

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شیمی

بررسی زمین شیمی عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های منشأ نفت در میدان نفتی اهواز

نگارنده:

مناصافی

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی پور اصل

بهمن ۹۷

این مجموعه را تقدیم می‌کنم به ؛ پدرم که برایم، تکیه‌گاهی محکم تر از هر کوه بنا شده در هستی ، به مادرم، که برایم آغوش

پروردگار بر زمین و به خواهرم، که جان من، در قالبی دیگر است.

اگر بیماری و دلگرمی ایشان که بودندشان، دانه‌های مروارید در صدف جان من است، نبود، این پروژه میسر نمی‌شد.

## سپاسگزاری و قدردانی

\* سپاس آفریدگار جان و خرد را که در راه علم و دانش تابه امروز همراه اولم بود و دستم را گرفت تا در این راه با موفقیت کام بردارم،

چرا که اگر او نمی خواست، نمی شد.

\* از استاد راهنمای محترم و دلسوز، جناب دکتر مسعود علی پور اصل، نهایت تشکر و قدردانی را دارم، ایشان که با توجه و صبر بسیار،

راهنما و مشوق اینجانب، در تکمیل این پایان نامه بودند.

\* از استاد مشاور گرامی جناب آقای مهندس محمد حسین حیدری فرد که زحمت مشاوره این پروژه را بر عهده داشتند، سپاسگزارم.

\* از کارکنان دلسوز و کمکش شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب: آقایان مهندس کورونی، مهندس کلانی، مهندس عالی و ندا همچنین

سرکار خانم قیصری، که در این پروژه باینده صمیمانه ترین همکاری را داشته اند، کمال سپاس و قدردانی را دارم.

\* در پایان، از خداوند منان آرزوی توفیق روز افزون، برای ایشان و سلامتی را مسلت می نمایم.

\* این پروژه با همکاری و حمایت مالی شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب انجام گردیده است \*

## تعهد نامه

اینجانب **مناصافی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زمین شیمی** دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده زمین‌شناسی، **بررسی زمین‌شیمی عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های منشأ نفت در میدان نفتی اهواز** به راهنمایی جناب آقای **دکتر مسعود علی پور اصل** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
  - در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
  - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
  - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
  - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
  - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
  - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.
- اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است. **تاریخ:** **امضای دانشجو:**

### مالکیت نتایج و حق نشر

- ❖ کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- ❖ استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی- باشد.

## چکیده:

میدان نفتی اهواز، به عنوان یکی از بزرگترین میادین نفتی در جنوب غرب ایران و در فروافتادگی دزفول شمالی قرار دارد. سازند آسماری، گروه‌های بنگستان و خامی مخازن اصلی هستند و سازندهای کژدمی، پابده، قاعده آسماری و گورپی سنگ‌های منشأ این میدان نفتی را تشکیل می‌دهند. شیل، شیل کربناتی، مارن و آهک‌های مارنی با میان لایه‌هایی از سنگ‌های آهکی ترکیب غالب سازندهای منشأ نفت را تشکیل می‌دهند. ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب سازندهای منشأ در این میدان نشان می‌دهد که: رسوبات سازندهای منشأ از سنگ‌های آذرین والد حدواسط تا فلسیک مشتق شده‌اند. منشأ مواد آلی از خشکی و مخلوط خشکی - دریایی می‌باشد و محیط رسوبگذاری سازندهای منشأ غالباً دریایی است. از نظر شرایط اکسیداسیون - احیا، بخش A10 قاعده سازند آسماری و بخشی از سازند کژدمی در شرایط اکسیدان و سازندهای منشأ دیگر تحت شرایط احیایی نهشته شده‌اند. الگوهای به‌هنجار شده عناصر کمیاب به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) و عناصر خاکی کمیاب به‌هنجار شده به ترکیب شیل آمریکای شمالی (NASC) سازندهای منشأ، تفاوت‌هایی را میان بخش A10 سازند آسماری و بخشی از سازند کژدمی با دیگر سازندها نشان می‌دهد، که ناشی از تأثیرپذیری آنها از جنس سنگ‌های والد و شرایط اکسیداسیون - احیا محیط نهشته‌گذاری این سازندها می‌باشد. مقایسه مقادیر نیکل و وانادیوم در سازندهای منشأ با آنهایی در نفت خام برای تعدادی از چاه‌های میدان نفتی اهواز، همبستگی معکوسی را نشان داد، به طوری که از سازندهای منشأ به نفت خام مقادیر این عناصر کاهش یافته است. در ضمن، میان مقادیر عناصر خاکی کمیاب و کربن آلی کل (TOC) سازندهای منشأ نفت ارتباطی معکوس وجود دارد. تشابه ویژگی‌های ژئوشیمی عناصر میان بخش A10 از قاعده سازند آسماری با برخی از نمونه‌های سازند کژدمی، بخش قاعده آسماری را در کنار سازند کژدمی به‌عنوان سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز توجیه و مطرح می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** سنگ‌های منشأ، ژئوشیمی، عناصر کمیاب و خاکی کمیاب، میدان نفتی اهواز.

## مقالات بر گرفته از پایان نامه:

۱- بررسی زمین‌شیمی عناصر کمیاب در سنگ‌های منشأ نفت در میدان نفتی اهواز، در استان

خوزستان. دهمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۹۷.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱	طرح مسئله و هدف از مطالعه
۳-۱	مطالعات پیشین
۱-۳-۱	مطالعات انجام شده در ایران
۲-۳-۱	مطالعات انجام شده در جهان
۴-۱	مراحل مطالعه
۱-۴-۱	مطالعات دفتری
۲-۴-۱	نمونه برداری
۳-۴-۱	مطالعات آزمایشگاهی
۴-۴-۱	تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان نامه

صفحه	عنوان
۱۵	فصل دوم زمین شناسی
۱-۲	مقدمه
۲-۲	زمین شناسی زاگرس



- ۱۸..... ۱-۲-۲- دشت خوزستان
- ۱۸..... ۲-۲-۲- منطقه چین خورده زاگرس
- ۲۱..... ۳-۲-۲- منطقه رورانده زاگرس
- ۲۲..... ۳-۲-۳- چینه‌شناسی زاگرس
- ۲۲..... ۱-۳-۲- پالئوزوئیک
- ۲۳..... ۲-۳-۲- مزوزوئیک
- ۲۳..... ۱-۲-۳-۲- تریاس
- ۲۳..... ۲-۲-۳-۲- ژوراسیک
- ۲۴..... ۳-۲-۳-۲- کرتاسه
- ۲۵..... ۳-۳-۲- ترشیاری
- ۲۵..... ۱-۳-۳-۲- پالئوسن - ائوسن
- ۲۶..... ۲-۳-۳-۲- الیگوسن - میوسن
- ۲۶..... ۳-۳-۳-۲- میوسن - پلیوسن - پلیستوسن
- ۲۶..... ۴-۲-۳- چینه‌شناسی حوضه رسوبی زاگرس
- ۲۶..... ۱-۴-۲- سازند فهلیان
- ۲۷..... ۲-۴-۲- سازند گدوان
- ۲۷..... ۳-۴-۲- سازند داریان

- ۲۷ ..... ۲-۴-۴- سازند گرو.
- ۲۷ ..... ۲-۴-۵- گروه بنگستان.
- ۲۸ ..... الف) سازند کژدمی.
- ۲۸ ..... ب) سازند سروک.
- ۲۸ ..... ج) سازند سورگاه، لافان.
- ۲۸ ..... د) سازند ایلام.
- ۲۸ ..... ۲-۴-۶- سازند گورپی.
- ۲۹ ..... ۲-۴-۷- رادیولاریتها.
- ۲۹ ..... ۲-۴-۸- سازند امیران.
- ۲۹ ..... ۲-۴-۹- سازند تله‌زنگ.
- ۳۰ ..... ۲-۴-۱۰- سازند کشکان.
- ۳۰ ..... ۲-۴-۱۱- سازند شهبازان.
- ۳۰ ..... ۲-۴-۱۲- سازند پابده.
- ۳۰ ..... ۲-۴-۱۳- سازند آسماری.
- ۳۱ ..... ۲-۴-۱۴- سازند رازک.
- ۳۱ ..... ۲-۴-۱۵- گروه فارس.
- ۳۱ ..... الف) سازند گچساران.

ب) سازند میشان.....	۳۱
ج) سازند آغاچاری.....	۳۱
۲-۴-۱۶- سازند بختیاری.....	۳۲
۲-۵- زمین ساخت زاگرس.....	۳۲
۲-۶- کمر بند چین خورده ساده زاگرس.....	۳۴
۲-۷- فروافتادگی دزفول.....	۳۵
۲-۸- میدان نفتی اهواز.....	۳۶
۲-۸-۱- سازند کژدمی.....	۳۷
۲-۸-۲- سازند گورپی.....	۳۸
۲-۸-۳- سازند پایده.....	۳۹
۲-۸-۴- سازند آسماری.....	۴۰
الف) زون A10.....	۴۱
ب) زون A11.....	۴۱

عنوان	فصل سوم: ژئوشیمی	صفحه
فصل سوم ژئوشیمی.....		۴۵
۳-۱- مقدمه.....		۴۶

- ۲-۳ - ژئوشیمی عناصر اصلی..... ۴۷
- ۱-۲-۳- فراوانی عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ..... ۵۰
- ۲-۲-۳- مقایسه فراوانی عناصر اصلی با نمونه‌های مرجع..... ۵۲
- ۳-۲-۳- طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی بر اساس اکسیدهای اصلی..... ۵۴
- ۴-۲-۳- ترکیب سنگ‌های والد..... ۵۶
- ۵-۲-۳- محیط زمین‌ساختی..... ۵۹
- ۳-۳ ژئوشیمی عناصر کمیاب..... ۶۰
- ۱-۳-۳- شاخص‌های پتانسیل اکسیدان - احیا (redox)..... ۶۱
- الف) شاخص Ni/Co..... ۶۳
- ب) شاخص V/Ni..... ۶۳
- پ) آنومالی منفی سریم ( $\delta Ce$ )..... ۶۴
- ت) شاخص Th /U..... ۶۴
- ۲-۳-۳- نمودارهای تشخیص محیط رسوبگذاری دیرینه..... ۶۷
- ۳-۳-۳- نرمال‌سازی عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز..... ۶۸
- ۴-۳- ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب..... ۷۳
- ۱-۴-۳- نرمال‌سازی عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های سازند کژدمی، پابده، گورپی و شیل‌های قاعده‌ای آسماری..... ۷۷

۳-۵- تفسیر آماری داده‌ها..... ۸۰

۳-۵-۱- ضریب همبستگی پیرسون بین اکسیدهای اصلی با عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب..... ۸۰

۳-۵-۲- ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب با عناصر خاکی کمیاب و اکسیدهای اصل..... ۸۲

صفحه

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

عنوان

فصل چهارم بحث و نتیجه‌گیری..... ۸۳

۴-۱- مقدمه..... ۸۴

۴-۲- بحث و بررسی یافته‌های تحقیق..... ۸۵

۴-۲-۱- سنگ‌های والد نمونه‌های مورد مطالعه..... ۸۵

الف) نمودار (Floyd (1989)، Paikaray et al (2008)..... ۸۵

ب) نسبت‌های عناصر کمیاب نظیر  $Al_2O_3/TiO_2$  ،  $Cr/Ni$  ،  $Th/Co$  ،  $Th/Cr$ ..... ۸۵

۴-۲-۲- محیط تکتونیکی نمونه‌های مورد مطالعه..... ۸۶

الف) نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  (Bhatia, 1983)..... ۸۶

ب)  $SiO_2/Al_2O_3$  در مقابل  $Log K_2O/Na_2O$  (Roser and Korsch, 1986)..... ۸۶

۴-۳- پتانسیل اکسیداسیون - احیا دیرینه (Paleoredox)..... ۸۶

۴-۴- منشأ و محیط رسوبگذاری مواد آلی سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز..... ۸۸

۴-۵- نرمال‌سازی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب به نمونه‌های مرجع..... ۸۹

- الف) عناصر اصلی..... ۸۹
- ب) عناصر کمیاب..... ۹۰
- پ) عناصر خاکی کمیاب..... ۹۱
- ۴-۴-۶- همبستگی‌های بین عناصر خاکی کمیاب با اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب..... ۹۱
- ۴-۴-۷- ارتباط نیکل و وانادیوم در نفت خام با نیکل و وانادیوم در سنگ‌های منشأ سه چاه از میدان نفتی اهواز..... ۹۲
- ۴-۴-۸- ارتباط TOC با عناصر خاکی کمیاب موجود در سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز..... ۹۳
- ۴-۵- نتیجه‌گیری..... ۹۵
- ۴-۶- پیشنهادات..... ۹۷
- منابع فارسی..... ۱۰۰
- منابع لاتین..... ۱۰۱

## فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران. الف) زاگرس مرتفع، ب) زاگرس چین‌خورده، ج) دشت خوزستان (آقانیاتی، ۱۳۸۳)..... ۱۷
- شکل (۲-۲) موقعیت جغرافیایی میدان نفتی اهواز در فروافتادگی دزفول (Sherkati and Letouzey, 2004)..... ۴۲
- شکل (۳-۲). تصویر شماتیکی از ستون چینه‌شناسی میدان نفتی اهواز که براساس تلفیق اطلاعات چینه‌شناسی ۵ حلقه چاه (۶۷، ۱۰۱، ۲۲۰، ۲۳۴، ۲۹۶) ترسیم شده است ..... ۴۳
- شکل (۱-۳) تصویر شماتیک از سازندهای زمین‌شناسی در میدان نفتی اهواز بر اساس تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی ۵ حلقه گمانه اکتشافی و مقایسه تغییرات عناصر در نمونه‌های انتخابی از سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و قاعده آسماری..... ۵۲
- شکل (۲-۳) الگوی به‌هنجار شده اکسیدهای عناصر اصلی در سازندهای منشأ نفت میدان اهواز به ترکیب شیل آمریکای شمالی..... ۵۴
- شکل (۳-۳) الف) نمودار  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  در سنگ‌های رسوبی، ب) طبقه‌بندی سنگ‌شناسی نمونه‌های میدان نفتی اهواز (نمودار پایه از Herron, 1988)..... ۵۶
- شکل (۳-۴). سنگ‌های والد نمونه‌های میدان اهواز بر پایه: الف) نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل Zr (Paikaray et al, 2008) ب) نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل Ni (Floyd et al., 1989)..... ۵۷
- شکل (۵-۳) نمودارهای تمایز محیط‌های تکتونیکی بر پایه عناصر اصلی: الف) نمودار  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$  (Bhatia, 1983) ، ب) نمودار  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{Log K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (Roser and Korsch, 1986)..... ۵۹
- شکل (۶-۳) نمودارهای توزیع شاخص‌های پتانسیل اکسیداسیون- احیا (Th/U, Co/Ni,  $\delta\text{Ce}$ ) (Guoliang, et al; 2018)..... ۶۶

شکل (۳-۷) الف) نمودار نیکل در مقابل وانادیوم، نشان‌دهنده محیط نهشته‌گذاری مواد آلی (Akinlua, 2016) (ب) نمودار نسبت‌های ژئوشیمیایی V/Ni در مقابل Co/Ni، براساس منشأ مواد آلی سازندهای منشأ نفتی اهواز (Galarraga, 2008)..... ۶۶

شکل (۳-۸) الگوهای به‌هنجار شده عناصر فرعی و کمیاب سازندهای کژدمی، شیل قاعده‌ای آسماری، پابده، گورپی به نمونه مرجع، پوسته قاره‌ای بالایی، (Upper crust, Taylor and McLennan, 1985)..... ۷۰

شکل (۳-۹) توزیع فلزات کمیاب در نمونه‌های گرفته شده از سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری..... ۷۱

شکل (۳-۱۰) موقعیت قرارگیری (REE)ها یا گروه لانتانیدها در جدول تناوبی..... ۷۴

شکل (۳-۱۱) الف) مقایسه غلظت عناصر کمیاب خاکی، در نمونه‌های گرفته شده، (ب) هیستوگرام توزیع عناصر خاکی کمیاب کل، در همه نمونه‌های مورد مطالعه از سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز..... ۷۵

شکل (۳-۱۲) مقایسه توزیع فراوانی عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE)، متوسط (MREE) و سنگین (HREE) در سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز..... ۷۷

شکل (۳-۱۳) الگوی توزیع به‌هنجار شده عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های سازند کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری در میدان نفتی اهواز نسبت به نمونه مرجع، شیل‌های آمریکای شمالی (NASC)، (Gromet et al., 1984; Goldstein & Jacobson, 1988)..... ۷۸

شکل (۴-۱) همبستگی بین نیکل و وانادیوم نمونه‌های نفت با سنگ منشأ، در چاه‌های (۲۲۰، ۲۳۴، ۲۹۶) میدان نفتی اهواز..... ۹۳

شکل (۴-۲) نمودار ارتباط و همبستگی بین میزان مواد آلی (TOC) و عناصر خاکی کمیاب (REE) سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز..... ۹۴



## فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۳) مقدار عناصر اصلی (درصد وزنی) در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز..... ۴۹
- جدول (۲-۳) مقدار اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز..... ۵۰
- جدول (۳-۳) نسبت‌های  $K_2O/Na_2O$ ،  $Cr/Ni$ ،  $Th/Co$ ،  $Th/Cr$ ،  $Al_2O_3$  برای تعیین سنگ والد رسوبات در میدان نفتی اهواز..... ۵۸
- جدول (۴-۳) غلظت عناصر کمیاب در نمونه‌های سنگ منشأ میدان نفتی اهواز..... ۶۱
- جدول (۵-۳) مقدار شاخص‌های  $V/Ni$ ،  $U/Th$ ،  $Ni/Co$  در نمونه سنگ‌های منشأ نفت میدان نفتی اهواز..... ۶۲
- جدول (۶-۳) مقادیر میانگین محاسبه شده از  $V/Ni$ ،  $Th/U$ ،  $\delta Ce$ ،  $Ni/Co$  در سازندهای منشأ نفت میدان اهواز..... ۶۳
- جدول (۷-۳) غلظت به‌هنجار شده عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز نسبت به مرجع پوسته بالایی قاره‌ای (Upper crust, Taylor and McLennan, 1985)..... ۶۸
- جدول (۸-۳) غلظت عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های سنگ منشأ میدان نفتی اهواز..... ۷۴
- جدول (۹-۳) مقادیر غلظت عناصر خاکی کمیاب سبک، متوسط، سنگین و آنومالی سریم و یوروپیم، در نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز..... ۷۶
- جدول (۱۰-۳) ماتریس ضرایب همبستگی عناصر اصلی، REE و نسبت‌های  $V/Ni$ ،  $Ni/Co$  به روش پیرسون..... ۸۱
- جدول (۱۱-۳) همبستگی پیرسون محاسبه شده بین REE با عناصر کمیاب و اکسیدهای اصلی..... ۸۲
- جدول (۱-۴) مقادیر  $Ni$  و  $V$  نفت خام و سنگ‌های منشأ چاه‌های ۲۲۰، ۲۳۴، ۲۹۶ میدان نفتی اهواز..... ۹۳



# فصل اول

## کلیات

سنگ منشأ که سرانجام نفت تولید می کند حاوی کمیت های قابل اندازه گیری از عناصر کمیاب و خاکی کمیاب<sup>۱</sup> (REE) است. عناصر کمیاب که به شکل کمپلکس های پورفیرین در سنگ منشأ نفت وجود دارند، ممکن است از مولکول های آلی در طول دیاژنز و نیز از منابع بیوژنیک و غیربیوژنیک مشتق شوند ( Barwise, 1990; Nwachukwu et al.,1995; Akinlua et al., 2007). بررسی، ارزیابی و شناخت سنگ منشأ مولد نفت می تواند کمک بسزایی در شناخت محیط تشکیل نفت خام، نوع مواد آلی بوجود آورنده، تعیین کیفیت نفت و بسیاری دانسته های کاربردی در صنعت نفت داشته باشد، که این شناخت، حاصل روش های گوناگون ارزیابی سنگ منشأ می باشد. بررسی رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب در محیط های مختلف زمین شناسی، کاربرد اساسی در شناخت منشأ، شرایط تشکیل، ارزیابی اقتصادی، کیفیت و ... محیط مورد مطالعه دارد. در این میان، عناصر کمیاب و خاکی کمیاب، با توجه به مشخصات ژئوشیمیایی پایدار و ارزش اقتصادی بالقوه ای که دارند بسیار حائز اهمیت اند، لذا در محیط های متفاوت زمین شناسی مورد بررسی قرار می گیرند. سنگ های منشأ که در نهایت نفت خام تولید می نمایند، حاوی مقادیر قابل اندازه گیری بسیاری از عناصر کمیاب و خاکی کمیاب می باشند (Akinlua et al.,2016)، از اینرو مطالعه رفتار ژئوشیمی این عناصر در سنگ های منشأ نفت می تواند اطلاعات با ارزشی را درباره ی منشأ رسوبات، محیط تکتونیکی ته نشست و شرایط اکسیداسیون- احیا و غیره در اختیار بگذارند. در دنیا مطالعات بسیاری درباره ژئوشیمی عناصر کمیاب در حوضه های نفتی صورت گرفته است. اما، مطالعه ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب بطور محدود بر روی سنگ های منشأ نفت انجام شده است (Akinlua,2016). مطالعه ژئوشیمی عناصر کمیاب در ایران بر روی نفت خام در

---

1-Rare earth element (REE)

میدان‌های نفتی، متمرکز بوده است (حیدری فرد، ۱۳۸۱؛ ولی‌نژاد خیابان، ۱۳۹۴؛ مهرابی‌رشنو، ۱۳۹۵). در این پژوهش برای اولین بار رفتار ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز بررسی می‌شود.

## ۱-۲- طرح مسئله و هدف از مطالعه

مطالعه ژئوشیمیایی کانی‌ها، سنگ‌ها و کانسنگ‌ها از روش‌های مهم و کاربردی برای بررسی منشأ، شرایط تشکیل و ارزیابی اقتصادی و کیفیت آن‌ها می‌باشد. این بررسی‌ها بر رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی بنیان نهاده شده است. در این میان نقش عناصر کمیاب و خاکی کمیاب برجسته است، برای اینکه این عناصر کمتر تحت تأثیر فرایندهای پس از تشکیل سنگ‌ها و کانسنگ‌ها مانند دگرسانی، تبلور مجدد، دگرگونی و ... قرار می‌گیرند. عناصر کمیاب و خاکی کمیاب بدلیل ماهیت ژئوشیمیایی منحصر به فرد خود کاربردهای زیادی در پژوهش‌های علوم زمین برای پی‌بردن به منشأ سنگ‌ها، کانسنگ‌ها و مواد آلی، تفسیر ژنتیکی آنها، شرایط نهشته‌گذاری سنگ‌های رسوبی و شرایط اکسیدان- احیا محیط ته‌نشست سنگ‌های رسوبی دارند (Henderson, 1984; Takeda and Arikawa, 2005; Akinlua et al., 2008). از طرفی فلزات کمیاب موجود در سنگ منشأ نفت، که در قالب کمپلکس‌های پورفیرینی ثبت شده‌اند (Filby and Berkel, 1987) به احتمال زیاد، یا به‌طور مستقیم از توده زیستی (Biomass) در طی رسوب‌گذاری تشکیل شده‌اند و یا ممکن است از مولکولهای آلی و نیز فلزات حاصل از منابع متفاوت بیوژنیک و غیربیوژنیک وارد شده باشند (Barwise, 1990; Nwachukwu et al., 1995; Akinlua, et al., 2007). در نتیجه می‌توانند راهنمای خوبی برای بررسی موارد مذکور در سنگ منشأ نفت باشند. از آنجا که این عناصر در محیط‌های متفاوت زمین‌شناسی در ایران بررسی شده‌اند لذا ما تصمیم گرفتیم، برای اولین بار در ایران به بررسی ژئوشیمیایی این عناصر

در سنگ‌های منشأ نفت یک میدان نفتی بپردازیم و در کنار سایر تکنیک‌های ژئوشیمیایی انجام گرفته در سنگ‌های منشأ نفت به بررسی الگوی رفتاری عناصر کمیاب و خاکی کمیاب موجود در سازندهایی که بعنوان سنگ منشأ در نظر گرفته می‌شوند، پرداخت .

اهداف اصلی دنبال گردیده در این پایان‌نامه، در ذیل، آورده شده است:

۱- اندازه‌گیری غلظت عناصر کمیاب (نیکل، وانادیوم، کبالت و ...) سازندهای کژدمی،

پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای آسماری، در میدان نفتی اهواز

۲- اندازه‌گیری غلظت عناصر خاکی کمیاب (سرب، یورانیوم، ساماریوم و...) سازندهای

کژدمی، پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای آسماری، در میدان نفتی اهواز

۳- مقایسه غلظت‌های بدست‌آمده از عناصر کمیاب و خاکی کمیاب در هر یک از

سازندهای کژدمی، پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای آسماری، در میدان نفتی اهواز

۴- بررسی محیط تشکیل سازندهای کژدمی، پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای آسماری، در

میدان نفتی اهواز

۵- بررسی شرایط اکسیداسیون- احیا موادآلی در هر یک از سازندهای مورد بررسی در

میدان نفتی اهواز

۶- مقایسه یافته‌های حاصل از ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب با نتایج

مطالعات قبلی انجام شده (مانند: پیرولیز راک اول، شیمی نفت خام ) جهت ارائه

شاخص‌های ژئوشیمی معدنی سازندهای مورد بررسی در میدان نفتی اهواز

۷- ارزیابی پتانسیل معدنی فلزات وانادیوم، نیکل، سرب، روی، عناصر خاکی کمیاب،

عناصر پرتوزا، در هر یک از سازندهای کژدمی، پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای

آسماری، در میدان نفتی اهواز

## ۳-۱- مطالعات پیشین

### ۳-۱-۱- مطالعات انجام شده در ایران

❖ حیدری فرد (۱۳۸۱)، با اندازه‌گیری غلظت عناصر Ni و V نفت مخازن آسماری و بنگستان میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه و بنا به نسبت‌های بدست‌آمده Ni/V کمتر از یک و مقدار بالای V/V+Ni تا حد ۰/۹ توانستند محیط کربناته دریایی و اثر Eh و pH پایین محیط را تأیید نمایند. همچنین با مقایسه نتایج مطالعات ژئوشیمیایی مخزن آسماری میدان بی‌بی‌حکیمه با میدان مارون توانستند منشأ گرفتن نفت مخزن هر دو میدان را از سازند کژدمی تأیید نمایند.

❖ ولی‌نژاد خیابان و همکاران (۱۳۹۴)، با مطالعه نفت‌های تولیدی میدان آبتیمور و منصوری به این نتیجه رسیدند که نفت این میادین از یک منشأ (کژدمی) می‌باشد. براساس نسبت کمتر از یک وانادیوم به نیکل برای این میادین یک محیط دریایی و کربناته پیش‌بینی کردند که باکتری‌های فیتوپلانکتونی به‌عنوان پیش ماده برای نفت بوده‌اند.

❖ مهرابی رشنو (۱۳۹۵)، با اندازه‌گیری غلظت عناصر Ni و V نفت مخازن آسماری و بنگستان میدان نفتی اهواز، نوع نفت این میدان را از گروه A و نوع نفت ابوظبی بدست آوردند. از طرفی با بدست آوردن میانگین نسبت Ni/V نفت خام مخازن آسماری و بنگستان به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۳۸ که مقادیری کمتر از یک می‌باشند، یک محیط دریایی و شرایط احیایی که ماده آلی سازنده نفت آن باکتری‌های فیتوپلانکتونی است را تأیید کردند. همچنین با توجه به نسبت عناصر نیکل و وانادیوم و نسبت‌های

نیکل به وانادیوم و وانادیوم به نیکل، یکسان نبودن منشأ هردو مخزن آسماری و بنگستان را در این میدان نشان دادند.

❖ در میدان نفتی اهواز از غرب به شرق با مطالعه چاه‌های ۱۰۱، ۶۷، ۲۶۵، ۵۵ و ۶۱، بر مبنای ضخامت سازندهای پابده و گورپی و میانگین ماده آلی آنها دریافتند که سازند گورپی میدان اهواز عموماً در رده فقیر قرار گرفته و فاقد زون مشخصی می‌باشد، ولی سازند پابده به طور مشخص به سه زون قابل تقسیم است، یک زون فقیر یا مناسب در قاعده پابده و یک زون خوب یا خیلی خوب در وسط و یک زون فقیر یا مناسب در رأس پابده مشاهده می‌شود. تغییرات عمودی میزان TOC متأثر از لیتولوژی و شرایط محیط رسوبگذاری است که با نگاهی به ستون لیتولوژی چاهها مشاهده میشود که قاعده پابده بیشتر کربناته بوده و ماده آلی آن نیز کم میباشد سپس با عمیق شدن حوضه یک لایه شیلی تشکیل گردیده و شرایط برای رسوبگذاری ماده آلی و حفظ شدگی آن (یک محیط احیایی) فراهم گردیده در نتیجه یک لایه غنی از ماده آلی رسوب نموده است (گزارش شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب).

❖ به منظور فهم تولید نفت از زونهای A10 و A11 قاعده سازند آسماری در میدان نفتی اهواز (علیرغم لیتولوژی شیلی آنها)، مطالعه گسترده‌ای با استفاده از روش‌های مدل‌سازی یک بعدی سیستم‌های نفتی جهت بررسی تولید نفت از بخش‌های شیلی، محاسبه میزان ماده آلی (TOC) بخش‌های شیلی با استفاده از روش‌های  $\Delta \log R$  و شبکه عصبی، پیرولیز راک‌اول، اندازه‌گیری انعکاس ویتروینایت، آزمایشات GC- و MS از نمونه‌های نفت و بخش شیلی، انجام شد. طبق مقایسه‌های ژئوشیمیایی انجام شده بین نفت تولیدی از مخزن آسماری از زون‌های A10، A11 با نفت‌های تولیدی از مخزن بنگستان، منشأ غیریکسانی برای هر دو مشاهده گردید و بیانگر تمایز مشخصی بین سنگ مادر مولد نفت مخازن آسماری و بنگستان است. و طبق تفسیر نتایج حاصل



از آزمایشات بایومارکری، نمونه های نفت میدان اهواز در موقعیت سنگ مادرهای شیلی- مارنی قرار گرفته اند و نیز نشان از بلوغ بالای نفتهای مورد مطالعه دادند. همچنین در نفتهای میدان اهواز، نشان دهنده لیتولوژی مارنی- شیلی سنگ منشأ مولد نفتهای مخزن آسماری می باشد و تمامی نمونه های مورد مطالعه در محدوده نفت های بالغ قرار گرفته و وارد محدوده تعادل که در پیک پنجره نفتی بدست می آید، شده اند و محیط رسوبی سنگ منشأ نفت مخزن آسماری میدان اهواز، نشان دهنده یک محیط مارنی- دریایی است. در این میدان از غرب به شرق در چاههایی مثل ۲۳۴ (چاه نمونه برداری شده مشترک با مطالعه حاضر)، میزان میانگین TOC بسیار کم بدست آمد. تغییرات مقدار میانگین ماده ی آلی در شیل های قاعده ی آسماری از ۱/۰۴۲ تا ۲/۳۵ متغیر است و به دلیل مقدار میانگین بالای چاههای مورد بررسی از غرب به شرق این میدان، شیل قاعده ی آسماری در تمام چاههای مورد مطالعه در گستره میدان اهواز توان تولید نفت دارند. شیل قاعده ی آسماری در چاههای ۳۶۵، ۳۶۳، ۳۴۸، ۳۱۷، ۲۷۶، ۲۳۴ (چاه مشترک با مطالعه حاضر) و ۲۱۰، در تولید شرکت دارد (گزارش شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب).

### ۱-۳-۲- مطالعات انجام شده در جهان

❖ اکیلوا و همکاران (۲۰۱۵)، عناصر کمیاب نفت خام حوضه های Orange و Bredasdrop افریقای جنوبی را با استفاده از روش ICP-OES آنالیز نمودند. بر اساس غلظت و نسبت عناصر Ni و V دو گروه نفتی اصلی را شناسایی نمودند. حوضه Orange با نسبت V/Ni کمتر از یک و V/V+Ni بیشتر از ۰/۵ منشأ دریایی و شرایط محیطی بدون اکسیژن و حوضه Bredasdrop با نسبت V/Ni

بیشتر از یک منشأ غیردریایی و محیط رسوب‌گذاری را ترکیبی از شرایط اکسیژن‌دار و بدون اکسیژن (بیشتر بدون اکسیژن) نشان دادند.

❖ اکیلوا و همکاران (۲۰۱۶)، به منظور تعیین محتوی عناصر کمیاب‌خاکی و نشانه‌های ژئوشیمیایی آن‌ها، به بررسی ژئوشیمیایی ۵۲ نمونه سنگ منشأ از سه میدان در شمال غربی دلتا نیجر، پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که الگوی توزیع REEها در نمونه‌های سنگ منشأ هر یک از میادین و بین سه میدان مشابه هستند، که نشان‌دهنده منشأ ژنتیکی مشابهی است که می‌تواند انعکاسی از محیط رسوبی و منشأ مواد آلی مشابهی از آنها باشد. همچنین لانتانیم، دیسپرسیوم، یورانیوم و ساماریوم می‌توانند راهنمای پتانسیل اکسیداسیون- احیا و منشأ باشند.

