

سورة التوبة



دانشکده علوم زمین  
پایان نامه کارشناسی ارشد  
گرایش زمین شناسی اقتصادی

عنوان:

**بررسی توان هیدروکربن‌زایی شیل‌های سازند شمشک منطقه  
دهملا، شاهرود**

اساتید راهنما:

دکتر فرج‌الله فردوست و دکتر احمدرضا ربانی

نگارش:

ملیحه حمیدی ژاله

تابستان ۱۳۹۳

المی:

تا آموختنی را آموختم، و آموخته را جمله بسوختم، اندوخته را بر انداختم، و انداخته را میندوختم،

نیست را بفروختم، تا هست را بیفروختم.

(خواجہ عبداللہ انصاری)

تقدیم بہ تو مہربان ترین یار: ہمسرا، پرومادر دلسوز و فداکارم

و

بہ یاد کویر خاموش، کو دکان خرسند و عاشقان بی ادعای سرزمینم.

## تقدیر و تشکر

در انجام مطالعات و نوشتار این پایان نامه اساتید، صاحب نظران و سازمان های مختلفی با راهنمایی ها و مساعدت های خود اینجانب را یاری نموده اند که وظیفه خود می دانم از یکایک ایشان صمیمانه قدردانی و سپاسگذاری نمایم:

آقایان دکتر فرج الله فردوست و دکتر احمد رضا ربانی، اساتید راهنمای پایان نامه که در تمام مراحل تحصیل با تلاش بی شائبه و همه جانبه در پیشرفت و پربار شدن کار کوشیدند، تا پایان نامه حاضر در سایه عنایت ایشان به ثمر رسید.

سرکار خانم مهندس هاشمیان، در مراحل عکسبرداری SEM، جناب آقای حافظی در تهیه مقاطع صیقلی، شرکت زغالسنگ البرز شرقی واقع در شاهرود، جناب مهندس کریمی که در بخش های مختلف تهیه این پایان نامه اینجانب را یاری نمودند.

آزمایشگاه های دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، جناب دکتر صادقیان و مهندس میرباقری، آزمایشگاه مطالعات ژئوشیمی آلی دانشگاه امیرکبیر، مهندس صابری، شرکت معدنی طیف کانساران بینالود مشهد، مهندس پورمند و شرکت زرآما تهران که در مراحل مختلف مطالعات آزمایشگاهی از مساعدت های ایشان بهره مند بودم.

و همچنین، آقایان دکتر بهنام رحیمی، دکتر مصطفی رقیمی و مهندس کلانتری به خاطر کمک های غیرقابل انکارشان.

در انتها از تمامی عزیزانی که نامشان از قلم افتاده، پوزش خواسته و موفقیت آنان را از درگاه خداوند منان خواهانم.

## چکیده

منطقه مورد مطالعه (دهملا) در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غرب شاهرود به بخشی از حوضه عظیم زغال‌دار البرز شرقی تعلق دارد. مجموعه سازندهای پرکامبرین (سازند سلطانیه) تا ژوراسیک بالایی (دلیچای) را می‌توان در ستون چینه‌شناسی منطقه دهملا مشاهده کرد، لذا سازند شمشک با لیتولوژی غالب شیل (سبز، سیاه و زغالی) - ماسه‌سنگ - لایه‌های زغال که یکی از گسترده‌ترین و مهمترین سازندهای منطقه به حساب می‌آید، هدف جنبه مطالعات ژئوشیمی آلی در غالب بررسی توان هیدروکربن‌زایی شیل‌های سازند شمشک در منطقه دهملا، انتخاب گردید. از آنجاییکه بسیاری از مباحث مرتبط با رفتارشناسی شیل‌ها بویژه زمین‌شناسی زیست‌محیطی، اقتصادی و ژئوشیمی معدنی و همچنین ژئوشیمی آلی توسط شاخصه‌های لیتولوژیکی سنگ منشاء کنترل شده و با یکدیگر قرابت نزدیکی دارند، سعی شده در فصولی جداگانه به این مسائل نیز پرداخته شود. ترکیب کانی‌شناسی کل شیل‌های سازند مورد مطالعه که براساس نتایج آنالیزهای دستگامی XRD، XRF، ICP و نیز مطالعات میکروگراف‌های SEM/EDS استوار است، به حضور شاخص کوارتز، فلدسپار، کانی‌های آهن‌دار و میکایی (مسکوویت، بیوتیت و کلریت) اشاره دارند. زیرکن، دولومیت، کانی‌های سولفیدی (پیریت)، از جمله کانی‌های فرعی ثبت شده در پراش پرتو ایکس شیل سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. به هنجارسازی شیل‌های منطقه مورد مطالعه بویژه شیل‌های سیاه و زغالی با موارد زمینه مرجع از جمله PAAS، NASC، میانگین جهانی شیل، شیل نئوژن گروه سورما<sup>۱</sup> حوضه بنگال، بنگلادش، به آنومالی عناصر نادر خاکی بویژه Ce و La، عناصر جزئی U، Th، Mn، As و ... اشاره می‌کند، و همچنین اهمیت بالای مطالعات اقتصادی و ملاحظات زیست‌محیطی خاص را می‌طلبد. شیل‌های سبز در بیشتر موارد آنومالی عنصری خاصی را نشان نداده، بلکه در برخی موارد (همانند اورانیوم و تورיום) تهی‌شدگی شدیدی را بروز می‌دادند. مقادیر بالای کوارتز و ایلیت در شیل‌های مورد مطالعه و همچنین استفاده از

---

<sup>۱</sup> Surma

نسبت‌های رایج عناصر جزئی همانند La/Th علاوه بر غالب بودن کنترل‌گرهای آواری، به اشتقاق از منابع فلسیک، با ترکیب گرانودیوریت نیز اشاره می‌کنند. بر اساس کاربرد دیاگرام‌های مرتبط با تعیین تاریخچه‌ی هوازدگی سنگ منشاء و یا A-CN-K<sup>۱</sup> و A-CN-K-FM<sup>۲</sup> و مقادیر بالای غلظت Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و همچنین CIA>50، شیل‌های سازند شمشک متحمل هوازدگی شدید در ناحیه منشاء شده‌اند. ماسه-سنگ‌های سازند شمشک که در بیشتر نقاط آثار ورنی شدن و دگرسانی را نشان می‌دادند متشکل از کوارتز، فلدسپار، کلریت، میکا به همراه خرده سنگ و همچنین اکسیدهای آهن می‌باشند که احتمالاً به گروه ماسه‌سنگ‌های آرکوزی تعلق دارند. زغالسنگ‌های منطقه نیز، ترکیب غالب ویترویت و اینتریت را به نمایش می‌گذارند.

نتایج مطالعات ژئوشیمی آلی نمونه‌های شیلی که بر اساس کاربرد آنالیز دستگاهی پیرولیز راک-اول ۶ استوار گردیده، به صورت موردی و خلاصه در زیر آورده شده است:

۱- تیپ اکثریت نمونه‌ها با محدوده مقدار ماده آلی TOC=0/08-23/4 به کروژن نوع III و IV

تعلق داشته که از نظر بلوغ حرارتی طیفی از بالغ تا فوق بالغ را در برمی‌گیرند. ضمن آنکه نمونه‌های تیره‌تر بلوغ حرارتی بالاتری را نشان می‌دهند.

۲- اکثر نمونه‌های شیلی از لحاظ پتانسیل تولید، در زون گازی، گاز خشک و ورود به مرحله متاژنز قرار دارند.

