ابتدا به صورت پودر در آمده و با گذر از غربال با مش ۲۰۰ به منظور تعیین عناصر اصلی توسط دستگاه XRF مدل MAGIX-PRO در آزمایشگاه XRF سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد آنالیز قرار گرفتند. از میان این ۱۴ نمونه، ۵ نمونه به دلیل پایین‌تر بودن

در این مطالعه، بخش ماسه‌سنگی اهواز از سازند آسماری در دو مقطع تحت‌الارضی (چاه‌های شماره ۱۱ و ۸۵) واقع در میدان نفتی اهواز (شکل ۱)، مورد بررسی‌های ژئوشیمیایی قرار گرفت. لازم به ذکر است که مقاطع تحت‌الارضی مورد مطالعه، پوشش کاملی را از سازند آسماری ارائه می‌نمایند و فاصله آن‌ها حدود ۴۵ کیلومتر می‌باشد.

مقدار اندازه‌گیری شده از حد قابل قبول برای اندازه‌گیری از لیست داده‌ها حذف شدند و ۹ نمونه برای تعبیر و در دستگاه مورد نظر، از لحاظ کمی قابل بررسی نبودند و تفسیرهای ژئوشیمیایی استفاده گردیدند (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر اکسیدهای اصلی و نسبت‌های محاسبه‌شده برای ماسه‌سنگ‌های اهواز

شماره نمونه	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	L.O.I	Mn (ppm)	MnO	P (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO*
۲۶۹۳	۱/۵۱	۶۳/۱۵	۱۰/۰۶	۰/۹۷	۰/۸۲	۲/۳	۰/۳۵	۹/۵۹	۱۰/۴۴	۱۰۱/۸	۰/۰۱۳۱	۹۴/۴	۰/۰۴۳۳	۰/۱۴۵	۰/۵۴	۰/۳۵
۸۹۵۱	۱	۷۲/۰۴	۷/۳۸	۱/۰۹	۰/۹۷	۴/۹	۰/۲۶	۰/۸۳	۱۰/۷۱	۱۰۰	۰/۰۱۲۹	۱۰۹/۹	۰/۰۵۰۴	۰/۱۵۶	۰/۹۷	۰/۲۶
۸۹۵۰	۰/۸	۶۵/۴	۱۰/۰۷	۰/۸۱	۰/۷۹	۳/۳۳	۰/۲۳	۸	۱۰	۱۰۰	۰/۰۱۲۹	۱۰۳/۳	۰/۰۴۶۴	۰/۱۱۷	۰/۹۸	۰/۲۳
۹۰۷۳	۲/۴۴	۷۶/۲۵	۴/۷۳	۱/۸۳	۱/۲	۲/۹۱	۰/۳۹	۰/۲۶	۸/۶۶	۱۵۰/۹	۰/۰۱۹۵	۱۳۵/۱	۰/۰۶۱۹	۰/۲۹	۰/۴۹	۰/۳۹
۹۵۱۰	۱/۱	۷۱/۵	۶/۴۸	۱/۵۳	۰/۷	۲/۴۳	۱/۳۸	۳/۹۱	۱۰/۴	۱۶۱/۹	۰/۰۲۰۹	۱۱۷/۸	۰/۰۵۴	۰/۱۴۹	۰/۶۳	۱/۳۸
۲۶۴۴	۴	۶۲/۲۳	۸/۰۷	۱/۹۵	۱/۹۳	۱/۷۱	۰/۶۵	۹/۷۹	۹/۲۴	۱۰۰	۰/۰۱۲۹	۱۹۵/۷	۰/۰۸۹۷	۰/۲۶	۰/۴۸	۰/۶۵
۸۹۳۰	۰/۸	۷۶/۱۶	۵/۷۷	۲/۱۶	۰/۷۲	۳/۵۵	۰/۲۱	۰/۱۵	۹/۳۸	۱۰۰	۰/۰۱۲۹	۸۴/۴	۰/۰۳۸۷	۰/۱۳۷	۰/۹	۰/۲۱
۲۸۶۱	۲/۵۱	۶۹/۱۵	۷/۹۷	۱/۸۴	۰/۸۴	۴/۳۷	۰/۴۸	۰/۹۵	۱۱/۳۴	۱۶۰/۴	۰/۰۲۰۷	۹۹۵/۷	۰/۰۴۵۶۳	۰/۲۵۶	۰/۳۳	۰/۴۸
۲۶۱۲	۰/۷۶	۷۱/۵۲	۸/۴۹	۰/۷۸	۰/۵۷	۴/۹۱	۰/۴۳	۰/۱۵	۱۲/۲۵	۱۰۳/۸	۰/۰۱۳۴	۱۲۵/۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۸۹	۰/۷۵	۰/۴۳