❖ اکای و همکاران (۲۰۱۳)، برای نخستین بار در ترکیه به مطالعه منشأ و ویژگی‌های محیطی شیل‌های نفتی و دیگر سنگ‌های رسوبی نوع کم عمق دریایی، براساس عناصر اصلی و خاکی کمیاب، پرداختند. کربن کل و کربن آلی کل همبستگی مثبتی با گروه رس‌ها و همبستگی معکوسی با اکسیدهای  $MnO$ ،  $CaO$ ،  $MgO$  نشان دادند. به همین دلیل است که کربن کل و کربن آلی کل، وابسته به رس‌ها هستند. همبستگی مثبت بین بعضی اکسیدهای اصلی مثل ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ) و REE ممکن است نشان‌دهنده این باشد که رس‌ها و اکسید، هیدروکسیدهای آهن نقش مهمی را در فرایندهای انتقال و ته‌نشست این عناصر ایفا می‌کنند.

❖ کینگ‌جون گوا و همکاران (۲۰۱۶)، این مطالعه، داده‌های ژئوشیمیایی جدیدی از توالی شیل سیاه و سفید کمربندهای مختلف رخساره ای از پلتفرم Yangtze در جنوب چین نشان داد. تنوع در غلظت REEها و عناصر کمیاب (تنوع

نسبتهای  $(Ce/Ce^*, Th/U, V/Sc, V/Cr)$  در کروژن و همچنین در ترکیب شیمیایی کل سنگ از محیطهای رسوبی متفاوت در طول برش عرضی پلاتفرم به حوضه، دو رویداد اکسیداسیون نشان می دهد. در طول اولین رویداد در اواخر ترنووین، شرایط اکسیدان در آبهای پایین، به سرعت، به شرایط احیاکننده تغییر یافت. دومین اکسیداسیون در آغاز دوره دوم از کامبرین، به علت شرایط اکسیدان، در بخش عمیق تر آبهای دریا رخ داده است.

❖ ساینبایار و همکاران (۲۰۱۱)، عناصر کمیاب در نفت خام دو حوضه Tamasagbulag و Tagaan Els با استفاده از روش ICP-OES اندازه گیری نمودند. با توجه به نسبت  $V/Ni$  (بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۴) منشأ غیردریایی و دریاچه ای را گزارش نمودند.

❖ فرانکین برگر و همکاران (۱۹۹۴)، با استفاده از روش INAA، ۱۶ عنصر کمیاب موجود در ۳۶ نمونه نفت خام حوضه نیوزلند را مورد مطالعه قرار دادند. از غلظت و نسبت عناصر نیکل و وانادیوم نفت خام برای طبقه بندی و مقایسه نفت استفاده نمودند و بدین ترتیب نشان دادند که همه نمونه ها از یک منشأ بوده و شباهت زیادی به نفت خام چین دارند و هر دو منشأ غیردریایی دارند.

❖ گوالیانگ و همکاران (۲۰۱۸)، غلظت عناصر کمیاب و حاکی کمیاب پنجاه نمونه مادستون از سازند Pinghu (به سن ائوسن) و سازند Huagang (به سن الیگوسن) موجود در Xihu Sag (شرق حوضه دریای چین) را به منظور شرایط نهشته گذاری، منشأ و آب و هوای دیرینه، بوسیله روش ICP-MS اندازه گیری نمودند. دلایل وشواهد ناشی از مقایسه تحلیل های آماری دومتغیره و تست Mann-Whitney نشان دادند که ممکن است سازندهای Pinghu و Huagang منشأ یکسانی داشته

باشند. منشأ رسوبی بدست آمده از دیاگرام‌های دومتغیره Hf در مقابل La/Th و La/Sc در مقابل Co/Th نشان داد که مادستون‌های سازند Pinghu اساساً از ترکیبی از منابع فلسیک / مافیک و فلسیک تشکیل شده است. علاوه بر این، دیاگرام تفکیک‌کننده  $\Sigma$ REE در مقابل La/Yb نشان داد که نوع سنگ‌مخزن برای مادستون‌های سازند Pinghu از سنگ‌های رسوبی، آلكالی بازالت و مقدار کمی بازالت‌های تولئیتی قاره‌ای تشکیل شده است در حالیکه سازند Huagang اساساً از آلكالی بازالت و سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است. نمودارهای تفکیک‌کننده La-Th-Co-Zr/10 و Th-Sc پیشنهاد می‌کند که مادستون‌های دو سازند از لحاظ تکتونیکی در جزایر قاره‌ای و حاشیه‌های فعال قاره‌ای، ته‌نشین شده‌اند. همچنین شاخص‌های پتانسیل اکسیداسیون - احیا مانند V/Ni و  $\delta$ Ce نشان دادند که اغلب مادستون‌های دو سازند در شرایط غیراکسیدان نهشته شدند.

❖ محمد و همکاران ( ۱۹۸۳ )، در ۱۰ منطقه از عربستان سعودی نمونه‌برداری انجام دادند و ۱۷ عنصر را آنالیز نمودند که عناصر وانادیوم و نیکل بیشترین غلظت را داشتند. غلظت وانادیوم بین ۲ ppm تا ۶۰ و نیکل بین ۰/۵ ppm تا ۱۷ و نسبت V/Ni را بین ۲/۷۸ تا ۳/۱۰ برای نفت خام کرتاسه و ۳/۷۶ تا ۴/۳۵ برای نفت خام ژوراسیک بالایی، گزارش نمودند. با استفاده از این نتایج نشان دادند که این نسبت‌ها با، سن نفت، افزایش می‌یابند.

❖ ویترسپون و ناگاشیما ( ۱۹۵۷ )، به دنبال اندازه‌گیری عناصر نیکل و وانادیوم انجام گرفته در نفت خام ایالت ایلینوی ، غلظت وانادیوم را حدود ۰.۸۹  $\mu\text{g/ml}$  گزارش

کردند و همچنین به این نتیجه رسیدند که در نمونه‌های گرفته‌شده از مخازن با اعماق بیشتر از ۹۷۶ متر ، وانادیوم غلظت بسیار پایین‌تری دارد، به‌طوری‌که با افزایش عمق غلظت وانادیوم کاهش می‌یابد.

❖ وایرا و همکاران (۲۰۱۶)، نفت خام میادین نفتی حوضه Espirito Santo (برزیل) از نظر محتویات نیکل و وانادیوم و API نمونه‌های نفتی جهت تعیین منشأ نفت مورد بررسی قرار دادند. برای اندازه‌گیری نیکل و وانادیوم از روش طیف‌سنجی جذب اتمی استفاده نمودند. با مقایسه غلظت نیکل و وانادیوم با API به این نتیجه رسیدند که غلظت این عناصر در نفت سنگین (با API پایین) بیشتر از نفت سبک می‌باشد. همچنین با توجه به نسبت V/Ni نفت خام حوضه را به ۴ گروه تقسیم نمودند که گروه ۱ و ۲ با نسبت V/Ni بین ۰.۱-۱ با منشأ غیردریایی و مقدار این نسبت در گروه‌های ۳ و ۴ بیشتر از یک بوده و منشأ دریایی را نشان می‌دهند.

❖ ییفان لی و همکاران (۲۰۱۵)، با مطالعه شیمی-چینه‌شناسی ۸۰ نمونه جمع‌آوری شده از سازندهای Liuchapo, Niutitang, Mingxinsi از چاه YK-1 واقع در جنوب شرقی Chongqing ، برای روشن شدن محیط دیرینه حاشیه بالای پلتفرم Yangtze، از ارزیابی عناصر خاکی کمیاب و عناصر کمیاب، استفاده کردند. شیل‌های خاکستری Mingxinsi و سازند Liuchapo نرمال‌سازی شده به الگوهای REE پست آرکئن استرالیا، الگویی مسطح، همراه با ناهنجاری‌های منفی جزئی سریم که مشخصه شاخصه‌های رسوبی است، نشان داد. همچنین، آنومالی‌های مثبت یورانیوم نمونه‌های چرت، تأثیر کوتاه مدت سیال گرمایی را آشکار کرد.

الگوهای REE سنگ‌های فسفاتی Niutitang ، غنی‌سازی قابل توجهی از HREE را نشان دادند. آنومالی‌های منفی سریم و آنومالی‌های مثبت ایتربیم مشابهِ الگوهای پراکندگی REE در آب‌های دریا بود، که نشان داد، این رسوبات تحت شرایط اکسیدان آب دریا تشکیل شده‌اند. آنومالی‌های نسبتاً مثبت یوروپیم و آنومالی‌های مثبت ایتربیم شیل‌های پایینی Niutitang، ممکن است، اختلاط سیال گرمابی و آب دریا را نشان دهند.

❖ یان و همکاران (۲۰۱۷)، غلظت عناصر کمیاب و کمیاب خاکی موجود در ۲۲ نمونه نفت خام و آب‌های همزاد جمع‌آوری شده از مخازن سازند Yanchang (به سن تریاس) و ژوراسیک سازند Yanan (به سن ژوراسیک) ۵ میدان نفتی موجود در منطقه Jiyuan از حوضه Ordos در شمال چین، را برای اولین بار بوسیله روش Icp-ms مورد آنالیز قرار دارند. نمونه‌های نفت به‌منظور طبقه‌بندی (تعیین گروه) نفت و تعیین منشأ و محیط رسوبی مواد آلی تشکیل‌دهنده آن نفت، بوسیله عناصر نادرشان مطالعه شدند. با جمع‌بندی کردن همه مقادیر نسبت‌های  $Co/Ni, V/Ni, V/V+Ni$  ، نشان دادند که مواد آلی ورودی ، منابع خشکی است و محیط ته‌نشست آن‌ها غیراکسیدان تا کمی اکسیدان بوده‌است. این مطالعه با مطالعات قبلی انجام شده بر نفت خام، براساس آنالیزهای عناصر کمیاب، متفاوت است . همچنین غلظت‌های REE در آب‌های همزاد نمونه‌ها، کمتر از مقدار آن‌ها در نفت خام را نشان داد. آنالیزهای خوشه‌ای، عمدتاً ، نفت نمونه‌های حوضه Ordos را به ۲ گروه اصلی طبقه‌بندی کرد. نتایج نشان داد، که بیشتر نفت‌های خام شمال منطقه Jiyuan ، از لایه‌های مادستون نشأت گرفته‌اند، درحالی‌که نفت‌های خام منطقه Hongde ممکن است از لایه‌های شیل‌نفتی نشأت گرفته‌باشد.

## ۱-۴-۱- مراحل مطالعه

مراحل انجام این تحقیق، شامل مطالعات دفتری، نمونه برداری، تجزیه شیمیایی، پردازش و تفسیر داده‌ها و سرانجام بحث و نتیجه‌گیری است. در این بخش به اختصار هر مورد را معرفی کرده و شرحی از آن ارائه می‌گردد.

### ۱-۴-۱-۱- مطالعات دفتری

گام نخست در هر تحقیق و پژوهشی، جمع‌آوری و مطالعه منابع و اطلاعات موجود است، پروژه حاضر نیز از این جهت مستثنی نیست. در این مرحله مقاله‌ها، گزارش‌ها، کارهای انجام گرفته و نقشه‌های تهیه‌شده توسط شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، در منطقه مورد مطالعه (میدان نفتی اهواز) و در مناطق مجاور و همچنین در بسیاری از مناطق دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است.

### ۱-۴-۱-۲- نمونه برداری

در این مرحله با استفاده از نتایج مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و لاگ‌های زمین‌شناسی، چاه‌های شماره ۶۷-۱۰۱-۲۲۰-۲۳۴-۲۹۶ برای مطالعه انتخاب شدند. مجموع نمونه‌ها از سازندهای زمین‌شناسی، کژدمی، پابده، گورپی، قاعده آسماری می‌باشند که تعداد ۱۳ نمونه سنگ از اعماق مختلف آن‌ها انتخاب شده است. این بخش از مطالعه با همکاری شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب انجام شده است.

### ۱-۴-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی

در این مرحله پس از تهیه نمونه‌ها و هدف از مطالعه، هر ۱۳ تا نمونه، برای انجام آنالیزهای اکسیدهای اصلی به روش طیف‌نگاری فلئوئورسانس اشعه ایکس<sup>۲</sup> (XRF) در آزمایشگاه تجزیه‌کنندگان کانسارهای بلورین آمیتیس شرق و برای انجام آنالیزهای مربوط به عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی، به روش‌های طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی- نشر اتمی<sup>۳</sup> (ICP-ES) و طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده القایی<sup>۴</sup> (ICP-MS)، در آزمایشگاه Acme کانادا، مورد آزمایش قرار گرفتند. ۱۳ نمونه انتخابی با رعایت استانداردهای لازم به ترتیب مراحل خردایش و نرمایش را پشت‌سر گذاشته و جهت همگن‌سازی تا زیر ۲۰۰- مش پودر شده‌اند. روش آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه به روش ICP-ES به صورت انحلال در مخلوط چهار اسید بوده است. همچنین آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه به روش XRF، به صورت تهیه قرص‌های پودری بوده است و حد قابل ثبت پایین روش XRF در اندازه‌گیری مقدار اکسید عناصر اصلی ۰/۰۵ درصد می‌باشد.

#### ۱-۴-۴- تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان‌نامه

نتایج حاصل از مراحل قبل به همراه مطالعه مقالات و کتب مرجع و استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری از جمله: Arc GIS، SPSS Statistics 24، IBS، GCDKIT2.3، Microsoft، CoreDRAW Graphics Suite X7، Grapher.v12.7.855، Office2010 پردازش، دسته‌بندی و تلفیق شده‌است و در نگارش پایان‌نامه از آن استفاده گردیده‌است.

---

1-X-Ray Fluorescence

2- Inductively coupled plasma emission spectroscopy

3- Inductively coupled plasma mass spectroscopy



# فصل دوم

## زمین‌شناسی

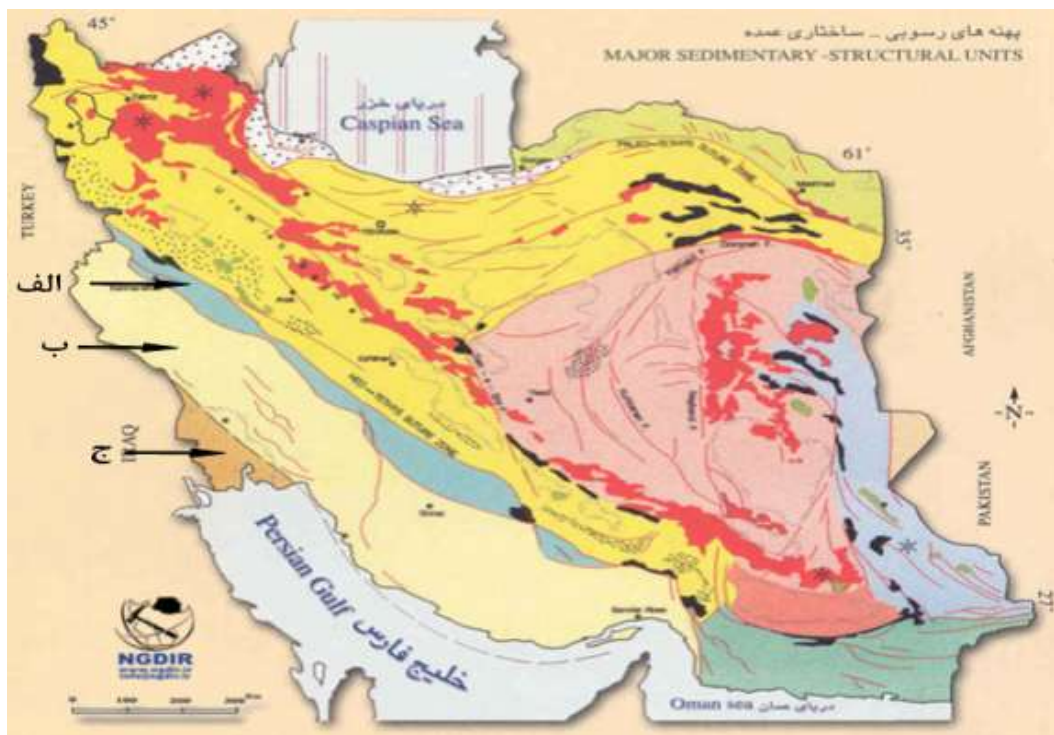
سلسله جبال زاگرس، به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا، از کوهستان‌های توروس در جنوب شرق ترکیه آغاز شده و تا گسل میناب در نزدیکی تنگه هرمز- به طول ۱۶۰۰ کیلومتر امتداد یافته است. عرض این کمربند به حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلومتر می‌رسد و از برخورد صفحه قاره‌ای عربستان در جنوب‌غرب، با ایران مرکزی در شمال‌شرق و حرکات فشاری بعدی آنها به‌وجود آمده است (اشکان، ۱۳۸۳). تاریخچه زمین‌شناسی این کمربند، نسبتاً ساده است. چنانکه رسوبگذاری تقریباً کاملی از پروتروزوئیک تا پلیوسن در آن ادامه داشته است. نهشته‌های پروتروزوئیک تا تریاس میانی بر روی پی‌سنگ پرکامبرین قرار گرفته است. حوضه رسوبی زاگرس، ساختار کنونی خود را در اثر عملکردهای فازهای تکتونیکی فشارشی به دست آورده است. فازهای اصلی در خاتمه تریاس (کوهزایی کیمبرین پیشین)، خاتمه ژوراسیک (فاز کیمبرین پسین یا نوادین) و در خاتمه کرتاسه (فاز لارامیدین) طی دوره الیگوسن و پلیوسن به‌وقوع پیوسته است. تغییرشکل تکتونیکی پیوسته زاگرس با شواهدی از چین‌خوردگی در سازندهای خیلی جدید و حتی معاصر و همچنین شواهدی از گسلش فعال، قابل اثبات است. ضمن این‌که حرکات متعدد کوهزایی و رشد سریع تاقدیسها در زاگرس، به‌ویژه در دامنه‌های جنوبی تشخیص داده شده است (بربریان، ۱۹۷۶).

ناحیه جنوب غرب ایران ۸۵٪ ذخایر نفتی کشور و تقریباً ۱۲ درصد از ذخایر نفتی جهان را در بر می‌گیرد (Bordenove & Burwood, 1990). به علت وجود مخازن نفتی بسیار مهم در رشته‌کوههای زاگرس، زمین‌شناسی این منطقه از دیرباز مورد کاوش و بررسی متخصصان مختلف و زمین‌شناسان نفتی جهان قرار گرفته است و سابقه این بررسی‌ها به دو دهه آخر قرن نوزدهم باز می‌گردد. از آن زمان تا به امروز اطلاعات زمین‌شناسی این منطقه از ایران

شامل انبوهی از گزارش‌های زمین‌شناسی است که اکثر آنها به صورت انتشار داخلی در صنعت نفت باقی مانده است.

## ۲-۲- زمین‌شناسی زاگرس

اشتوکلین<sup>۱</sup> (1968)، سه زیرپهنه ساختمانی مشخص با امتداد شمال‌غربی - جنوب‌شرقی شامل دشت خوزستان، زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع را در رشته کوه‌های زاگرس مشخص کرده است. نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (شکل ۱-۲) هم، زیرپهنه‌های دشت خوزستان، زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع را نشان می‌دهد (آقناباتی، ۱۳۸۳).



شکل (۱-۲). پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران: الف) زاگرس مرتفع، ب) زاگرس چین‌خورده، ج) دشت خوزستان (آقناباتی، ۱۳۸۳).

## ۲-۲-۱- دشت خوزستان

این دشت که قسمتی از دشت وسیع بین‌النهرین را نیز دربرمی‌گیرد، از نظر ساختمان زمین‌شناسی دنباله پلاتفرم عربی محسوب می‌شود. دشت خوزستان اغلب بوسیله رسوبات آبرفتی پوشانیده شده، به طوری که سازندهای زمین‌شناسی قدیمی آن از نظر پنهان است. اطلاعات حاصل از حفاری‌های متعدد چاه‌های نفت و بررسی‌های ژئوفیزیکی بیانگر آن است که سازندهای دوران پالئوزوئیک و سنوزوئیک در این ناحیه وجود دارد. دشت خوزستان از نظر ساختمانی نسبتاً ساده است و تنها چین‌خوردگی‌های بسیارملازم با روند شمالی-جنوبی که از محور چین‌خوردگی کلی پلاتفرم عربی پیروی می‌کند، در آن مشاهده می‌شود.

بر اساس بررسی‌های ژئوفیزیکی، مرز این دشت تا مرز چین‌خوردگی زاگرس (روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق) محور تاقدیس اهواز است. مرز دشت خوزستان با منطقه چین‌خورده زاگرس از نظر تغییرات رخساره کاملاً مشخص نیست. زیرا رسوبات کولابی دوره نئوژن که ضخامت آنها به طرف غرب افزایش می‌یابد، هر دو ناحیه را با رخساره مشابهی پوشانده است. به نظر افتخارنژاد (۱۳۵۹) این بخش از ایران جزء ناحیه چین‌خورده زاگرس است.

## ۲-۲-۲- منطقه چین‌خورده زاگرس

این منطقه که کوههای زاگرس را دربرمی‌گیرد در جنوب‌غرب ایران قرار دارد و به سمت شرق، به گسل میناب محدود می‌شود. ساخت زمین‌شناسی آن ساده و ملازم است و مجموعه‌ای از یک رشته تاقدیس‌های نزدیک به هم فشرده با سطح محور معمولاً قائم و با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی را شامل می‌شود. سنگ‌های رسوبی چین‌خورده این منطقه به طور متناوب از سنگ‌آهک یا دولومیت همراه با مارن و مارن‌های آهکی تشکیل شده است و با چین‌بندی کم‌وبیش ظریفی مشخص می‌شود.

منطقه چین خورده زاگرس از دوره تریاس بالایی به بعد ، وضعیت کاملاً متفاوت با سایر قسمت‌های ایران داشته و حوضه‌ای با فرونشست پیوسته، همراه با رسوبگذاری ممتد (تراف زاگرس ) را تشکیل می‌داده است.

ضخامت رسوبات دریایی در این حوضه بیش از چند هزار متر است که به‌طور هم‌شیب ، رسوبات پلاتفرم پالئوزوئیک (مشابه رسوبات ایران مرکزی و البرز) را در ناحیه زاگرس می‌پوشاند. ضخامت زیاد رسوبات نمک‌دار کامبرین‌پیشین در شرق زاگرس کاملاً مشابه رسوبات شرق عربستان و شرق ایران مرکزی است. به‌طور کلی رسوبات ضخیم زاگرس، تنها در مراحل آخر کوهزایی آلپی ، یعنی در دوره پلیو- پلیستوسن چین خورده‌اند و می‌توان آنها را به سه قسمت تقسیم کرد:

الف) رسوبات تا اواخر تریاس با خصوصیات پلاتفرمی

ب) رسوبات اواخر تریاس تا میوسن از نوع رسوبات زمین‌ناودیسی (ژئوسینکلینالی)

ج) رسوبات کنگلومرا هم‌زمان یا بعد از کوهزایی آلپی پسین مربوط به زمان پلیو- پلیستوسن .

همان‌گونه که اشاره شد ، منطقه چین خورده زاگرس از یک‌سری چین‌های نامتقارن با محور شمال‌غربی- جنوب‌شرقی تشکیل شده است. به گونه‌ای که در رسوبات کولابی کامبرین پیشین، ژوراسیک و میوسن چین‌های ناهماهنگ متعددی پدید آمده و گنبد‌های نمکی کامبرین در غرب چین خوردگی زاگرس تغییرات اندکی در سیستم کلی چین خوردگی ایجاد کرده است.

با وجودی که در منطقه چین خورده زاگرس، بین رسوبات هم شیبی وجود دارد، اما گوناگونی جنس آن‌ها و تغییرات زیاد ضخامت محلی به محل دیگر ، نشانه نوعی جنبش خشکی‌زایی است که ناهمواری‌های بسیار ملایمی را در کف حوضه رسوبی پدید آورده است. به همین دلیل در حال حاضر در برخی از نقاط، نبود چینه‌شناسی همراه با رسوبات لاتریتی که نشان دهنده

پسروی کامل دریاست مشاهده می‌شود. محور این ناهمواری‌ها ، برخلاف محور اصلی چین‌خورده زاگرس، در جهت شمالی- جنوبی است و با محور چین‌خوردگی عربستان مطابقت دارد. این موضوع بیانگر آن است که زاگرس، قسمت حاشیه‌ای و پرتحرک پلاتفرم عربی را تشکیل می‌دهد و در مراحل پایانی رسوبگذاری در این حوضه زمین‌ناودیسی ، محور چین‌خوردگی بر اثر تغییرات تدریجی به سمت جنوب‌غرب متمایل شده است.

در جنوب زاگرس یک رشته‌ارتفاعات تپه‌ماهوری به سن آلپی ، محتوی ذخایر بزرگ نفتی وجود دارد که تا قسمتی از منطقه ساحلی خلیج فارس گسترش می‌یابد. این رشته ارتفاعات بیشتر از رسوبات میوسن بالایی و پلیوسن تشکیل شده است.

به عقیده نبوی (۱۳۵۵) ، برشی از منطقه چین‌خورده زاگرس که سری چینه‌شناسی کامل‌تری را نشان می‌دهد، کوه سورمه واقع در غرب قیر است. در اینجا رسوبات بوسیله یک ناپیوستگی فرسایشی به دو قسمت مشخص به‌شرح زیر تقسیم می‌شود:

۱) قسمت زیرین، که از لایه‌های شیلی و ماسه‌سنگی و سیلتستون با فسیل‌های اردوویسین تشکیل شده است. سنگ‌های مربوط به سیستم‌های سیلورین، دونین و کربونیفر در این برش مشاهده نشده است.

۲) بخش بالایی که از سنگ آهک و شیل‌های پرمین تشکیل شده است و با ناپیوستگی فرسایشی، روی قسمت زیرین قرار می‌گیرد. روی سنگ‌های پرمین سریهای کربناتی (آهک و دولومیت) همراه با کمی شیل و مارن و ماسه‌سنگ متعلق به تریاس تا میوسن ، به‌طور هم‌شیب ، می‌پوشاند که ضخامت کل آن‌ها حدود ۱۱۴۰۰ متر و نشانگر توالی رسوبگذاری حوضه رسوبی زاگرس است. این رسوبات به‌وسیله کنگلومرای بختیاری به سن پلیو- پلیستوسن به‌طور دگرشیب پوشانده می‌شود.

فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه چین‌خورده زاگرس مشاهده نمی‌شود و تنها در گنبد‌های نمکی، آثاری از سنگ‌های نفوذی از قبیل دیاباز دیده شده است که سن آنها به اواخر پرکامبرین نسبت داده می‌شود.

از نظر فعالیت‌های دگرگونی نیز به جز قطعاتی از سنگ‌های دگرگونی که در گنبد‌های نمکی مشاهده شده است هیچ برونزدی وجود ندارد.

## ۲-۲-۳- منطقه روراندۀ زاگرس:

در این منطقه سنگ‌های مزوزوئیک به طرف جنوب غرب رانده شده و با ساختمان‌های فلسی روی قسمت بالایی دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک قرار گرفته است. منطقه روراندۀ زاگرس را به نواحی عمیق زمین ناودیس زاگرس در دوران مزوزوئیک و اوایل دوران سنوزوئیک نسبت داده‌اند که رسوباتی به‌طور هم‌شیب به ضخامت ۳۵۰۰ متر، از لیاس تا ائوسن، شامل مارن‌های گلوبیژرین‌دار، رادیولیت همراه با سنگ‌های اوفیولیتی و رسوبات آواری از نوع فلیش در آن انباشته شده است. روراندگی زاگرس با امتداد مستقیم و شمال غرب- جنوب شرق، نشانگر یک شکستگی بسیار عمیق و قدیمی است که مرز پلاتفرم عربی و ایرانی را مشخص می‌کند. عوامل این شکستگی اولین بار در ابتدای کامبرین فعال بوده است.

با توجه به اینکه در آغاز کامبرین قسمت اعظم ایران مرکزی را حوضه‌ای کم‌عمق از نوع جلگه‌ای فرا می‌گرفته، از اینرو حوضه رسوبی زاگرس یک حوضه کولابی به‌شمار می‌آمده است. اما در بقیه مدت دوران اول، این دو حوضه رسوبی، وضع یکسانی پلاتفرمی داشته است (اشکان، ۱۳۸۳).

فعالیت دوباره زمین‌ساختی در تریاس بالایی- لیاس که با تشکیل زمین‌ناودیس زاگرس همزمان بوده، منجر به تغییر شرایط وضعیت رسوبگذاری در حوضه رسوبی زاگرس شده درحالی که مرکز ایران هنوز تا حدودی خصوصیات پلاتفرمی خود را حفظ کرده است.

منطقه رورانده زاگرس مرتفع‌ترین قسمت کوه‌های زاگرس را در برمی‌گیرد. به‌همین دلیل آن را زاگرس مرتفع نیز می‌نامند.

بهترین برونزدهای پالئوزوئیک زاگرس مرتفع را می‌توان در کوه گهکم و شمال فراغون مشخص می‌شود و واحدهای چینه‌شناسی دیگر پالئوزوئیک (باروت- زاگون- لالون و میلا) و سنگ‌های اردوویسین در زردکوه، کوه دینار و سبزکوه گسترش دارد.

از دوره پرمین به بعد شرایط رسوبی به منطقه چین‌خورده زاگرس بسیار شبیه می‌شود. وجود سنگ‌های اولترابازیک و افیولیت همراه با رادیولاریتها که در نواحی کرمانشاه و نیریز گسترش زیادی دارد، از ویژگی‌های منطقه رورانده زاگرس است و تفاوت آنرا با منطقه چین‌خورده زاگرس نشان می‌دهد. همچنین نبود چینه‌شناسی مربوط به قبل از ماستریشتین در کرتاسه بالایی دیده می‌شود که از اختصاصات زاگرس مرتفع است و تاکنون در زاگرس چین‌خورده گزارش نشده است.

زاگرس مرتفع از نظر فعالیت‌های ماگمایی و دگرگونی با زاگرس چین‌خورده تفاوتی ندارد. مرز شمالی و شرقی منطقه رورانده زاگرس کاملاً مشخص است و به گسل‌های راست‌گرد زاگرس و میناب محدود می‌شود. حدود ۳۰ گنبد نمکی در این منطقه تشخیص داده شده است که از نظر جنس سنگ‌ها به گنبد‌های نمکی زاگرس چین‌خورده شبیه است. این گنبد‌های نمکی اغلب در امتداد گسل‌ها واقع شده است و روند موازی با روند زاگرس دارد. زاگرس مرتفع تا جنوب ترکیه با عرض کمتری ادامه می‌یابد (نبوی، ۱۳۵۵).

## ۲-۳- چینه‌شناسی زاگرس

شرح چینه‌شناسی کامبرین تا عهد حاضر در ضخامتی بیش از ۹۵ کیلومتر و زمانی حدود ۵۱۱ میلیون سال به اختصار توضیح داده می‌شود (وثوقی، ۱۳۹۰).

### ۲-۳-۱- پالئوزوئیک



رسوبات این دوره بیرون زدگی محدود و پراکنده ای دارند که توصیف چینه شناسی این دوران را مشکل میسازد. بصورت محلی در کوه دینار وزردکوه ردیف هایی از شیل و دولومیت های سازند باروت وجود دارد که بر روی آن ها به ترتیب ردیفی از ماسه سنگ های قرمز و شیل های رنگی سازندهای زاگون و لالون قرار دارند و دولومیت ها، توالی سازند میلا را تشکیل می دهند. به طرف بالا ماسه سنگ ها و شیلهای به ترتیب تشکیل دهنده سازندهای ایلبیک، زردکوه و سیاه و متعلق به اردوویسین و شیلهای گراپتولیت دار معروف به سازند سرچاهان متعلق به سیلورین هستند و پس از یک دگرشیبی فرسایشی ماسهسنگهای سازند زکین متعلق به دونین ظاهر میشوند. پس از هیاتوس کربونیفر، پیشروی عمومی در پرمین با ماسه سنگهای فراقون آغاز میگردد. پس از آن پیشروی عمومی با رسوبات کربناتی تبخیری سازند دالان تعقیب می گردد (مطیعی، ۱۳۸۹).

## ۲-۳-۲- مزوزوئیک

این دوره خود به سه دوره تریاس، ژوراسیک و کرتاسه تقسیم میشود که در ادامه هر کدام جداگانه شرح داده می شوند:

## ۲-۳-۲-۱- تریاس

تریاس از یک پاراکانفورمیتی با سازند آهکی کنگان آغاز می شود و در یک فاز پسروی همراه با رسوب گذاری سازند تبخیری کربناته دشتک این سازند به طرف شمال شرقی با سازند دولومیت خانه کت جایگزین می گردد و در انتها به دگرشیب فرسایشی تریاس- ژوراسیک ختم می شود (مطیعی، ۱۳۸۹).