۳- توزیع مقادیر HI در برابر OI و همچنین استفاده از مقادیر TOC حدود رخساره‌ای D را در اکثریت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه که حکایت از محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان دارند، نشان می‌دهند.

---

<sup>۱</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(CaO+Na<sub>2</sub>O)-K<sub>2</sub>O

<sup>۲</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

۴- آنالیز ژئوشیمی آلی انجام گرفته (پیرولیز راک-اول) بر روی نمونه‌ها، بیانگر وجود درصد قابل توجهی مواد آلی غنی از اکسیژن (OI نسبتاً بالا)، فقیر از هیدروژن (HI پایین) با منشاء قاره‌ای یا دریایی تجزیه شده دارند.

بر اساس تحقیقات صحرایی و آنالیزهای صورت گرفته، شیل‌های سیاه و زغالی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه از اهمیت بالاتر جنبه‌های آلی و معدنی نسبت به شیل‌های سبز، به علت دارا بودن پتانسیل گاززایی و آنومالی عناصر با ارزشی همانند اورانیوم، زیرکن، روی، منگنز و ... برخوردار بوده و همچنین، نیاز به مطالعات اختصاصی بیشتر را نیز می‌طلبند.

**کلمات کلیدی:** هیدروکربن زایی، شیل، شمشک، دهملا، راک - اول



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول_ کلیات .....
۲	۱-۱- مقدمه: .....
۲	۲-۱ - موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی .....
۴	۳-۱- جغرافیای انسانی و آب و هوای منطقه .....
۵	۴-۱- ژئومورفولوژی .....
۶	۵-۱- تاریخچه مطالعات قبلی: .....
۹	۶-۱- هدف کلی از تحقیق و روش های مطالعه .....
۱۱	فصل دوم_ زمین شناسی ناحیه ای / عمومی منطقه .....
۱۲	۱-۲- مقدمه: .....
۱۴	۲-۲- چینه شناسی منطقه .....
۱۴	۲-۲-۱ سازندهای دوران اول .....
۱۴	۲-۲-۱-۱ سازند سلطانیه (پرکامبرین بالایی - کامبرین زیرین): .....
۱۵	۲-۲-۱-۲ سازند باروت (کامبرین زیرین): .....
۱۶	۲-۲-۱-۳ سازند زاگون (کامبرین زیرین): .....
۱۷	۲-۲-۱-۴ سازند لالون (کامبرین زیرین): .....
۱۸	۲-۲-۱-۵ سازند میلا (کامبرین میانی - بالایی): .....
۲۰	۲-۲-۱-۶ سازند لشکرک (اردویسین زیرین): .....
۲۰	۲-۲-۱-۷ سازند قلی (اردویسین میانی - بالایی): .....
۲۰	۲-۲-۱-۸ سازند جیرود (دونین بالایی): .....
۲۲	۲-۲-۱-۹ معادل سازند مبارک (کربونیفر زیرین): .....
۲۲	۲-۲-۲ سازندهای دوران دوم: .....
۲۲	۲-۲-۲-۱ سازند الیکا (تریاس زیرین - بالایی): .....

۲۳	۲-۲-۲-۲- سازند شمشک (تریاس بالایی - ژوراسیک میانی):
۲۸	۳-۲-۲-۲- سازند دلیچای (ژوراسیک میانی):
۲۹	۴-۲-۲-۲- سازند لار (ژوراسیک میانی - بالایی):
۲۹	۳-۲- نهشته‌های کواترنری:
۳۲	۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی:
۳۵	۵-۲- منابع معدنی و پتانسیل اقتصادی:
۳۷	<b>فصل سوم_ مشخصات سنگ‌شناسی سازند شمشک</b>
۳۸	۱-۳- مقدمه
۳۹	۲-۳- پتروگرافی و کانیشناسی شیل
۳۹	۱-۲-۳- کانی‌شناسی کل سنگ
۴۹	۲-۱-۲-۳- بررسی کانی‌های رسی
۵۳	انواع انبساط‌پذیر
۵۳	انواع غیر انبساط‌پذیر
۵۳	۲-۲-۳- مقایسه شیل‌های سازند شمشک با شیل‌های سازند جیروود (دونین فوقانی)
۵۷	۳-۳- توصیف سایر شاخصه‌های فیزیکی شیل‌ها
۵۷	۱-۳-۳- طبقه‌بندی شیل‌ها
۶۱	۲-۳-۳- رنگ شیل‌ها
۶۳	۳-۳-۳- ساخت‌های رسوبی شیل‌ها
۶۷	۴-۳-۳- توصیف بافت (اندازه و شکل) شیل‌ها
۶۸	۴-۳-۳- میکروفابریک در شیل‌ها
۷۰	۴-۳- پتروگرافی و کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها
۷۰	۱-۴-۳- کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک
۷۲	۲-۴-۳- مقایسه ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک با ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود
۷۴	۵-۳- کانی‌شناسی لایه‌های زغال
۷۹	۶-۳- نتیجه‌گیری
۸۱	<b>فصل چهارم_ ژئوشیمی</b>

۸۲	۱-۴ مقدمه
۸۳	۲-۴ ژئوشیمی معدنی
۸۳	۱-۲-۴ ژئوشیمی عناصر اصلی
۹۰	۲-۲-۴ ژئوشیمی عناصر جزئی
۹۶	۳-۲-۴ ژئوشیمی عناصر نادر خاکی
۹۸	۴-۲-۴ مقایسه با داده‌های حوضه بنگال گروه سورما (بنگلادش)
۱۰۰	۳-۴ ژئوشیمی آلی
۱۰۱	۱-۳-۴ تعاریف
۱۱۵	۲-۳-۴ تعبیر و تفسیر نتایج حاصل
۱۱۶	۱-۲-۳-۴ تقسیمبندی مواد آلی (کروژن)
۱۱۶	۱-۱-۲-۳-۴ مقدار و نوع ماده آلی (کروژن)
۱۲۱	۲-۱-۲-۳-۴ گروه ماسرالی
۱۲۳	۳-۱-۲-۳-۴ دگرسانی و بلوغ حرارتی مواد آلی
۱۲۶	۴-۱-۲-۳-۴ رخساره آلی (محیط رسوب گذاری)
۱۳۰	۲-۲-۳-۴ بررسی توان هیدروکربن زایی
۱۳۳	۴-۴ نتیجه گیری
۱۳۵	<b>فصل پنجم اهمیت اقتصادی شیل‌ها</b>
۱۳۶	۱-۵ مقدمه
۱۳۶	۲-۵ شیل بعنوان ذخایر عنصری (فلزی و غیرفلزی)
۱۵۳	۳-۵ شیل بعنوان منابع هیدروکربوری
۱۵۳	۱-۳-۵ اهمیت زغالخیزی
۱۵۶	۲-۳-۵ اهمیت گاز و نفت خیزی
۱۵۹	۴-۵ سایر کاربردهای شیل (کاربردهای صنعتی)
۱۵۹	۵-۵ نتیجه گیری
۱۶۱	<b>نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۱۶۵	<b>منابع</b>