شماره نمونه	CIA	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOG(SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	LOG(Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> O	LOG(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> O)
۲۶۹۳	۴۲/۵۱۸	۲/۳۴	۰/۰۲۳	۴۱/۸۲	۱/۶۲۱	۰/۴۲۶	-۰/۳۶۹	۱/۱۸۲	۰/۰۷۲
۸۹۵۱	۴۰/۱۶۱	۳/۷۳	۰/۰۱۳	۷۲/۰۴	۱/۸۵۷	۰/۲۶۸	-۰/۵۷۱	۱/۱۲۳	۰/۰۵۰
۸۹۵۰	۳۹/۰۲۴	۳/۴۳	۰/۰۱۲	۸۱/۷۵	۱/۹۱۲	۰/۲۹۱	-۰/۵۳۵	۱/۰۲۵	۰/۰۱۰
۹۰۷۳	۵۵/۲۰۴	۳/۰۷	۰/۰۳۲	۳۱/۲۵	۱/۴۹۴	۰/۳۲۵	-۰/۴۸۸	۱/۵۲۵	۰/۰۱۸۳
۹۵۱۰	۲۴/۱۲۳	۰/۵۰۷	۰/۰۱۵	۶۵	۱/۸۱۲	۱/۹۷۱	-۰/۲۹۴	۲/۱۸۵	۰/۰۳۳۹
۲۶۴۴	۵۵/۳۲۵	۲/۹۷	۰/۰۶۴	۱۵/۵۵	۱/۱۹۱	۰/۳۳۶	-۰/۴۷۲	۱/۰۱۰	۰/۰۰۴
۸۹۳۰	۴۱/۲۳۷	۳/۴۳	۰/۰۱۰	۹۵/۲	۱/۹۷۸	۰/۲۹۱	-۰/۵۳۵	۳	۰/۴۷۷
۲۸۶۱	۵۸/۲۳۷	۱/۷۵	۰/۰۳۶	۲۷/۵۴	۱/۴۴۰	۰/۵۷۱	-۰/۲۴۳	۲/۱۹۰	۰/۳۴۰
۲۶۱۲	۳۴/۷۰۳	۱/۳۲۵	۰/۰۱۰	۹۴/۱۰	۱/۹۷۳	۰/۷۵۴	-۰/۱۲۲	۱/۳۶۸	۰/۱۳۶

شماره نمونه	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(CaO+Na <sub>2</sub> O)	SiO <sub>2</sub> /20	TiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(CaO+Na <sub>2</sub> O)
۲۶۹۳	۲/۸۳۳	۲/۱۵۷	۳/۱۵۷	۳/۴۱۵	۱/۱۷	۲/۸۳۳	۲/۱۵۷
۸۹۵۱	۵/۴۹۹	۱/۹۲۳	۳/۶۰۲	۶/۱۴۶	۱/۲۳	۵/۴۹۹	۱/۹۲۳
۸۹۵۰	۳/۷۷۵	۱/۷۳۹	۳/۲۷	۴/۲۵۷	۱/۰۲	۳/۷۷۵	۱/۷۳۹
۹۰۷۳	۳/۹۱۶	۳/۱۲۸	۳/۸۱	۵/۰۳	۱/۵۹	۳/۹۱۶	۳/۱۲۸
۹۵۱۰	۳/۲۷۱	۰/۳۹۸	۳/۵۷۵	۴/۱۰۹	۲/۰۸	۳/۲۷۱	۰/۳۹۸
۲۶۴۴	۲/۷۸۲	۳/۰۷۶	۳/۱۱۱	۳/۹۲	۲/۵۸	۲/۷۸۲	۳/۰۷۶
۸۹۳۰	۴/۷۳۸	۱/۹۰۴	۳/۸۰۸	۵/۸۴۷	۰/۹۳	۴/۷۳۸	۱/۹۰۴
۲۸۶۱	۵/۳۸۲	۲/۶۱۴	۳/۴۵۷	۶/۴۶۶	۱/۳۲	۵/۳۸۲	۲/۶۱۴
۲۶۱۲	۵/۳۳۹	۰/۸۸۳	۳/۵۷۶	۵/۷۷۹	۱	۵/۳۳۹	۰/۸۸۳

ژئوشیمی

۱- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها:

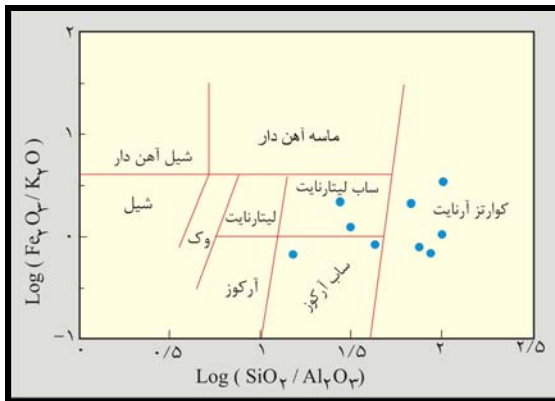
ماسه‌سنگ‌های بخش ماسه‌سنگی اهواز با توجه به پتروگرافی و نقطه‌شماری شامل دانه‌های اصلی کوارتز، فلدسپات، خرده سنگ، کانی‌های فرعی مانند بیوتیت، زیرکن و اسفن می‌باشد و در تقسیم‌بندی‌های متداول، کوارتز آرنایت تا ساب لیت‌آرنایت و ساب‌آرکوز نام‌گذاری می‌شوند [۲۳]. اما علاوه بر مطالعات پتروگرافی، استفاده از ژئوشیمی و آنالیزهای عناصر داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی مربوط به ماسه سنگ اهواز، بر روی نمودار پتی جان و همکاران [۷] ترسیم شد و ترکیب کوارتز آرنایتی، ساب‌لیت‌آرنایتی و ساب‌آرکوزی این ماسه‌سنگ‌ها تأیید گردید (شکل ۲).