## ۲-۳-۲-۲- ژوراسیک

در اواخر لياس یک پيشروی عمومي، نواحی شمالی سراسر جنوب غربی را با رسوب گذاری کربنات ها پوشانده است که شامل سازندهای نيريز و سورمه خود به وسیله رسوبات تبخیری هیث پوشانیده می شود که گویای یک پسروری است . البته سازند اخیر فقط در فارس و شرق خوزستان توسعه یافته است. دیگر سازندهای تشکیل دهنده ژوراسیک لرستان و دزفول شمالی، سازند تبخیری عدايه، دولومیت موس، تبخیری علن، شیل و دولومیت نجمه و بالاخره تبخیری گوتینا هستند (مطیعی، ۱۳۸۹).

### ۲-۳-۲-۳- کرتاسه

در اواخر ژوراسیک قسمت شرقی زاگرس به خصوص ناحیه فارس علیا شروع به بالا آمدن نموده که حاصل آن فرسایش یافتن سازندهای هیث و قسمت بالایی سازند سورمه بوده است و پس از آن پيشروی عمومي کرتاسه در آغاز نئوکومین با رسوب گذاری کربنات های سازند فهلیان در فارس و شرق فروافتادگی دزفول شروع و تداوم یافته است. در همین زمان در لرستان و غرب فروافتادگی دزفول این شروع با سازند شیلی گرو با محیط عمیق معین می گردد، در حالیکه در میانه نئوکومین حوضه رسوبی در غرب فروافتادگی کم عمق شده و سازند فهلیان بر روی سازند گرو قرار گرفته است. سازند آهکی داریان با سن آبتین دربرگیرنده آهک های رسوب شده در محیطی کم عمق است که بودن آن در فروافتادگی دزفول به اثبات رسیده است. سازند فهلیان به وسیله شیل ها و کربنات های سازند گدوان از سازند فهلیان جدا می گردد ولی در پاره ای از نواحی که سازند گدوان حضور ندارد تفکیک سازندهای فهلیان و داریان غیرممکن است. در نواحی شمالی فروافتادگی دزفول سازند داریان به صورت جانبی با سازند کژدمی به سن آلبین جانشین می شود در حالی که در لرستان رسوب گذاری سازند شیل گرو ادامه داشته است. آهک های راسب شده در محیط کم عمق سازند سروک با سن آلبین تا تورنین پوشاننده تمامی سازند کژدمی می باشد. سازند سروک یکی از مخازن اصلی نفتی بعد از سازند آسماری می باشد

که میدان‌های مهمی را تشکیل داده و دارای تولید بسیار خوبی می‌باشد. در طی سنومانین عقب‌نشینی دریا موجب شده است که رسوبات سروک پایینی دچار فرسایش شوند، درست در همین ایام یک تکتونیک خفیف موجب بالآمدن ساختمان‌های بزرگی در راستای شمالی-جنوبی شده است. بعضی از آن ساختمان‌ها تا پایان کرتاسه از آب برون مانده‌اند. سازند سروک به وسیله سازند سورگاه از سازند کربناتی ایلام جدا می‌شود. سازند سورگاه از شیل تشکیل شده است و معادل آن در فارس ساحلی به نام لافان خوانده می‌شود در بعضی از نواحی دیگر آهک‌های سازند ایلام بدون واسطه بر روی سازند سروک واقع می‌شوند. یک پیشروی عمومی از نواحی شمال شرقی باعث می‌شود که شیل‌های سازند گورپی با سن سانتونین - ماستریشین بر روی سازند ایلام قرار گیرند. رسوب‌گذاری سازند گورپی تا پایان کرتاسه ادامه می‌یابد، در نواحی شیراز به جای این سازند ریفتی تاربور حاوی رودیست رسوب نموده است (مطیعی، ۱۳۸۹).

## ۲-۳-۳- ترشیاری

این دوره در سه بخش پالئوسن - ائوسن، الیگو- میوسن و میوسن - پلیوسن - پلیاستوسن به اختصار شرح داده می‌شود:

## ۲-۳-۳-۱- پالئوسن - ائوسن

رسوبات این دوره‌ها شامل رسوبات کربناتی متعلق به محیط کم عمق سازند جهرم و رسوبات محیط عمیق سازند شیلی پابده می‌باشند. این ردیف‌ها در فارس و فروافتادگی دزفول به خوبی دیده می‌شوند، در حالی که در لرستان پابده به ردیفی از سازندها گفته می‌شود که از پایین به بالا شامل رسوبات آواری امیران، آهک تله‌زنگ، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای قرمز رنگ سازند کشکان و بالاخره آهک‌ها و دولومیت‌های سازند شهبازان تبدیل می‌گردد.

## ۲-۳-۳-۲- الیگوسن-میوسن

رسوبات این زمان سازند آسماری را تشکیل می‌دهند که پوشاننده سازند شیلی پابده و یا هم‌ارزهای سنی آن می‌باشد. این سازند شامل سنگ‌های کربناتی متعلق به محیط کم‌عمق با سن الیگوسن-میوسن است. سازند آسماری اولین سازندی که در ایران و خاورمیانه نفت در آن کشف گردید و درعین حال اولین سنگ مخزن آهکی شناخته شده در جهان می‌باشد (مطیعی، ۱۳۸۹).

## ۲-۳-۳-۳- میوسن - پلیوسن - پلیستوسن

سازندهای پوشاننده آسماری به گروه فارس معروف هستند و از پایین به بالا شامل سازند تبخیری گچساران، سازند آواری آغاچاری و بالاخره سازند کنگلومرای بختیاری هستند. به عقیده مطیعی (۱۳۸۹) سازند بختیاری گاهی به صورت تغییرات جانبی سازند آغاچاری دیده می‌شود. سازند گچساران به سمت شمال شرقی با سازند آواری رازک جانشین می‌شود. سازند گچساران به سمت شمال شرقی با سازند آواری رازک جانشین می‌شود. در فارس این سازند به صورت بخش‌های مول، چل و چمپه ظاهر شده است. سازند میشان که در ناحیه فارس و فروافتادگی دزفول دارای گسترش چشم‌گیری است، رفته رفته سمت لرستان ناپدید و با سازند آغاچاری جانشین می‌شود.

## ۲-۴- چینه‌شناسی حوضه رسوبی زاگرس در کرتاسه زیرین (نئوکومین):

### ۲-۴-۱- سازند فهلیان:

این سازند در گروه خامی قرار دارد و شامل ۳۶۰ متر آهک‌های خاکستری تا قهوه‌ای رنگ است که عمدتاً توده‌های الیتی و هم‌چنین در قسمت قاعده، قدری برشی شده است.

این سازند در قاعده با دولومیت‌های قهوه‌ای تیره رنگ و دانه شکر متعلق به سازند شورمه (ژوراسیک) و در راس با رسوبات مازنی و آهک‌های نازک لایه سازند گدوان ظاهراً، کنتاکت هم‌شیب دارد.

سازند فهلیان در نواحی شمال شرقی خوزستان مشاهده می‌شود. اما در جنوب غربی خوزستان و لرستان تبدیل به شیل و آهک‌های خاکستری رنگ شکیلات گرو می‌شود.

#### ۲-۴-۲- سازند گدوان :

این سازند از مارن‌های تیره سبز و قهوه‌ای مایل به زرد و یا شیل و آهک‌های رسی مایل به سیاه تشکیل شده است. در حدود ۱۰۶/۵ متر ضخامت دارد، بر روی سازند فهلیان قرار گرفته و طبقات رأس آن ۱ سازند داریان بطور هم‌شیب در تماس است.

#### ۲-۴-۳- سازند داریان :

این سازند از ۲۸۶/۵ متر آهک‌های حاوی اریتولینای فروان به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای با لایه‌بندی ضخیم تشکیل شده است.

#### ۲-۴-۴- سازند گرو:

این سازند به ضخامت ۷۵۰ متر از شیل‌های تیره رنگ و آهک‌های بسیار دانه‌ریز که به سمت بالا به ماسه‌سنگ گلوکونیت‌دار تبدیل می‌شود، تشکیل شده است.

#### ۲-۴-۵- گروه بنگستان :

از سازندهای کژدمی، سروک، سورگه و ایلام تشکیل شده است.

#### **الف) سازند کژدمی :**

به ضخامت ۱۲۰ متر از شیل‌های سیاه رنگ تیره و آهک‌های رسی تیره رنگ تشکیل شده و متعلق به آلبین است. سازند داریان را بوسیله یک افق قرمز رنگ پوشانیده است و در بالا بوسیله آهک‌های مارنی نازک لایه، قاعده سازند سروک پوشیده می‌شود.

#### **ب) سازند سروک:**

به ضخامت تقریبی ۸۰۰ متر و متشکل از آهک‌های رسی دانه ریز است که دارای لایه‌بندی و نودولار بوده در بخش زیرین و رسوبات کربناته گل سفید توده‌ای همراه با نودول‌های سیلیسی قرمز رنگ در بخش میانی و آهک‌های آهن‌دار در بخش انتهایی تشکیل یافته است. سن این سازند آلبین - سنومانین است.

#### **ج) سازند سورگه، لافان:**

این سازند به سن تورونین - سانتونین است و از ۱۷۵/۵ متر شیل‌های پیریت‌دار خاکستری مایل به سیاه و آهک‌های نازک لایه تشکیل شده است. این سازند در لرستان گسترش وسیعی دارد. معادل سورگه، سازند لافان در فارس قرار دارد که آن هم سازند شیلی است.

#### **د) سازند ایلام :**

آخرین سازند از گروه بنگستان و متعلق به سانتونین - کامپانین است. از ۱۹۰ متر آهک‌های رسی دانه ریز با چینه‌بندی منظم و نازک لایه همراه با لایه‌های نازک شیل‌های سیاه رنگ تشکیل شده است.

#### **۲-۴-۶- سازند گورپی :**

این سازند از دو بخش تشکیل شده است :

(۱) بخش آهک امام حسن به ضخامت ۱۱۴ متر با لایه‌بندی‌هایی به ضخامت ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر از آهک مارنی تیره‌رنگ با تناوب مارن و مارلستون تیره‌رنگ که در لرستان و خوزستان گسترش دارد.

(۲) بخش آهک لوفادار :

این بخش در لرستان قرار دارد و شامل آهک شیلی و مارن است و به علت دارا بودن فسیل لופا (Lopha) به نام آهک لوفادار مرسوم است.

**۲-۴-۷- رادیولاریتها :**

به مجموعه‌ای از چرت قرمز، خاکستری تا سبز رنگ شیل‌های قرمز و سبز و همچنین آهک‌های سیلیسی که همراه با سنگ‌های بازیگ و اولترابازیک است، اطلاق می‌شود. رادیولاریتها متعلق به کرتاسه بالایی است و در بعضی نقاط از جمله ماهیدشت تا پالئوسن نیز وجود دارد. این مجموعه در امتداد تراست زاگرس در نواحی لرستان، خوزستان و فارس گسترش دارد.

**۲-۴-۸- سازند امیران :**

شامل ۸۷۱/۵ متر از سیلتستون، ماسه‌سنگ تیره زیتونی، قهوه‌ای و قلوه‌هایی از سیلکس و نیز آهک صدف‌دار تشکیل شده است. در قاعده بطور تدریجی با مارن‌های خاکستری سازند گورپی در تماس بود و متعلق به دوره پالئوسن است.

**۲-۴-۹- سازند تله‌زنگ :**

شامل ۱۷۶ متر آهک تیره رنگ با لایه‌بندی متوسط و متعلق به پالئوسن، ائوسن میانی است که بطور هم‌شیب روی سازند امیران قرار گرفته است و بوسیله ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای قرمز سازند کشکان پوشیده می‌شود.

#### ۲-۴-۱۰- سازند کشکان :

شامل ۳۷۰ متر سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومراهای قرمز رنگ است که قسمت اعظم آن‌ها را سیلکس‌ها تشکیل می‌دهد. متعلق به ائوسن میانی است و بوسیله سازند شهبازان پوشیده می‌شود.

#### ۲-۴-۱۱- سازند شهبازان :

شامل ۳۳۲/۵ متر دولومیت‌های دانه شکری سفید و آهک‌های دولومیتی و متعلق به ائوسن میانی و بالایی است. این سازند فقط در لرستان دیده می‌شود و در میدان لب سفید (مرز دزفول شمالی با لرستان) دارای گاز است.

#### ۲-۴-۱۲- سازند پایده :

متعلق به پالئوسن پایانی و ائوسن و الیگو- میوسن بوده و شامل حدود ۸۰۰ متر شیل و آهک رسی خاکستری است. این سازند بر روی ساند گورپی قرار گرفته است و به وسیله سازند آسماری پوشیده می‌شود.

#### ۲-۴-۱۳- سازند آسماری :

آهک‌های فرات، آهک‌های خمیر و همچنین آهک‌های کلهر، نام‌های قبلی سازند آسماری کنونی است. این سازند از ۳۱۴ متر آهک‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ تشکیل شده است و متعلق به



الیگو- میوسن است. سازند آسماری در مقطع تیپ، بطور هم‌شیب بین سازند پابده (درزیر) و سازند گچساران (دربالا) قرار دارد. این سازند شامل ۲ بخش است :

(۱) بخش ماسه‌سنگی اهواز

(۲) بخش آهکی کلهر (آهکی- تبخیری)

**۲-۴-۱۴- سازند رازک :**

شامل ۸۰۴/۵ متر مارن‌های سیلتی قرمز مایل به سبز تا خاکستری و آهک‌های سیلتی و متعلق به میوسن زیرین است. این سازند در زیر با سازند آسماری و در بالا با سازند میشان بطور هم‌شیب در تماس است.

**۲-۴-۱۵- گروه فارس :**

شامل سازند گچساران، میشان و آجاجاری و متعلق به میوسن- پلیوسن است.

**الف) سازند گچساران :**

این سازند از ۷ بخش تشکیل شده و بیشتر شامل نمک، انیدریت و آهنگ نازک لایه و تناوبی از مارن خاکستری و قرمز است. این سازند با ضخامت تقریبی ۲۰۰۰ متر بر روی سازند آسماری قرار گرفته است و به وسیله سازند میشان بطور هم‌شیب پوشیده می‌شود.

**ب) سازند میشان :**

شامل ۷۱۰ متر مارن‌های خاکستری و آهک‌های صدف‌دار است. این سازند بطور عمده از مارن خاکستری تشکیل شده است.

**ج) سازند آجاجاری :**

شامل حدود ۳۰۰۰ متر ماسه‌سنگ‌های آهکی قهوه‌ای تا خاکستری و مارن‌های قرمز ژئوپس‌دار و نیز سیلتستون است. بطور تدریجی و هم‌شیب روی سازند میشان قرار گرفته است و به صورت دگرشیب به وسیله کنگلومرای بختیاری پوشیده می‌شود.

## ۲-۴-۱۶- سازند بختیاری :

۵۱۸ متر ضخامت دارد و از کنگلومرای سخت و مقاوم و ماسه‌سنگ کنگلومرای و گرینستون تشکیل شده و متعلق به پلیوسن پایانی است.

## ۲-۵- زمین‌ساخت زاگرس

ساختمان زاگرس نامتقارن بوده و یال پرشیب آن به سمت زاگرس مرتفع و یال کم شیب آن به سمت کشورهای عربی است (Berberian, 1995). کمربند چین خورده‌ی زاگرس از دیگر قسمت‌های ایران توسط راندگی زاگرس جدا می‌شود. در مورد زاگرس تقسیمات متعددی تاکنون منتشر گردیده است که مشهورترین آن‌ها توسط بربریان<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است. بر اساس طبقه بندی فالکون در سال ۱۹۶۱ در حوضه رسوبی زاگرس ۳ بخش مهم ساختمانی قابل تفکیک است که به ترتیب از شمال شرق به سمت جنوب غرب شامل زون‌های زیر می‌باشد:

(۱) زون ساختمانی پیچیده همراه با سنگ‌های دگرگونی

(۲) زون رورانده یا درهم زاگرس داخلی<sup>۶</sup>

(۳) زون ساده چین خورده<sup>۷</sup>

---

5 -Berberian

6 -Imbricated Trust Zone

7 -Zagros Foot hill, simple floded belt zone

اکثر مخازن نفتی ایران تاقدیس های کشیده ای هستند که غالباً در طی میوسن-پلیوسن به وجود آمده اند، این تاقدیس ها در زون زاگرس چین خورده قرار دارند.

تاقدیس های عظیم و نامتقارن زاگرس در نتیجه کوهزایی های پالئوسن و میوسن پسین تشکیل شده و بالآمدگی های شامل زون های لرستان در شمال و فارس در جنوب را ایجاد کرده اند. در این بین زون فروافتاده دزفول به مساحت ۵۰ هزار کیلومتر قرار دارد (Berberian, 1995). در زمان میوسن و به دنبال برخورد پلیت عربی با پلیت ایران، کوهزایی زاگرس ایجاد می شود و از این زمان به بعد این کمربند در طول زون های گسلی خود فعال بوده است (Tatar, et al. 2004).

از سمت کمربند کوهزایی به طرف خلیج فارس، شدت چین خوردگی رسوبات تدریجاً کاهش می یابد و سنگ های با سن جوان تر رخنمون می یابند، به طوری که در کنار زون تراستی رسوبات مزوزوئیک و در سواحل خلیج فارس رسوبات ترشیری بیرون زدگی دارند. تغییر شکل موجود در ناحیه زاگرس از نوع ساختمانی می باشد و در قسمت فروافتادگی دزفول و کرکوک دو ناحیه زین اسبی را بوجود آورده است (Berberian, 1995).

در انتهای کرتاسه و بعد از شروع برخورد میان پلیت های عربی و ایران، روند کنونی شمال غربی - جنوب شرقی کمربند تغییر شکل یافته زاگرس شکل می گیرد. فعالیت در طول زون های گسلی در کرتاسه سبب فرونشست بیشتر فروافتادگی ها (بویژه فرو افتادگی دزفول) شده و بدین صورت رسوب گذاری این حوضه را کنترل نموده است. تاقدیس های متعددی در زون زاگرس وجود دارند که ایجاد نفت گیرهای متعددی در زون زاگرس نموده اند. طویل ترین تاقدیس منفرد بیرون زده در زاگرس تاقدیس کبیرکوه با طول بیش از ۲۰۰ کیلومتر می باشد (Berberian, 1995). لایه های شیلی کژدمی، پابده، گورپی و لایه های تبخیری گچساران، می توانند به صورت محلی به عنوان دکولمان ثانویه عمل نمایند. همه این سطوح ناهماهنگ تولید

اشکال ساختمانی پیچیده نموده‌اند که باعث جدایی در خط الرأس ساختمان‌های مخزن از سطح تا عمق شده‌اند (Letouzey, et al. 2002).

طبق تقسیم بندی که توسط مطیعی در سال ۱۳۸۹ صورت گرفته، حوضه زاگرس از شمال شرق به جنوب دارای تقسیماتی ساختمانی این چنین می‌باشد: لرستان (لرستان جنوب غرب- لرستان مرکزی - لرستان شمال شرقی) ، برجستگی ایزه ، فروافتادگی دزفول (دزفول شمالی- دزفول جنوبی) ، دشت آزادگان ، خلیج فارس (شمال غرب کمان قطر-گابندی، شرق کمان قطر-گابندی) ، برجستگی فارس (فارس ساحلی-فارس نیمه ساحلی- فارس علیا) ، پسرگراں بندرعباس .

\* با توجه به اینکه میدان مورد مطالعه ما در ناحیه فروافتادگی دزفول و در زون چین خورده ساده زاگرس قرار دارد به شرح این منطقه می‌پردازیم:

## ۲-۶- کمر بند چین خورده ساده زاگرس

زون زاگرس چین خورده ساده واقع در جنوب غربی ایران، با پهنایی معادل ۲۵۰-۱۵۰ کیلومتر و روند شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد که در آن رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترشیری با ضخامت بیش از ۱۰۰۰۰ متر به‌طور هم‌شیب روی هم قرار دارند (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). از زمان اینفراکامبرین تا تریاس میانی وضعیت رسوب گذاری این زون مشابه ایران مرکزی و البرز بوده، اما از زمان تریاس به بعد این قسمت از سایر مناطق ایران جدا شده و در اثر فرونشست طولانی مدت، به‌صورت حوضه فرورفته‌ای درمی‌آید. جنس رسوبات در زمان فرونشست اصولاً کربناته است که حاوی مارن، ماسه و شیل نیز می‌باشد. رسوبات مذکور طی آخرین فاز کوهزایی آلپی (میو- پلیوسن) چین خورده و از آب خارج می‌شوند (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). به‌لحاظ ساختمانی کمر بند ساده چین خورده، بوسیله تاقدیسها و ناودیسهای موازی و دو پلانژ با امتداد شمال غرب- جنوب شرق مشخص شده‌اند (Miliaresis and Iliopoulou, 2004) که اکثراً در اثر مکانیسم

چین خوردگی خمشی - لغزشی شکل گرفته‌اند (Colman-Sadd, 1978). اکثر مخازن نفتی ایران تاقدیسهای کشیده ای هستند که غالباً در طی میوپلیوسن به وجود آمده‌اند. این تاقدیس‌ها در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارند و تولید نفت آن‌ها از سازندهای آسماری، ایلام، سروک و سازندهای گروه خامی صورت می‌گیرد (مطیعی، ۱۳۷۴).

کمر بند ساده چین‌خورده به بخش‌های فروافتادگی کرکوک، فروافتادگی دزفول، لرستان، ایزده، دشت آبادان و فارس تقسیم می‌شود.

## ۲-۷- فروافتادگی دزفول

فروافتادگی دزفول یک رویداد ساختمانی در جنوب غربی تراست زاگرس است که به علت پوشیده شدن سنگ آهک‌های آسماری توسط تبخیریه‌های گچساران دربرگیرنده اکثر میداین نفتی ایران می‌باشد (Berberian, 1995). شناخت این پدیده و زمان بکارگیری نام فروافتادگی دزفول<sup>۱</sup> به‌طور دقیق معین نیست ولی احتمالاً از سال‌های بعد از ۱۳۱۰ معمول گردیده است. در ابتدا این نام معرف خاصیت توپوگرافیک است ولی به‌صورت کلی تر ناحیه ای زاگرس است که در آن آسماری فاقد رخنمون است و در حقیقت ادامه آن در شمال به فروافتادگی کرکوک می‌رسد و تا شمال سوریه تداوم دارد. فروافتادگی دزفول در محاط سه پدیده‌ی ساختمانی مهم قرار دارد. در شمال به یک زون خمشی بنام زون خمشی بالارود با جهتی شرقی - غربی و در حد شمال شرقی به خمش جبهه کوهستان با راستای شمال غربی - جنوب شرقی محدود و در حد جنوب شرقی به یک زون پیچیده خمشی و گسلی با امتداد شمالی - جنوبی به نام زون گسله کازرون، محدود می‌گردد (مطیعی، ۱۳۷۴).

فروافتادگی دزفول نسبت به هر کدام از این عوامل دارای فروافتادگی بین ۸۱۱۱ تا ۶۱۱۱ متر می‌باشد. در مورد شروع شکل‌گیری فروافتادگی دزفول نظریات مختلفی ارائه شده است.

مطیعی در سال ۱۳۷۲، زمان شکل‌گیری فروافتادگی دزفول را بوردیگارین در نظر گرفته است. شکل عمومی این ناحیه در طی الیگوسن کامل شده و پس از آن اندکی تغییر کرده است (Bahroudi and Koyi, 2004). ناحیه فروافتادگی دزفول با مساحت حدود ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع تقریباً بیش از ۷۵ درصد مخازن نفت تولیدی ایران را در برمی‌گیرد. در ناحیه فروافتادگی دزفول حدود ۴۵ میدان عظیم نفتی وجود دارد. برخی از این میادین از جمله اهواز، آغاچاری، بی‌بی‌حکیمه، گچساران و مارون جزو میادین بسیار بزرگ با ذخیره نفت در جای بیش از ۱۰ تا ۵۰ میلیون بشکه می‌باشند (Bordenave, 2002). سنگ‌های منشأ شناخته شده در این ناحیه شامل سازندهای گرو، کژدمی، گورپی و پابده بوده که در شمال‌خاوری، نفت‌ها از هر سه منشأ کژدمی، گورپی و پابده در مخازن آسماری و بنگستان دیده می‌شوند و در سایر نواحی نفت‌های آسماری و بنگستان تنها از منشأ کژدمی هستند (Bordenave and Burwood, 1990). نفتگیرهای ساختمانی و یا به عبارتی تاقدیس‌ها تنها نوع نفتگیرها را در فروافتادگی دزفول تشکیل می‌دهند که در حقیقت از انواع چین‌های خوابیده، برگشته، متقارن، نامتقارن و آرام تشکیل می‌شوند و معمولاً ناهماهنگی بین چین‌خوردگی سازند گچساران و چین‌خوردگی آسماری و سازندهای قدیمی‌تر دیده می‌شود. در زون فروافتادگی دزفول تعدادی خطواره شمالی- جنوبی و شرقی- غربی دیده می‌شوند که منشأ آن‌ها مانند خمش بالارود و زون گسله کازرون از پی‌سنگ می‌باشند و از گسل‌های امتدادلغز هستند که در طول کرتاسه فوقانی عمل کرده‌اند (Sepehr and Cosgrove, 2004).

## ۲-۸- میدان نفتی اهواز

میدان نفتی اهواز در استان خوزستان، در نزدیکی شهر اهواز، در جنوب غربی ایران، در موقعیت جنوب تا جنوب غربی فرو افتادگی دزفول شمالی قرار دارد و دارای روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، به موازات رشته‌کوه زاگرس می‌باشد. طول میدان اهواز ۶۷ کیلومتر و عرض آن ۶

کیلومتر است. این میدان نفتی، از شمال با میدان نفتی رامین، از شرق با میدان نفتی مارون، از جنوب با میادین نفتی شادگان و منصوری و از غرب با میادین نفتی آبتیمور و سوسنگرد مجاور است. میدان نفتی اهواز ساختاری تاقدیسی دارد و تقریباً از آخرین بخش‌های ناحیه چین‌خورده به حساب می‌آید. این تاقدیس بر روی یک بال‌آمدگی (هورست) که در طبقات قدیمی‌تر اتفاق افتاده و به صورت نابرجا، در زیر تاقدیس سطحی اهواز از سازند آغاچاری واقع است، قرار دارد. تاقدیس اهواز کم و بیش متقارن می‌باشد.

مخازن اصلی این میدان شامل سازند آسماری و گروه‌های بنگستان و خامی است که مخزن آسماری در عمق ۲۵۰۰ متری، بنگستان در عمق حدود ۳۰۰۰ متری و خامی در عمق ۴۶۰۰ متری واقع شده است (McCord, 1975).

در مطالعه حاضر، نمونه مورد بررسی، سنگ‌های منشأ نفت میدان نفتی اهواز، می‌باشد. از آنجا که طبق اطلاعات دریافت شده از شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، دریافتیم که، مجموعه سنگ‌های منشأ نفت این میدان شامل مجموعه سازندهایی است که ۱- به‌عنوان منشأ اصلی در این میدان اثبات شده است (سازند کژدمی) ۲- منشأ بودنش بصورت محلی است (سازند پابده) ۳- بنابر دلایل گوناگون آورده شده در فصل ۴، در این میدان، پتانسیلی ندارد (سازند گورپی) ۴- رفتاری دوگانه مخزن- منشأ نشان می‌دهند (مانند شیل قاعده‌ای سازند مخزنی آسماری)، لذا نمونه سنگ‌های منشأ نفت این میدان، توسط شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب از مجموع این چهار سازند انتخاب و در اختیار ما قرار گرفت تا اینکه هدف اصلی این پروژه، که بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب در سنگ‌های منشأ نفت میدان نفتی اهواز است، صورت پذیرد. لذا در پایان به شرح هر یک از این سازندها که نمونه‌های آن را مورد مطالعه قرار دادیم، می‌پردازیم:

## ۲-۸-۱- سازند کژدمی

نام سازند کژدمی از قلعه کژدمی در ناحیه فروافتاده دزفول انتخاب شده است. قبلاً این سازند قسمتی از واحد شیل‌های آمونیت‌دار محسوب می‌شد و گاهی آن را سازند عباد نیز می‌خوانده‌اند. بُرش نمونه سازند کژدمی در تنگ گورگودا واقع در یال جنوب شرقی کوه میش قرارداد این تنگ در ۷ کیلومتری شمال شرق دوگنبدان واقع است و ضخامت این واحد در مقطع نمونه ۲۱۰ متر تخمین زده است.

این سازند، سنگ منشأ بسیار مهمی در حوضه رسوبی زاگرس است (آقابات‌ی ۱۳۸۳). میزان کل کربن آلی (TOC) در میانه حوضه فروافتاده دزفول بین ۳ تا ۱۱ درصد می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۴).

رخساره شیلی سازند کژدمی را می‌توان در تمام خوزستان و فارس دید ولی در ناحیه لرستان، این سازند وجود ندارد با توجه به حضور پلانکتون‌ها، روزن‌داران، خارپوستان و آمونیت‌ها (در گذشته نام این سازند شیل‌های آمونیت‌دار بوده)، سن سازند شیلی کژدمی، آلبین تا سنومانین است. تغییرات جانبی سازند کژدمی زیاد است. گاهی با سازند گرو جانشین می‌شود گاه آهکی شده و یا به صورت زبانه در داخل سازند داریان است و گاهی نیز با سازندهای بورقان و نهر عمر از کویت و جنوب عراق تداخل زبانه‌ای دارد (مطیعی، ۱۳۷۲).

## ۲-۸-۲- سازند گورپی

در بیشتر نواحی زاگرس، سازند گورپی شامل مارن، شیل‌های خاکستری مایل به آبی است که میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک رُسی دارد و به دلیل زود فرسا بودن، رخنمون آن فرسوده است.

در فارس داخلی، رخساره آهکی سازند تابور، به طور بین انگشتی جانشین سازند گورپی می‌شود. اگرچه مرز زیرین سازند گورپی با سازند ایلام (درزیر) تدریجی گزارش شده، ولی سطح هوازده در این مرز می‌تواند نشانگر ناپیوستگی خفیف باشد. در نقاطی که ایلام وجود ندارد،



گورپی روی سَرُوک بوده و در این حالت، ناپیوستگی رسوبی بیش از سازند گورپی آشکارتر است. در لرستان مرز بالایی گورپی با شیل‌های ارغوانی سازند پابده با شواهدی از دگرشیبی فرسایشی گزارش شده‌است. سازند گورپی، در همه جا همزمان نیست. در نواحی فارس و خوزستان مرز زیرین گورپی، سانتونین و مرز بالایی آن ماستریشتین است. در لرستان، لایه‌های زیرین به سن کامپانین و لایه‌های بالایی تا پالئوسن ادامه دارد. سازند گورپی، سنگ پوشش مخازن نفتی سَرُوک است. سازند گورپی دارای دو عضو آهکی رسمی (امام حسن، سیمره) و یک عضو غیر رسمی (آهک منصوری) است (مطیعی، ۱۳۷۲).

سنگ‌های این سازند از نظر وجود مواد آلی ضعیف (حدود ۱/۵ تا ۰/۵ درصد) محسوب می‌شوند، البته در شمال فارس و شمال شرقی فروافتادگی دزفول مقدار درصد مواد آلی بیشتر است (مطیعی ۱۳۷۴).

## ۲-۸-۳- سازند پابده

متشکل از حدود ۸۰۰ متر مارن و شیل‌های خاکستری و لایه‌های آهک رُسی دریایی است که دو بخش غیر رسمی به نام‌های «بخش شیل ارغوانی» و «بخش آهک‌های چرتی» دارد. بخش پایینی سازند پابده (۱۴۰ متر) از جنس شیل و مارن آبی و ارغوانی است که به طور رسمی به آن «شیل ارغوانی» گفته می‌شود. ولی بخش باقیمانده آن، شیل‌های خاکستری و لایه‌های آهک رُسی و گاهی چرت‌دار است. در صد شیل و آهک رُسی یکنواخت نیست، گاهی شیل، و گاه آهک برتری دارد.

سازند پابده به ویژه در نواحی جنوب باختری لرستان، خوزستان و نواحی جنوبی فارس گسترش دارد. از جنوب باختری لرستان به سمت نواحی مرکزی و شمال خاوری لرستان، این سازند به صورت جانبی و زبانه‌ای با سازندهای آواری امیران و کشکان و کربنات‌های سازندهای تله‌زنگ و شهبازان جایگزین می‌شود و در فارس داخلی، سازند پابده جای سازند جهرم را

می‌گیرد. به زبان‌های آهکی سازند تله‌زنگ موجود در سازند پابده، «بخش آهکی تله‌زنگ» نام داده شده که نوعی سنگ‌آهک مارنی - متورق حاوی سنگواره ماهی و فلس ماهی است. سازند پابده بسیار غنی از مواد آلی است (آقا نباتی ۱۳۸۳).