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....	۳
شکل ۲-۱- مسیر ورودی به منطقه دهملا.....	۳
شکل ۳-۱- دورنمای کلی از سازند شمشک و منطقه مورد مطالعه.....	۴
شکل ۴-۱- پوشش گیاهی ارتفاعات کم در منطقه مورد مطالعه.....	۵
شکل ۵-۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه.....	۶
شکل ۱-۲- موقعیت منطقه بر روی نقشه ساختاری ایران و نقشه زمین‌شناسی.....	۱۳
شکل ۲-۲- نمای کلی از سازند سلطانیه.....	۱۴
شکل ۳-۲- دولومیت سلطانیه.....	۱۵
شکل ۴-۲- آئینه گسل واقع در سازند باروت.....	۱۵
شکل ۵-۲- خمش‌های موجود در آهک‌های چرت‌دار سازند باروت.....	۱۶
شکل ۶-۲- نمای کلی از سه سازند، باروت، زاگون و لالون.....	۱۶
شکل ۷-۲- ریپل‌مارک موجود در سازند زاگون.....	۱۷
شکل ۸-۲- چین جعبه‌ای قرارگرفته در سازند زاگون.....	۱۷
شکل ۹-۲- طبقه‌بندی مورب در سازند لالون.....	۱۸
شکل ۱۰-۲- چین خوابیده در سازند لالون.....	۱۸
شکل ۱۱-۲- نمای کلی از سازند میلا.....	۱۹
شکل ۱۲-۲- رشد دندریتیک منگنز در آهک‌های سازند میلا.....	۱۹
شکل ۱۳-۲- ستون چینه‌شناسی سازند جیروود در منطقه مورد مطالعه.....	۲۱
شکل ۱۴-۲- سازند جیروود به‌مراه شیل سیاه سازند شمشک.....	۲۱
شکل ۱۵-۲- آهک نخودی رنگ و پرفسیل سازند جیروود.....	۲۱
شکل ۱۶-۲- توده‌های نفوذی در سازند جیروود.....	۲۲
شکل ۱۷-۲- نمای کلی از سازندهای الیکا، شمشک و لار.....	۲۳
شکل ۱۸-۲- ستون چینه‌شناسی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه.....	۲۵

- شکل ۲-۱۹- نمای کلی از سازند شمشک با کنتاکت گسله با توالی‌های سازند لار..... ۲۶
- شکل ۲-۲۰- نمایی از گسترش سازند تخریبی شمشک در منطقه مورد مطالعه..... ۲۶
- شکل ۲-۲۱- تناوب ریتمیکی از لیتولوژی شیل و ماسه‌سنگ در سازند شمشک..... ۲۶
- شکل ۲-۲۲- تصویر برخی از ماسه‌سنگ‌های ورنی شده سازند شمشک..... ۲۷
- شکل ۲-۲۳- تورق در ماسه‌سنگ و شیل‌های سازند شمشک..... ۲۷
- شکل ۲-۲۴- هوازدگی شدید و لیمنیتی‌شدن در شیل‌های سازند شمشک..... ۲۷
- شکل ۲-۲۵- کنتاکت گسله بین شیل‌های نخودی رنگ سازند جیروود و سازند شمشک..... ۲۸
- شکل ۲-۲۶- دگرسان شدید ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک..... ۲۸
- شکل ۲-۲۷- تصویر کلی از سازند دلیچای و سازند لار..... ۲۹
- شکل ۲-۲۸- برخی از تراس‌های رودخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه..... ۳۰
- شکل ۲-۲۹- ستون چینه‌شناسی منطقه ده‌ملا..... ۳۱
- شکل ۲-۳۰- نقشه گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه..... ۳۴
- شکل ۳-۱- نمودار مقایسه‌ای عناصر اصلی شیل‌های منطقه مورد مطالعه با غلظت‌های مرجع..... ۴۶
- شکل ۳-۲- زیرکن در شیل‌های سیاه منطقه مورد مطالعه (تصویر میکروگراف SEM)..... ۴۷
- شکل ۳-۳- کانی‌های اکسید آهن همراه با میکروشکستگی موجود در شیل زغالی منطقه مورد مطالعه..... ۴۷
- شکل ۳-۴- کانی‌های اکسید آهن، رسی (ایلیت)، کوارتز و فلدسپار در تصویر SEM شیل زغالی..... ۴۷
- شکل ۳-۵- پیریت و ایلیت مشاهده شده در شیل سیاه منطقه مورد مطالعه در تصاویر SEM/EDS..... ۴۸
- شکل ۳-۶- دولومیت و کلریت مشاهده شده در میکروگراف SEM/EDS شیل سیاه..... ۴۸
- شکل ۳-۷- ژئوپس حاوی مواد ارگانیکی..... ۴۹
- شکل ۳-۸- نمودار دوتایی عناصر اصلی شیل‌های منطقه مورد مطالعه جهت تعیین نسبی آب و هوا در ناحیه منشأ..... ۵۳
- شکل ۳-۹- بهنجار سازی عناصر جزئی سازندهای شیلی - ماسه‌ای جیروود و شمشک توسط موارد زمینه..... ۵۶
- شکل ۳-۱۰- آثار تورق در شیل سیاه منطقه مورد مطالعه..... ۵۹
- شکل ۳-۱۱- مقطع نازک از شیل‌های سیاه در نور XPL..... ۵۹
- شکل ۳-۱۲- مقطع نازک از شیل‌های سیاه در نور PPL..... ۵۹

- شکل ۳-۱۳- تصویر میکروگراف SEM/EDS شیل سیاه..... ۶۰
- شکل ۳-۱۴- دیاگرام سه تایی  $\text{CaCO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ..... ۶۰
- شکل ۳-۱۵- نمای کلی از گسترش شیل سیاه و سبز سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه..... ۶۲
- شکل ۳-۱۶- نمای نزدیک شیل سیاه سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه..... ۶۳
- شکل ۳-۱۷- نمای نزدیک شیل سبز از رخنمون‌های شیلی سازند مورد مطالعه..... ۶۳
- شکل ۳-۱۸- آثار هوازدگی شدید در شیل‌های (سیاه) منطقه مورد مطالعه..... ۶۵
- شکل ۳-۱۹- لیمونیتی شدن ناشی از هوازدگی و اکسیداسیون شدید در شیل‌های سیاه منطقه..... ۶۵
- شکل ۳-۲۰- ماسه‌سنگ ضخیم لایه سازند شمشک به همراه آثار ورنی شدن در آن..... ۶۵
- شکل ۳-۲۱- ماسه‌سنگ نازک لایه (نزدیک معدن ده‌ملا) سازند شمشک..... ۶۶
- شکل ۳-۲۲- آلتراسیون هیدروژنز در ماسه‌سنگ‌های سازند مورد مطالعه..... ۶۶
- شکل ۳-۲۳- ترک‌های گلی و آثار قطرات باران ( عهد حاضر)..... ۶۶
- شکل ۳-۲۴- فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در مقاطع نازک ماسه‌سنگ شمشک..... ۷۲
- شکل ۳-۲۵- کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپار در ماسه‌سنگ‌های سازند مورد مطالعه..... ۷۲
- شکل ۳-۲۶- فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در مقطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ سازند جیروود تحت دو نور XPL و PPL..... ۷۳
- شکل ۳-۲۷- کلریت آه‌ندار سازند جیروود در ۲ نور PPL و XPL..... ۷۴
- شکل ۳-۲۸- دوران‌های زمین‌شناسی، دوره‌های زغالی و فازهای تکتونیکی زغالساز ایران..... ۷۸
- شکل ۳-۲۹- ترکیب غالب اجزاء تشکیل دهنده زغالسنگ‌های ناحیه ده‌ملا بصورت شماتیک..... ۷۹
- شکل ۴-۱- دیاگرام  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{TiO}_2$  شیل‌های سازند شمشک..... ۸۹
- شکل ۴-۲- نمودار سه‌تایی A-CN-K شیلی سازند شمشک..... ۸۹
- شکل ۴-۳- دیاگرام  $\text{SiO}_2$  در مقابل  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  برای شیل‌های سکشن مورد مطالعه..... ۸۹
- شکل ۴-۴- پلات عناصر اصلی  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  نمونه‌های شیلی مورد مطالعه.. ۹۰
- شکل ۴-۵- رسم نمونه‌های شیلی شمشک در نمودار سه‌تایی..... ۹۰
- شکل ۴-۶- قرارگیری La/Sc در مقابل Th/Co در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۹۵
- شکل ۴-۷- نمودار Th در مقابل Sc شیل‌های شمشک ده‌ملا..... ۹۵
- شکل ۴-۸- دیاگرام سه تایی Sc-Zr/10-Th در شیل‌های منطقه مورد مطالعه..... ۹۶