توجه به این نمودار نیز، ترکیب ماسه‌سنگ‌های اهواز همان کوارتز آرنایت، ساب‌لیت‌آرنایت و ساب‌آرکوز تعیین گردید.

۲- ژئوشیمی عناصر اصلی و جایگاه زمین‌ساختی منطقه منشأ (tectonic provenance) و محل نهشت:

علی‌رغم مشکلات استفاده از ژئوشیمی در تفسیر جایگاه‌های زمین‌ساختی [۲۵-۲۸]. کاربرد عناصر اصلی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی، در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است [برای مثال ۶، ۲۹، ۳۰].

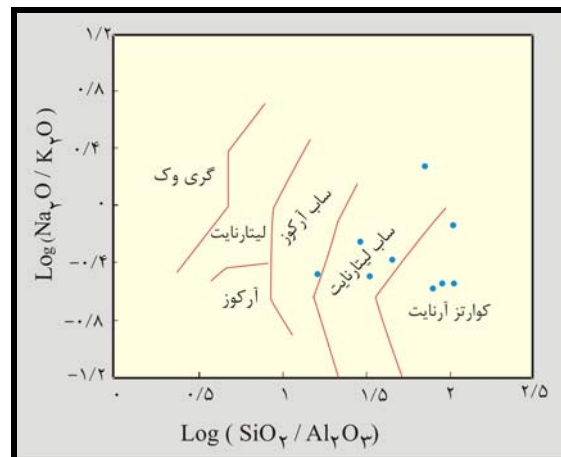
به عنوان شاخص تعیین جایگاه زمین‌ساختی، داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی نمونه‌های انتخاب شده، در دیاگرام‌های مثلثی و دیاگرام‌های تفکیکی پیشنهاد شده توسط، روسر و کورش [۵]، باتیا [۴] و کرومبرگ [۶] به منظور مشخص نمودن جایگاه زمین‌ساختی این ماسه‌سنگ‌ها، وارد گردید.



شکل ۳- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها اقتباس از هرون [۸]. در این نمودار نیز داده‌های حاصل از ماسه‌سنگ اهواز در محدوده کوارتز آرنایت، ساب‌لیت‌آرنایت تا ساب‌آرکوز قرار می‌گیرند

- استفاده از دیاگرام روسر و کورش [۱۰]:

در این نمودار دو تابع تشخیص ۱ و ۲ به ترتیب در محورهای X و Y قرار می‌گیرند. روش محاسبه این توابع در زیر آورده شده است.



شکل ۲- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها اقتباس از پتی جان و همکاران [۷]. اکثر داده‌های ماسه‌سنگ اهواز در محدوده کوارتز آرنایت، ساب‌لیت‌آرنایت و یک نمونه نیز در محدوده ساب‌آرکوز قرار گرفته است

همچنین، داده‌های عناصر اصلی حاصل از آنالیز XRF بر روی دیاگرام هرون [۸]، ترسیم شدند (شکل ۳) که با

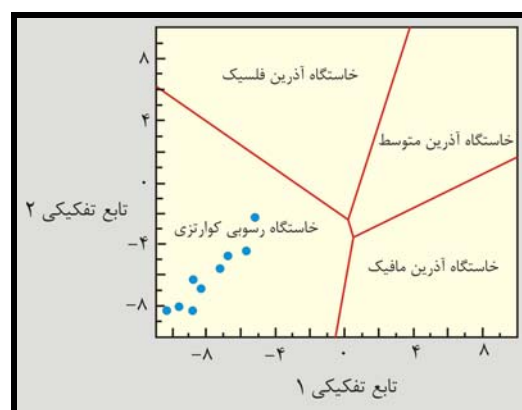
نمودار ۱) بر اساس داده‌های خام اکسیدها):

$$\text{Discriminant Functional: } -1733 \text{ TiO}_2 + 0.607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.76 \text{ Fe}_2\text{O}_3(t) - 1.5 \text{ MgO} + 0.616 \text{ CaO} + 0.509 \text{ Na}_2\text{O} - 1.224 \text{ K}_2\text{O} - 9.09$$

$$\text{Discriminant Function2: } 0.445 \text{ TiO}_2 + 0.07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.25 \text{ Fe}_2\text{O}_3(t) - 1.142 \text{ MgO} + 0.438 \text{ CaO} + 1.475 \text{ Na}_2\text{O} + 1.426 \text{ K}_2\text{O} - 6.861$$

(t): میزان اکسید آهن کل را نشان می‌دهد.