## ۲-۸-۴- سازند آسماری

سازند آسماری در تقادیس کوه آسماری واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مسجدسلیمان در شمال استان خوزستان رخنمون دارد و بعنوان مقطع نمونه سازند آسماری معرفی شده است. این سازند به ضخامت ۳۱۴ متر متشکل از سنگ آهک‌های کرم تا قهوه‌ای روشن می‌باشد که در بخش تحتانی واجد لایه‌های مارنی می‌باشد. در قسمت قاعده سازند، افق تبخیری با لیتولوژی انیدریت به ضخامت ۸ متر در تنگ گل ترش واقع در یال جنوبی تقادیس آسماری وجود دارد که بعنوان انیدریت قاعده‌ای (Basal Anhydrite) نامیده شده که در واقع زبانه‌ای از بخش تبخیری کلهر می‌باشد. وجود بخش تبخیری کلهر در میادین واقع در جبهه کوهستانی شمال منطقه خوزستان در سکانس حفاری شده آسماری محرز می‌باشد. مرز زیرین سازند آسماری در محل مقطع نمونه بصورت تدریجی است که با وجود لایه‌های مارنی به رنگ سبز زیتونی سازند پابده مشخص می‌شود. مرز فوقانی آن بصورت تدریجی به انیدریت‌های سازند گچساران منتهی می‌گردد.

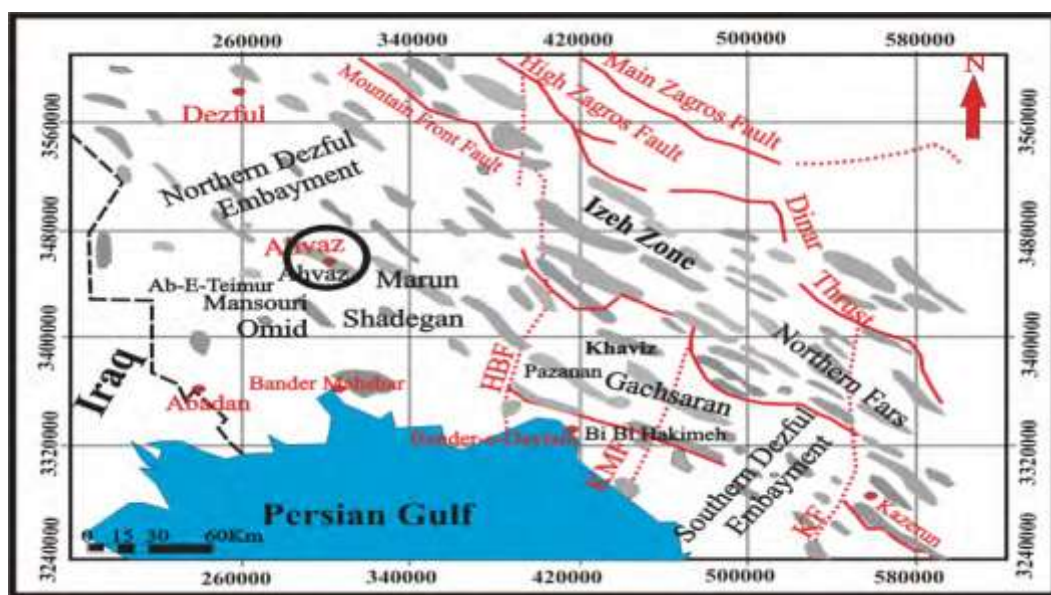
سازند آسماری در میدان اهواز به ۱۰ زون تقسیم شده است که زون‌های A10 و A11 که در قاعده آسماری قرار دارند عمدتاً شیلی هستند، با این وجود در برخی از چاه‌های این میدان، از این زون نفت تولید شده است.

**الف) زون A10:** این زون متشکل از شیل ها ، سیلتستون و ماسه سنگ های بیوتوربیدایت می باشد که دارای لایه های نازک گلی قرمز رنگ هستند. در زیر میکروسکوپ گاهی خرده های فرامینفرها در آنها مشاهده می شود.

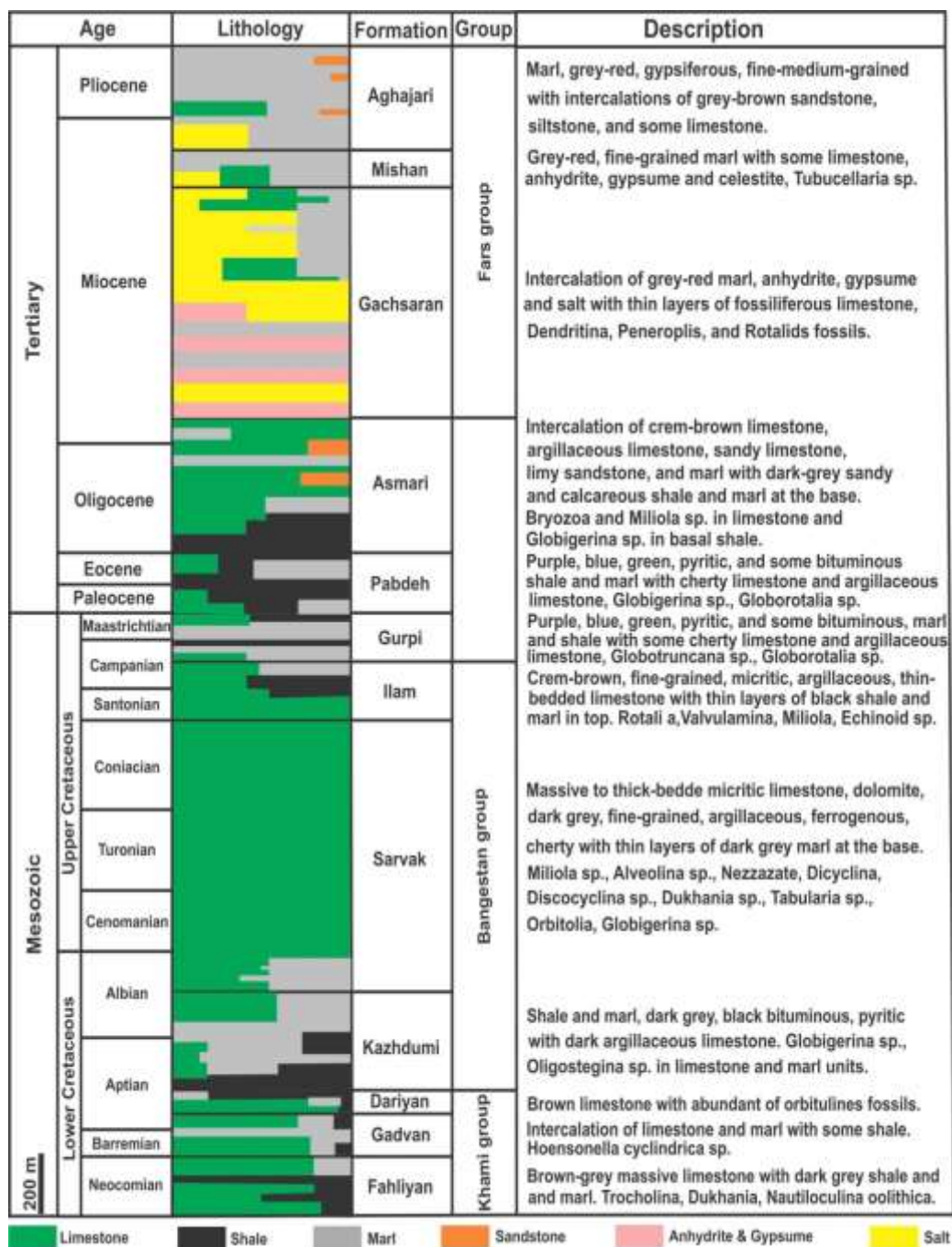
در این زون ساخت لامیناسیون های متقاطع، موازی و بیوتوربیشن وجود دارد. ماسه سنگ های بخش پایینی این زون، درشت شونده به طرف بالا هستند و معرف پیشروی این رخساره به سمت دریاست به عبارت دیگر حاکی از پایین رفتن نسبی سطح آب دریاست. نهشته های شیلی این زون هم بعنوان نهشته های بین خلیج های دهانه ای (Interdistributary bay) یا نهشته های قسمت انتهایی دلتا (Prodelta) تفسیر می شود. رنگ قرمز معرف شرایط اکسیدان است. میان لایه های ماسه در درون سیلت ها معرف افزایش فعالیت دلتاست که منجر به نقل و انتقال رسوبات درشت به فواصل بیشتر از ساحل به طرف دریا می شود. لایه های نازک کربنات دلالت بر یک دوره عدم فعالیت دلتا در هنگامیکه بار معلق کاهش یافته و شرایط برای تولید رسوبات بیوژنیک مساعد شده است را دارد.

**ب) زون A11:** در اواخر الیگوسن، تراز گستره پایین افتادگی سطح آب دریا در مقیاس جهانی (FRST) منجر به رسوبگذاری شیل های زون A11 در مرز تدریجی سازند پابده با سازند آسماری گردیده است. رسوبگذاری سازند آسماری در این زمان آغاز و به شدت از باز شدن دریای سرخ تاثیر می پذیرد. باز شدن دریای سرخ یک منشأ مهم برای رسوب سیلیسی آواری فراهم می کند بطوریکه در ادامه چرخه آسماری باعث ورود حجم زیادی از رسوبات سیلیسی آواری به درون حوضه زاگرس می گردد. سطح دیرینه (Paleosurface) حاشیه حوضه زاگرس کنترل کننده مهمی بر روی ماهیت و نوع محیط های رسوبی که در ابتدا تشکیل شده اند، محسوب می شود به گونه ای که علاوه بر شکل سطح دیرینه، گسترش و توسعه رخساره های

پابده و زون A11 را که ادامه سازند پابده از نظر شرایط رسوبگذاری است، منجر شده است. شیل های سازند پابده و زون A11 در میدان اهواز که جزء بخش میانی حوضه زاگرس می باشد، رسوبگذاری در آب های نسبتاً عمیق تا نیمه عمیق را نشان می دهند بطوریکه ماسه های زون A11 بدلیل فراوانی شیل ها، پیوستگی کمتری را نشان می دهند. در حالیکه در حاشیه جنوبی حوضه زاگرس، رسوبگذاری کربناته غالب بوده و بنابر این رسوبگذاری نسبتاً سریعی در آب های کم عمق تر روی داده است. از این رو به نظر می رسد که شیل های زون A11 بخش انتهایی یک سیستم دلتایی باشند به طوری که شیل های این زون با آهنگی پیوسته و تدریجی به شیل های عمیق تر پابده تبدیل می گردند. (گزارش شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب).



شکل (۲-۲). موقعیت جغرافیایی میدان نفتی اهواز در فروافتادگی دزفول (Sherkati and 2004).  
 .(Letouzey,



شکل (۲-۳). تصویر شماتیکی از ستون چینه‌شناسی میدان نفتی اهواز که براساس تلفیق اطلاعات چینه‌شناسی ۵ حلقه چاه (۲۹۶، ۲۳۴، ۲۲۰، ۱۰۱، ۶۷) ترسیم شده است.



فصل سوم

ژئوسمپتی

## ۳-۱ مقدمه

پس از بررسی زمین‌شناسی و چینه‌شناسی سنگ‌های رسوبی مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه بررسی دقیق و همه‌جانبه سنگ‌ها از جمله تفسیر منشأ و پتروژنز آن‌ها، همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها بدون مطالعات ژئوشیمیایی، امکان‌پذیر نیست. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی آواری بستگی به عامل‌هایی نظیر ترکیب رسوبات منشأ، پستی و بلندی، آب و هوای دیرینه، حمل و نقل، جورشدگی و دیاژنز دارد (Yan et al., 2010). اگرچه در رسوبات آواری اثرات دیاژنزی همچون تبلور دوباره، آلبیتی شدن فلدسپارها و شستشوی کانی‌های فرعی می‌تواند موجب اختلالاتی در تفسیر برخواستگاهی شود (Blatt, 1985; McBride, 1985)، اما بررسی و تفسیر ژئوشیمیایی در سنگ‌های رسوبی آواری به‌عنوان ابزار قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی و شناسایی خاستگاه آن‌ها استفاده می‌شود (Cullers, 2000; Zimmermann and Bahlburg, 2003; Armstrong-). از آن جایی که نهشته‌های شیلی دانه ریز بوده و نفوذپذیری بسیار کمی دارند می‌توانند ترکیب کانیایی سنگ منشأ را در خود حفظ کرده که بدین سبب در بررسی‌های برخواستگاهی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Hessler and Lowe, 2006). موقعیت تکتونیک حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عامل اصلی در کنترل ترکیب رسوبات آواری محسوب می‌شود (Dickinson, 1985). فرایندهای تکتونیک صفحه‌ای از دو طریق متفاوت ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاصی را به رسوبات منتقل می‌نمایند. محیط‌های مختلف تکتونیک که دارای خصوصیات سنگ منشأ متفاوتی هستند و محیط‌هایی که توسط فرایندهای رسوبی خاصی مشخص می‌گردند (Dickinson, 1985). استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی نیز می‌تواند افزون بر روش‌های سنگ‌نگاری در طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی و همچنین تفکیک میان رسوبات بالغ و نابالغ مؤثر واقع شود (Dass et al., 2006). در این پژوهش، به‌منظور مطالعات ژئوشیمیایی



سنگ‌های منشأ نفت، پس از بررسی لاگ‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی چاه‌های میدان نفتی اهواز تعداد ۵ حلقه چاه به شماره‌های ۶۷،۱۰۱،۲۲۰،۲۳۴،۲۹۶ انتخاب گردید و ۱۳ نمونه از سازندهای متشکل سنگ‌های منشأ نفت این میدان مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل، ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی کمیاب سنگ‌های منشأ نفت با بکارگیری روش‌های مختلف، توصیف شده است، که در ادامه به‌طور جداگانه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

### ۲-۳ - ژئوشیمی عناصر اصلی

در این پژوهش، برای مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز، تعداد ۱۳ نمونه انتخاب شده است، که مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده این عناصر در (جدول ۳-۱) آورده شده است. این نمونه‌ها از واحدهای سنگی سازندهای کژدمی، گورپی، پابده، و قاعده آسماری برداشت شده‌اند. مطالعه عناصر اصلی به ۱۰ عنصری محدود می‌شود که به‌طور مرسوم در تجزیه‌های شیمیایی به‌صورت اکسید بیان می‌شوند و شامل  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  و  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  هستند (Rollinson, 1993)، مطابق آنچه در (جدول ۳-۲) آورده شده است. توزیع عناصر اصلی در سنگ‌ها، منعکس کننده ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها است. در این میان، اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  متحرک و اکسیدهای  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$  غیرمتحرک می‌باشند (Bauluz, 2000). به این دلیل که  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در طی هوازدگی، دیاژنز و متامورفیسم، نسبتاً بدون تغییر است، معمولاً به‌عنوان فاکتوری جهت مقایسه بین لیتولوژی‌های مختلف به کار می‌رود. فرایندهای کنترل کننده ترکیب عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی را می‌توان با استفاده از نمودارهای به‌هنجارسازی شبیه به نمودارهای عنکبوتی بررسی کرد. این نمودارها در سنگ‌های رسوبی می‌توانند غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نامحسوس برخی از عناصر خاص را نشان دهند (Rollinson, 1993). مطالعات نشان داده است

که غلظت بسیاری از عناصر در سنگ‌های رسوبی ریزدانه فلات قاره سراسر جهان به دلیل آمیختگی ناشی از چرخه‌های مکرر فرسایشی شبیه به یکدیگر هستند. از اینرو پراستفاده‌ترین مقادیر به‌هنجارسازی (نمونه‌های مرجع) در سنگ‌های رسوبی، ترکیب بالایی پوسته قاره‌ای و ترکیب شیل آمریکای شمالی است که می‌توان با به‌هنجارسازی عناصر میزان رسیدگی رسوب، موقعیت زمین‌ساختی و همچنین اطلاعاتی در مورد منشأ رسوبات را نیز به دست آورد (Zimmermann and Bahlburg, 2003). در این بین نسبت عناصر  $K_2O/Na_2O$ ,  $Fe_2O_3/K_2O$  و  $SiO_2/Al_2O_3$  نیز برای بررسی موقعیت زمین‌ساختی و منشأ رسوبات بیشترین کاربرد را دارند (Herron, 1988; Roser and Korsch, 1988).

Sample No	Formation	Lithology	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	Mn
AZ1	Kazhdomi	limestone	2.99	1.05	0.80	0.59	32.41	0.81	0.26	0.04	0.06	0.02
AZ2	Kazhdomi	Calcareous shale	8.21	2.26	1.34	0.53	25.23	0.21	0.75	0.06	0.05	0.01
AZ3	Kazhdomi	Argillaceous shale	19.71	9.00	4.95	0.65	4.30	0.33	0.70	0.60	0.05	0.04
AZ4	Pabdeh	Marly shale, high carbonatized	10.44	2.35	1.31	1.30	25.26	0.46	0.68	0.11	0.07	0.02
AZ5	Pabdeh	Marly shale, carbonatized	5.23	1.55	1.16	0.49	31.96	0.72	0.70	0.10	0.04	0.02
AZ6	Gurpi	Marly shale and marly limestone	4.74	1.90	1.05	0.34	32.25	0.51	0.54	0.09	0.04	0.01
AZ7	Asmari	Argillaceous shale	24.01	9.09	5.59	1.74	4.11	0.91	2.98	0.61	0.06	0.05
AZ8	Pabdeh	Calcareous shale	11.64	2.73	1.98	0.71	22.43	0.83	0.92	0.17	1.07	0.01
AZ9	Pabdeh	marly limestone	7.77	2.96	1.65	0.92	33.09	0.84	0.79	0.16	0.06	0.02
AZ10	Asmari	Sandy limestone	16.31	5.44	4.29	2.90	10.38	0.20	1.98	0.32	0.06	0.04
AZ11	Pabdeh	Cherty calcareous shale	18.25	1.06	0.85	0.48	20.76	0.19	0.33	0.06	0.37	0.01
AZ12	Pabdeh	limestone	10.83	1.53	1.47	0.58	32.66	0.47	0.61	0.08	0.06	0.01
AZ13	Gurpi	Calcareous shale	5.55	1.30	0.94	0.51	29.44	0.74	0.76	0.10	0.05	0.01

جدول (۳-۱). مقدار عناصر اصلی (درصد وزنی) و مجموع REE در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

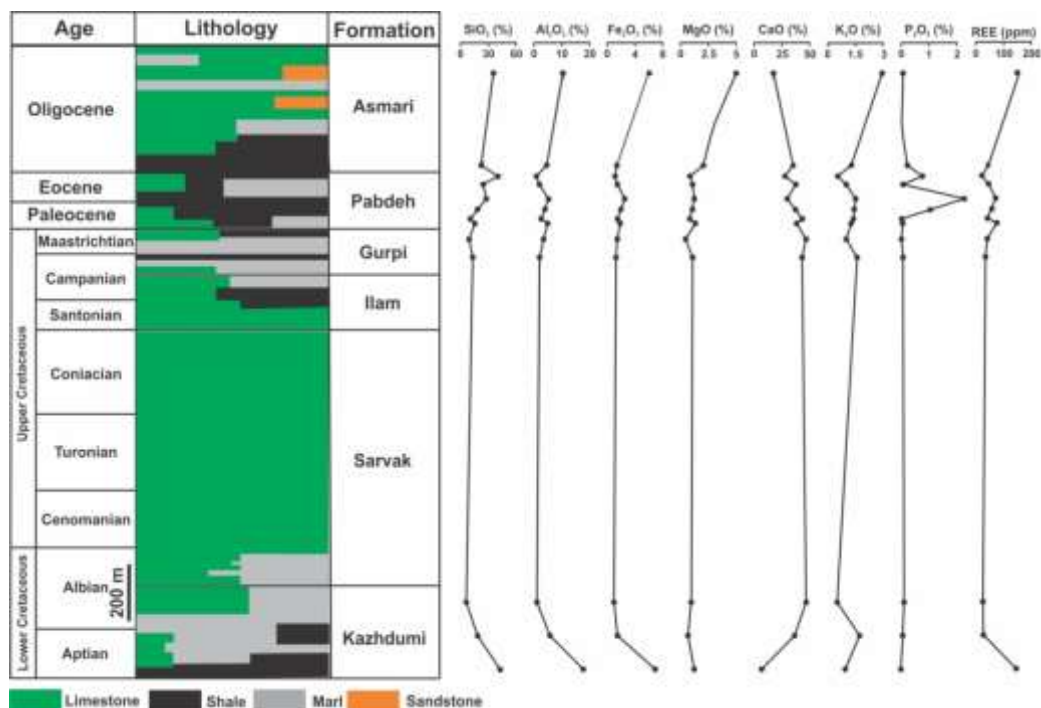
جدول (۳-۲). مقدار اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

Sam ple. No	Formation	Lithology	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	SO <sub>3</sub>	L.O.I
AZ1	Kazhdomi	limestone	42.17	18.25	6.77	1.07	6.29	0.47	0.91	1.16	0.09	0.05	2.42	17.77
AZ2	Kazhdomi	Calcareous shale	51.37	15.8	6.39	2.64	4.81	1.16	3.16	1	0.11	0.05	1.19	11.76
AZ3	Kazhdomi	Argillaceous shale	11.88	2.21	1.28	0.94	42.54	0.77	1.58	0.13	0.14	0.02	0.6	36.16
AZ4	Pabdeh	Marly shale, high carbonatized	34.88	11.29	5.83	4.91	16.71	0.36	2.88	0.6	0.13	0.05	1.84	20.34
AZ5	Pabdeh	Marly shale, carbonatized	11.19	2.42	1.5	0.8	43.07	0.79	1.31	0.12	0.12	0.03	0.84	36.64
AZ6	Gurpi	Marly shale and marly limestone	39.04	1.86	1.21	0.81	27.65	0.3	0.53	0.09	0.85	0.02	1.44	25.98
AZ7	Asmari	Argillaceous shale	16.62	3.94	1.76	1.33	38.14	0.96	1.18	0.19	0.13	0.02	1.2	33.42
AZ8	Pabdeh	Calcareous shale	24.89	5.24	2.3	1.18	29.25	1.3	1.43	0.25	2.27	0.02	3.1	27.64
AZ9	Pabdeh	marly limestone	23.17	2.19	1.5	0.97	37	0.56	0.85	0.1	0.14	0.02	0.46	32.26
AZ10	Asmari	Sandy limestone	22.34	3.77	1.64	2.29	34.76	0.68	1.25	0.16	0.17	0.03	1.05	31.37
AZ11	Pabdeh	Cherty calcareous shale	10.14	2.98	1.36	0.55	44.15	0.59	1	0.12	0.12	0.02	0.81	37.25
AZ12	Pabdeh	limestone	6.39	1.66	1.02	0.92	43.74	0.85	0.53	0.06	0.16	0.03	2.24	39.4
AZ13	Gurpi	Calcareous shale	17.56	5.41	1.57	0.88	35.47	0.36	1.28	0.11	0.15	0.02	2.91	31.23

### ۳-۲-۱- فراوانی عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ

اکسیدهای SiO<sub>2</sub>، CaO، و L.O.I به ترتیب فراوان‌ترین اکسیدهای اصلی در واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه می‌باشند، که به‌وسیله Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> دنبال می‌شوند، (جدول‌های ۳-۱ و ۳-۲). در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز مقدار SiO<sub>2</sub> از ۶/۳۹ درصد در نمونه سنگ آهک از سازند کژدمی تا ۵۱/۳۷ درصد در نمونه شیلی-مارنی از سازند آسماری تغییر می‌نماید. مقدار CaO

از ۴/۸۱ درصد در نمونه شیلی- ماری از سازند آسماری تا ۴۴/۱۵ درصد در نمونه سنگ آهک ماری از سازند گورپی در تغییر است. مقدار پارامتر L.O.I. از ۱۱/۷۶ درصد در نمونه شیلی- ماری از سازند آسماری تا ۳۹/۴۰ درصد در نمونه سنگ آهک از سازند کژدمی تغییر می نماید. مقدار  $Al_2O_3$  از ۱/۶۶ درصد در نمونه سنگ آهک از سازند کژدمی تا ۱۸/۲۵ درصد در نمونه شیل آرژیلی از سازند کژدمی در نوسان است. اکسیدهای  $Fe_2O_3$  و  $MgO$  از فراوانی متوسطی در سازندهای زمین شناسی میدان اهواز برخوردار هستند. مقدار  $Fe_2O_3$  از ۱/۰۲ درصد در نمونه سنگ آهک از سازند کژدمی تا ۶/۷۷ درصد در نمونه شیل آرژیلی از سازند کژدمی، و مقدار  $MgO$  از ۰/۵۵ درصد در نمونه شیل ماری از سازند گورپی تا ۴/۹۱ درصد در نمونه سنگ آهک ماسه‌ای از سازند آسماری تغییر می کند. اکسیدهای  $K_2O$ ،  $Na_2O$ ، و  $SO_3$  فراوانی ضعیفی در سنگ‌های رسوبی منطقه دارند. مقدار  $K_2O$  از ۰/۵۳ درصد در نمونه شیل کربناتی چرت‌دار از سازند پابده تا ۳/۱۶ درصد در نمونه شیلی- ماری از سازند آسماری، و مقدار  $Na_2O$  از ۰/۳۰ درصد در نمونه شیل کربناتی چرت‌دار از سازند پابده تا ۱/۳۰ درصد در نمونه شیل کربناتی از سازند پابده تغییر می کند. مقدار  $SO_3$  نیز از سنگ‌های آهکی به شیل‌های کربناتی زیاد می شود. اکسیدهای  $P_2O_5$  (۰/۰۹ تا ۲/۲۷ درصد)،  $TiO_2$  (۰/۰۶ تا ۱/۱۶ درصد)، و  $MnO$  (۰/۰۲ تا ۰/۰۵ درصد) فراوانی خیلی ضعیفی در سنگ‌های رسوبی منطقه دارند. مقادیر  $P_2O_5$ ،  $TiO_2$ ، و  $MnO$  به ترتیب به سمت شیل‌های کربناتی، شیل‌های آرژیلی و سنگ‌های آهکی افزایش نشان می دهد (جدول‌های ۱-۳ و ۲-۳)، شکل (۱-۳).

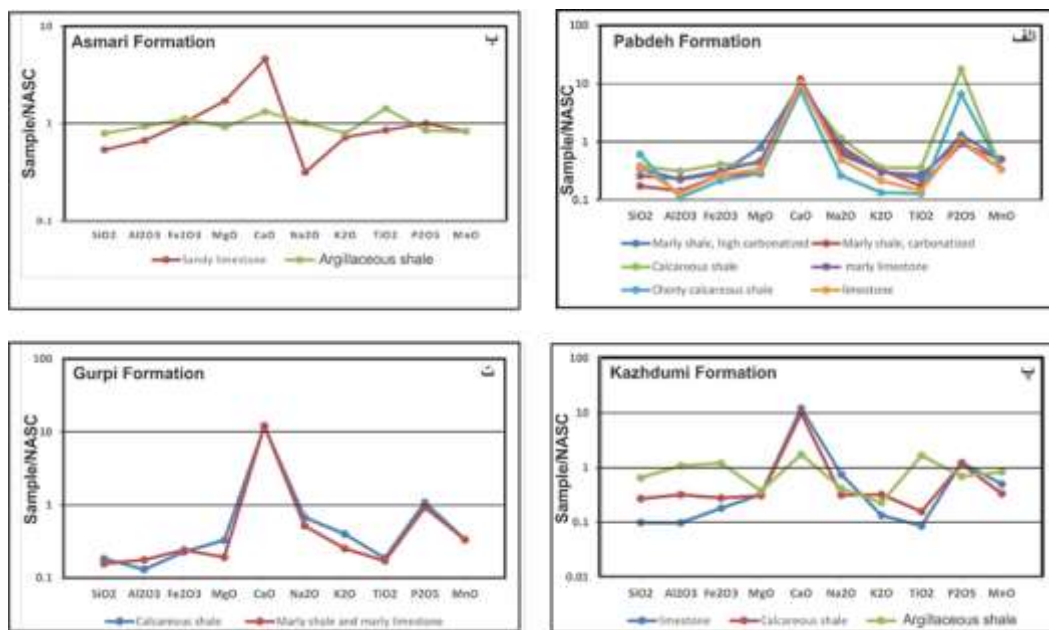


شکل (۱-۳). تصویر شماتیک از سازندهای زمین‌شناسی در میدان نفتی اهواز بر اساس تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی ۵ حلقه گمانه اکتشافی و مقایسه تغییرات عناصر در نمونه‌های انتخابی از سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و قاعده آسماری.

### ۳-۲-۲- مقایسه فراوانی عناصر اصلی با نمونه‌های مرجع

برای مطالعه غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز، مقدار غلظت اکسیدهای عناصر در نمونه‌های انتخابی از سازندهای پابده، آسماری، کژدمی و گورپی به مقادیر آنها از ترکیب شیل آمریکای شمالی (NASC: Gromet et al., 1984) نرمال‌سازی نمودیم (شکل ۲-۳). در سازند پابده نمونه‌ها از واحدهای شیل مارنی، شیل مارنی به‌شدت کربناتی شده، شیل کربناتی، شیل کربناتی چرت‌دار، سنگ آهک مارنی، و سنگ آهک انتخاب شده است. مقادیر CaO در همه این نمونه‌ها نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند، مقدار P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> در شیل‌های مارنی، سنگ آهک‌های مارنی، و سنگ آهک‌ها مشابه NASC است، در حالیکه این مقدار در شیل‌های کربناتی بیشتر از NASC است. مقادیر SiO<sub>2</sub>، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، MgO، TiO<sub>2</sub>، K<sub>2</sub>O، Na<sub>2</sub>O و MnO کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است، و این تهی‌شدگی در مقدار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و TiO<sub>2</sub> سنگ آهک‌ها و شیل‌های کربناتی چرت‌دار بارزتر است (شکل ۲-۳، الف)

در سازند آسماری نمونه‌ها از واحدهای سنگ آهک‌ماسه‌ای و شیل‌های رسی قاعده‌ای انتخاب شده است. مقادیر CaO و MgO در سنگ آهک‌ماسه‌ای نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند، و این غنی‌شدگی در مقدار CaO قابل ملاحظه است. مقادیر  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است، و این تهی‌شدگی در مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  بارزتر است. مقادیر  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  مشابه ترکیب شیل آمریکای شمالی است. مقادیر CaO و  $\text{TiO}_2$  در شیل‌های رسی تا حدودی نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند، در حالیکه مقادیر سایر اکسیدها همانند NASC است (شکل ۲-۳، ب). در سازند کژدمی نمونه‌ها از واحدهای شیل کربناتی، شیل رسی و سنگ آهک انتخاب شده است. مقدار CaO در همه این نمونه‌ها نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند. مقدار  $\text{P}_2\text{O}_5$  نمونه‌ها مشابه NASC است، در حالیکه مقادیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ، MgO،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$  و MnO کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است. الگوی توزیع عناصر در شیل‌های رسی سازند کژدمی همانند شیل‌های رسی از سازند آسماری است (شکل ۲-۳، پ). در سازند گورپی نمونه‌ها از واحدهای شیل کربناتی، شیل مارنی و سنگ آهک‌های مارنی انتخاب شده است. مقدار CaO در همه این نمونه‌ها نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند. مقدار  $\text{P}_2\text{O}_5$  نمونه‌ها مشابه NASC است، در حالیکه مقادیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ، MgO،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$  و MnO کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است (شکل ۲-۳، ت).



شکل (۲-۳). الگوی به‌هنجار شده اکسیدهای عناصر اصلی در سازندهای منشأ نفت میدان اهواز به ترکیب شیل آمریکای شمالی: الف) واحدهای سنگی سازند پابده، ب) واحدهای سنگی سازند آسماری، پ) واحدهای سنگی سازند کژدمی، ت) واحدهای سنگی سازند گورپی.

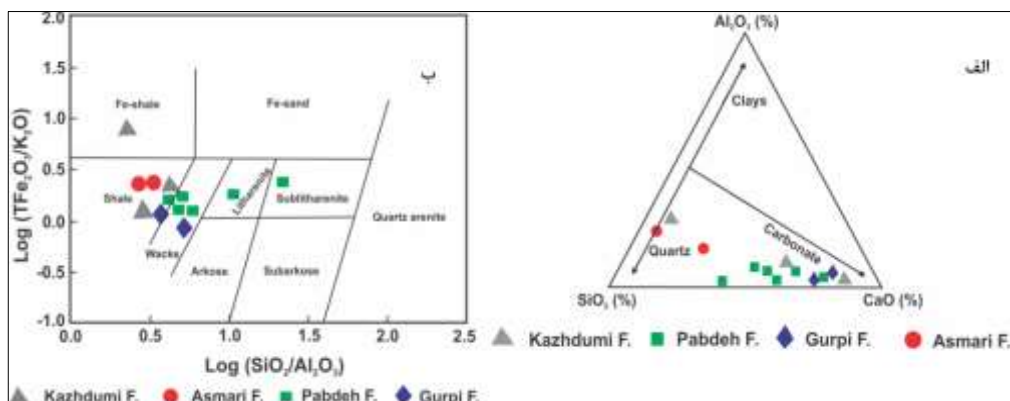
به طور کلی، مقدار CaO در سنگ‌های شیلی، مارنی و آهکی سازندهای پابده، آسماری، کژدمی و گورپی بیشتر از NASC، مقدار  $P_2O_5$  تا حدود زیادی همانند NASC و مقدار سایر اکسیدها کمتر از NASC است. مقدار بالای کربنات در سنگ منشأهای نفت میدان اهواز نشان از ته‌نشست کربنات‌ها در یک محیط دریایی باز است. در چنین محیط‌های رسوبی ورود مواد آواری از خشکی‌ها ضعیف است (Armenteros and Huerta, 2006; Aouidi et al., 2017).