- شکل ۴-۹- موقعیت دارندگان عمده شیل نفتی در دنیا..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۰- ارزش حرارتی مواد مختلف..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۱- انواع منابع و مخازن نامتعارف گازی بر اساس میزان کل محتویات کربنی..... ۱۱۰
- شکل ۴-۱۲- بررسی تغییرات HI/OI بر روی دیاگرام ون - کرولن..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۳- نمایش تغییرات Tmax در مقابل HI در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۴- تعیین نوع کروژن در نمونه‌های مورد مطالعه از طریق پارامتر S<sub>۲</sub> در مقابل TOC..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۵- نمودار S<sub>۱</sub> در مقابل TOC نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۶- نمایش تغییرات HI/Tmax..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۷- پلات HI در برابر TOC نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۸- نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده فوق بالغ و گاززایی قرار دارند..... ۱۲۴
- شکل ۴-۱۹- نمودار HI - Tmax..... ۱۲۵
- شکل ۴-۲۰- موقعیت نمونه‌ها در نمودار T<sub>max</sub> - PI..... ۱۲۵
- شکل ۴-۲۱- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه سازند شمشک در روی نمودار HI در مقابل TOC..... ۱۲۸
- شکل ۴-۲۲- نمایش رخساره‌های آلی با استفاده از تغییرات HI/OI..... ۱۲۹
- شکل ۴-۲۳- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار HI در برابر TOC..... ۱۲۹
- شکل ۴-۲۴- استفاده از اندیس PCI/TOC..... ۱۳۰
- شکل ۴-۲۵- نمودار S<sub>۲</sub> + S<sub>۱</sub> در برابر TOC..... ۱۳۱
- شکل ۵-۱- کشورهای عمده تولید کننده و صادر کننده عناصر نادر خاکی..... ۱۴۰

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ اجزاء اصلی و عمده‌ی تشکیل دهنده شیل و گل‌سنگ	۴۲
جدول ۲-۳ درصد نسبی عناصر اصلی، ردیاب و نادرخاکی تشکیل دهنده شیل‌های منطقه مورد مطالعه با نتایج سایر محققین	۴۳
جدول ۳-۳ فراوانی عناصر اصلی سازنده شیل‌های سازند شمشک و مقایسه آن با مقادیر زمینه	۴۵
جدول ۴-۳ طبقه‌بندی کانی‌های رسی براساس ساختار اتمی	۵۲
جدول ۵-۳ تقسیم‌بندی رایج کانی‌های رسی، براساس عناصر سازنده اصلی	۵۳
جدول ۶-۳ طبقه‌بندی رایج در انواع شیل	۵۸
جدول ۷-۳ ماسرال‌های اصلی در ذغال‌ها	۷۸
جدول ۱-۴ عناصر اصلی به همراه نسبت‌های رایج عنصری در شیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه و مقایسه با مقادیر زمینه	۸۷
جدول ۲-۴ نمودار مقایسه‌ای شیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه با مقادیر زمینه مرجع	۸۸
جدول ۳-۴ عناصر جزئی و نسبت‌های رایج غلظت‌های عنصری در شیل‌های منطقه مورد مطالعه	۹۴
جدول ۴-۴ نسبت‌های عناصر جزئی شیل‌های سازند شمشک با مقادیر زمینه مرجع	۹۵
جدول ۵-۴ نسبت‌های عنصری معمول در شیل‌های منطقه مورد مطالعه و مقایسه با موارد مرجع	۹۶
جدول ۶-۴ عناصر نادرخاکی سبک و سنگین شیل‌های سازند شمشک و مقایسه با شیل نئوژن گروه سورما	۹۹
جدول ۷-۴ برخی پارامترها و اندیس‌های مهم قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه پیرولیز راک-اول	۱۱۵
جدول ۸-۴ نتایج حاصل از پیرولیز راک-اول ۶ در نمونه‌های مورد مطالعه	۱۱۶
جدول ۹-۴ تشخیص نوع هیدروکربور با استفاده از نسبت S2/S3 و شاخص HI	۱۲۰
جدول ۱۰-۴ تقسیم‌بندی سنگ منشأ هیدروکربوری بر اساس مقادیر TOC	۱۲۱
جدول ۱۱-۴ پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده پتانسیل تولید	۱۲۱



- جدول ۴-۱۲- پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین کننده پتانسیل تولید..... ۱۲۱
- جدول ۴-۱۳- رخساره‌های آلی تعیین شده به همراه پارامترهای ژئوشیمیایی، مواد آلی غالب، ارگانسیم- های اولیه، محیطرسوبی و محصولات اولیه ..... ۱۲۸
- جدول ۴-۱۴- ارزیابی توان هیدروکربورزایی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس پارامترهای  $S_1, S_2$  و  $S_1+S_2$ ..... ۱۳۱
- جدول ۴-۱۵- استفاده از پارامترهای استاندارد دستگاهی راک-اول..... ۱۳۱
- جدول ۴-۱۶- بکارگیری از مقادیر TOC در نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۱۳۱
- جدول ۵-۱- عمده‌ترین کانسارهای اقتصادی دنیا با سنگ میزبان شیل ..... ۱۳۷
- جدول ۵-۲- فهرست اصلی عناصر نادرخاکی به همراه خصوصیات فیزیکی- شیمیایی رایج آنها..... ۱۳۸
- جدول ۵-۲- کانی‌های دارنده عناصر نادرخاکی ..... ۱۴۰
- جدول ۵-۳- کاربرد عناصر نادرخاکی در صنایع مختلف ..... ۱۴۲
- جدول ۵-۴- بهنجارسازی عناصر نادرخاکی شیل‌های شمشک با نسبت‌ها و مقادیر زمینه ..... ۱۴۳
- جدول ۵-۵- مقادیر آرسنیک در سنگ‌های مختلف ..... ۱۴۶
- جدول ۵-۶- فراوانی آرسنیک در کانی‌ها مختلف..... ۱۴۷
- جدول ۵-۷- فراوانی کانی‌ها اورانیوم‌دار در پوسته زمین و سنگ‌های مختلف..... ۱۴۹
- جدول ۵-۸- فراوانی کانی‌های اورانیوم‌دار در سنگ‌های مختلف ..... ۱۴۹
- جدول ۵-۹- فراوانی منگنز دیپ‌های مختلف اکولوژی..... ۱۵۲
- جدول ۵-۱۰- واردات و صادرات زغالسنگ ایران در سال ۱۳۸۲ به تفکیک انواع زغالسنگ ..... ۱۵۵
- جدول ۵-۱۱- مقدار مصرف زغالسنگ در کارخانه ذوب آهن اصفهان طی سالهای ۸۲-۱۳۷۵..... ۱۵۵
- جدول ۵-۱۲- میزان مصرف زغالسنگ شسته شده و کک تعدادی از واحدهای صنایع فرو آلیاژ..... ۱۵۵
- جدول ۵-۱۳- مناطق عمده زغالخیز ایران ..... ۱۵۶
- جدول ۵-۱۴- جایگاه البرز شرقی در تولید و تأمین بخشی از نیاز داخلی کشور..... ۱۵۶