ترسیم نمودن داده‌های اکسیدهای ماسه‌سنگ اهواز بر روی دیاگرام روسر و کورش [۱۰]، محدوده جایگاه زمین‌ساختی کوارتزی-رسوبی را نشان می‌دهد (شکل ۴). این محدوده در واقع در محدوده منشأ قاره‌ای چرخه مجدد همراه با حاشیه غیر فعال قاره‌ای، حوضه‌های رسوبی درون کراتونی و ایالت‌های با چرخه مجدد قرار می‌گیرد [۲۴ و ۳۱]. این نتیجه با نتایج به دست آمده از وارد نمودن داده‌های حاصل از نقطه‌شماری نمونه‌های انتخاب شده از ماسه‌سنگ اهواز، در نمودار  $Qt_{93.34}F_{4.10}L_{2.59}$  و  $Qm_{86.75}F_{4.10}Lt_{9.15}$  که جایگاه زمین‌ساختی منطقه منشأ ماسه‌سنگ اهواز را کراتون و چرخه مجدد رسوبی نشان می‌دهد [۲۲]، هم‌سو می‌باشد.



شکل ۴- نمودار متمایز کننده ویژگی‌های برخاستگاه مجموعه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی [۱۰]. داده‌های ماسه‌سنگ اهواز در محدوده برخاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند

- استفاده از دیاگرام تفکیکی باتیا [۴]:

باتیا (۴) معیارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌ها را برای تفکیک جایگاه‌های زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی به دست آورد. او جایگاه زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی را به چهار نوع اصلی تقسیم کرد: جزایر قوسی اقیانوسی (OIA)، جزایر قوسی قاره‌ای (CIA)، حواشی فعال قاره‌ای (ACM) و حواشی غیر فعال (PM).

باتیا [۴] نمودار تفکیک کننده تابعی را بر اساس ترسیم دو بعدی عناصر اصلی در ۶۹ نمونه ماسه‌سنگی در پالئوزوئیک پیشنهاد نموده است. این ماسه‌سنگ‌ها طوری انتخاب شده‌اند که نمایانگر چهار محیط تکتونیکی مختلف شامل حاشیه قاره‌ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B) و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C) باشند.

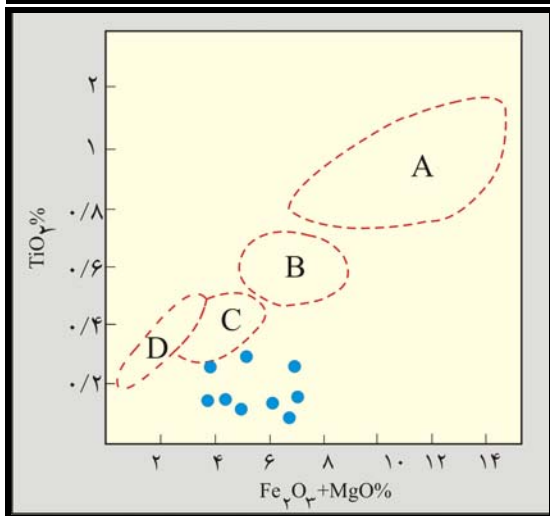
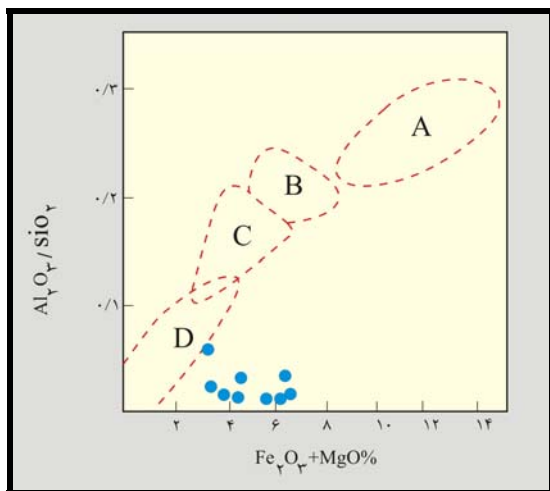
تابع تفکیکی در نمودار مربوطه به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Discriminant Function1: } -0.0447 \text{ SiO}_2 - 0.972 \text{ TiO}_2 + 0.008 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.267 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0.208 \text{ FeO} - 3.082 \text{ MnO} + 0.140 \text{ MgO} + 0.195 \text{ CaO} + 0.719 \text{ Na}_2\text{O} - 0.032 \text{ K}_2\text{O} + 7.510 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0.303$$

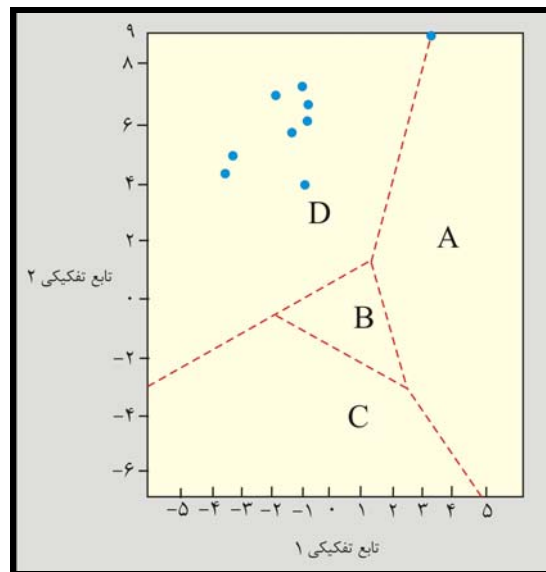
$$\text{Discriminant Function2: } -0.421 \text{ SiO}_2 + 1.988 \text{ TiO}_2 - 0.526 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.551 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.610 \text{ FeO} + 2.720 \text{ MnO} + 0.881 \text{ MgO} - 0.907 \text{ CaO} - 0.177 \text{ Na}_2\text{O} - 1.840 \text{ K}_2\text{O} + 7.244 \text{ P}_2\text{O}_5 + 43.57$$