### ۳-۲-۳- طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی بر اساس اکسیدهای اصلی

طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی آواری به گستردگی آذرین نبوده و اکثر سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی، ویژگی‌هایی را که در نمونه دستی یا مقاطع نازک قابل رؤیت هستند مانند اندازه دانه‌ها و کانی‌شناسی اجزا و ماتریکس به کار می‌برند. برخلاف سنگ‌های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی‌شناسی سنگ‌های رسوبی و ترکیب شیمیایی آن‌ها مشکل است. یکی از معیارهای معمول ژئوشیمیایی برای ارزیابی بلوغ رسوبات، مقدار Si و نسبت Al/Si



است، که فراوانی کوارتز، رس و فلدسپات‌ها را منعکس می‌کند (Potter, 1978). عنصر Si عمدتاً در کوارتز و کانی‌های رسی در رسوبات دانه ریز ظاهر می‌شود (Fu et al., 2010; Fu et al., 2010). نسبت Al/Si تا اندازه‌ای می‌تواند ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های رسوبی را منعکس نماید، این نسبت بتدریج با افزایش مقدار کوارتز کاهش می‌یابد (Fu et al., 2010; Li et al., 2018). نسبت‌های Al/Si در سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز از ۰/۰۶ در شیل‌های کربناتی تا ۰/۴۶ در سنگ آهک‌های مارنی و شیل‌های رسی تغییر می‌نماید (متوسط ۰/۲۹)، که مقدار بالای کوارتز را نسبت به کانی‌های رسی در این سنگ‌ها می‌رساند. نسبت‌های Ca/Si در سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز از ۰/۱۷ در شیل‌های رسی تا ۱۱ در سنگ‌های آهکی و آهک‌های مارنی تغییر می‌نماید (متوسط ۳/۱۵)، که مقدار بالای کربنات را نسبت به کوارتز و کانی‌های رسی در این سنگ‌ها نشان می‌دهد. در نمودار مثلثی  $Al_2O_3-SiO_2-CaO$  (He et al., 2016) اغلب نمونه‌های مورد مطالعه ما از میدان نفتی اهواز در قطب غنی از کربنات قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۳، الف). در نمودار  $Log (TFe_2O_3/K_2O)$  در مقابل  $Log (SiO_2/Al_2O_3)$  از هرون (Herron, 1988)، نمونه‌های انتخابی از سازندهای پابده، آسماری، کژدمی و گورپی، اغلب در محدوده شیل واقع شده‌اند، قرارگیری بعضی از نمونه‌ها در محدوده ماسه‌سنگ‌های نوع وک و لیتارنایت‌ها به دلیل مقدار بالای چرت و کانی‌های رسی در ترکیب این سنگ‌ها است (شکل ۳-۳). با محاسبه نسبت  $Si/(Si+Al+Fe)$  میتوان فاصله محیط نهشته‌گذاری سنگ‌های رسوبی از سنگ والد آنها را ارزیابی نمود، بدین ترتیب که با افزایش فاصله مقدار این نسبت کاهش می‌یابد (Chen and Sun, 2004). مقدار متوسط نسبت  $Si/(Si+Al+Fe)$  برای سازندهای آسماری، کژدمی، گورپی، و پابده از میدان نفتی اهواز به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۳، ۰/۶۶ و ۰/۷۴ برآورد شده است (متوسط ۰/۶۶) و نشان می‌دهد که سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز در فاصله نزدیکی از سنگ‌های والد خود نهشته شده‌اند.



شکل (۳-۳). الف) نمودار مثلی که سهم نسبی عناصر  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $CaO$  در سنگ‌های رسوبی نشان می‌دهد (He et al., 2016)، ب) طبقه‌بندی سنگ‌شناسی نمونه‌های میدان نفتی اهواز که اغلب در محدوده شیل قرار گرفته‌اند (نمودار پایه از Herron, 1988).

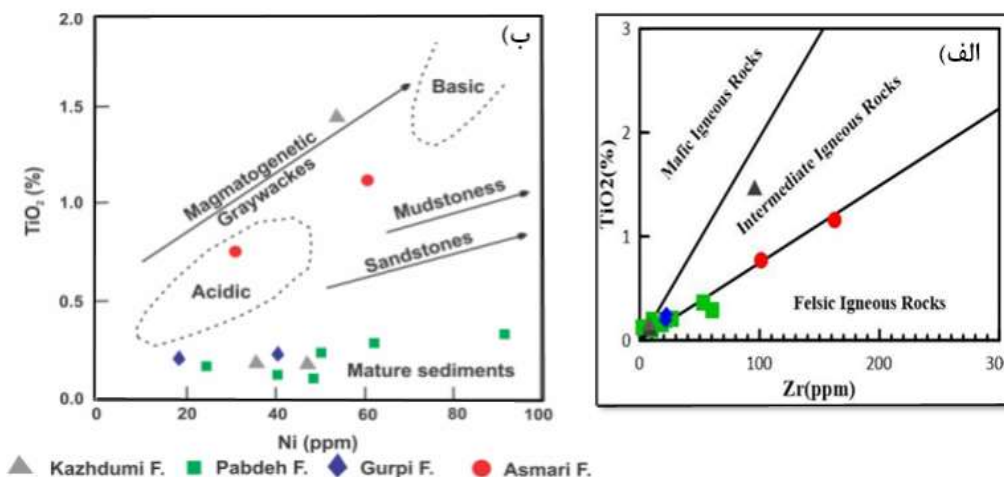
### ۳-۲-۴- ترکیب سنگ‌های والد

مطالعه ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب اطلاعات با ارزشی را در باره ترکیب سنگ‌های والد سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و آسماری در اختیار گذاشتند. نسبت  $K_2O/Na_2O$  در نمونه‌های میدان نفتی اهواز از ۰/۶۲ تا ۸ می‌باشد (جدول ۳-۳)، که بسیار بیشتر از مقدار این نسبت در ترکیب شیل آمریکای شمالی (۰/۲۹) است. این نشان می‌دهد که Na احتمالاً در طول دیاژنز پسین توسط K جانشین می‌شود (Fedo et al., 1995)، یا در فرایند هوازدگی مهاجرت می‌نماید (Tao et al., 2016).

به دلیل حلالیت پایین Al و Ti در طول فرایندهای هوازدگی و حمل (Hu et al., 2015)، نسبت‌های  $Al_2O_3/TiO_2$  برای بررسی ترکیب سنگ‌های منشأ بکار برده می‌شود (Oni et al., 2014; Hu et al., 2015). نسبت  $Al_2O_3/TiO_2$  برای رسوباتی که از سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط، و فلسیک منشأ می‌گیرند به ترتیب از ۳ تا ۸، ۸ تا ۲۱، و ۱۵ تا ۷۰ تغییر می‌کند (Girty et al., 1996; Hayashi et al., 1997). این نسبت برای سنگ‌های میدان نفتی اهواز از ۱۶ تا ۴۹ محاسبه شده است، و تفسیر سنگ‌های منشأ فلسیک تا حدواسط را برای این رسوبات تقویت می‌نماید. این موضوع با ترسیم نمونه‌ها بر روی دیاگرام دو بعدی  $TiO_2$  در مقابل Ni

(Floyd et al., 1989) نیز تایید می‌شود (شکل ۳-۵، ب).

نسبت‌های عناصر کمیاب نظیر Th/Cr و Th/Co نیز در سنگ‌های منشأ فلسیک و مافیک/ اولترامافیک متفاوت هستند (Armstrong-Altrin et al., 2012). مقدار Th/Cr در رسوباتی که از سنگ‌های منشأ فلسیک و مافیک مشتق می‌شوند به ترتیب از ۰/۱۳ تا ۲/۷۰ و ۰/۱۸ تا ۰/۴۶ تغییر می‌کند (Armstrong-Altrin et al., 2016). این مقدار برای نمونه‌های میدان نفتی اهواز از ۰/۰۱ تا ۰/۱۴ در نوسان است، که منشأگیری آنها را از سنگ‌های آذرین حدواسط نشان می‌دهد. مقدار Th/Co در رسوباتی که از سنگ‌های منشأ مافیک مشتق می‌شوند از ۰/۰۴ تا ۱ تغییر می‌نماید (Armstrong-Altrin et al., 2016). این مقدار برای نمونه‌های میدان نفتی اهواز از ۰/۲۱ تا ۰/۶۰ است، که با اشتقاق آنها را از سنگ‌های آذرین مافیک انطباق نداشته، و گرایش سنگ‌های والد آنها را به سنگ‌های حدواسط نشان می‌دهد (جدول ۳-۳). رسوباتی که از سنگ‌های آذرین مافیک منشأ می‌گیرند، دارای مقدار Cr/Ni بیشتر از ۳ می‌باشند (Garver et al., 1996)، این نسبت برای نمونه‌های میدان نفتی اهواز از ۱ تا ۲/۳ است، و تفسیر منشأ آنها از سنگ‌های فلسیک تا حدواسط (به‌ویژه انواع حدواسط) را قوت می‌بخشد (جدول ۳-۳).



شکل (۳-۴). سنگ‌های والد نمونه‌های میدان اهواز بر پایه: الف) نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Zr (Paikaray et al., 2008).

ب) نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Ni (Floyd et al., 1989).

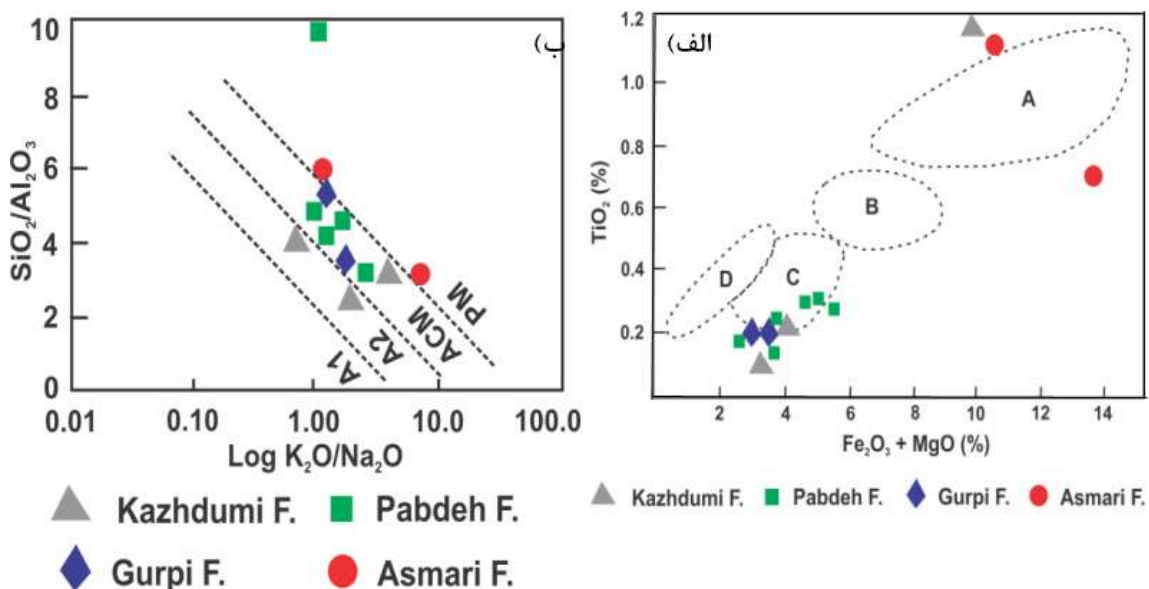
در نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Zr ( الف، شکل ۳-۴) و نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Ni (ب، شکل ۳-۴)، که برای تعیین سنگ‌های والد رسوبات به کار گرفته می‌شود، نمونه‌های مربوط به سازندهای منشأ میدان نفتی اهواز در محدوده سنگ‌های آذرین حدواسط تا فلسیک قرار می‌گیرد.

جدول ۳-۳. نسبت‌های Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، Th/Cr، Th/Co، Cr/Ni، و K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O برای تعیین سنگ والد رسوبات در میدان نفتی اهواز.

Sample.No	Formation	R.Type	Cr/Ni	Th/Co	Th/Cr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>
AZ1	Kazhdomi	limestone	1.71	0.45	0.01	27.67
AZ2	Kazhdomi	C.shale	2.28	0.22	0.01	49.18
AZ3	Kazhdomi	Ar.shale	2.18	0.50	0.07	15.73
AZ4	Pabdeh	HC.M.Shale	1.18	0.36	0.04	23.56
AZ5	Pabdeh	C.M.Shale	1.04	0.28	0.03	20.17
AZ6	Gurpi	M.Sh&Li	2.30	0.57	0.05	24.83
AZ7	Asmari	Ar&M.Sh	1.89	0.51	0.11	15.80
AZ8	Pabdeh	C.Shale	1.36	0.40	0.03	20.96
AZ9	Pabdeh	M.Limestone	1.17	0.43	0.05	20.74
AZ10	Asmari	Sandy.Li	1.90	0.60	0.14	18.82
AZ11	Pabdeh	Cherty.C.sh	1.29	0.26	0.02	20.67
AZ12	Pabdeh	limestone	1.21	0.21	0.05	21.90
AZ13	Gurpi	C.shale	1.00	0.26	0.04	17.00

### ۳-۲-۵- محیط زمین ساختی

برای تفسیر محیط زمین ساختی نهشته گذاری رسوبات در میدان نفتی اهواز، داده‌های ژئوشیمیایی بر روی نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  ترسیم شده است (Bhatia, 1983)، در این نمودار بیشتر نمونه‌ها در محیط حواشی قاره‌ای فعال واقع شده‌اند (شکل ۳-۵، الف). در دیاگرام  $SiO_2/Al_2O_3$  در مقابل  $Log K_2O/Na_2O$ ، از (Maynard et al., 1982) نیز محیط حواشی قاره‌ای فعال برای نمونه‌های میدان اهواز تایید می‌گردد (شکل ۳-۵، ب).



شکل (۳-۵). نمودارهای تمایز محیط‌های تکتونیکی بر پایه عناصر اصلی: الف) نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  (Bhatia, 1983)، ب) نمودار  $SiO_2/Al_2O_3$  در مقابل  $Log K_2O/Na_2O$  (Maynard et al., 1982).  $A_1$  و  $A$ : محیط کمان اقیانوسی،  $B$  و  $A_2$ : محیط کمان قاره‌ای،  $C$  و  $ACM$ : حاشیه قاره‌ای فعال، و  $D$  و  $PM$ : حاشیه قاره‌ای غیرفعال.

بر پایه یافته‌های تحقیق حاضر در میدان نفتی اهواز، رسوبات از سنگ‌های آذرین فلسیک و حدواسط (اساساً حدواسط) (شکل‌های ۳-۴) منشأ گرفته و در یک محیط حاشیه قاره‌ای فعال نهشته شده‌اند (شکل ۳-۵، الف و ب).

## ۳-۳ ژئوشیمی عناصر کمیاب

مطالعه عناصر کمیاب در نفت و سنگ‌های منشأ نفت بدلیل اهمیت آن در اکتشافات ژئوشیمیایی نفت به یک فضای تحقیقاتی تبدیل شده است ( Akinlua et al., 2007; Filby and Van Berkel, 1987; Keely et al., 1990; Lewan and Maynard, 1982; Lewan, 1984). فلزات کمیاب به شکل کمپلکس‌های پورفیرین درون سنگ‌های منشأ نفت گنجانده شده‌اند (Filby and Van Berkel, 1987; Lewan and Maynard, 1982) و ممکن است شامل پیوستگی مستقیم از توده زیستی (Biomass) و تشکیل در حین رسوبگذاری باشند. تشکیل فلزات کمیاب ممکن است از طریق گیرانداختن مولکول‌های آلی به عنوان فلزات مشتق شده از زیست توده‌های مختلف در حین دیاژنز و هوازدگی بیوژنیک مواد معدنی باشد ( Akinlua et al., 2007; Keely et al., 1990). بلوغ حرارتی، مهاجرت، تغییرات مخزن ممکن است غلظت نیکل و وانادیوم این فلزات را از طریق افزودن یا تفریق بیشتر بخش‌های ناپایدار موجود در نفت خام، تغییر دهد (Lewan, 1984). در این پروژه به منظور بررسی رفتار ژئوشیمی عناصر کمیاب از روش ICP-MS در آزمایشگاه acme کانادا استفاده شد. غلظت عناصر کمیاب محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه در (جدول ۳-۴) آورده شده است.

جدول (۳-۴). غلظت عناصر کمیاب در نمونه‌های سنگ‌منشأ میدان نفتی اهواز.

No.Sample	Formation	Lithology	V	Cr	Co	Mo	Ni	U	Th
AZ1	Kazhdomi	Limestone	131	84	2.2	16.97	49.2	10.6	1
AZ2	Kazhdomi	Carbonatized shale	69	85	3.6	8.5	37.2	7.4	0.8
AZ3	Kazhdomi	Argillaceous shale	125	121	17.5	8.02	55.4	2.3	8.7
AZ4	Pabdeh	Highly Carbonatized marly shale	72	60	6.7	2.39	50.9	2.2	2.4
AZ7	Asmari	Shale&marl	38	51	6.1	1.8	49.2	1.4	1.7
AZ10	Asmari	Sandy Limesone	39	43	3.7	4.93	18.7	2.4	2.1
AZ5	Pabdeh	Carbonatized marly shale	131	116	24	3.56	61.3	3.1	12.3
AZ8	Pabdeh	Carbonatized shale	306	126	8.6	22.64	92.5	10.5	3.4
AZ9	Pabdeh	Marly Limestone	67	75	8.4	4.96	64.3	5	3.6
AZ11	Pabdeh	ChertyCarbonatized Shale	73	62	14.7	1.77	32.7	2.3	8.8
AZ12	Pabdeh	Limestone	56	53	3.9	2.89	41.1	2.1	1
AZ6	Gurpi	marly shale &Marly Limestone	45	31	8	1.73	25.6	1.6	1.7
AZ13	Gurpi	Carbonatized shale	30	42	5.8	0.62	41.9	1.4	1.5

### ۳-۳-۱- شاخص‌های پتانسیل اکسیدان - احیا (redox):

فلزات کمیاب بخصوص عناصر (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) بعنوان ابزار ژئوشیمیایی جهت فهم نهشته‌گذاری غیراکسیدان رسوبات جوان و سنگ‌های منشأ دیرینه استفاده می‌گردند (Ernst, 1970; Lewan and Maynard, 1982; Dill et al., 1988; Telnaes et al., 1991; Mongenot et al., 1996). تکنیک‌های ژئوشیمیایی بسیاری بعنوان شاخص‌های اکسیداسیون دیرینه در سکانس‌های قدیمی مادستون، مطرح شده‌است، که در کل ممکن است به دو دسته تقسیم شوند، یکی از آنها، نسبت‌های متنوع فلزات کمیابی چون Ni/Co, Ni/V, V/Cr است (Jones and Manning, 1994). شاخص‌های عناصر کمیابی چون Ni/Co در مطالعاتی مثل جونز و مانینگ (۱۹۹۴)، هیچ و لونتال (۱۹۹۲)، برای ارزیابی شرایط پتانسیل اکسیداسیون- احیا (redox) دیرینه استفاده شدند. اگرچه توافق عمومی بین این نسبت‌های متفاوت

شاخص‌های اکسیداسیون- احیا (redox) وجود ندارد اما یک تمایل اساسی از کاهش نسبت‌های Ni/Co, U/Th با افزایش اندازه‌ی انحلال اکسیژن در آب موجود در ستون آب وجود دارد (Rimmer et al., 2004; Xu et al., 2012). مقادیر شاخص‌های مذکور در نمونه‌های مورد مطالعه ما و به تفکیک سازندی نیز، مطابق آنچه در (جدول ۳-۵) و (جدول ۳-۶) آورده شده، محاسبه گردیده‌است.

جدول (۳-۵). مقدار شاخص‌های Ni/Co, U/Th, V/Ni در نمونه سنگ‌های منشأ نفت میدان نفتی اهواز.

NO.Sample	Formation	Lithology	Ni/Co	V/Ni	Th/U
AZ1	Kazhdomi	Limestone	22/36	2/66	0.09
AZ2	Kazhdomi	Carbonatized shale	10/33	1/85	0.11
AZ3	Kazhdomi	Argillaceous shale	3/17	2/26	3.78
AZ4	Pabdeh	Highly Carbonatized marly shale	7/60	0/77	1.09
AZ7	Asemari	Shale&marl	2/55	3/31	1.21
AZ10	Asemari	Sandy Limesone	2/22	1/36	1.14
AZ5	Pabdeh	Carbonatized marly shale	8/07	0/77	3.97
AZ8	Pabdeh	Carbonatized shale	10/76	3/31	0.32
AZ9	Pabdeh	Marly Limestone	7/65	1/04	0.72
AZ11	Pabdeh	Cherty Carbonatized shale	10/54	1/36	3.83
AZ12	Pabdeh	Limestone	3/20	1/76	0.48
AZ6	Gurpi	marly shale & Marly Limestone	5/05	2/09	1.06
AZ13	Gurpi	Carbonatized shale	7/22	0/72	0.93



جدول (۳-۶). مقادیر میانگین محاسبه شده از Ni/Co،  $\bar{\gamma}\text{Ce}$ ، Th/U، V/Ni در سازندهای منشأ نفت میدان اهواز.

Formation	Ave.Ni/Co	Ave.V/Ni	Ave.Th/U	Ave. $\bar{\gamma}\text{Ce}$
<b>Kz</b>	<b>11.95</b>	<b>2.26</b>	<b>1.33</b>	<b>0.39</b>
<b>Base.As</b>	<b>2.55</b>	<b>2.34</b>	<b>3.97</b>	<b>1.06</b>
<b>Pd</b>	<b>7.97</b>	<b>1.50</b>	<b>0.81</b>	<b>0.35</b>
<b>Gu</b>	<b>6.14</b>	<b>1.40</b>	<b>1.04</b>	<b>0.25</b>

### الف) شاخص Ni/Co

جونز و مانینگ (۱۹۹۴) پیشنهاد دادند که نسبت Ni/Co کمتر از ۵ اشاره بر شرایط اکسیدان و مقدار بین ۵ تا ۷ آن شرایط با اکسیژن کم (dysoxic) و مقدار بیشتر از ۷ آن، شرایط با اکسیژن بسیار کم (suboxic) تا غیراکسیدان دارد. با توجه به میانگین محاسبه شده این نسبت در هر یک از سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز، که شامل سازندهای کژدمی، پابده، شیل قاعده‌ای آسماری و گورپی می‌باشند، مطابق آنچه در (جدول ۳-۶) و نمودار رسم شده در (شکل ۳-۸، الف) آورده شده‌است. به ترتیب برای سازند کژدمی نشان دهنده شرایطی غیراکسیدان، برای شیل قاعده‌ای آسماری شرایطی اکسیدان، برای سازند پابده شرایطی غیراکسیدان و برای سازند گورپی شرایطی با اکسیژن کم (Dysoxic) تعریف می‌شود.

### ب) شاخص V/Ni

مقادیر غلظت نیکل و وانادیوم در رسوبات ریزدانه نسبت به شرایط اکسیداسیون- احیا ستون آب، حساس هستند، بنابراین می‌توانند برای شرایط نهشته‌گذاری بکار گرفته شوند (Mongenot et al., 1996; Akinlua et al. 2010; Xu et al., 2017). مقادیر کمتر از ۱/۹ نسبت وانادیوم به

نیکل (V/Ni) نشان‌دهنده منشأ ورودی خشکی مواد آلی و مقادیر بین ۱/۹ تا ۳ آن مخلوطی از دریایی و خشکی، درحالی‌که مقدار بیشتر از ۳ این نسبت نشان‌دهنده منشأ دریایی مواد آلی است (Galarraga et al, 2008). برای این نسبت نیز بطور جداگانه از هریک از سازندهای منشأ نفت در این میدان، میانگینی مطابق (جدول ۳-۶) تهیه شده است. که برای سازند کژدمی و شیل قاعده‌ای آسماری، مواد مخلوط دریایی و خشکی، برای سازندهای پابده و گورپی مواد آلی خشکی را نشان می‌دهد.

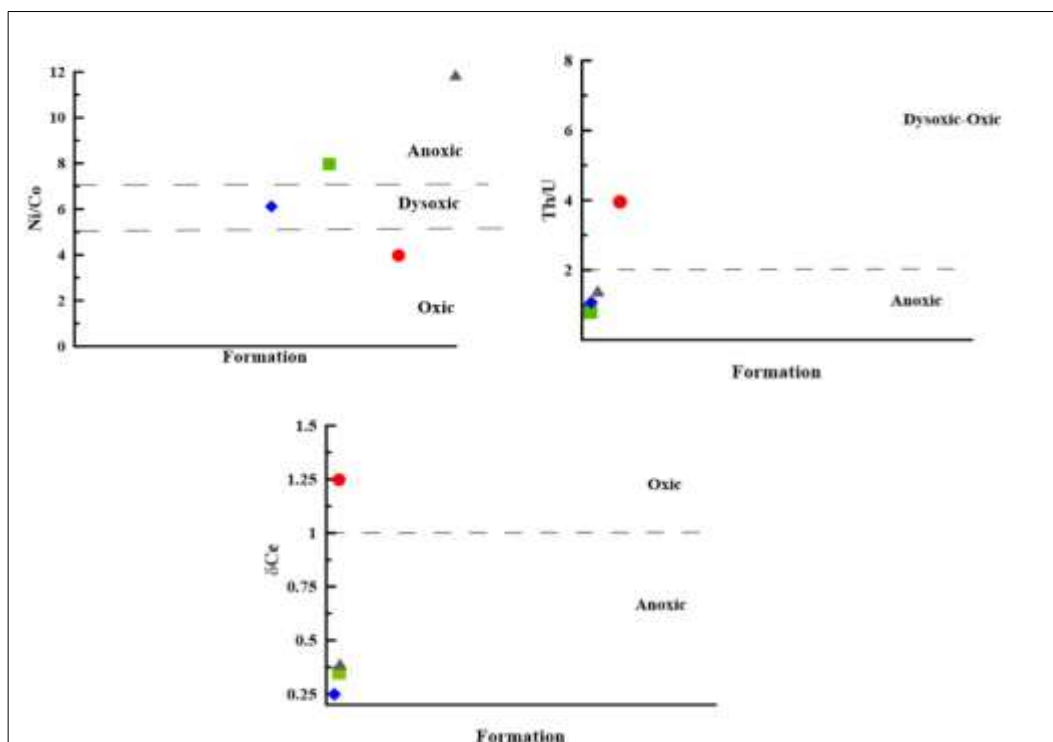
#### پ) آنومالی منفی سریم ( $\delta\text{Ce}$ ):

آنومالی سریم ( $\delta\text{Ce} = \text{CeN}/(\text{La N} + \text{Pr N})^{1/2}$ ) گاهی بعنوان یک راهنمای شرایط نهشته‌گذاری استفاده می‌شود. بطور کلی تحت شرایط غیراکسیدان  $\text{Ce}^{+4}$  به  $\text{Ce}^{+3}$  قابل حل تقلیل می‌یابد، که منجر به افزایش نسبی سریم در آب‌دريا می‌شود. در نتیجه آنومالی‌های منفی سریم می‌تواند توسط سنگ‌های رسوبی ثبت شود. در کل  $\delta\text{Ce}$  کمتر از یک، نشان‌دهنده شرایط غیراکسیدان و  $\delta\text{Ce}$  بیشتر از یک، نشان‌دهنده شرایط اکسیدان است (Mao et al., 2014). با استفاده از محاسبه میانگین آنومالی منفی سریم در نمونه‌های گرفته‌شده از هریک سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز (کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری) که به ترتیب در (جدول ۳-۷) و نمودار رسم شده در (شکل ۳-۸، ج) آورده شده است، نشان داد که، برای سازند کژدمی، پابده و گورپی در میدان نفتی اهواز، شرایط نهشته‌گذاری غیراکسیدان و برای شیل‌های قاعده‌ای شرایطی اکسیدان می‌باشد.

#### ت) شاخص $\text{Th}/\text{U}$

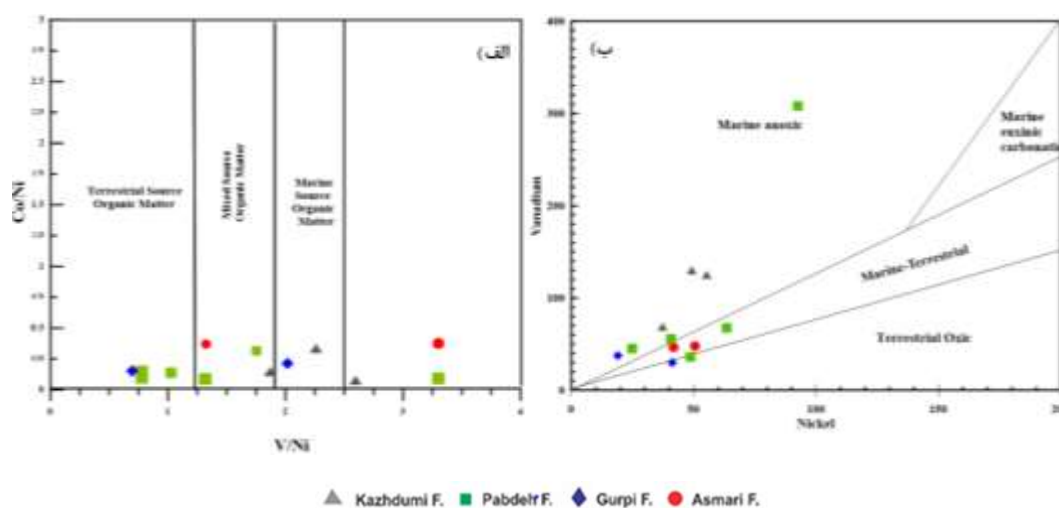
نسبت  $\text{Th}/\text{U}$ ، از دیگر نسبت‌های عناصر کمیاب است که غالباً می‌تواند به مهیا کردن اطلاعاتی در زمینه شرایط رسوبگذاری، کمک کند (Hatch and leventhal, 1992; Rimmer et al., 2004). اورانیوم دو وضعیت رایج اکسیداسیون دارد (+4 و +6) ولی توریوم تنها یک

حالت رایج (+4) دارد، به علت ویژگی‌های شیمیایی مشابهی مانند (باریونی و عدد کوئوردیناسیون) ، یون‌های  $U^{+4}$  و  $Th^{+6}$  رفتارهای ژئوشیمیایی مشابهی دارند، باعث وقوع جایگزینی توریم به جای اورانیوم تحت شرایط اکسیدان می‌شود (Blackburn et al., 1994). توریم معمولاً در رسوبات رس، تحت شرایط اکسیدان، متمرکز می‌شوند. نتیجتاً مقدار کمتر از ۲ نسبت  $Th/U$  بعنوان یک شاخص شرایط غیراکسیدان، بشکل گسترده‌ای، استفاده می‌شود (Wignall and Twitchett, 1996). مطابق میانگین محاسبه شده از این نسبت در هریک از سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز در (جدول ۳-۶) و نمودار ترسیم شده در (شکل ۳-۸، ب) ، برای هر سه سازند کژدمی، پابده و گورپی، شرایطی غیراکسیدان و برای شیل‌های قاعده آسماری، شرایطی اکسیدان را نشان می‌دهد.



▲ Kazhdumi F. ■ Pabdelr F. ◆ Gurpi F. ● Asmari F.

شکل (۳-۶). نمودارهای توزیع شاخص‌های پتانسیل اکسیداسیون- احیا (Th/U, Co/Ni,  $\delta^{137}\text{Ce}$ ) (Guoliang, et al; 2018).



▲ Kazhdumi F. ■ Pabdelr F. ◆ Gurpi F. ● Asmari F.

شکل (۳-۷). نمودار نیکل در مقابل وانادیوم، نشان‌دهنده محیط نهشته‌گذاری مواد آلی (الف) (Akinlua, 2016)، نمودار نسبت‌های ژئوشیمیایی V/Ni در مقابل Co/Ni، براساس منشأ مواد آلی سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز (Galarraga, 2008).