فصل اول

کلیات

---

## ۱-۱- مقدمه:

افزایش روز افزون تقاضای انرژی از سوئی و کاهش مستمر منابع تجدیدناپذیر معمول هیدروکربنی از سوئی دیگر، بسیاری از شرکت‌های تأمین کننده انرژی در دنیا را بر آن داشت، که در راستای مرتفع کردن تقاضا و نیاز بازار، ذهن خود را به منابع غیرمعمول هیدروکربنی همچون: ماسه‌های قیری<sup>۱</sup>، شیل-های نفتی و گازی<sup>۲</sup>، مخازن زغالی<sup>۳</sup> و... معطوف نمایند. در ایران هم، علیرغم وجود میادین عظیم نفت و گاز همچون: خانگیران، پارس جنوبی، آزادگان، اهواز و...، اهمیت توجه به منابع غیرمتعارف با توجه به گسترش فوق‌العاده زیاد رسوبات آواری کاملاً محسوس و پراهمیت می‌باشد. منطقه دهملا واقع در جنوب غرب شاهرود، یکی از پتانسیل‌های شاخص مطالعات هیدروکربن زایی (منابع غیرمعمول هیدروکربنی - شیل) را در سازند شمشک (تریاس فوقانی - ژوراسیک زیرین) داراست. پیشینه زغالخیزی این منطقه در سازند مورد مطالعه قبلاً مورد توجه و علاقه‌مندی بسیاری از زمین‌شناسان قرار گرفته است، لیکن با توجه به گسترش زیاد رسوبات شیلی - زغالی در منطقه و کمبود اطلاعات در زمینه‌ی ژئوشیمی آلی و هیدروکربن‌زایی، تصمیم به نگارش و تدوین این پژوهش گرفته شد. ذکر این نکته نیز شایان ذکر است، از آنجائیکه هدف این تحقیق رابطه مستقیمی با مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی شیل‌ها نیز دارد، به صورت فصولی جداگانه و اختصاصی به این جنبه‌ها هم پرداخته شده است.

## ۲-۱ - موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری جنوب غرب شاهرود و ۳۸۰ کیلومتری شمال شرق تهران، در مختصات جغرافیایی ۱۸' ۳۶° تا ۲۴' ۳۶° عرض شمالی و ۳۷' ۵۴° تا ۵۲' ۵۴° طول شرقی واقع شده است ( شکل ۱-۱). از کیلومتر ۲۰ جاده شاهرود - دامغان، به سمت راست با طی مسافت هفت

<sup>۱</sup> Tar Sands

<sup>۲</sup> Oil and Gas Shale

<sup>۳</sup> CBM

کیلومتر جاده خاکی، دسترسی به منطقه امکان پذیر میباشد. اشکال ۱-۲ و ۱-۳ مسیر ورودی و همچنین نمای کلی از منطقه مورد مطالعه را نشان میدهند.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره نشانگر محدوده مطالعاتی است) (سازمان نقشه برداری کشور- وزارت راه و ترابری، ۱۳۹۱)



شکل ۱-۲- مسیر ورودی به منطقه دهملا (الف) ابتدای فرعی جدا شده از جاده شاهروود- دامغان (دید به شمال) (ب) ورودی به محدوده مورد مطالعه (دید به غرب)



شکل ۱-۳- دورنمای کلی از سازند شمشک و منطقه مورد مطالعه (دید به غرب)

### ۳-۱- جغرافیای انسانی و آب و هوای منطقه

شاهرود یکی از شهرستان‌های استان سمنان بشمار می‌آید که از بخش‌ها و دهستان‌های فراوانی تشکیل شده است. دهستان دهملا در بخش مرکزی شهرستان شاهرود، ۲۵ کیلومتری جنوب غرب شاهرود و در مسیر جاده‌ی شاهرود - دامغان با ارتفاع ۱۱۳۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است.

آب و هوای منطقه‌ی دهملا با معدل سالیانه دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد، متأثر از آب و هوای شهرستان شاهرود، در حد فاصل دو نوع اقلیم خشک و کویری در جنوب، و مرطوب و پرباران در شمال واقع شده است که همین امر شرایط مطلوب خاک‌شناسی و اقلیمی جهت فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری، پرورش ماهی و ... را در این منطقه فراهم آورده است. برهمن منوال، پوشش گیاهی در دشت و ارتفاعات کم و بسیار ضعیف است که شامل بوته‌ها و درختچه‌های پراکنده است (شکل ۱-۴)، در حالی که به سمت ارتفاعات به تراکم درختان افزوده شده و به منطقه جنگلی تبدیل می‌شود (استان گلستان). بارندگی‌ها اغلب پراکنده، فصلی و با میانگین سالیانه ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشند که در فصول بهار و پاییز با بیشترین نرخ میزان بارش روبرو هستیم. رشته قنات‌ها و رودخانه اصلی دره دهملا از تأمین‌کنندگان اصلی آب روستاهای دهملا و اطراف آن به شمار می‌آیند.

از جنبه جغرافیای انسانی نیز، دهستان دهملا بر اساس سرشماری سال ۱۳۷۵ جمعیتی بالغ بر

۳۶۵ خانوار و ۱۱۳۸ نفر را به خود اختصاص داده است (جغرافیای استان سمنان، ۱۳۷۵).