با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز ماسه‌سنگ‌های اهواز بر روی دیاگرام تفکیکی باتیا [۴] اکثریت نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای قرار گرفتند (شکل ۵).

می‌دهند. علت این امر را می‌توان در زیاد بودن MgO نمونه‌ها دانست که حاصل سیمان دولومیتی این ماسه‌سنگ‌ها بوده و باعث شده نمونه‌ها از محدوده حاشیه غیر فعال فاصله بگیرند (شکل ۶).



شکل ۶- ترسیم‌های دو بعدی باتیا [۴] با استفاده از اکسیدهای اصلی در این نمودارها چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B) و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C) مشخص شده است. با کمی دقت در این نمودارها می‌توان دریافت که جابجایی نمونه‌های ماسه‌سنگ اهواز به خارج از محدوده‌ها، در اثر زیاد شدن مقدار اکسید منیزیم (به دلیل ماتریکس دولومیتی نمونه‌ها) می‌باشد.



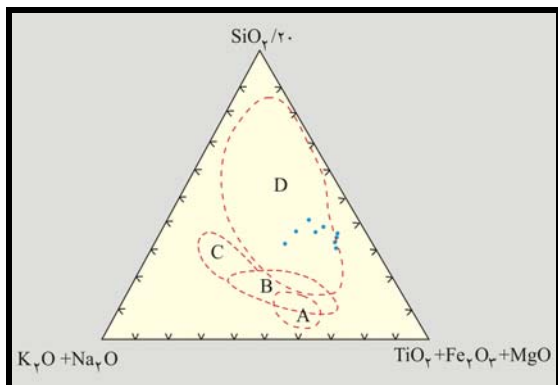
شکل ۵- دیاگرام تفکیکی باتیا [۴] برای تفکیک جایگاه‌های تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها در این نمودار چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B) و حاشیه‌های قاره‌ای فعال (C) مشخص شده است. با ترسیم نمودن داده‌های ماسه‌سنگ اهواز بر روی این دیاگرام، جایگاه حاشیه غیر فعال قاره‌ها برای ته‌نشست این ماسه‌سنگ در نظر گرفته می‌شود

- استفاده از ترسیم‌های دو بعدی:

ماسه‌سنگ‌های عهد حاضر که در محیط‌هایی مانند جزایر قوسی اقیانوسی و قاره‌ای و حاشیه‌های قاره‌ای غیر فعال و فعال نهشته شده‌اند، دارای ترکیب متفاوتی، به ویژه از نظر  $Fe_2O_3(t)+MgO$  و نسبت  $Al_2O_3/SiO_2$  و  $K_2O/Na_2O$  و  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$  باتیا [۴] از ترکیبات شیمیایی فوق برای تفکیک محیط‌های تکتونیکی استفاده نمود و بر این اساس یک سری نمودارهای دو بعدی ارائه کرده‌است. داده‌های ماسه‌سنگ اهواز بر روی این نمودارها ترسیم شدند. داده‌های مذکور، در محدوده‌ای قرار گرفته‌اند که یک جابجایی واضح برای درصد  $Fe_2O_3(t)+MgO$  نسبت به محدوده حاشیه غیر فعال نشان

حوضه و از جمله بخش‌های شمال‌شرقی نیز گسترش می‌داشت. این در حالی است که داده‌های موجود، پراکندگی رخساره‌های ساحلی ماسه‌سنگ اهواز را منحصر به حاشیه جنوب غربی حوضه فورلند آسماری و نازک شدن این زبانه‌های ماسه‌ای را به سمت شمال و شمال-شرق نشان می‌دهد [۲۳ و ۳۳].

جالب این که با گذشت زمان، فرسایش و از بین رفتن برآمدگی‌های حاشیه دریای سرخ و باریک‌تر شدن حوضه زاگرس، ورود تخریبی از کراتون عربستان به حداقل خود رسیده و رسوبات حاصل از فرسایش کمربند چین‌خورده و رورانده زاگرس، با ترکیب لیت‌آرنایتی و گستره‌ای فراگیرتر در حوضه نهشت سازند بختیاری نهشته شده‌اند [۳۴].