### ۳-۳-۲- نمودارهای تشخیص محیط رسوبگذاری دیرینه :

عناصر کمیاب موجود در نفت خام و سنگ‌های منشأ نفت، شاخص با ارزشی جهت ارزیابی محیط رسوبگذاری دیرینه هستند. مقادیر عناصر کمیابی چون نیکل در مقابل وانادیوم (Akinlua,2016) و نسبت‌های ژئوشیمیایی V/Ni در مقابل Co/Ni (Galarraga,2008)، می‌توانند برای بازسازی محیط نهشته‌گذاری دیرینه مواد آلی، همچنین منشأ ورودی مواد آلی، مفید و کاربردی باشند. در این راستا ما نیز این نمودارهای کاربردی در تشخیص محیط رسوبگذاری دیرینه را، براساس نمونه‌های مورد مطالعه خود، مطابق آنچه در (شکل ۳-۹، ب) آورده شده‌است، ترسیم نمودیم. نمودار نیکل در مقابل وانادیوم برای تشخیص منشأ مواد آلی به‌کار گرفته می‌شود، مواد آلی در محیط‌های رسوبی از منابع خشکی، خشکی-دریایی و نیز دریایی تأمین می‌گردد. ترسیم نمونه‌های انتخابی از سنگ‌های منشأ نفت میدان نفتی اهواز بر روی این نمودار مطابق (شکل ۳-۹، الف) نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در محیطی خشکی-دریایی قرار می‌گیرد که در انطباق کامل با سنگ‌شناسی سازندهای کژدمی، پابده، آسماری و گورپی می‌باشد بطوریکه در بخش چینه‌شناسی این سازندها در بخش‌های پیشین گفته شده است، این سازندها تناوبی از شیل-مارن و سنگ آهک می‌باشد، نمونه‌هایی که از بخش شیل و مارن سازندهایی مثل پابده، گورپی، کژدمی و حتی قاعده آسماری برداشت شده‌اند، غالباً در محیط خشکی دریایی‌اند، درحالی‌که نمونه‌هایی که از بخش‌های آهکی این سازندها مانند آسماری و کربناتی سازندهای پابده، کژدمی و آسماری گرفته شده‌اند در قسمت دریایی قرار گرفته‌اند. نمودار Co/Ni در مقابل V/Ni برای منشأ مواد آلی تشکیل‌دهنده مطابق نمودار ترسیم شده براساس شکل بالا، منشأ مواد آلی نمونه‌های ما از سازندهای کژدمی، آسماری و شیل قاعده‌ای آن، پابده و گورپی در میدان اهواز به‌ترتیب منشأ خشکی، مخلوط دریایی-خشکی و دریایی، منشأ خشکی و مخلوط دریایی-خشکی، دریایی و خشکی می‌باشند.

### ۳-۳-۳- نرمال سازی عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی

#### اهواز

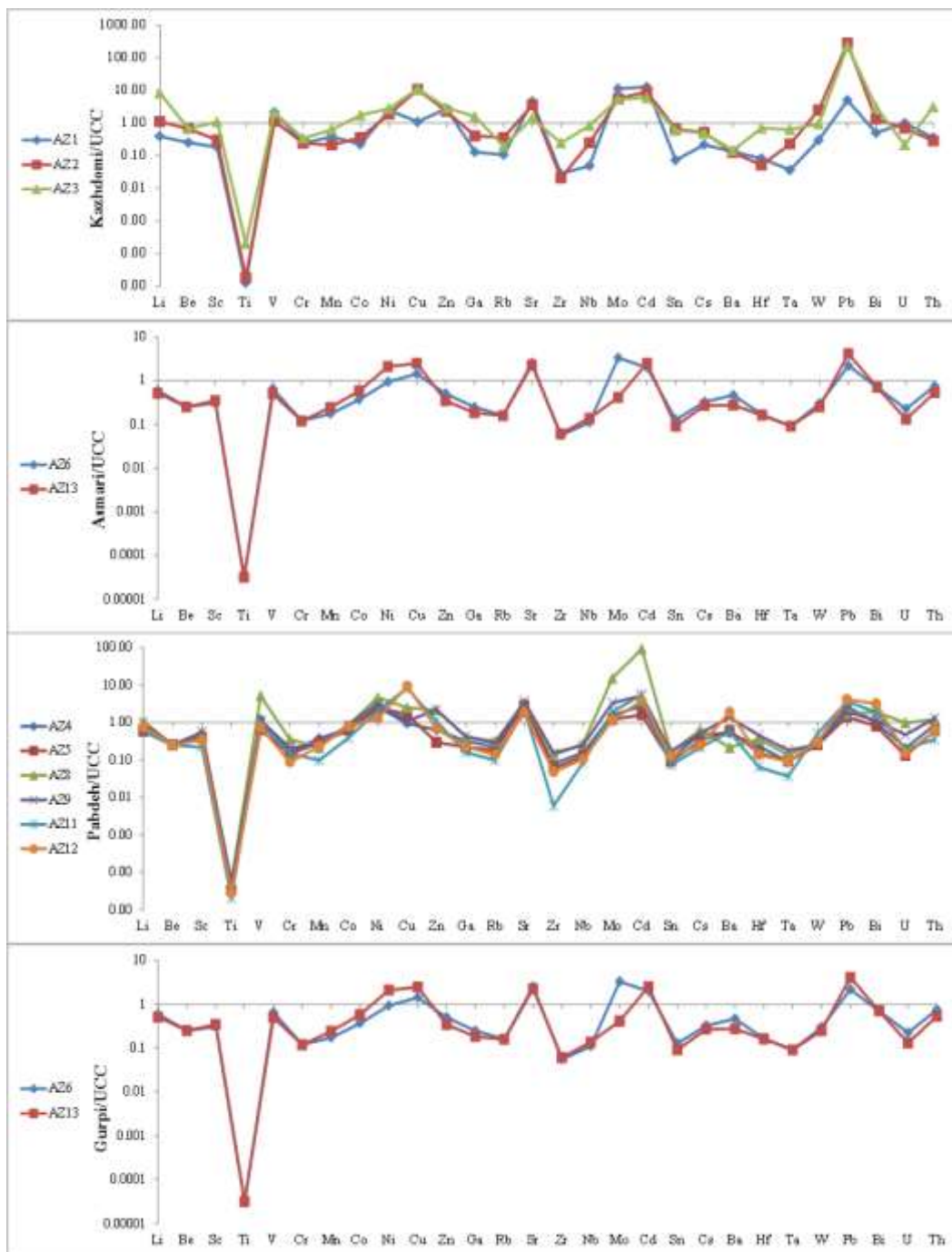
برای استفاده از غلظت‌های عناصر فرعی و کمیاب در بازسازی شرایط محیط دیرینه، باید غنی‌شدگی و تهی‌شدگی آنها را ارزیابی کرد. معمولاً درجه غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عناصر فرعی و کمیاب در یک نمونه را، نسبت به مقادیر غلظت آنها در یک نمونه مرجع، که معمولاً سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی و یا متوسط ترکیب شیل است، ارزیابی می‌کنند (Taylor and McLennan, 1985). در این تحقیق عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌ها، به نمونه مرجع، سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC)، نرمال سازی شده‌اند.

جدول (۳-۷). غلظت عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

No.Sample	Li	Be	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr
AZ1	7.8	0.75	2	0.038	131	84	231	2.2	49.2	27.2	197	2.19	11.9	1602
AZ2	22.1	2	3.3	0.055	69	85	127	3.6	37.2	267.5	162.6	6.81	39.8	1255
AZ3	166.6	2	12.1	0.603	125	121	377	17.5	55.4	278.5	207.9	26.82	21.8	492
AZ4	15	0.75	5.6	0.114	72	60	225	6.7	50.9	23.5	44.2	5.42	24.9	974
AZ5	11.6	0.75	4.3	0.098	38	51	174	6.1	49.2	41.2	20.7	3.72	20.3	1002
AZ6	11.8	0.75	3.4	0.092	39	43	104	3.7	18.7	35.5	35.8	4.22	17.9	886
AZ7	64.8	2	17.1	0.613	131	116	505	24	61.3	31.2	129.1	24.83	78.2	255
AZ8	21.1	0.75	6	0.166	306	126	129	8.6	92.5	62	153	6.99	35.1	1122
AZ9	19.7	0.75	6	0.16	67	75	155	8.4	64.3	27.3	155.9	7.12	31.3	1285
AZ10	37.4	2	9.6	0.317	73	62	354	14.7	32.7	84.3	45.1	13.7	51.9	383
AZ11	12	0.75	2.4	0.061	56	53	58	3.9	41.1	205.6	75.4	2.67	11	760
AZ12	15.4	0.75	3.8	0.083	45	31	139	8	25.6	234.6	48.6	3.81	15.3	629
AZ13	10.2	0.75	3.8	0.095	30	42	145	5.8	41.9	61.9	24.5	3.13	17.7	786
UCC	20	3	11	3000	60	355	600	10	20	25	71	17	112	350

ادامه جدول (۳-۷). غلظت عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز .

No	Zr	Nb	Mo	Cd	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Pb	Bi	U	Th
<b>AZ1</b>	10.8	1.22	16.97	1.28	0.4	0.8	73	0.32	0.08	0.6	100.2	0.05	10.6	1
<b>AZ2</b>	8	6.1	8.5	0.9	3.6	1.9	68	0.2	0.5	5	5671.38	0.13	7.4	0.8
<b>AZ3</b>	95.3	21.13	8.02	0.6	3.3	1.8	80	2.7	1.4	1.9	4562.7	0.31	2.3	8.7
<b>AZ4</b>	30.7	3.91	2.39	0.27	0.6	1.8	283	0.9	0.2	0.6	53.92	0.1	2.2	2.4
<b>AZ5</b>	23.3	3.15	1.8	0.16	0.5	1.2	332	0.6	0.2	0.5	28.24	0.08	1.4	1.7
<b>AZ6</b>	21.7	2.77	4.93	0.2	0.7	1.2	257	0.65	0.2	0.6	43.6	0.07	2.4	2.1
<b>AZ7</b>	162.5	19.6	3.56	0.28	3	4.1	461	4.87	1.4	2.7	99.2	0.25	3.1	12.3
<b>AZ8</b>	52.7	6.73	22.64	9.15	0.9	2.3	118	1.38	0.3	0.6	34.51	0.19	10.5	3.4
<b>AZ9</b>	60.1	6.09	4.96	0.52	0.9	1.9	744	1.77	0.4	0.5	38.44	0.11	5	3.6
<b>AZ10</b>	100.7	11.03	1.77	0.19	1.6	2.3	212	2.81	0.8	1.5	74.91	0.18	2.3	8.8
<b>AZ11</b>	2.3	2.12	2.89	0.55	0.4	0.8	312	0.25	0.08	1	72.23	0.19	2.1	1
<b>AZ12</b>	18.7	2.62	1.73	0.38	0.7	0.9	1030	0.53	0.2	0.6	82.44	0.32	1.6	1.7
<b>AZ13</b>	23.7	3.43	0.62	0.25	0.5	1	151	0.63	0.2	0.5	81.97	0.07	1.4	1.5
<b>UCC</b>	<b>390</b>	<b>25</b>	<b>1.5</b>	<b>0.1</b>	<b>5.5</b>	<b>3.7</b>	<b>550</b>	<b>3.9</b>	<b>2.2</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>0.1</b>	<b>10.7</b>	<b>2.8</b>

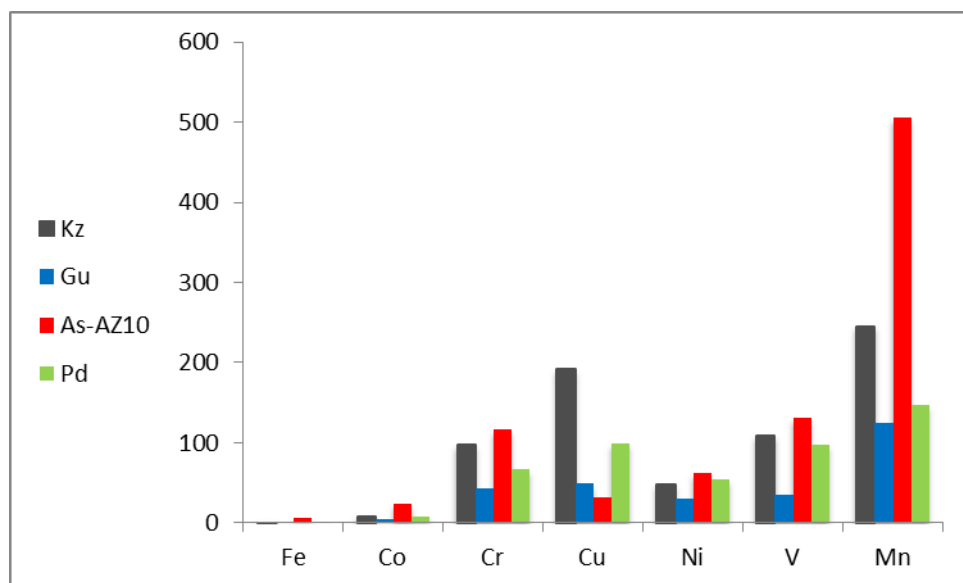


شکل (۳-۸). الگوهای به‌هنجار شده عناصر فرعی و کمیاب سازندهای کژدمی، شیل قاعده‌ای آسماری، پابده، گورپی به نمونه مرجع، پوسته قاره‌ای بالایی، (Upper crust, Taylor and McLennan, 1985).

پس از نرمال‌سازی عناصر فرعی و کمیاب همه نمونه‌های گرفته شده از سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز (سازندهای کژدمی، شیل قاعده‌ای آسماری، پابده و گورپی) نسبت به نمونه مرجع پوسته بالایی قاره‌ای، مطابق آنچه در (جدول ۳-۷) و (شکل ۳-۱۰) آورده شده‌است.



تهی‌شدگی عناصر تیتانیوم، روبیدیوم، زیرکونیم، نیوبیوم، قلع، تانتالوم و تاحدودی اورانیوم در نمونه‌های مورد مطالعه، به این دلیل است که کانی‌های این عناصر از نظر فیزیکی شیمیایی پایداری بالایی دارند و در محیط‌های رسوبی اساساً در قطب‌های سیلتی و رسی، مقدار آنها کاهش پیدا می‌کند. درحالی‌که عناصری مانند وانادیوم، نیکل، مس، کادمیوم و سرب به سمت قطب‌های سیلتی- رسی افزایش می‌یابد (Ginsburg, 1960). غنی‌شدگی توریوم نمونه‌ی شیل قاعده‌ای سازند آسماری، بدلیل شرایط اکسیدان نهشته‌گذاری است که معمولاً توریوم در این محیط‌ها به خوبی ته‌نشست می‌یابد. در نمونه AZ3 سازند کژدمی (شیل رسی)، در بین سایر نمونه‌ها، از نظر توریوم، رفتاری مشابه شیل قاعده‌ای سازند آسماری نشان می‌دهد و این امر حاکی از این است که محیط رسوبگذاری سازند کژدمی درجات متغیری از شرایط اکسیدان و احیا را به لحاظ فرونشست کف حوضه دارا بوده است.



شکل (۳-۹). توزیع فلزات کمیاب در نمونه‌های گرفته شده از سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری میدان اهواز.

سیزده نمونه مورد مطالعه ما که سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری را، شامل می‌شود، از نظر لیتولوژی میانگین به ترتیب، شیلی، شیلی- آهکی، شیلی، شیل قاعده‌ای را دارا می‌باشند. از طرفی رفتار عناصر در محیط‌های رسوبی تابع جنس سنگ (اجزای رسوبی)

و قابلیت تحرک عناصر می‌باشد، عناصری مانند منگنز، فسفر و آهن از قطب‌های ماسه‌سنگی به سمت قطب‌های رسی- مارنی، آهک‌رسی و آهکی افزایش پیدا می‌نماید. عناصری مانند کروم، نیکل، کبالت و وانادیوم از قطب ماسه‌سنگ به طرف رس‌ها افزایش می‌یابد ولی در کربنات‌ها کاهش می‌یابد. عناصری مانند باریم، بریلیوم، گالیم و سرب از قواعد مشابهی پیروی می‌کنند. تنها عنصر استرانسیم در سنگ‌های کربناته افزایش می‌یابد، زیرا این عنصر بجای کلسیم در شبکه جایگزین می‌گردد. پروفیل‌های ژئوشیمیایی برای سری‌های ماسه‌ای- سیلتی و رسی بیشترین شباهت را نسبت به یکدیگر دارند، درحالی‌که بیشترین اختلاف در پروفیل‌های ژئوشیمیایی از آن سری رسی- مارنی- آهکی است. در سری ماسه‌ای- سیلتی رسی، غلظت تمام فلزات از قطب ماسه‌ای به رسی افزایش می‌یابد. در سری رسی- مارنی- آهکی، غلظت عناصری مانند استرانسیم و فسفر، منگنز، آهن و حتی مس به سمت سنگ‌های آهکی افزایش می‌یابد، غلظت وانادیوم بدون تغییر می‌ماند ولی غلظت کبالت، نیکل، کروم به سمت قطب آهکی کاهش می‌یابد. علت اینکه نیکل، کبالت، وانادیوم در بخش‌های رسی- سیلتی زیاد می‌باشد، بدلیل جذب سطحی رس‌هاست (Ginsburg, 1960). لذا با توجه به لیتولوژی‌های مذکور در بالا، توزیع فلزات کمیاب در سازندهای نمونه‌گیری و ترسیم شده در (شکل ۳-۱۱) قابل توجه می‌باشد. بطورکل، منگنز با مقدار  $361/31$  ppm بیشترین فراوانی را در میان دیگر فلزات و آهن با مقدار  $0/995$  ppm کمترین آن را به خود اختصاص داده‌اند، که به ترتیب در سازندهای آسماری و گورپی مشاهده شد. از لحاظ مقایسه سازندی این فلزات، می‌توان بطور نسبی، اینگونه پیش‌بینی کرد که سازند آسماری و کژدمی از لحاظ مقادیر فلزات کمیاب، سازندهای کژدمی (با میانگین  $99/78$  ppm) و آسماری (با میانگین  $92/31$  ppm) در مرتبه اول و پس از آن‌ها سازند پابده (با میانگین  $68/24$  ppm) در مرتبه دوم، غنی می‌باشد ولی سازند گورپی در این میان از لحاظ مقادیر فلزات کمیاب، بسیار فقیر می‌باشد.

## ۳-۴- ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب

عناصر خاکی کمیاب (REE)ها یا گروه لانتانیدها، همانطور که در (شکل ۳-۱۲) موقعیتشان را در جدول تناوبی نشان داده است، شامل:

عناصر (La,Ce,Nd,Pr,Sm,Eu,Gd,Dy,Ho,Tm,Yb,Lu) با جرم اتمی (۷۱-۵۷) می باشند. (REE)ها ثابت کرده اند که در بسیاری از تحقیقات زمین شناسی و ژئوشیمیایی ردیابی مفید هستند و نشان دادند کاربردهای مهمی در سنگ های آذرین، دگرگونی و رسوبی داشته اند (Rollinson, 1993). در هنگام فرآیندهای دگرسانی ثابت باقی می ماندند (Fu et al, 2011) و به علت آنکه از تحرک و ضریب تفکیک پایینی برخوردارند می توانند بهترین معرف و نشانگر ترکیب منشأ، موقعیت تکتونیکی و ابزاری قابل اعتماد در زمینه بررسی تکامل منشأ رسوبات باشند. لذا ما در این پروژه برای نخستین بار در ایران این عناصر را در سنگ های منشأ نفت میدان نفتی اهواز بررسی قرار دادیم تا در ابتدا میزان غلظت این عناصر را در یک میدان نفتی اندازه گیری و سپس الگوی رفتاری آنها در سنگ های منشأ نفت بررسی شود.

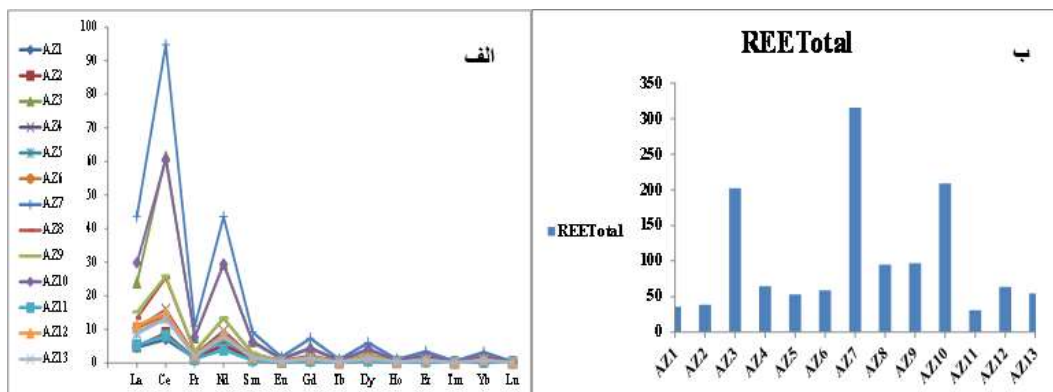
میزان غلظت اندازه گیری شده هر کدام از عناصر کمیاب خاکی همچنین مقدار عناصر خاکی کمیاب کل ( $REE_{Total}$ ) در هر سیزده نمونه جمع آوری شده از سنگ های منشأ میدان نفتی اهواز، در (جدول ۳-۸) و (شکل ۳-۱۳، الف و ب)، آورده شده است. که طبق آنها، فراوانترین REE موجود در نمونه ها، متعلق به عنصر لانتانوم و کمترین فراوانی متعلق به هولمیم می باشد. بیشترین مقدار این عناصر ( $REE_{Total}$ ) در نمونه AZ7 (مربوط به لیتولوژی شیلی- ماری از سازند آسماری) با غلظت ۲۲۶/۸۱ ppm و کمترین مقدار آن ( $REE_{Total}$ )، با غلظت ۲۲/۰۹ ppm در نمونه AZ11 (مربوط به لیتولوژی شیل کربناته چرت دار از سازند پابده) نشان داده شده است.

Periodic Table of the Elements

شکل (۳-۱۰). موقعیت قرارگیری عناصر خاکی کمیاب (REE) یا گروه لانتانیدها در جدول تناوبی.

جدول (۳-۸). غلظت عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های سنگ منشأ میدان نفتی اهواز.

No.sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
AZ1	0/15	0/10	0/19	0/16	0/19	0/24	0/19	0/24	0/17	0/19	0/21	0/16	0/19	0/17	23/7
AZ2	0/15	0/12	0/16	0/17	0/21	0/24	0/29	0/12	0/16	0/19	0/21	0/16	0/16	0/17	26/15
AZ3	0/75	0/84	0/96	0/89	1/14	0/97	0/87	0/94	0/66	0/67	0/56	0/60	0/52	0/42	143/92
AZ4	1/36	1/30	1/39	1/32	1/61	1/45	1/40	1/29	1/03	1/06	1/00	1/00	1/03	0/83	45/43
AZ5	0/28	0/18	0/24	0/21	0/26	0/24	0/23	0/35	0/19	0/29	0/24	0/20	0/26	0/17	37/62
AZ6	0/33	0/19	0/32	0/24	0/26	0/24	0/25	0/35	0/22	0/29	0/21	0/20	0/26	0/17	41/73
AZ7	0/33	0/22	0/30	0/29	0/30	0/32	0/23	0/35	0/24	0/29	0/26	0/20	0/29	0/21	226/81
AZ8	0/42	0/35	0/42	0/40	0/49	0/48	0/42	0/47	0/40	0/38	0/38	0/40	0/35	0/42	66/89
AZ9	0/48	0/35	0/46	0/40	0/51	0/40	0/35	0/47	0/36	0/38	0/38	0/40	0/39	0/42	69
AZ10	0/93	0/83	0/97	0/89	1/09	0/97	0/83	0/82	0/72	0/77	0/68	0/60	0/68	0/63	149/85
AZ11	0/16	0/11	0/15	0/12	0/14	0/16	0/12	0/12	0/12	0/10	0/12	0/16	0/16	0/17	22/09
AZ12	0/34	0/21	0/28	0/26	0/32	0/32	0/27	0/35	0/29	0/29	0/26	0/20	0/32	0/21	44/97
AZ13	0/27	0/18	0/24	0/23	0/28	0/24	0/25	0/24	0/22	0/29	0/24	0/16	0/23	0/17	38/21



شکل (۳-۱۱). الف) مقایسه غلظت عناصر کمیاب خاکی، در نمونه‌های گرفته شده از ۵ چاه میدان نفتی اهواز. ب) هیستوگرام توزیع عناصر خاکی کمیاب کل، در همه نمونه‌های مورد مطالعه از سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

مقادیر غلظت عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE=La+Ce+Pr+Nd) بدست‌آمده از نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز با مقدار میانگینی برابر با ۶۰/۵۰ ppm نسبت به، عناصر کمیاب خاکی متوسط (MREE=Sm+ Eu+Gd+Tb+Dy+Ho) با میانگین ۸ /۸۲ ppm و عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE= Er+Tm+Yb+Lu) با مقدار میانگین ۲/۷۲ ppm در تمام نمونه‌ها، غنی‌شدگی دارند. باتوجه به مقادیر بدست‌آمده از این پارامترها در (جدول ۳-۹)، بیشترین مقادیر عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE)، در نمونه AZ7 که متعلق به عمق ۲۹۶۰ متری سازند آسماری که دارای لیتولوژی شیلی مارنی می‌باشد، مشاهده گردید، بیشترین مقادیر عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) نیز در همان نمونه AZ7 یافت گردید. باتوجه به مقادیر بدست آمده، کمترین مقدار عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) و سنگین (HREE) در نمونه AZ11 از سازند پابده با لیتولوژی شیل کربناته چرت‌دار AZ11 مشاهده شد.

جدول (۳-۹). مقادیر غلظت عناصر خاکی کمیاب سبک، متوسط، سنگین و آنومالی سریم و یوروپیم، در نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

No.Sample	Formation	LREEs	MREEs	HREEs	LREE/HREE	Ce/Ce*	Eu/Eu*
AZ1	Kazhdomi	18.44	3.8	1.46	12.63	0.17	0.20
AZ2	Kazhdomi	20.59	4.2	1.36	15.14	0.15	0.22
AZ3	Kazhdomi	122.42	17.5	4	30.61	0.86	1.17
AZ4	Pabdeh	38.13	5.3	2	19.07	0.73	0.31
AZ5	Pabdeh	31.14	4.7	1.78	17.49	1.25	1.66
AZ6	Gurpi	35.05	5	1.68	20.86	0.87	1.12
AZ7	Base.Asmari	192.81	26.5	7.5	25.71	0.22	0.27
AZ8	Pabdeh	55.39	8.7	2.8	19.78	0.37	0.50
AZ9	Pabdeh	58	8.1	2.9	20.00	0.41	0.52
AZ10	Asmari	127.45	17.4	5	25.49	0.14	0.14
AZ11	Pabdeh	18.53	2.5	1.06	17.48	0.25	0.32
AZ12	Pabdeh	36.97	5.9	2.1	17.60	0.28	0.27
AZ13	Gurpi	31.55	5	1.66	19.01	0.22	0.29
<b>Average</b>		<b>60.50</b>	<b>8.82</b>	<b>2.72</b>	<b>20.07</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>

مقادیر محاسبه شده آنومالی سریم ( $Ce/Ce^*$ ) از طریق فرمول

$Ce/Ce^* = (CeN / (0.5 * (LaN + PrN)))$  و یوروپیم ( $Eu/Eu^*$ ) نیز از طریق فرمول

$Eu/Eu^* = (EuN / (0.5 * (SmN + GdN)))$  در (جدول ۳-۹) آورده شده است (McLennan, 1989).

مقادیر آنها به ترتیب دامنه‌ای بین ۰/۶۰ تا ۱/۰۴ (با میانگین ۰/۴۵) برای ( $Ce/Ce^*$ ) و ۰/۹۸ تا

۱/۳۶ (با میانگین ۰/۵۴) برای ( $Eu/Eu^*$ ) نشان داده شده است. مطابق الگوهای ترسیم شده

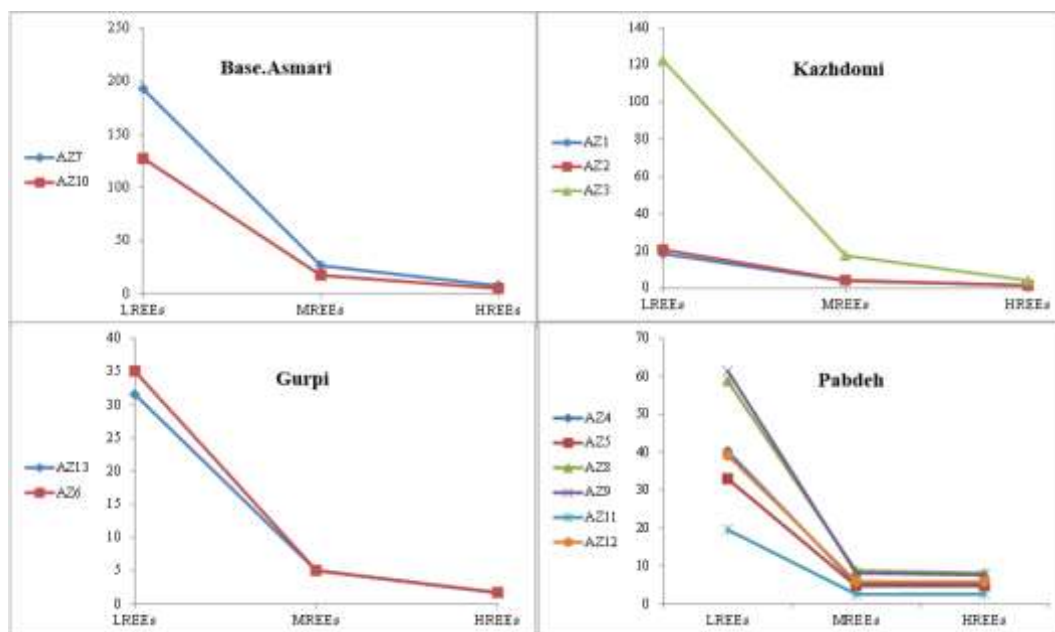
HREE، LREE، MREE در هریک از سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز، در (شکل ۳-۳)

(۱۴)، از این لحاظ، رفتاری مشابه در هر چهار سازند مشاهده گردید به این ترتیب که از سمت

LREEها به سمت MREEها روندی کاهشی و از MREEها به سمت HREEها روندی

یکنواخت دنبال گردیده است. در کل، از سمت LREEها به HREEها روندی کاهشی مشاهده

می‌شود.

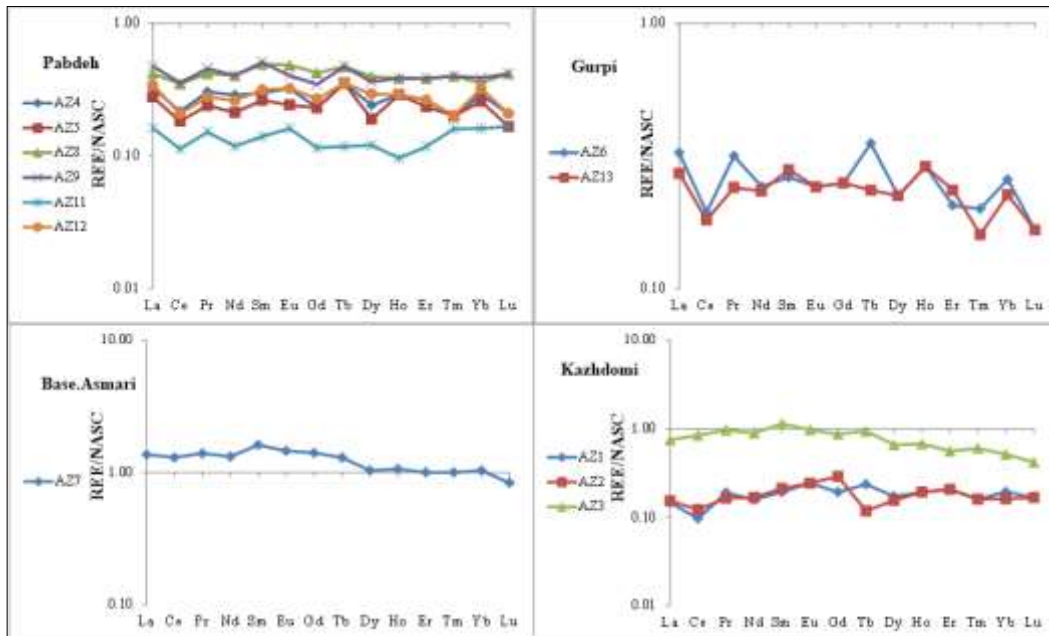


شکل (۳-۱۲). مقایسه توزیع فراوانی عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE)، متوسط (MREE) و سنگین (HREE) در سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز.

### ۳-۴-۱- نرمال سازی عناصر خاکی کمیاب نمونه های سازند کژدمی، پابده، گورپی و

#### شیل های قاعده ای آسماری:

همانطور که در صفحات پیشین ذکر شد، برای ارزیابی غنی شدگی و تهی شدگی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب آنها را به یک نمونه مرجع، هنجار سازی می کنند. به این منظور در این تحقیق نمونه ها را از آنجا که دربرگیرنده سازندهای متفاوت می باشند به تفکیک سازند، به نمونه مرجع شیل آمریکای شمالی (NASC)، همانطور که در (شکل ۳-۱۵) نشان داده شده است، هنجار ساختیم. غنی شدگی و تهی شدگی این عناصر در سازندهای مذکور به ترتیب زیر می باشد:



شکل (۳-۱۳). الگوی توزیع به‌هنگار شده عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های سازند کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری در میدان نفتی اهواز نسبت به نمونه مرجع، شیل‌های آمریکای شمالی (NASC)، (Gromet et al., 1984; Goldstein & Jacobson, 1988).