شکل ۱-۴- پوشش گیاهی ارتفاعات کم در منطقه مورد مطالعه

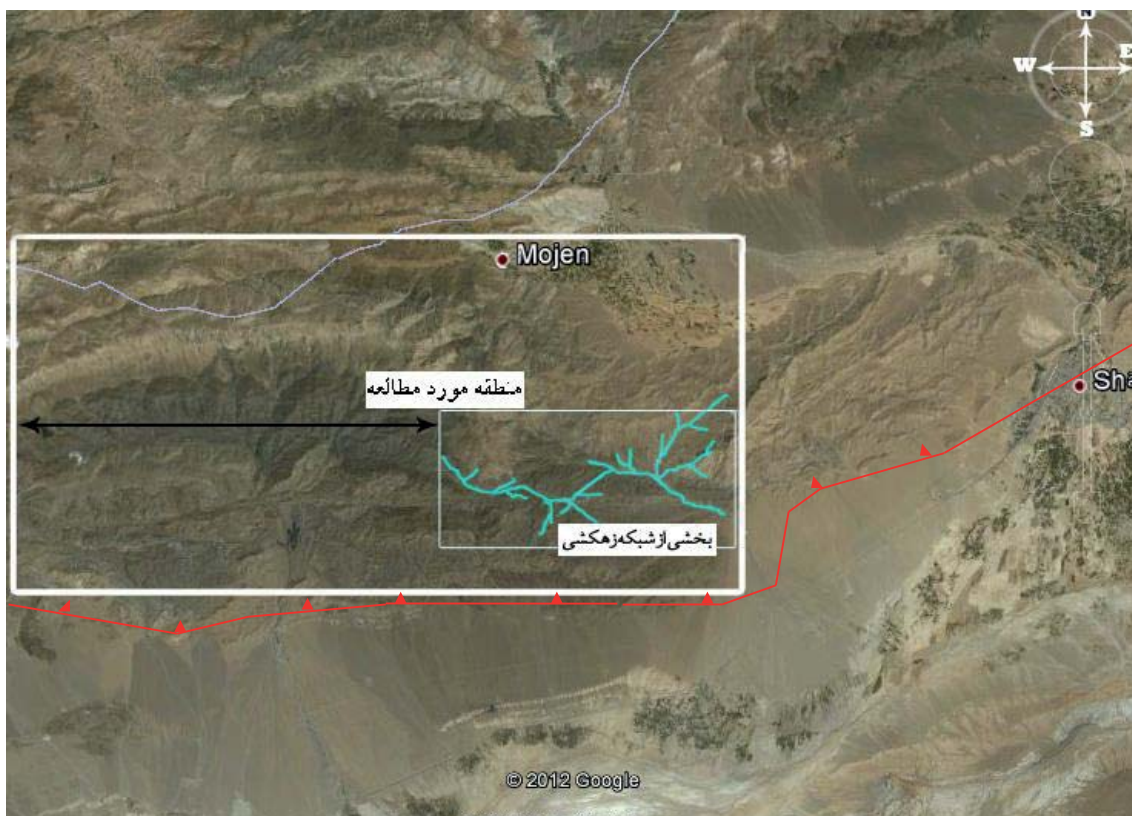
### ۱-۴- ژئومورفولوژی

منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۲۰ کیلومترمربع در ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته است. کوه چالویی با ارتفاع ۳۷۵۰ متر از سطح دریا، بلندترین نقطه و مناطق دشت مانند ایران مرکزی در جنوب منطقه مورد مطالعه، از پست‌ترین نقاط در محدوده مورد مطالعه به حساب می‌آیند. آب و هوا، جنس واحدهای سنگی، فعالیت‌های تکتونیکی، از جمله عوامل تأثیرگذار در مورفولوژی این منطقه به شمار می‌آیند. به نظر می‌رسد که فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه بویژه چین خوردگی‌ها و ایجاد سیستم گسلیده ناشی از فازهای کوهزایی سیمیرین - آلپین عملکرد گسترده‌ای داشته است، زیرا علاوه بر فراهم آوردن زمینه راندگی فراوان، به ویژه راندگی البرز بر روی ایران مرکزی در طول گسل شاهرود که باعث تقسیم شدن منطقه به دو بخش دشت در جنوب و ارتفاعات در شمال شده است، نقش عمده‌ای بر کنترل سیستم زهکشی حوضه آبگیر هم داشته است.

یکی از پیچیده‌ترین و در عین حال مهم‌ترین معیارهای غیرمستقیم شناخت مورفولوژی، بررسی سیستم زهکشی متعارف و اجزای متشکله و خاص مربوط به آنهاست. شبکه زهکشی در منطقه مورد مطالعه به صورت اشکال دندریتی<sup>۱</sup> با اتصال بین شاخه‌ای حاده می‌باشد که در رودخانه‌های دنباله‌دار<sup>۲</sup> ایجاد می‌شوند. این اشکال به خوبی در تصویر ماهواره‌ای قابل تشخیص هستند (شکل ۱-۵).

<sup>۱</sup> Dendritic Pattern

<sup>۲</sup> Insequent



شکل ۱-۵- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه به همراه بخشی از شبکه زهکشی و همچنین گسل رانده شاهرود جنس واحدهای سنگی نیز از دیگر عوامل مؤثر بر مورفولوژی یک منطقه محسوب می‌شود. در منطقه دهملا بیشترین ارتفاعات مرتبط با واحدهای سنگی - آهکی و ستیغ‌سازی همچون سازندهای لار و کرتاسه بالایی است که از خصوصیات این ارتفاعات سخت فرسا، شیب توپوگرافی زیاد و پرتگاه‌های فراوان است. در مقابل، سازندهای شمشک، جیرود، میلا و ... به علت غالب بودن واحدهای سنگی حساس به فرسایش همانند شیل، کنگلومرا، مارن و ... از مورفولوژی پستی برخوردار هستند.

### ۱-۵- تاریخچه مطالعات قبلی:

سازند شمشک برای نخستین بار توسط آسرتو<sup>۱</sup>، ۱۹۶۶، در البرز مرکزی معرفی گردید، نامبرده این سازند را به چهار واحد سنگی تقسیم نموده که از پایین به بالا شامل: ماسه‌سنگ پایینی، سری

<sup>۱</sup> Assereto, 1966



زغال‌دار پایینی، ماسه‌سنگ بالایی و سری زغال‌دار بالایی می‌باشد. با این وجود نمی‌توان، از آثار قدیمی -  
ترین مطالعات صورت گرفته (مطالعات استراتیگرافی) بر روی رسوبات زغالخیز سازند شمشک در منطقه  
مورد مطالعه که توسط اشتوکلین، ۱۹۵۴، صورت گرفت، چشم‌پوشی کرد.

کارشناسان شرکت ملی فولاد نیز در طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۵ رسوبات سازند شمشک را  
مورد مطالعه قرار داده و به علت قرارگیری لایه‌های زغال، آنها را رسوبات زغال‌دار ایران معرفی کردند.  
آنها، همچنین رسوبات زغال‌دار را در البرز شمالی به دو سازند طزره و گانو و چند بخش و زیربخش  
تقسیم‌بندی کردند (آقاناتی، ۱۳۸۳).

بنا بر اطلاعات سنگ‌شناسی سازند شمشک در حد فاصل شاهرود تا آزادشهر که توسط استامفلی،  
۱۹۷۸، صورت پذیرفت، این سازند با یک افق بوکسیتی بر روی سازند الیکا قرار گرفته و همچنین  
توسط آهک‌های کرینوئیددار سازند فارسیان (معادل دلیچای) پوشیده شده است. شایان ذکر است که  
در منطقه مورد مطالعه این افق بوکسیتی مشاهده نمی‌شود.

راد، ۱۹۸۶<sup>۲</sup>، سازند شمشک را در البرز شرقی (به ویژه ناحیه قشلاق - ۱۲۰ کیلومتری شمال  
شرق شاهرود) از لحاظ رسوب‌شناسی مورد بررسی قرار داده و آن را به ۶ واحد سنگی تقسیم‌بندی  
کرده است. وی رسوبات این سازند را محصول رسوبگذاری در یک سیستم رودخانه‌ای - دلتایی دانسته،  
به طوریکه پایین‌ترین بخش از رسوبات این سازند (واحد ماسه‌ای - شیلی) مرتبط با رسوبگذاری در  
محیط رودخانه‌ای مئاندری بوده و سایر واحدهای سازند شمشک را به ترتیب و به سمت بالا متعلق به  
رسوبگذاری در کانال‌های شاخه‌ای (واحد ماسه‌ای کانالی)، محیط‌های باتلاقی (واحد شیل سیاه)، بخش  
جلویی دلتا (واحد ماسه پایین)، فلات‌قاره (واحد شیل دریایی) و جزایر سدی (واحد ماسه بالایی) می‌داند.

---

<sup>۱</sup> Stampfli, 1978

<sup>۲</sup> Rad, 1986

آقاناتی، ۱۳۷۳، سازند شمشک را به گروه شمشک ارتقاء داده و آن را به ۵ سازند: جابان، پرور، طزره، شه میرزاد و دیکتاش تقسیم‌بندی کرده است. نامبرده گروه شمشک را معرف رسوبات چند رخساره‌ای از نوع قاره‌ای، دریاکناری و دریایی می‌داند که به تناوب و با گذشت زمان در طی تریاس بالایی، ژوراسیک زیرین و میانی، در حد فاصل آشکوب‌های رتین تا باژوسین تشکیل شده‌اند.