شکل ۷- دیاگرام‌های مثلثی کروونبرگ (۶)، داده‌های اکسیدهای اصلی ماسه‌سنگ اهواز در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ها قرار گرفته‌اند

### ۳-۳ ژئوشیمی و هوازدهی رسوبات در منطقه منشأ:

از آنجایی که آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی سنگ‌های آواری، وسیله‌ای مناسب برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی در ماسه‌سنگ‌هایی که تحت تأثیر شدید دپازنر و متامورفیسم یا سایر فرآیندهای دگرسانی و هوازدهی قرار نگرفته‌اند، می‌باشد [۱۲]،

- استفاده از نمودار سه‌تایی کروونبرگ (۶):

کروونبرگ [۶] در دیاگرامی مثلثی محدوده‌هایی برای ۴ جایگاه تکتونیکی تعیین نمود. با ترسیم نمودن داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ اهواز در این دیاگرام، مشاهده می‌شود که در این نمودار نیز تمام نمونه‌ها در محدوده حاشیه‌های غیر فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷) و بدین ترتیب تأییدی بر نتایج دیاگرام‌های باتیا [۴] و روسر و کورش [۱۰] توسط این نمودار نیز به دست می‌آید.

پetroگرافی و نقطه‌شماری ماسه سنگ‌های اهواز [۲۲]، به همراه نتایج ژئوشیمیایی این ماسه سنگ‌ها، فرض ورود رسوب از سمت کراتون عربستان با منشأ چرخه مجدد رسوبی و نهشت در حاشیه غیرفعال حوضه الیگو-میوسن زاگرس (حاشیه جنوب غربی بقایای نئوتیس) را منطقی می‌نماید. این در حالی است که مطالعات جغرافیای قدیمه که قبلاً انجام شده است [۲۰، ۲۱، ۳۲ و ۳۵] نیز، منشأگیری رسوبات تخریبی از برآمدگی‌های ابتدایی حاصل از باز شدن دریای سرخ با ترکیب چرخه مجدد رسوبی، حمل طولانی روی کراتون عربستان و نهشت در دلتای ماسه‌سنگ اهواز و ماسه‌سنگ غار (معادل ماسه‌سنگ اهواز در کویت)، را نشان داده است. در صورت ورود رسوب از سمت کمربند چین‌خورده و رورانده زاگرس به حوضه نهشت آسماری اولاً، انتظار آن می‌رود که ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها، با حضور قطعات لیتیک (بیش‌تر آتشفشانی)، لیت‌آرنایت تا لیت‌آرنایت فلدسپات دار بوده و در دیاگرام‌های مورد بحث در ناحیه کمان ماگمایی یا بخش‌های نزدیک به قطب لیتیک از ناحیه چرخه مجدد واقع می‌شود. در ضمن، در این حالت نهشت ماسه‌سنگ اهواز در حوضه نهشت آسماری، می‌بایست یا منحصر به حاشیه شمال شرقی این حوضه می‌بود یا لاقلاً در همه

برای این ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند نشان دهنده فعالیت نه چندان شدید چرخه رسوبی مجدد در آب و هوای مرطوب تا نیمه مرطوب یا وجود چرخه مجدد در آب و هوای نیمه خشک تا خشک باشد [۱۷ و ۴۰]. لازم به ذکر است، شواهد پتروگرافی نیز مانند عدم یکنواختی گردش‌دگی دانه‌ها در اندازه‌های متفاوت (دانه‌درشت‌ها گرد شده‌تر از دانه‌ریزها) که تأثیر عوامل مکانیکی را مهم‌تر از عوامل شیمیایی (تأثیر آب و هوا) نشان می‌دهد و همچنین، وجود فلدسپارهای فاقد هوازدگی واضح و گاه فلدسپارهای درشت گردشده و فاقد هوازدگی قابل توجه [۴۱ و ۴۲]، وجود آب و هوای نیمه‌خشک تا خشک را نشان می‌دهد [۲۳]. از طرف دیگر، وجود چرخه مجدد رسوبی نیز با توجه به شواهد پتروگرافی (وجود سیمان رورشدی گردشده دورادور دانه‌های کوارتز) و نتایج آنالیز مودال [۲۳] و ژئوشیمیایی به‌دست آمده در این مطالعه قطعی به نظر می‌رسد. بنابراین، اندیس ژئوشیمیایی هوازدگی 'CIW' به‌دست آمده احتمالاً، نتیجه وجود چرخه مجدد در آب و هوای نیمه خشک تا خشک می‌تواند باشد. البته، دستیابی دقیق به شرایط آب و هوایی در ارتباط با این نهشته‌ها نیازمند مطالعات دقیق‌تر، مانند مطالعه کانی‌های رسی می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

X وارد نمودن داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های بخش‌های بالایی، میانی و پایینی از سازند آسماری توسط دستگاه XRF، ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها را ساب‌لیتارنایت، ساب‌آرکوز و کوارتز آرنایت نشان می‌دهد.

X نتایج XRF با استفاده از دیاگرام‌ها (به منظور تفکیک جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها) نیز

لازم است تا قبل از بررسی و ارزیابی انواع جایگاه زمین‌ساختی رسوبات، نقش هوازدگی و دیاژنز مشخص گردد [۱۷، ۳۶، ۳۷ و ۳۸].