**الف) سازند گورپی:** بررسی نمودار به‌هنگار شده الگوی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های این سازند نسبت به NASC نشان می‌دهد که تفکیکی بین LREE و HREE در این نمودارها وجود ندارد. از طرفی مقادیر این عناصر در نمونه‌های گورپی آنومالی منفی سریم مشخص می‌باشد که بیانگر شرایط غیراکسیدان حاکم بر نهشته‌گذاری سازند گورپی در میدان نفتی اهواز می‌باشد. مقایسه مقادیر غلظت عناصر میان ۲ نمونه‌ی انتخاب شده از این سازند نشان می‌دهد از نظر سنگ‌شناسی نمونه AZ6 ترکیب شیل‌مارنی تا مارنی دارد درحالی‌که نمونه AZ13 ترکیب شیل‌کربناتی دارد.

**ب) سازند کژدمی:** به‌طوریکه در مباحث پیشین هم گفته شد، نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های ۶۷ و ۱۰۱ سازند کژدمی را شامل می‌شوند. بررسی الگوی به‌هنگار شده REE نسبت به NASC نشان می‌دهد هر سه نمونه نسبت به NASC تهی‌شدگی دارد. تفکیک قابل



ملاحظه و مشخصی میان LREE و HREE در این نمودار مشاهده نمی‌گردد. از طرفی مقایسه نشان می‌دهد، مقادیر REE در نمونه AZ1 نسبت به نمونه‌های AZ2 و AZ3 کمتر است و دلیل اصلی آن تغییرات سنگ‌شناسی در ترکیب این سه نمونه می‌باشد. نمونه AZ1 از واحد سنگ‌آهک می‌باشد درحالی‌که نمونه‌های AZ2 و AZ3 واحد شیل کربناتی و رسی برداشت شده‌اند. از واحدهای سنگ‌آهک و شیل کربناته به سمت واحد شیل آرژیلی، غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای در REE مشاهده می‌گردد و در این میان MREE نسبت به LREE و HREE غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند. از مشخصه‌های ژئوشیمی الگوی REE نمونه‌های شیلی آنومالی منفی سریم است، درحالی‌که واحد سنگ‌آهک کژدمی فاقد این آنومالی است، که دلالت بر نهشته‌گذاری بخش کربناتی در محیط اکسیدان می‌باشد. این پارامتر، دال بر شرایط پتانسیل اکسیداسیون - احیا در میدان نفتی اهواز می‌باشد.

**پ) سازند پابده:** از ویژگی‌های نمونه‌های نرمال‌سازی شده سازند پابده نسبت به NASC، هموار بودن الگوها، همچنین تهی‌شدگی همگی نسبت به NASC و آنومالی منفی مشخص سریم مانند سایر سازندهاست. از لحاظ مقدار، اگر REEها را درون واحدهای سنگی این سازند بررسی کنیم تا حدودی غلظت‌ها، مشابه یکدیگرند. تغییرات در نمونه‌های این سازند مربوط به اندکی اختلاف در لیتولوژی و بویژه در نمونه شیل کربناته چرت‌دار است.

**ت) شیل قاعده‌ای آسماری:** در نمونه‌های انتخاب و تهیه شده از سازند آسماری، نمونه‌ای از بخش شیلی - مارنی قاعده‌ای آسماری (زون AZ10) از میدان نفتی اهواز، توسط شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، در اختیار ما قرار داده‌شد، که پس از نرمال‌سازی نمونه‌ها نسبت به NASC، الگوی REE آن در مقایسه با سایر نمونه‌های مطالعه شده از سازندهای مختلف در این میدان، متفاوت بود و نسبت به NASC غنی‌شدگی نشان داد. همچنین بین MREE، LREE و HREE این نمونه تفکیک مشخصی وجود دارد بطوریکه، LREE و MREE آن نسبت به HREE

غنی‌شدگی دارد. از طرفی با مطالعه اکسیدهای اصلی در بخش‌های قبلی این فصل دریافتیم که این نمونه‌ها از نظر کربنات در مقایسه با دیگر نمونه‌ها فقیر هستند و از سنگ‌های والد فلسیک منشأ گرفته‌اند. از آنجاییکه مقدار REE در سنگ‌های فلسیک بیشتر از انواع مافیک است، این مسئله به‌نوبه‌ی خود مقدار REE را در رسوبات نهشته‌شده از این سنگ‌ها کنترل می‌نماید. مسئله دیگر تأثیر پتانسیل اکسیداسیون- احیا محیط نهشته‌گذاری بر مقدار REE است. با نتایجی که از این تحقیق بدست‌آمده است مقدار REE در محیط با درجه اکسیژن بالا، افزایش می‌یابد.

### ۳-۵- تفسیر آماری داده‌ها:

ضریب همبستگی، ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه‌ی رابطه‌ی یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. نتیجتاً در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی نیز برای روشن شدن چگونگی ارتباط بین عناصر نیز از آن استفاده می‌گردد. لذا ما در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضریب همبستگی بین اکسیدهای اصلی با عناصر کمیاب و عناصر کمیاب خاکی را محاسبه کردیم و در (جدول ۳-۱۰) آورده ایم.

### ۳-۵-۱- ضریب همبستگی پیرسون بین اکسیدهای اصلی با عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب:

برای ارزیابی بستگی ژئوشیمیایی میان عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز، ماتریس ضرایب همبستگی به روش پیرسون و بر پایه داده‌های لگاریتمی محاسبه شده است

(جدول‌های ۳-۱۰ و ۳-۱۱). اکسیدهای  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{MnO}$  همبستگی منفی با  $\text{CaO}$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  و حتی کربن آلی کلی (Total Organic Carbon: TOC) دارند (جدول ۳-۱۰) و (شکل ۳-۱). درجه این بستگی از یک اکسید به اکسید دیگر تغییر می‌کند. اکسید  $\text{CaO}$  با  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MnO}$  و REE همبستگی منفی بسیار بالا ( $r > -0.8$ ) و با  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و همبستگی منفی متوسط ( $r = -0.4$ ) دارد. این همبستگی‌ها نشان می‌دهند که، این اکسیدها با مواد آلی و کربنات‌ها همراه نبوده، بلکه تا اندازه‌ی زیادی با مواد و کانی‌های خشکی‌زاد مرتبط هستند. از طرف دیگر،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  با  $\text{SiO}_2$  ( $r = 0.7$ )،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $r = 0.7$ )،  $\text{MgO}$  ( $r = 0.5$ )،  $\text{TiO}_2$  ( $r = 0.7$ )،  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r = 0.4$ )،  $\text{V/Ni}$  ( $r = 0.3$ ) و REE ( $r = 0.7$ ) همبستگی مستقیم متوسط تا بالایی نشان می‌دهد، که دلالت بر منشأ قاره‌ای این اکسیدها دارد و به احتمال زیاد به صورت اجزای آواری حمل شده‌اند. در حالت کلی،  $\text{Si}$  موجود در شیل‌ها، منشأ خشکی دارد (Sari and Derya, 2012). همبستگی مستقیم میان  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، و  $\text{K}_2\text{O}$  ثابت می‌کند که این اکسیدها با بخش رسی همراهی می‌شوند و نمونه‌ها اساساً از ایلیت ترکیب یافته‌اند. اکسید  $\text{CaO}$  با  $\text{P}_2\text{O}_5$  همبستگی ضعیف مستقیم ( $r = 0.2$ ) و با  $\text{Ni/Co}$  همبستگی مستقیم متوسط ( $r = 0.6$ ) دارد.

جدول (۳-۱۰). همبستگی پیرسون عناصر اصلی، REE و نسبت‌های  $\text{V/Ni}$ ،  $\text{Ni/Co}$  در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

Element	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}$	$\text{Ni/Co}$	$\text{V/Ni}$	REE
$\text{SiO}_2$	0.7	0.7	0.5	-0.8	-0.2	0.4	0.7	0.2	0.5	-0.06	0.3	0.7
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1	0.9	0.6	-0.9	-0.1	0.6	0.9	-0.2	0.7	-0.7	0.4	0.9
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.9	1	0.6	-0.9	-0.1	0.6	0.9	-0.2	0.7	-0.7	0.4	0.9
$\text{MgO}$	0.6	0.7	1	-0.5	0.1	0.7	0.6	-0.1	0.7	-0.5	0.2	0.7
$\text{CaO}$	-0.9	-0.9	-0.5	1	-0.1	-0.4	-0.9	0.2	-0.8	0.6	-0.4	-0.8
$\text{Na}_2\text{O}$	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	1	0.3	0.1	0.1	-0.1	0.2	0.1	0.2
$\text{K}_2\text{O}$	0.6	0.6	0.7	-0.4	0.3	1	0.6	-0.2	0.5	-0.6	-0.1	0.7
$\text{TiO}_2$	0.9	0.9	0.6	-0.9	0.1	0.6	1	-0.2	0.8	-0.7	0.3	0.9
$\text{P}_2\text{O}_5$	-0.2	-0.2	-0.1	0.2	0.1	-0.2	-0.2	1	-0.4	0.4	0.3	-0.2
$\text{MnO}$	0.7	0.8	0.7	-0.8	-0.1	0.5	0.8	-0.4	1	-0.6	0.3	0.7
$\text{Ni/Co}$	-0.7	-0.8	-0.5	0.6	0.2	-0.6	-0.7	0.4	-0.6	1	-0.1	-0.8
REE	0.9	0.9	0.7	-0.8	0.2	0.7	0.9	-0.2	0.7	-0.8	0.3	1

### ۳-۵-۲- ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر کمیاب با عناصر خاکی کمیاب و

اکسیدهای اصلی :

همبستگی محاسبه شده بین عناصر کمیاب با اکسیدهای اصلی و REE در میان نمونه‌های مورد مطالعه، همانطور که در (جدول ۳-۱۱) آورده شده است، نشان داد که، بین کبالت و توریموم با  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MgO}, \text{TiO}_2, \text{K}_2\text{O}$  همبستگی مستقیم بالایی ولی با CaO همبستگی معکوس بسیار بالایی دارند. بین کروم با  $\text{TiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$  همبستگی نسبتاً بالایی ولی با CaO همبستگی معکوس نسبتاً بالایی وجود دارد. REE با کبالت و توریموم همبستگی بسیار بالایی ( $> 0.9$ ) دارد. بین کبالت، توریموم، کروم با  $\text{TiO}_2$ ، همبستگی بالایی وجود دارد. براساس ضرایب همبستگی بدست‌آمده میان عناصر وانادیوم، کروم، نیکل، کبالت و توریموم با عناصر اصلی می‌توان نتیجه گرفت که همبستگی میان عناصر کمیاب با عنصر کلسیم معکوس و با سایر عناصر اصلی مستقیم می‌باشد. بررسی میزان همبستگی میان عناصر وانادیوم، کبالت، نیکل و کروم با CaO نشان می‌دهد این میزان همبستگی میان کروم و کبالت معکوس قوی است و وانادیوم نیکل با کلسیم معکوس متوسط می‌باشد و دلیل آن کاهش شدید مقدار کروم و کبالت از سنگ‌های شیلی مارنی به سمت سنگ‌های آهکی می‌باشد.

جدول (۳-۱۱). همبستگی پیرسون محاسبه شده بین REE با عناصر کمیاب و اکسیدهای اصلی در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز.

Element	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	REE
Co	0.74	<b>0.8</b>	<b>0.89</b>	0.55	-0.83	-0.03	0.55	<b>0.91</b>	-0.21	<b>0.95</b>
Mo	-0.08	0.2	0.06	-0.21	-0.08	0.22	-0.33	0.04	0.39	-0.02
Ni	0.23	0.28	0.25	0.22	-0.3	0.48	0.11	0.33	0.38	0.28
Th	0.59	<b>0.84</b>	<b>0.93</b>	0.59	<b>-0.82</b>	0.03	0.54	<b>0.95</b>	-0.31	<b>0.91</b>
U	0.21	0.09	-0.07	0	0.09	0.33	-0.12	-0.1	0.41	-0.11
V	0.32	0.48	0.43	0.25	-0.46	0.26	0	0.42	0.42	0.39
Cr	0.32	0.67	0.56	0.21	-0.59	0.18	0.13	0.58	0.16	0.47

# فصل چہارم

## بحث و نتیجہ گیری

فلزاتی که همیافتی قطعی با مواد آلی دارند شاید بعنوان ابزار ارتباطی قابل اعتماد بکار گرفته شوند. نیکل، وانادیم و کبالت (عناصر بیوفیل) از این جمله هستند ( Barwise, 1990; Udo et al., 1992; Akinlua et al., 2007). ویژگی‌های ژئوشیمیایی و توزیع ذاتی عناصر خاکی کمیاب در سازندهای زمین‌شناسی نیز آنها را ابزار ژئوشیمیایی مفیدی برای تعیین منشأ، محیط نهشته‌گذاری و بلوغ حرارتی مواد آلی، ساخته‌است ( Henderson, 1984; Takeda and Arikawa, 2005; Akinlua et al., 2008).

مطالعه ژئوشیمیایی عناصر کمیاب (V، Co، Ni) و نسبت‌های این عناصر و خاکی کمیاب (Eu، Sm، Dy و La) اطلاعات ارزشمندی را درباره منشأ مواد، پتانسیل اکسیداسیون - احیا و دیگر ویژگی‌های محیط‌های رسوبگذاری در اختیار می‌گذارند. لذا در این تحقیق، تصمیم گرفتیم تا عناصر کمیاب و خاکی کمیاب را در یک حوضه نفتی مورد بررسی ژئوشیمیایی قرار دهیم، تا چگونگی رفتار ژئوشیمیایی این عناصر را به‌طور خاص در سنگ‌های منشأ نفت مشاهده و مورد مطالعه قرار دهیم. این تحقیق از دو جهت، ۱. بررسی عناصر کمیاب در سنگ منشأ نفت ۲. بررسی ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب در یک میدان نفتی، برای نخستین بار است که در ایران صورت گرفته، لذا از حیث پژوهش و نتیجه، طرحی اکتشافی می‌باشد.

## ۴-۲- بحث و بررسی یافته‌های تحقیق:

### ۴-۲-۱- سنگ‌های والد نمونه‌های مورد مطالعه

مطالعه ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب اطلاعات با ارزشی را در باره ترکیب سنگ‌های والد سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و آسماری در اختیار می‌گذارند.

#### الف) نمودارهای (Floyd et al,1989) و (Paikaray et al,2008)

نتایج حاصل از این نمودارها برای نمونه‌های مورد مطالعه ما، محدوده سنگ‌های والد را در محدوده سنگ‌های والد با ترکیب آذرین حد واسط و فلسیک و سنگ‌های رسوبی غنی از کوارتز نشان داد.

#### ب) نسبت‌های عناصر اصلی و کمیاب نظیر $Al_2O_3/TiO_2$ ، $Cr/Ni$ ، $Th/Co$ ، $Th/Cr$

این نسبت‌ها در سنگ‌های منشأ فلسیک و مافیک/اولترامافیک متفاوت هستند (Armstrong-Altrin et al., 2012). مقدار  $Th/Cr$  در رسوباتی که از سنگ‌های منشأ فلسیک و مافیک مشتق می‌شوند به ترتیب از ۰/۱۳ تا ۲/۷۰ و ۰/۱۸ تا ۰/۴۶ تغییر می‌کند (Armstrong-Altrin et al., 2016). مقدار  $Th/Co$  نیز در رسوباتی که از سنگ‌های منشأ مافیک مشتق می‌شوند از ۰/۰۴ تا ۱ تغییر می‌نماید (Armstrong-Altrin et al., 2016). رسوباتی که از سنگ‌های آذرین مافیک منشأ می‌گیرند، دارای مقدار  $Cr/Ni$  بیشتر از ۳ می‌باشند (Garver et al., 1996). نسبت  $Al_2O_3/TiO_2$  برای رسوباتی که از سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط، و فلسیک منشأ می‌گیرند به ترتیب از ۳ تا ۸، ۸ تا ۲۱، و ۱۵ تا ۷۰ تغییر می‌کند (Girty et al., 1996; Hayashi et al., 1997). هر ۴ نسبت بالا در نمونه سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز مطابق آنچه در (جدول ۳-۳) آورده شده‌است محاسبه شد، براساس نسبت  $Th/Cr$ ، منشأگیری آنها را

از سنگ‌های حدواسط، براساس نسبت  $Th/Co$ ، گرایش آنها را به سنگ‌های حدواسط، براساس نسبت  $Cr/Ni$  منشأ آنها از سنگ‌های فلسیک تا حدواسط (به‌ویژه انواع حدواسط) و براساس نسبت  $Al_2O_3/TiO_2$  نیز تفسیر سنگ‌های منشأ فلسیک تا حدواسط را برای نمونه‌های مورد مطالعه، تقویت می‌نماید.

#### ۴-۲-۲- محیط تکتونیکی نمونه‌های مورد مطالعه

تفسیر محیط تکتونیکی نمونه سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز که شامل سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری است به‌ترتیب زیر می‌باشد:

#### الف) نمودار $TiO_2$ در مقابل $(Fe_2O_3+MgO)$ (Bhatia, 1983)

این نمودار براساس  $TiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  ترسیم شده است، براساس این نمودار، مطابق آنچه در (شکل ۳-۵، الف) ترسیم شده است، محیط تکتونیکی اکثر نمونه سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز، در محیط حاشیه قاره‌ای فعال واقع شده‌اند.

#### ب) $SiO_2/Al_2O_3$ در مقابل $Log K_2O/Na_2O$ (Roser and Korsch, 1986)

این نمودار براساس  $SiO_2/Al_2O_3$  در مقابل  $Log K_2O/Na_2O$  ترسیم شده است، مطابق ترسیم نمونه‌سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز بر این نمودار، مطابق (شکل ۳-۵، ب)، نیز محیط حاشیه قاره‌ای فعال برای نمونه‌های میدان اهواز تأیید می‌گردد.

#### ۴-۴-۳- پتانسیل اکسیداسیون - احیا دیرینه (Paleoredox)

برای تشخیص شرایط اکسیدان- احیا حاکم بر نمونه سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز که دربرگیرنده سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری است، از شاخص‌های متفاوتی براساس عناصر کمیاب و خاکی کمیاب، استفاده کردیم که به‌ترتیب زیر می‌باشند:



## الف) شاخص Ni/Co

شاخص Ni/Co، بعنوان یک شاخص خوب و معتبر برای تشخیص شرایط اکسیداسیون- احیا، کاربرد دارد. نسبت Ni/Co کمتر از ۵، اشاره بر شرایط اکسیدان و مقدار بین ۵ تا ۷ آن شرایط با اکسیژن کم (dysoxic) و مقدار بیشتر از ۷ آن، شرایط با اکسیژن بسیار کم (suboxic) تا غیراکسیدان دارد (Jones & Manning, 1994). پس از محاسبه این شاخص در نمونه‌های مورد مطالعه ما، مطابق (شکل ۳-۸، الف)، به ترتیب سازند کژدمی، پابده و گورپی شرایطی غیراکسیدان (احیایی) و برای شیل قاعده‌ای آسماری، شرایطی اکسیدان، نشان داده شد. از آنجا که مقادیر بالای شاخص Ni/Co بعنوان شاخصی برای شرایط غیراکسیدان محسوب می‌شود، طبق همبستگی منفی بسیار بالای بدست آمده، لذا می‌توان کاهش مقادیر عناصر خاکی کمیاب را در شرایط احیایی پیش‌بینی کرد که بسط این نکته با شرایط تعریف شده در سازندهای مورد مطالعه ما، افزایش REE در شیل‌های قاعده آسماری و کاهش آن را در سازندهای گورپی، کژدمی، پابده اثبات می‌کند.

## ب) آنومالی سریم ( $\delta Ce$ ):

آنومالی سریم ( $\delta Ce = CeN / (La N + Pr N)^{1/2}$ ) گاهی بعنوان یک راهنمای شرایط نهشته‌گذاری استفاده می‌شود. در کل  $\delta Ce$  کمتر از یک، نشان‌دهنده شرایط غیراکسیدان و  $\delta Ce$  بیشتر از یک، نشان‌دهنده شرایط اکسیدان است (Mao et al., 2014). در نمونه‌های گرفته شده از هریک سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز، برای سازند کژدمی، پابده و گورپی، شرایط نهشته‌گذاری غیراکسیدان و برای شیل‌های قاعده‌ای آسماری شرایطی اکسیدان نشان داده شد، مطابق (شکل ۳-۸، ج). که شرایط اکسیدان حاصل از دیگر مطالعات انجام شده (گزارش

شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب) در رابطه با محیط رسوبگذاری زون AZ10 قاعده آسماری، را، تأیید می کند.

### پ) شاخص Th /U

نسبت Th /U ، از دیگر نسبت‌های عناصر کمیاب است که غالباً می‌تواند به مهیا کردن اطلاعاتی در زمینه شرایط رسوبگذاری، کمک کند (Hatch and leventhal, 1992; Rimmer et al., 2004). مقدار کمتر از ۲ نسبت Th /U بعنوان یک شاخص شرایط غیراکسیدان، بشکل گسترده‌ای، استفاده می‌شود (Wignall and Twitchett, 1996). مطابق میانگین محاسبه شده از این نسبت در هریک از سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز، مطابق (شکل ۳-۸، ب) نیز، سازندهای کژدمی، پابده و گورپی، شرایطی غیراکسیدان و برای شیل‌های قاعده آسماری، شرایطی غیراکسیدان نشان داده شد. در بین سیزده نمونه نرمال‌سازی شده از این چهار سازند به ترکیب پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC) آن‌ها ، فقط سه نمونه که شامل دو نمونه مطالعه شده از قاعده آسماری و نمونه AZ3 از سازند کژدمی، غنی‌شدگی توریوم مشاهده گردید. که با توجه به بررسی شرایط اکسیدان- احیا همه نمونه‌ها از طریق این شاخص‌های مطالعه شده، غنی‌شدگی توریوم، ارتباطش را با شرایط اکسیدان حاکم در هریک از سه نمونه، اثبات کرد.

### ۴-۴-۴- منشأ و محیط رسوبگذاری مواد آلی سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز

نسبت‌های عناصر کمیابی چون نیکل در مقابل وانادیوم و نسبت‌های ژئوشیمیایی V/Ni در مقابل Co/Ni می‌توانند، برای بازسازی محیط نهشته‌گذاری دیرینه مواد آلی، همچنین منشأ مواد آلی ورودی آن، مفید و کاربردی باشند (Akinlua,2016; Galarraga,2008). این نمودارها براساس نمونه‌های مورد مطالعه‌مان از سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز، مطابق (شکل ۳-۷) ترسیم شد.

نتایج آن‌ها طبق میانگین محاسبه‌شده برای هریک از سازندها در میدان نفتی اهواز، منشأ مواد آلی آن‌ها، بطور کل خشکی و مخلوط دریایی- خشکی است، همچنین از نظر محیط نهشته‌گذاری این مواد آلی، عمدتاً در محیطی دریایی نهشته شده‌اند.

#### ۴-۴-۵- نرمال‌سازی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب به نمونه‌های مرجع

##### الف) عناصر اصلی

برای مطالعه غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر اصلی در سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز، مقدار غلظت اکسیدهای عناصر در نمونه‌های انتخابی را به نمونه مرجع شیل آمریکای شمالی (NASC: Gromet et al., 1984) نرمال‌سازی نمودیم و نتایج حاصل از آن‌ها نشان داد که مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  در همه این نمونه‌ها نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند، و این غنی‌شدگی در مقدار  $\text{CaO}$  بسیار قابل ملاحظه است، مقدار  $\text{P}_2\text{O}_5$  در شیل‌های مارنی، سنگ آهک‌های مارنی، و سنگ آهک‌ها مشابه NASC است، در حالیکه این مقدار در شیل‌های کربناتی بیشتر از NASC است. مقادیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$ ، و  $\text{MnO}$  کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است، و این تهی‌شدگی در مقدار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$  سنگ آهک‌ها و شیل‌های کربناتی چرت‌دار بارزتر است. در سازند آسماری نمونه‌ها از واحدهای سنگ آهک‌ماسه‌ای و شیل‌های رسی قاعده‌ای انتخاب شده است. مقادیر  $\text{CaO}$  و  $\text{MgO}$  در سنگ آهک ماسه‌ای نسبت به NASC غنی‌شدگی دارند، و این غنی‌شدگی در مقدار  $\text{CaO}$  قابل ملاحظه است. مقادیر  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{SiO}_2$ ، و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  کمتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی است، و این تهی‌شدگی در مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  بارزتر است. مقادیر  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$  و  $\text{MnO}$  مشابه ترکیب شیل آمریکای شمالی است.

## ب) عناصر کمیاب

معمولاً درجه غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عناصر فرعی و کمیاب در یک نمونه را، نسبت به مقادیر غلظت آنها در یک نمونه مرجع، که معمولاً سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی و یا متوسط ترکیب شیل است، ارزیابی می‌کنند (Wedepohl, 1971, 1991; McLennan, 2001). در این تحقیق عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌ها، به نمونه مرجع، سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC)، نرمال‌سازی شده‌اند. مطابق نرمال‌سازی عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های سنگ‌های منشأ میدان نفتی اهواز به سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC) و مقایسه آنها، مقادیر غلظت سرب و نقره در نمونه‌های سازند کژدمی نسبت به فراوانی پوسته‌ای آن، نشان از غنی‌شدگی قابل ملاحظه این عناصر می‌باشد. اگرچه تمرکز این عناصر در حد مقادیر کانسارسازی نیست ولی در مقایسه با نمونه‌های سازند پابده، گورپی، شیل قاعده‌ای آسماری فراوانی بسیار بیشتری را دارا می‌باشد. دلیل غنی‌شدگی این عناصر، توسط جنس سنگ والد، ترکیب شیمیایی کانی‌های سازنده رسوبات و شرایط اکسیداسیون- احیا محیط ته‌نشست است. از نظر زمین‌شناسی اقتصادی این تیپ کانه‌زایی سرب تحت عنوان کانسارهای سرب با سنگ میزبان شیلی نامگذاری می‌شود و به احتمال زیاد، شرایطی که برای تشکیل این تیپ کانسارها لازم است، در محیط ته‌نشست سازند کژدمی هم فراهم بوده‌است. هر چهار سازند مذکور پس از نرمال‌سازی به سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC)، تهی‌شدگی بسیار مشخصی از فلز تیتانیوم را نشان دادند. در بین سیزده نمونه گرفته‌شده از چهار سازند کژدمی، پابده، شیل قاعده‌ای آسماری و گورپی پس از نرمال‌سازی به سنگ‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC)، فقط سه نمونه که شامل دو نمونه مطالعه شده از قاعده آسماری و نمونه AZ3 از سازند کژدمی با لیتولوژی شیل رسی است، غنی‌شدگی تورپوم مشاهده گردید، که این غنی‌شدگی نیز بدلیل شرایط اکسیدان حاکم در نهشته‌گذاری این سه نمونه نسبت به سایر نمونه‌هاست.

## پ) عناصر خاکی کمیاب

برای ارزیابی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب آنها را به یک نمونه مرجع، هنجارسازی می‌کنند. به این منظور در این تحقیق نمونه‌ها را از آنجا که دربرگیرنده سازندهای متفاوت می‌باشند به تفکیک سازند، به نمونه مرجع شیل آمریکای شمالی (NASC)، هنجار ساختمانی و نتایج نشان داد که همه سازندها به‌جز نمونه شیل قاعده آسماری تهی‌شدگی دارند، همچنین نمونه AZ3 از سازند کژدمی با لیتولوژی شیل رسی نیز در بین سایر نمونه‌ها تا حدود زیادی رفتاری مشابه با نمونه شیل قاعده‌ای آسماری نشان می‌دهد، که می‌تواند بدلیل شرایط اکسیدان مشابه حاکم در نهشته‌گذاری حاصل از بررسی عناصر کمیاب این نمونه با نمونه قاعده آسماری باشد و دلیل تمایز این نمونه از کژدمی در مقایسه با سایر نمونه‌های این سازند، تغییرات شرایط اکسیداسیون - احیا نشان داده شده است که به فرونشست کف حوضه در زمان نهشته‌گذاری این سازند باز می‌گردد.

### ۴-۴-۶- همبستگی‌های بین عناصر خاکی کمیاب با اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب:

همبستگی پیرسون محاسبه شده بین REE با اکسیدهای اصلی محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه نشان داد که: REE با اکسیدهای اصلی  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$  همبستگی مستقیم بسیار بالایی و از طرفی با  $\text{CaO}$  همبستگی معکوس بالا و بسیار بالایی، با  $\text{P}_2\text{O}_5$  همبستگی معکوس متوسطی دارند. همبستگی پیرسون محاسبه شده بین REE با عناصر کمیاب در نمونه‌های مورد مطالعه از سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز نشان داد که بین REE با عناصر کمیاب کبالت و توریم همبستگی مستقیم بسیار بالایی و با اورانیوم و مولیبدن همبستگی معکوس پایینی و با کروم همبستگی مستقیم تقریباً بالایی، وجود دارد. همبستگی‌های بدست‌آمده میان REE با بقیه عناصر، نشان می‌دهد که، REE با عناصر خشکی‌زاد مانند

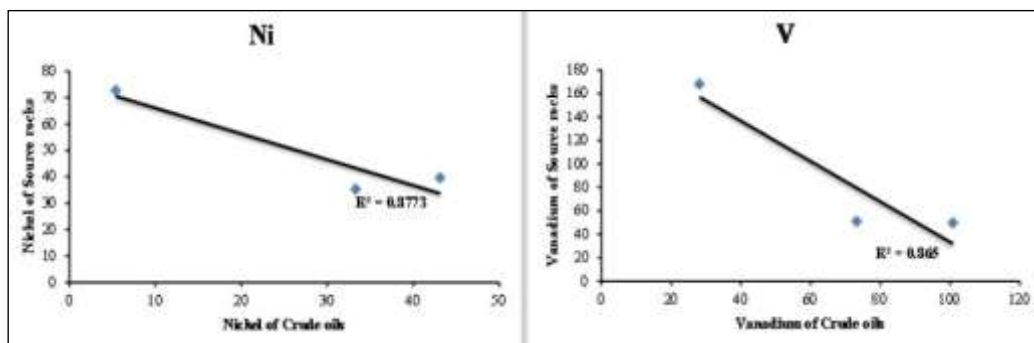
سلسیم، آلومینیوم، آهن رابطه مستقیم و با عناصر با منشأ دریایی مانند کلسیم و فسفر همبستگی معکوس دارد.

#### ۴-۴-۷- ارتباط نیکل و وانادیوم در نفت خام با نیکل و وانادیوم در سنگ‌های منشأ سه چاه از میدان نفتی اهواز:

از آنجایی که مطالعه عناصر کمیاب نیکل و وانادیوم در ۳۲ نمونه نفت خام میدان نفتی اهواز توسط مهرابی‌رشنو در سال (۱۳۹۵) انجام گرفته است و مطالعه حاضر نیز عناصر کمیاب ۵ چاه از این میدان به شماره‌های ۲۳۴،۲۹۶، ۲۲۰، ۱۰۱، ۶۷ را مورد بررسی قرار داده‌است، لذا ما در چاه‌های مشترک (۲۳۴،۲۹۶، ۲۲۰)، عناصر نیکل و وانادیوم اندازه‌گیری شده از نفت خام و سنگ‌منشأ حاصل از مطالعه حاضر را مورد بررسی قرار دادیم. از اینرو بین نیکل و وانادیوم نفت خام و سنگ‌منشأ در هرچاه مشترک، ارتباطی براساس همبستگی (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱)، برقرار کردیم. که نتایج نشان داد بین نیکل و وانادیوم نفت خام و سنگ‌منشأ در کل سه چاه به ترتیب، همبستگی ( $r = -0.87$ ) و ( $r = -0.86$ ) که هر دو ارتباط معکوس بسیار بالایی است، رانشان داد. از طرفی بلوغ حرارتی، مهاجرت و دگرسانی‌های مخزن، می‌توانند از طریق افزایش و کاهش بخش‌های ناپایدار موجود در نفت خام، غلظت‌های این فلزات (نیکل و وانادیوم) را تغییر دهند (Lewan, 1984)، لذا می‌توان، کاهش این فلزات را از سنگ‌منشأ به نفت خام در چاه‌های مورد مطالعه، توجیه کرد.

جدول (۱-۴). مقادیر Ni و V نفت خام و سنگ‌های منشأ چاه‌های ۲۲۰، ۲۳۴، ۲۹۶ میدان نفتی اهواز.