اندیس شیمیایی آلتراسیون (CIA:  $100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$ )، اغلب برای تعیین هوازدگی‌های شیمیایی شدیدتر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷ و ۳۹]. (اکسیدها به صورت نسبت ملکولی در نظر گرفته می‌شوند)

استفاده از این اندیس در نمونه‌هایی که تغییرات CaO زیادی در اثر تغییر در میزان کلسیت دارند، ممکن است نتایج جالب توجهی را پیشنهاد نمایند [۱۵]. در واقع، در نمونه‌های ماسه‌سنگ اهواز نیز با میزان CaO بالای خود نیز بدین گونه می‌باشد.

در این راستا، کولرز [۱۵]، اندیس هوازدگی دیگری را برای ماسه‌سنگ‌های با میزان CaO بالا و متغیر، ارائه نمود. این اندیس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CIW' = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)] \times 100$$

که در این فرمول نیز اکسیدها بایستی به صورت نسبت ملکولی در نظر گرفته شوند.

محدوده تغییرات این اندیس، از ۵۰ برای رسوبات غیر هوازده شروع شده و به ۱۰۰ برای رسوبات به شدت هوازده ختم می‌شود. در نمونه‌های مطالعه شده از ماسه‌سنگ اهواز، میزان 'CIW'، برای یک نمونه، زیر این رنج (با مقدار ۳۲) و مابقی، تقریباً در حول و حوش ۷۰ تغییر می‌نمایند (جدول ۱). وجود تنها نمونه خارج از رنج تعریف شده متوسط این اندیس را برای ماسه‌سنگ‌های اهواز تا عدد ۶۷ پایین می‌آورد. با این وجود، با توجه به میانگین و رنج تغییرات این اندیس برای نمونه‌های مطالعه شده، میزان هوازدگی متوسط را برای این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌نماییم. هوازدگی متوسط به‌دست آمده



بهشتی، به دلیل تأمین هزینه‌های مربوط به آنالیزها و دیگر همراهی‌های آن‌ها کمال تشکر خود را ابراز نمایم.

### مراجع

- [1] Crook, K.A.W., Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variations in flysch arenites (graywackes). In: Dott, R.H. Jr., Shaver, R.H. (Eds.), Modern and ancient geosynclinal sedimentation, Society for Sedimentary Geology Special Publication, 19 (1974) 304-310.
- [2] Dickinson, W.R., Suczek, C.A., Plate tectonics and sandstone compositions. American Association of Petroleum Geologist, Bull, 63 (1979) 2164-2182.
- [3] Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. and Ryberg, P.T., Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 222-235.
- [4] Bhatia, M.R., Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, Journal of Geology, 91 (1983) 611-627.
- [5] Roser, B.P., Korsch, R.J., Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio, Journal of Geology, 94 (1986) 635-650.

جایگاه کوارتزی-رسوبی و چرخه مجدد را برای محل منشأ آن‌ها ارائه می‌نماید.

- X میزان هوازگی این ماسه‌سنگ‌ها با توجه به نتایج ژئوشیمیایی عدد ۶۷ بوده که حاکی از میزان هوازگی متوسط برای منطقه منشأ آن‌ها و محیطی نیمه‌خشک در حضور چرخه مجدد رسوبی است. در هر حال، تعیین قطعی آب و هوای دیرینه، خود نیازمند مطالعات مبسوط‌تری می‌باشد.
- X استفاده از داده‌های XRF (به منظور تفکیک جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها)، جایگاه تکتونیکی حاشیه غیر فعال قاره‌ای را برای ماسه‌سنگ‌های اهواز ارائه می‌نماید.
- X در خاتمه می‌توان اظهار داشت که از تلفیق داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها، می‌توان شرایط احتمالی هوازگی در منشأ و موقعیت زمین‌ساختی را تعبیر و تفسیر نمود که جهت بازسازی زمین‌ساختی در زمان رسوب‌گذاری بسیار حائز اهمیت است.

### تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم که از داوران محترم این مقاله که با نقطه نظرات ارزنده خود و نکته‌سنجی اعمال نموده موجبات ارتقای سطح علمی این مقاله را فراهم نموده‌اند، کمال تشکر را بنماییم. همچنین، از همکاری مسئولین محترم شرکت ملی نفت مناطق نفت‌خیز جنوب برای تهیه نمونه‌های ماسه‌سنگ اهواز، کمال تشکر و قدردانی را می‌نماییم. در ادامه می‌بایست از همکاری صمیمانه مسئولین محترم دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید

- A., Editors, 1993. Geological Society of America, Special Papers 285 Geological Society of America, Special Papers, 285 (1993) 21-40.
- [13] Rollinson, H.R., Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, Longman, UK., '(1993) 352.
- [14] Cox, R., Low, D.R. and Cullers, R.L., The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (1995) 2919-2940.
- [15] Cullers, R.L., The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies, *Lithos*, 51 (2000) 181-203.
- [16] Fedo, C.M., Nesbitt, H.W. and Young, G.M., Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Journal of Geology*, 23 (1995) 921-924.
- [17] Nesbitt, H.W. and Young, G.M., Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 299 (1982) 715-717.
- [18] زاهدی‌نژاد، ج، مطالعه زمین‌شناسی بخش ماسه‌سنگی اهواز در حاشیه جنوب غربی حوضه رسوبی
- [6] Kroonenberg, S.B., Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments, Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Geological Congress, Part A, (1994) 69-81.
- [7] Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R., Sand and Sandstones, Springer-Verlag, New York, (1972).
- [8] Herron, M.M., Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58 (1988) 820-829.
- [9] Bhatia, M.R. and Crook, K.A.W., Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92 (1986) 181-193.
- [10] Roser, B.P. and Korsch, R.J., Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67 (1988) 119-139.
- [11] McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T. and Maynard, J.B., Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54 (1990) 2015-2050.
- [12] McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K. and Hanson, G.N., Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J. and Basu,