No.WELL	In Crude oil		Ave.in Source rock	
	Ni	V	Ni	V
220	43.1	100.84	39.6	49.67
234	5.4	28.12	72.7	168
296	33.3	73.2	35.325	51

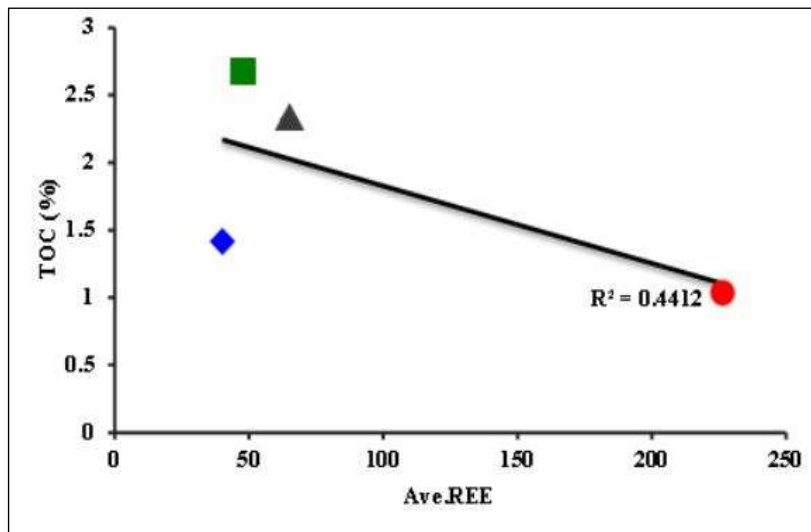


شکل (۱-۴). همبستگی بین نیکل و وانادیوم نمونه‌های نفت با سنگ‌منشأ، در چاه‌های (۲۲۰، ۲۳۴، ۲۹۶) میدان نفتی اهواز.

#### ۴-۴-۸- ارتباط TOC با عناصر خاکی کمیاب موجود در سازندهای منشأ نفت میدان

##### نفتی اهواز:

پس از محاسبه میانگین REE موجود در سازندهای منشأ نفت میدان نفتی اهواز، میانگین میزان مواد آلی (TOC) حاصل از مطالعات پیشین انجام گرفته بر این سازندها مانند (Rabbani and Bagheri (Tirtashi, 2009) و گزارشات تهیه شده براساس TOC، توسط شرکت ملی نفتخیز مناطق جنوب را، جمع‌آوری و با میانگین REE در هر سازند مقایسه نمودیم و نموداری را براساس همبستگی محاسبه شده بین آنها مطابق (شکل ۴-۲)، تهیه کردیم. که این نمودار گویای ارتباطی معکوس و متوسط می‌باشد.



شکل (۴-۲). نمودار ارتباط و همبستگی بین میزان مواد آلی (TOC) و عناصر خاکی کمیاب (REE) سازندهای منشأ نفت در میدان نفتی اهواز.

این همبستگی متوسط، می‌تواند گویای این باشد که تمرکز و تجمع عناصر خاکی کمیاب (REE) در سازندهای مورد بررسی کژدمی، پابده، گورپی و قاعده سازند آسماری در میدان اهواز تا حدود زیادی تحت کنترل مواد آلی نبوده است، از طرفی بررسی همبستگی ژئوشیمیایی میان REE با اکسید عناصر اصلی مانند  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{TiO}_2, \text{P}_2\text{O}_5$  نشان می‌دهد که REEها با عناصر خشکی‌زاد از قبیل Fe, Al, Si و Ti همبستگی مستقیم نشان می‌دهد. از طرف دیگر میزان همبستگی REEها با CaO و  $\text{P}_2\text{O}_5$  معکوس می‌باشد، از آنجا که عناصر Ca و P غالباً منشأ دریایی دارند، این عامل هم منشأ خشکی‌زاد بودن REEها در حوضه رسوبی میدان نفتی اهواز قوت می‌بخشد.



#### ۴-۵- نتیجه گیری:

از آنجائیکه نمونه‌های سنگ‌های منشأ نفت در میدان نفتی اهواز سازندهای کژدمی، پابده، گورپی و شیل قاعده‌ای آسماری را شامل می‌شوند، لذا نتایج گرفته‌شده براساس این سازندها ارزیابی شده‌است.

(۱) از نظر سنگ‌شناسی، ترکیب غالب این سازندها را شیل کربناتی، شیل مارنی، مارن و بندرت سنگ آهک مارنی تشکیل می‌دهد.

(۲) براساس ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب، رسوبات سازندهای پابده، گورپی و کژدمی در میدان اهواز، از سنگ‌های آذرین والد حدواسط و رسوبات قاعده سازند آسماری از سنگ‌های فلسیک مشتق شده‌اند.

(۳) محیط تکتونیکی تهنشست رسوبات در این میدان از نوع حاشیه قاره‌ای فعال و دریایی می‌باشد. سازندهای کژدمی، پابده، گورپی شرایط غیراکسیدان، و شیل قاعده‌ای آسماری شرایط اکسیدان بوده است.

(۴) مقدار بالای کربنات در سنگ‌های منشأ نفت میدان اهواز، می‌تواند نشان از تهنشست رسوبات در یک محیط دریایی باز باشد. در چنین محیط‌های رسوبی، ورود مواد آواری از خشکی‌ها، ضعیف است.

(۵) همبستگی‌های محاسبه شده بین اکسیدهای اصلی و مقادیر REE نشان داد که، مقادیر REE با اکسیدهای  $SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$  همبستگی مستقیم بسیار بالایی دارد که این می‌تواند نشان از این باشد که رس‌ها و اکسید، هیدروکسیدهای آهن در درجه اول مسئول انتقال و تجمع این عناصر در میدان مورد مطالعه می‌باشند، همچنین با اکسید  $CaO$  همبستگی معکوس بسیار بالایی دارند.

۶) برپایه‌ی ژئوشیمی عناصر کمیاب، منشأ مواد آلی در میدان نفتی اهواز، از خشکی و مخلوط خشکی - دریایی است.

۷) نیکل، وانادیوم و کبالت روش نسبتاً ارزان، سریع و مطمئن برای شناخت محیط رسوبی، شرایط اکسیداسیون - احیاء، منشأ ورودی مواد آلی نفت خام و سنگ منشأ نفت می‌باشد، براین اساس شرایط اکسیدان برای شیل‌های قاعده‌ای آسماری و شرایط غیراکسیدان برای دیگر سازندهای مورد مطالعه بدست آمد.

۸) نیکل و وانادیوم نفت خام با سنگ منشأ ارتباطی معنی‌دار معکوس دارند، که از سنگ منشأ به نفت خام روندی کاهشی را نشان می‌دهد.

۹) REE با TOC ارتباطی معکوس در سازندهای منشأ نفت میدان اهواز نشان داد.

۱۰) تشابه الگوی REE نمونه‌های سنگ منشأ میدان اهواز نسبت به NASC، نشان از تأثیرپذیری نمونه‌های شیل قاعده‌ای و برخی از نمونه‌های سازند کژدمی از ترکیب سنگ‌های والد، محیط و شرایط رسوبگذاری است.

۱۱) تشابه رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر میان نمونه معرف از قاعده سازند آسماری با برخی از نمونه‌های سازند کژدمی، واحد شیلی - مارنی قاعده آسماری را در کنار سازند کژدمی بعنوان سنگ منشأ نفت میدان اهواز مطرح می‌نماید.

#### ۴-۶- پیشنهادات

- (۱) جهت برقراری ارتباط میان رفتار ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب با TOC سنگ‌های منشأ، بهتر است نمونه‌برداری سیستماتیک صورت پذیرد.
- (۲) برای استفاده از ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب بعنوان یک شاخص مطمئن در ارزیابی نفتی سنگ‌های منشأ نفت، بهتر است که ویژگی ژئوشیمی این عناصر بر روی بخش‌های فقیر و غنی سازندهای منشأ در میادین نفتی بررسی شود.



منابع و ماخذ

«فارسی-لاتین»

- منابع فارسی
- اشکان ع.م.، (۱۳۸۳)، اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوی و نفت‌ها با نگرش ویژه به حوضه رسوبی زاگرس، چاپ اول، انتشارات روابط عمومی شرکت ملی نفت ایران، ۳۵۵ ص.
- ارزانی ع.، حیدری خ.، تحلیل ساختاری میدان نفتی اهواز با نگرشی ویژه بر شکستگی آن، گزارش پ-۶۳۹۷، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز.
- افتخارنژاد ج.، (۱۳۵۹)، تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸.
- آقانباتی ع.، (۱۳۷۹)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۳۷ ص.
- آقانباتی ع.، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، ۶۰۳ ص.
- حیدری فرد، م.ح.، (۱۳۸۱)، اندازه‌گیری غلظت عناصر وانادیوم و نیکل نفت مخازن آسماری و بنگستان میدان نفتی بی بی حکیمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، ۱۲۰ ص.
- درویش‌زاده ع.، (۱۳۷۰)، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۱ ص.
- روابط عمومی شرکت نفت فلات قاره؛ (۱۳۸۷)؛ "نقشه‌ی جامع میادین نفت و گاز خلیج فارس، حوزه‌ی فعالیت‌های عملیاتی شرکت نفت فلات قاره"؛ شرکت ملی نفت ایران.
- رضایی م.ر.، (۱۳۹۳)، زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی، تهران، چاپ هفتم، ۵۵۲ ص.

- قلاوند ه. (۱۳۷۵)، لیتواستراتیگرافی و بیواستراتیگرافی سازندهای داریان و کژدمی در جنوب- غرب ایران (نواحی فارس و فروافتادگی دزفول)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- گزارش نهایی شیل‌های قاعده‌ای آسماری، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب.
- مطیعی ه.، (۱۳۷۲)، چینه‌شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی ایران، شماره ۱، ۵۳۶ص.
- مطیعی ه.، (۱۳۷۴)، زمین‌شناسی نفت زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- مطیعی ه.، (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر ارزیابی ذخایر نفتی زاگرس، انتشارات آری زمین.
- مهربابی‌رشنو، ع.، (۱۳۹۵)، بررسی فلزات کمیاب از جمله نیکل و وانادیوم در میدان نفتی اهواز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، ۱۳۹ص.
- نبوی، م.ح.، (۱۳۵۵) "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۰۹.
- وثوقی آ.، ۱۳۹۰، تأثیر تغییرات گرادیان حرارتی بر خواص ژئوشیمیایی نفت مخزن بنگستان میادین اهواز و مارون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، ۱۳۹ص.
- ولی نژاد خیابان، ن.، کدخدائی، ع.، کلاگری، ع.ا.، حیدری فرد، م.ح.، عامل، ن.، (۱۳۹۴)، بررسی ژئوشیمیایی غلظت عناصر نیکل و وانادیوم در میادین نفتی منصوری و آبتیمور، فروافتادگی دزفول، استان خوزستان، اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا، انرژی پاک، اردبیل.

- Adegoke, A.K., Abdullah, W.H., Hakimi, M.H., Yandoka, B.M.S., Mustapha, K.A., Aturamu, A.O., (2014). "Trace elements geochemistry of kerogen in Upper Cretaceous sediments, Chad (Bornu) Basin, northeastern Nigeria: Origin and paleo-redox conditions". *J. of Afric. Earth Sci.*, 100, 675-683.
- Ajayi, T.R., Torto, N., Tchokossa, P., Akinlua, A., (2009). "Natural radioactivity and trace metals in crude oils: implication for health. *Environ". Geochem. Health* 31, 61-69.
- Akinlua, A., Torto, N., (2006). "Determination of selected metals in Niger Delta oils by graphite furnace atomic absorption spectrometry". *Anal. Lett.* 39 (9), 1993-2005.
- Akinlua, A., Torto, N., Ajayi, T.R., Oyekunle, J.A.O., (2007). "Trace metals characterization of Niger Delta kerogens". *Fuel* 86, 1358-1364.
- Akinlua, A., Torto, N., Ajayi, T.R., (2008). "Determination of rare earth elements in Niger Delta crude oils by inductively coupled plasma-mass spectrometry". *Fuel* 87, 1469-1477.
- Akinlua, A., Smith, R.M., (2010). "Subcritical water extraction of trace metals from petroleum source rock". *Talanta* 81, 1346-1349.
- Akinlua, A., A. Sigidle, T. Buthelezi and O. Fadipe ., (2015). "Trace element geochemistry of crude oils and condensate from South African Basins." *Marine and Petroleum Geology* 59:286-293.
- Akinlua, A., Olis, F.S., Akomolafe, A.O., McCrindle, R.I., (2016). "Rare earth element geochemistry of petroleum source rocks from northwestern Niger Delta". *Marine and Petroleum Geology*, 77, 409-417.
- Algeo, T.J., Rowe, H., (2012). "Paleoceanographic applications of trace-metal concentration data". *Chem. Geol.* 324-325, 6-18.
- Alberdi-Genolet, M., Tocco, R., (1999). "Trace metals and organic geochemistry of the machiques member (Aptian-Albian) and La luna



- formation (Cenomanian-Campanian), Venezuela". *Chem. Geol.* 160, 19-38.
- Ali, M.F., Bokhari, A., and Saleem, M., (1983). "Trace metals in crude oils from Saudi Arabia" *Vol. 22, No. 4*, 691-694.
  - Aouidi, S.E., Fakhi, S., Laissaoui, A., Malek, O.A., Benmansour, M., Ayach, A., Batal, Y.E., Aadjour, M., Tahri, M., Yahyaoui, A.E., and Benkdad, A., (2017). "Geochemical Characterization of the Black Shale from the Ama Fatma Coastal Site in the Southwest of Morocco". *American Journal of Chemistry*, 7(5): 153-162.
  - Armenteros I, Huerta P., (2006). "The Role of Clastic Sediment Influx in the Formation of Calcrete and Palustrine Facies: A Response to Paleographic and Climatic Conditions in the Southeastern Tertiary Duero Basin (Northern Spain)". *Geological Society of America Special Papers*, vol. 416, pp. 119–132.
  - Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y., Verma, S. and Ramasamy, S., (2004). "Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudanul Formation, southern India: Implications for provenance, weathering and tectonic setting". *Journal of Sedimentary Research.*, 74, pp167-179.
  - Armstrong-Altrin J.S., Lee Y.I., Kasper-Zubillaga J.J., Carranza-Edwards A., Garcia D., Eby, N., Balaram V., and Cruz-Ortiz N.L., (2012). "Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: implication for provenance". *Chem. Erde.*, 72: 345–362.
  - Armstrong-Altrin J.S., and Machain-Castillo M. L., (2016). "Mineralogy, geochemistry, and radiocarbon ages of deep sea sediments from the Gulf of Mexico". *J. S. Am. Earth Sci.*, 71: 182-200.
  - Bahroudi, A., Koyi., H.,(2004). "Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin". *Marine and Petroleum Geology*, 21, 1295-1310.
  - Barwise, A.J.G., (1990). "Role of nickel and vanadium in petroleum classification". *Energy Fuels* 4, 647-652.

- Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., Manuel, J., Lopez, G.,(2000)." Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting".*Chemical Geology*,168,135-150.
- Berberian, M., (1995). "Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics". *Tectonophysics*,241,193-224.
- Berberian, M., (1976 b)."Contribution to the Seismotectonics of Iran (part II)". Geological Survey of Iran, Rep. No.39, 518 P.
- Bhatia, M. R., (1983). " Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones." *The Journal of Geology*, VOL 91,611-627.
- Blackburn, W.H., Metcalf, R.V., Ragland, P.C., (1994). "Geochemical evolution of the Precambrian Old Rag Granite, Virginia, U.S.A.:testing a U/Th exploration model". *Chemical Geology* 111, 177-206.
- Blatt, H., (1985)."Provenance studies and mudrocks". *Journal of Sedimentary Petrology*, VOL 55, pp. 69-75.
- Bordenave M. L., and Burwood R., (1990). "Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic Belt: provenance of the Asmari and Bangestan reservoir oil accumulations," *Organic Geochemistry*, Vol. 16. No.1-3, pp. 369-387.
- Bordenave, M.L.,(2002)." The Middle Cretaceous to Early Miocene Petroleum System in the Zagros Domain of Iran, and its Prospect Evaluation".AAPG Annual Meeting.
- Chen, J.F., and Sun, X.L., (2004)."Preliminary study of geochemical characteristics and formation-of organic matter rich stratigraphy of Xiamaling-Formation of later Proterozoic in North China". *Natl. Gas Geosci.*, 15, 110–114.
- Colman-sadd, S.P.,(1978). "Fold development in Zagros simply folded belt,south west Iran". *AAPG Bulltin*,62,984-1003.
- Cullers, R.L., (2000). "The geochemistry of Shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies". *Lithos*, 51, pp.

181-203.

- Das, B. K., AL-Mikhalafi, A. S. and Kaur, P., (2006). "Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, Provenance, and tectonic setting". *Journal of Asian Earth Science* 26, pp. 649-668.
- Dickinson, W.R., (1985). "Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (Ed), *Provenance of Arenites*". Reidel Publishing Company. 407, pp. 333-363.
- Dill, H., Teschner, M. and Wehner, H., (1988). "Petrography, inorganic and organic geochemistry of Lower Permian carbonaceous fan sequences Brandschiefer Series Federal Republic of Germany: constraints to their palaeogeography and assessment of their source rock potential". *Chem. Geol.*, 67: 307-325.
- Ernst, T.W., (1970). "Geochemical Facies Analysis. Elsevier, Amsterdam". 152 pp.
- Falcon, N.L., (1961). "Major earth-flexuring in the Zagros Mountains of south-west Iran". *Quarterly Journal of the Geological Society*, 117, 367-376.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921-924.
- Filby, R.H., van Berkel, G.J., (1987). "Geochemistry of metal complexes on petroleum, source rocks and coals". In: Filby, R.H., Branthaver, J.F. (Eds.), *Metal Complexes in Fossil Fuels*, ACS Symposium Series 344, pp. 146-153.
- Floyd, P.A., Leveridge, B.E., (1989). "Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones". *Journal of the Geological Society*, 144, 531-542.
- Frankenberger, A., R. Brooks, H. Varela-Alvarez, J. Collen, R. Filby and S. Fitzgerald, (1994). "Classification of some New Zealand crude

- oils and condensates by means of their trace element contents." *Applied geochemistry* 9(1): 65-71.
- Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F., Feng, X., (2010). "REE geochemistry of marine oil shale from the Changshe Mountain area, northern Tibet, China". *Int. J. Coal Geol*, 81, 191–199.
  - Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F., Chen, W., Feng, X., (2010)."Geochemistry of rare earth elements in marine oil shale: A case study from the Bilong Co area, Northern Tibet, China". *Oil Shale*, 27, 194–208.
  - Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F., Hr, J.,(2011). "Geochemistry and origin of rare earth elements (REEs) in the Shengli River oil shale, northern Tibet, China". *Chemie der Erde*,71,21-30.
  - Galarraga, F.,Reategui, K.,Martínez, A.,Martínez, M.,Llomas, J.F.,Márques, G.,(2008)."V/Ni Ratio as a parameter in palaeoenvironmental characterisation of nonmature medium-crude oils from several Latin American basins". *Petroleum Science and Engineering*, 61,9-14.
  - Gao, P., Liu, G., Jia, C., Ding, X., Chen, Z., Dong, Y., Zhao, X., Jiao, W., (2015). "Evaluating rare earth elements as a proxy for oil–source correlation". A case study from Aer Sag, Erlian Basin, northern China. *Organ. Geochem.*, 87, 35-54.
  - Garver J.I., Royce P.R., and Smick T.A., (1996). "Chromium and nickel in shale of the Taconic Foreland: a case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source". *J. Sediment. Res.*, **66**: 100–106.
  - Ghazban, F., (2009). "Petroleum Geology of the Persian Gulf", University of Tehran, Tehran, pp. 707.
  - Ginsburg I. (1960),."Principles of Geochemical Prospecting".Trans. by V.P.Sokoloff, New York and London : Pergamon, 311 P.1960.
  - Girty, G.H., Ridge D.L., Knaack, CH., Johnson, D., AL-riyami, R.K.,(1996)."Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite Sierra Nevada,California".*Journal of Sedimentary.*

- Goldstein, S.J., Jacobsen, S.B.,(1988)." Earth and Planetary Science Letters,89,35-47.
- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A., Korotev, R.L., (1984)." The North American shale composite: Its compilation, major and trace element characteristics". *Geochimica et Cosmochimica Acta*,48,2469-2482.
- Guo, Q., Deng, Y., Hippler, D., Franz, G., Zhang, J., (2016). "REE and trace element patterns from organic-rich rocks of the Ediacaran–Cambrian transitional interval". *Gondwana Research*.36, 94-106.
- Hatch, J.R., Leventhal, J.S.,(1992)." Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A".*Chemical Geology*, 99,65-82.
- Hayashi, K. I., Fujisawa, H., Holland, H. D., & Ohmoto, H. (1997). "Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada".*Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 4115–4137.
- He, C., Ji, L., Wu, Y., Wu, Y., Ao, S., Zhang, M., (2016)."Characteristics of Hydrothermal Sedimentation Process in the Yanchang Formation, South Ordos Basin, China: Evidence from Element Geochemistry". *Sediment. Geol.*, 345, 33–41.
- Henderson, P., (1984). "Rare earth element geochemistry". Elsevier Science Publishers, B.V.
- Herron, M. M., (1988)."Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data". *Journal. Sedimentary Petrology*. 58, pp. 820-829.
- Hessler, A. M. and Lowe, D. M., (2006)."Weathering and sediment generation in the Archean: An integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa". *Precambrian Research* 151, pp. 185-210.

- Jones, B., Manning, A.C.,(1994)."Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones".*Chemical Geology*,111,111-129.
- Keely, B.J., Prowse, W.G., Maxwell, J.R., (1990)."The Triebis hypothesis: an evaluation based on structural studies". *Energy Fuels* 4, 628e634.
- Letouzey, J., Sherkati, S., Mengus, J. M., Motiei, H., Ehsani, M., Ahmadnia A., Rudkiewicz, J., (2002). "A regional structural interpretation of Zagros mountain belt in northern Fars and high Zagros (SW Iran)". *American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting 2002*.
- Lewan, M.D., Maynard, J.B., (1982). "Factors controlling enrichment of vanadium and nickel in the bitumen of organic sedimentary rocks". *Geochim. Cosmochim. Acta* 46, 2547-2560.
- Lewan, M.D., (1984). "Factors controlling the proportionality of vanadium to nickel in crude oils". *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 2231-2238.
- Li, Y., Fan, T., Zhang, J., Zhang, J., Wei, X., Hu, X.,(2015). "Geochemical changes in the early Cambrian interval of the Yangtze platform south china: Implications for hydrothermal influences and paleocean redox conditions". *Journal of Asian Earth Sciences*,109,100-123.
- Li, D., Li, R., Zhu, Z., Wu, X., Cheng, J., Liu, F., Zhao, B., (2018). "Origin of organic matter and paleo-sedimentary environment reconstruction of the Triassic oil shale in Tongchuan City, Southern Ordos Basin (China)". *Vol.8, No.157*,1-17.
- Mao, L.J., Mo, D.W., Yang, J.H., Guo, Y.Y., Lv, H.Y., ( 2014). "Rare earth elements geochemistry in surface floodplain sediments from the Xiangjiang River, middle reach of Changjiang River, China". *Quaternary International* 336, 80-88.
- McBride, E. F., (1985). "Diagenetic processes that affect provenance determination in sandstone".In Zuffa G. G. (Ed), *Provenance in Arenites*. Reidel Publishing Company.p 407, pp. 95-113.

- McCord; (1975) ; "Regional geology of Asmari oil reservoir in Ahvaz-Marun area", TECHNICAL REPORT, NISOC, Iran.
- McLennan, S.M., (1989)." Rare earth elements in sedimentary rocks; influence of provenance and sedimentary processes". *Mineralogy and Geochemistry*,21,169-200.
- McLenan, S.M.,(2001)."Relation between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust ".*An Electronic Journal Of The Earth Sciences*,2,2000GC000109.
- Miliarisis, G., Iliopoulou, P.,(2004)." Clustering of Zagros Ranges from the Globe DEM representation". *Applied Earth Observation Geo information*,5,17-28.
- Mongenot, T., Tribovillard, N.P., Desprairies, A., Lallier-Verges, E., Laggoun-Defarge, F., (1996)."Trace elements as palaeoenvironmental markers in strongly mature hydrocarbon source rocks: the Cretaceous La Luna Formation of Venezuela. Sediment". *Geol.* 103, 23-37.
- Nwachukwu, J.I., Oluwole, A.F., Asubiojo, O.I., Filby, R.H., Grimm, C., Fitzgerald, S., (1995). "A geochemical evaluation of Niger Delta crude oils". In: Oti, M.N., Postma, G. (Eds.), *Geology of Deltas*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 287-300.
- Nwadinigwe, C.A., Nworgu, O.N., (1999)."Metal contaminants in some Nigerian wellhead crudes comparative analysis". *J. Chem. Soc. Niger.* 24, 118-121.
- Okay, Ç., Şükrü, K., Ali, S., (2013). "Rare earth element (REE) geochemistry and genesis of oil shales around Dağhacilar Village, Göynük-Bolu, Turkey".*Oil shale*,30,419-440.
- Oni, S., Olatunji, A., and Ehinola, O., (2014). "Determination of Provenance and Tectonic Settings of Niger Delta Clastic Facies Using Well-Y, Onshore Delta State, Nigeria". *Journal of Geochemistry*, 2014, 13p.
- Paikaray, S., Banerjee, S., & Mukherji, S. (2008). "Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan

- Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering". *Journal of Asian Earth Sciences*, 32, 34–48.
- Pi, D.-H., Liu, C.-Q., Shields-Zhou, G.A., Jiang, Y., (2013). "Trace and rare earth element geochemistry of black shale and kerogen in the early Cambrian Niutitang Formation in Guizhou province, South China: constraints for redox environment and origin of metal enrichments". *Precambrian Res.* 225, 218-229.
  - Rabbani A.R. and Bagheri Tirtashi R. (2009). " Hydrocarbon Source Rock Evaluation of the Super Giant Ahwaz Oil Field, SW Iran" . *Basic and Applied Sciences.*,4,5p.673-686.
  - Rahman M. and Kinghorn R. R. F., (2007). "A practical classification of kerogen related to hydrocarbon generation." *Petroleum Geology*, Vol. 18, Issue. 1.
  - Rimmer, S.M.,(2004)." Geochemical paleoredox indicators in Devonian–Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA)". *Chemical Geology*, 206, 373– 391.
  - Rollinson, H. R., (1993)."Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation". Longman Scientific and Technical, New York. 352 pp.
  - Roser, B. P. and Korsch, R. J., (1988). "Provenance signature of sandstone-mudstone determined using discriminate function analysis of major element data". *Chemical Geology*. 67, pp. 119-139.
  - Sari A, Derya K (2012)." An approach to provenance, tectonic and redox conditions of Jurassic-cretaceous akkuyuformation, central Taurids, Turkey". *Mineral Res. Expl. Bull*, 144, 51-74.
  - Sepehr, M., Cosgrove, J.W.,(2004). "Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran".*Marine and Petroleum Geology*,21, 829–843.
  - Sherkati, S., and Letouzey, J. (2004)."Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros Izeh zone and Dezful Embayment". *Iran, Marine and Petroleum Geology*, v. 21, p. 535–554.
  - Shtangeeva, I., (2006). In: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. (Eds.), "Trace Element in the Environment, Biogeochemistry,



Biotechnology and Bioremediation" CRC Press, Boca Raton, pp. 549-581.

- Stocklin, J. (1986). "Structural history and tectonics of Iran: a review". AAPG Bulletin 52(7): 1229-1258.
- Takeda, K., Arikawa, Y., (2005). "Determination of rare earth elements in petroleum by ICP-MS". Bunseki Kagaku 54, 939-943 (in Japanese with English abstract).
- Tao, S., Shan, Y., Tang, D., Xu, H., Li, S., and Cui, Y., (2016). "Mineralogy, major and trace element geochemistry of Shichanggou oil shales, Jimusaer, Southern Junggar Basin, China: Implications for provenance, palaeoenvironment and tectonic setting". Journal of Petroleum Science and Engineering, 146, 432-445.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Ghafory-Ashtiany, M., (2004). "Tectonics of the Central Zagros (Iran) deduced from microearthquake seismicity". Geophys. J. Int, 156, 255-266.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., (1985). "The Continental Crust: its Composition and Evolution". Blackwell, Malden.
- Telnaes, N., Cooper, B.S., (1991). "Oil-source rock correlation using biological markers, Norwegian continental shelf". Marine and Petroleum Geology, 8, 302-310.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., (1984). "Petroleum Formation and Occurrence", second ed. Springer-verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. 699pp.
- Tribouvillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T., Riboulleau, A., (2006). "Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update". Chem. Geol. 232, 12e32.
- Udo, O.T., Ekwere, S., Abrakasa, S., (1992). "Some trace metal in selected Niger Delta crude oils: application in oil-oil correlation studies". J. Min. Geol. 28, 289-291.
- Vieira, L.V., K. P. Rainha, E. V. R. de castro, P. R. Filgueiras, M. T. W. Carneiro and G.P. Brandão, (2016). "Exploratory data analysis using API gravity and V and Ni contents to detection the origins of

- crude oil samples from petroleum fields in the Espirito santo Basin (Brazil)."Microchemical Journal 124:26-30.
- Wang Y., (2008). "Kinetics of hydrocarbon gas generation from marine kerogen and oil.," Journal of Petroleum Geology, Vol. 30, Issue, 4, pp. 339-356.
  - Wignall, P.B., Twitchett, R.J., (1996). "Oceanic anoxic and the end Permian mass extinction. Science 272, 1155-1158. Wu, F.D., Lu Y.C., Ruan, X.Y., Zhou, P., 1996. Application of heavy minerals cluster analysis to study of clastic sources and stratigraphic correlation". Geoscience, 10(3), 397-402.
  - Witherspoon, P. A. and K. Nagashima .,(1957). "Use of trace metals to identify Illinois crude oils." Circular no.239.
  - Xie, G., Shen, Y., Liu. Sh., Hao. W., (2017)."Trace and rare earth element(REE) characteristics of mudstones from Eocene Pinghu Formation and Oligocene Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea Basin:implications for provenance,depositional conditions and paleoclimate".Geological Journal 13,1-2.
  - Xu, X., Subbaraman, H., Covey, J., Kwong, D., Hosseini, A., Chen, R.T.,(2012)." Complementary metal–oxide–semiconductor compatible high efficiency subwavelength grating couplers for silicon integrated photonics".APPLIED PHYSICS LETTERS 101, 031109.
  - Yan, Z., Wang, Z., Chaen, J., Yan, Q. and Wang, T., (2010)." Detrital record of Neoproterozoic arc-magmatism along the NW margin of the Yangtze Block, China: U-Pb geochronology and petrography of sandstones". Journal of Asian Earth Sciences, 37, pp. 322-334.
  - Zhao,Y., Liu, CH., Niu, H., Zhao, X., Zhang, D., Yang, D., Deng, H., ( 2017)."Trace and rare earth element geochemistry of crude oils and their coexisting water from the Jiyuan Area of the Ordos Basin,N china".Geol.j.1-13.
  - Zimmermann, U. and Bahlburg, H., (2003). "Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the Southern Puna Basin, NW Argentina". *Sedimentology*, 50, pp. 1079-1104.



**Abstract:**

The Ahwaz oilfield as one of the largest oilfield is located at the southwest of Iran in northern Dezful embayment. The Asmari Formation, Bangestan and Khami groups are main reservoirs, and Kazdumi, Pabdeh, base of Asmari, and Gurpi Formations are forming source rocks of this oilfield. Shale, calcareous shale, marl and marly limestone with intercalations of limestone are forming the main composition of oil source rock formations. Trace and rare earth elements (REEs) geochemistry of source rock formations display that: sediments of source rock formations was derived from the felsic to intermediate igneous parent rocks. The organic matters have terrestrial and mixed terrestrial-marine sources, and source rocks are mainly deposited in a marine environment. From the view of redox condition, the A10 part from the base of Asmari F. and some part of Kazdumi F. are deposited under oxidation condition, whilst this situation for the other source rock formations is reduction. The upper continental crust (UCC)-normalized trace elements and North American shale composition (NASC)-normalized REEs patterns of source rocks show that discrepancy between A10 part of Asmari F. and some part of Kazdumi F. with the other source rocks, which affect from the parent rock types and redox condition of depositional environment. Comparison of Ni and V contents in the source rocks with those of crude oil in some boreholes from Ahwaz oilfield indicate negative correlation, so that the content of these elements decrease from the source rocks toward crude oil. In addition, there is a negative correlation between REEs and total organic carbon (TOC) in the oil source rock formations. Similarity of elements geochemical characteristics between A10 part from the base of Asmari F. and some samples from Kazdumi F. introduce the base of Asmari F. parallel to Kazdumi F. as oil source rocks in the Ahwaz field.

**Keywords:** Source rocks, geochemistry, trace and rare earth elements, Ahwaz oilfield



**Shahrood University Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**M.Sc Thesis in Geochemistry**

**Trace and rare earth elements geochemistry of petroleum source rocks from  
the Ahvaz oilfield**

**By:**

**Mona Safi**

**Supervisor:**

**Dr. Masood Alipour-Asll**

**January 2019**