- feldspathic and mafic sediments of the northeastern Pacific margin, Transactions of Royal Society of Edinburgh, Earth Science, 76 (1985) 411-449.
- [26] Nesbitt, H.W. and Young, G.M., Formation and diagenesis of weathering profile. Journal of Geology, 97 (1989) 129-147.
- [27] Milodowski, A.E. and Zalasiewicz, J.A., Redistribution of rare earth elements during diagenesis of turbidite/hemipelagite mudrock sequences of Llandovery age from central Wales, Geological Society of America, Special Publication, 57 (1991) 101-124.
- [28] Armstrong-Altrin, J.S. and Verma, S.P., Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings. Sedimentary Geology, 177 (2005) 115-129.
- [29] Zimmermann, U. and Bahlburg, H., Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina. Sedimentology, 50 (2003) 1079-1104.
- [30] Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Verma, S.P. and Ramasamy, S., Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: implication for provenance, weathering and tectonic setting. Journal of Sedimentary Research, 74 (2004) 285-297.
- آسماری، شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۶۶، گزارش شماره پ- ۴۰۲۸، صفحه ۱۲۵.
- [19] Wells, A.J., Lithofacies and geological history of lower Tertiary sediments in southwest Iran IOOC Rep. 1108 (Unpublished), (1967).
- [20] Ziegler, M.A., Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences, Gulf Petrolink, Bahrain, Geo Arabia, 6, 3 (2001).
- [21] Buck, S.G., Ahwaz Reservoir Characterization Study, Schlumberger-NIOC (unpublished), (1991).
- [۲۲] حسینی برزی، م و جعفرزاده، م، رخساره‌های سنگی، محیط رسوبی و برخاستگاه نهشته‌های مخلوط سیلیسی آواری-کربناته-تبخیری سازند آسماری در میدان نفتی اهواز با نگرشی بر مکانیسم‌های موثر در اختلاط، فصل‌نامه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۶.
- [۲۳] جعفرزاده، م، محیط رسوبی و دیاژنز سازند آسماری در میدان نفتی اهواز با تاکید بر بخش ماسه‌سنگی این سازند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۵، صفحه ۲۰۵.
- [24] Das, B.K., AL-Mikhlaifi, A.S. and Kaur, P., Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. Journal of Asian Earth Science, 26 (2006) 649-668.
- [25] Van de Kamp, P.C. and Leake, B.E., Petrography and geochemistry of

- Basin, SW Japan: implication of factor analysis to sorting effects and provenance signatures, *Sedimentary Geology*, 171 (2004) 159-180.
- [39]Chittleborough, D.J., Indices of weathering for soils and palaeosols formed on silicate rocks, *Australian Journal of Earth Sciences* 38 (1991) 115-120.
- [40]Young, G.M., Some aspects of the geochemistry, provenance, paleoclimatology of the Torridonian of NW Scotland. *Journal of Sedimentary Research*, 69 (1999) 588-596.
- [41]Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R., *Sand and Sandstone*. Berlin7 Springer-Verlag;. (1987) 553.
- [42]Amireh, B.S., Mineral composition of the Cambrian–Cretaceous Nubian Series of Jordan: provenance, tectonic setting and climatological implication. *Sedimentary Geology*, 71 (1991) 99-119.
- [31]Cingolani, C.A., Manassero, M. and Abre, P., Composition, Provanance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block, Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences* 16 (2003) 91-106.
- [32]Alavi, M., Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust belt of Iran and its Proforland evolution, *American Journal of Science*, 304 (2004) 1-20.
- [۳۳]مطیعی، ه، زمین‌شناسی ایران: چین‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲، صفحه ۵۳۶.
- [34]Rangzan, K., Iqbaluddin, Sedimentation as Guide to tectonic setting of Agajari Formation, Zagros structural belt, SW Iran. *Journal of Indian Association of Sedimentologists*, 17, 4 (1998) 1-11.
- [35]McCoard, D.R., Regional Asmari geology of Ahwaz-Marun area., (1974).
- [36]Nesbitt, H.W., Markovics, G. and Price, R.C., Chemical processes affecting alkalines and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 (1980) 1659-1666.
- [37]Johnsson MJ., The system controlling the composition of clastic sediments. In: Johnsson MJ, Basu A, editors. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Boulder7 Geological Society of America; (1993) 1-19.
- [38]Ohta, T., Geochemistry of Jurassic to earliest Cretaceous deposits in the Nagato