میرباقری و همکاران، ۱۳۸۵، محیط تشکیل سازند شمشک را با توجه به مجموعه رخساره‌های شناسایی شده در ناحیه خوش ییلاق (البرز شرقی)، محیط دلتایی تحت کنترل رودخانه دانسته که در آن زیرمحیط‌های مختلف دشت دلتایی و شیب دلتا قابل مشاهده است.

نجفی و همکاران، ۱۳۸۲، براساس مطالعه فسیل‌های گیاهی رسوبات ژوراسیک زیرین (شیل) در بخش شمالشرق بینالود، سن لیاس بالایی – دوگر را برای آن در نظر گرفته‌اند. همچنین بارنارد<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۷، فسیل‌های گیاهی سازند شمشک را در منطقه جاجرود – دره لار البرز مطالعه کرده و سن هتانژین تا باتونین را برای آن تعیین نموده است.

مطالعات فراوانی از بعد ژئوتکتونیک و الگوی شکل‌گیری حوضه عظیم البرز، توسط زمین‌شناسان و محققین صورت گرفته است، به عنوان مثال: رحیمی و همکاران، ۱۳۸۲، تکامل ساختاری البرز را در راستای مقطع دامغان – گرگان مورد مطالعه قرار داده و ساختار آن را مشابه نوارهای چین‌خورده – گسلیده نازک ورق دانسته (حوضه فورلندی) که متأثر از کوهزایی آلپین – سیمیرینی است و یا همچنین علوی، ۱۹۹۶ بر اساس تحلیل رخساره‌های سنگی، ساختاری و چینه‌نگاری، حوضه البرز را یک منظومه‌ی چندکوهزایی<sup>۲</sup> دانسته که حاصل گردهمایی کوهزاد سیمیرین و آلپین بوده، و همچنین ۷ واحد چینه – زمین‌ساختی همراه با چند مجموعه دگرگونی (شامل بقایای پالئوتتیس) را به آن اختصاص داده‌اند.

---

<sup>۱</sup> Barnard, 1967

<sup>۲</sup> Poly-Orogenic

مطالعات ابتدایی بررسی توان هیدروکربن‌زایی و ژئوشیمی آلی محققانی همانند زمانی و همکاران، ۱۳۷۸ بر روی سازند شمشک البرز مرکزی در ناحیه گلندرود و همچنین تحقیقات جدید شکاری فرد و سایرین، ۱۳۸۶، در حوضه البرز (شرقی - مرکزی - غربی)، این سازند را مستعد سنگ منشاء احتمالی نفت و گاز دانسته و اعتقاد دارند که این سازند از لحاظ گاززایی اهمیت بسزایی دارد، همچنین از لحاظ نفت‌زایی هم می‌تواند به عنوان یکی از منشاءهای مهم مطرح شود.

### ۱-۶- هدف کلی از تحقیق و روش‌های مطالعه

تاکنون هیچگونه مطالعات دقیق زمین‌شناسی (در ابعاد مختلف) و بویژه ژئوشیمی آلی در مباحث جدید منابع غیرمعمول هیدروکربنی همانند شیل، بر روی سازند مورد مطالعه صورت نگرفته است و با توجه به اهمیت ملی و گسترش فوق‌العاده زیاد رسوبات آواری این سازند، سعی به تدوین این پایان‌نامه گرفته شد. به منظور انجام‌رسانی این مطالعه، مراحل کلی که در زیر به آن اشاره می‌شود، انجام پذیرفت:

- ۱) تهیه و جمع‌آوری کتب، مقالات و گزارشات مرتبط با منطقه و موضوع.
- ۲) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه.
- ۳) بازدیدهای صحرایی مقدماتی و تکمیل‌کننده و همچنین برداشت تعداد ۲۰ نمونه شیل، ماسه‌سنگ، شیل زغالی، زغال که در نهایت ۱۰ نمونه به دانشگاه صنعتی امیرکبیر واحد ژئوشیمی آلی جهت آنالیز پایه‌ای دستگاهی راک-اول ارسال گردید (مطالعات ژئوشیمی آلی).
- ۴) انجام مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی و نازک نمونه‌های شیل و ماسه‌سنگ.
- ۵) انجام آنالیزهای دستگاهی همچون: XRD، XRF، ICP، ICP-MS، SEM، EDS بر روی نمونه‌های برداشت شده (آنالیزهای معدنی).

۶) پردازش و تحلیل داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای کاربردی همچون ArcGIS،

Rockworks، GCDkit 3.00، Mapinfo، Surfer، Excel، Photoshop و ... .

۷) تعبیر و تفسیر نتایج حاصل.

۸) نگارش پایان نامه.

## فصل دوم

### زمین‌شناسی ناحیه‌ای / عمومی منطقه

---

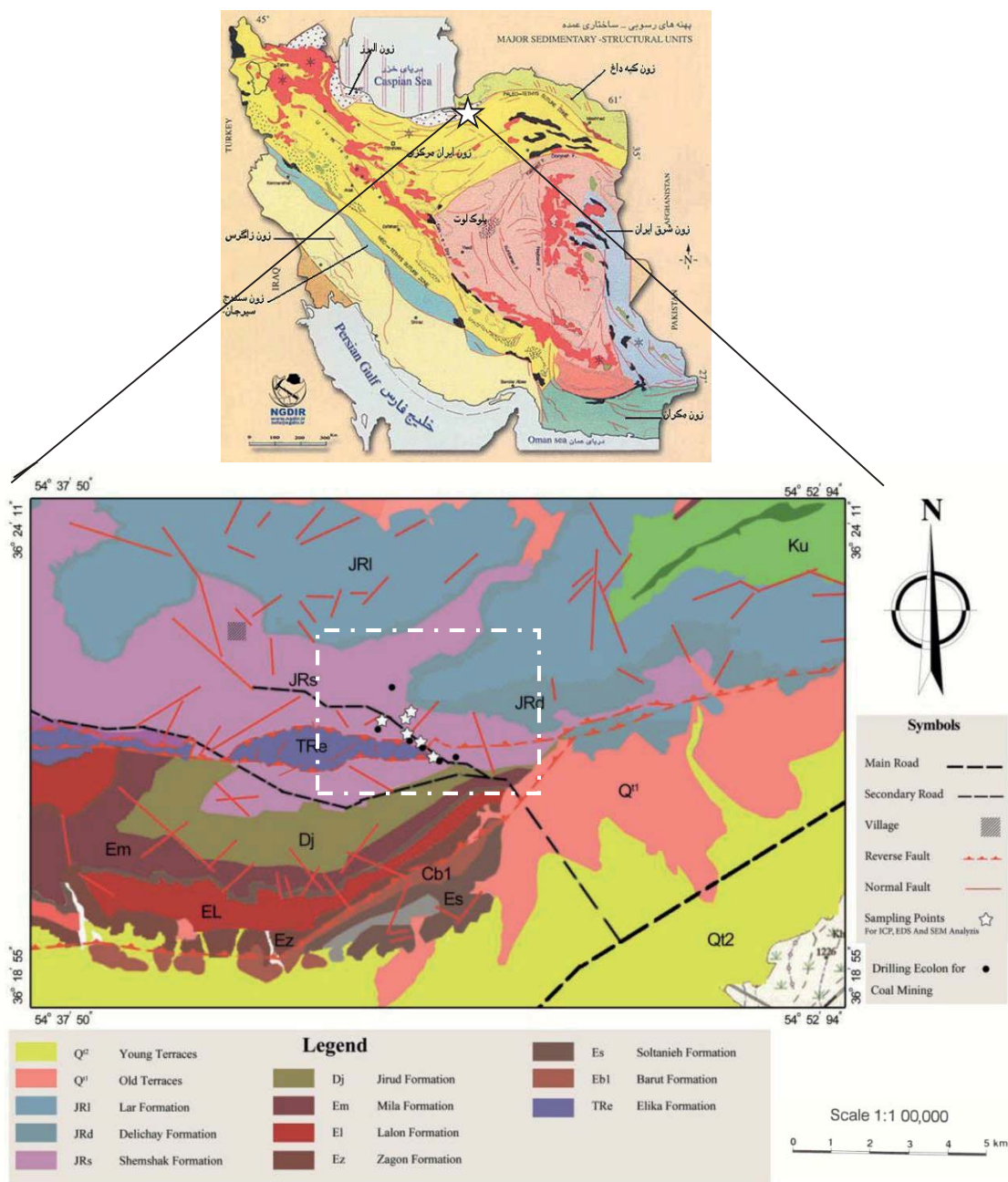
## ۲-۱- مقدمه:

ایران از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی و ساختاری، بین سپر عربستان در جنوب و فلات روسیه در شمال قرار گرفته است. مهمترین رشته کوه‌های اصلی آن که مرتبط با فازهای آلپین است، شامل البرز با روند شرقی - غربی در شمال و زاگرس با روند شمال غربی - جنوب شرقی در غرب و جنوب کشور می‌باشند. اشتوکلین در سال ۱۹۶۸ ایران را به چندین زون یا منطقه ساختمانی (دارای وضعیت تکتونیکی و تاریخچه رسوبی متفاوت می‌باشند) تقسیم‌بندی نمود، منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی ایشان در زون البرز شرقی قرار گرفته است (شکل ۱-۲).

همانطور که می‌دانیم، رشته کوه البرز خود متعلق به سلسله جبال آلپ - هیمالیا بوده که از شمال به بلوک فروافتاده خزر و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود، منطقه مورد مطالعه در واقع به حاشیه جنوبی البرز تعلق دارد. به همین جهت، ارتفاعات منطقه، بخشی از البرز شرقی را تشکیل داده و از نظر لیتولوژیکی - چینه‌شناسی مشابه سایر قسمت‌های البرز، شامل رسوباتی از محدوده‌ی سنی پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشند. بنا بر اعتقاد رحیمی و همکاران (۱۳۸۱)، با حاکم شدن حوضه فورلندی در البرز پس از تصادم دو خرد قاره‌ی ایران و توران در طی تریاس پسین، مکان‌های مناسبی جهت تشکیل مخازن نفتی، انباشت و غنی‌سازی عنصری فراهم آمده است که رسوبات آواری سازند شمشک (سازند مورد مطالعه) با ضخامت زیاد و همراهی شیل‌های سیاه و ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه و همچنین لایه‌ها و عدسی‌های زغالسنگ یکی از پتانسیل‌های اقتصادی و مهم این حادثه عظیم تکتونیکی به شمار می‌آید.

ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که به علت نبود و یا کم بودن واحدهای آذرین (حتی دگرگونی) در منطقه مورد مطالعه، هیچگونه اشاره‌ای به آنها نمی‌گردد و به توصیف مفصل پیکره‌های رسوبی دوران اول و دوم در ستون چینه‌نگاری حوضه‌های فورلندی که معرف بسیار خوبی جهت تعیین

مراحل تکامل ساختاری این نوارها (گسلیده - چین خورده، از اختصاصات حوضه‌های فورلند دریایی) به شمار می‌آیند، می‌پردازیم.



شکل ۱-۲- موقعیت منطقه بر روی نقشه ساختاری ایران و نقشه زمین‌شناسی، ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود (وزیری و مجیدی‌فرد، ۲۰۰۱)

## ۲-۲- چینه‌شناسی منطقه

در منطقه دهملا، مجموعه‌ای از سازندهای پالئوزوئیک تا اواخر ژوراسیک و همچنین نهشته‌های کواترنری رخنمون دارند<sup>۱</sup> که در زیر به شرح این سازندها از قدیم به جدید می‌پردازیم:

### ۲-۲-۱ سازندهای دوران اول

#### ۲-۲-۱-۱- سازند سلطانیه (پرکامبرین بالایی - کامبرین زیرین):

مقطع تیپ این سازند که به نام دولومیت سلطانیه هم معروف است، با ضخامت حدود ۱۱۶۰ متر در جنوب شرق سلطانیه و در کوه‌های شرق دهکده چپقلو قرار گرفته است. بنا به اعتقاد اشتوکلین ۱۹۶۸، این سازند از ۳ بخش دولومیت زیرین، بخش شیل چپقلو و دولومیت فوقانی تشکیل شده است. در منطقه سمنان تا اردکان یزد در این سازند، ابتدا مقداری ژئپس ظاهر شده و سپس گدازه‌های ریولیتی وتوف اضافه می‌شوند. در منطقه علم‌کوه و کوه‌های تخت سلیمان، دولومیت‌های سلطانیه با ضخامت حدود ۵۰۰ متر همراه با اینترکلاست‌های شیلی و ماسه‌سنگ سرخ تشکیل سازند هزار چال زیرین را می‌دهند (گانسر و هوبر، ۱۹۸۲). در مقطع مورد مطالعه این سازند، با ضخامت حدود ۳۰۰ متر شامل مجموعه‌ای از دولومیت‌های توده‌ای قهوه‌ای روشن تا خاکستری حاوی چرت و ساخت استروماتولیت می‌باشد (اشکال ۲-۲ و ۳-۲).



شکل ۲-۲- نمای کلی از سازند سلطانیه (دید به شمال غرب)

<sup>۱</sup> اطلاعات چینه‌شناسی مندرج، بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود و کتاب زمین‌شناسی ایران، آقانیاتی (۱۳۸۳) به کار رفته است.





شکل ۲-۳- دولومیت سلطانیه

### ۲-۱-۲-۲ سازند باروت (کامبرین زیرین):

در مقطع مورد مطالعه این سازند شامل مجموعه‌ای از دولومیت‌های قهوه‌ای چرت‌دار، آهک‌های خاکستری، شیل‌های رسی بنفش‌رنگ و ماسه‌سنگ می‌باشد که با ضخامتی حدود ۲۹۰ متر، بصورت همبندی گسل‌های رانده روی سازند زاگون قرار گرفته است (اشکال ۲-۴ و ۲-۵).



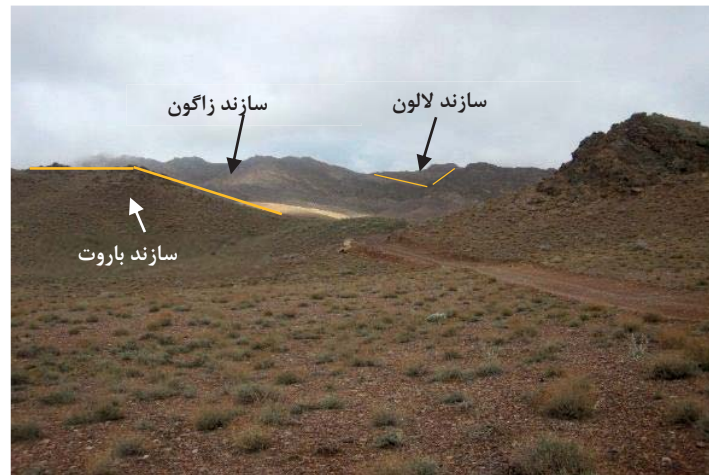
شکل ۲-۴- آئینه گسل واقع در سازند باروت



شکل ۲-۵- خمش‌های موجود در آهک‌های چرت‌دار سازند باروت

### ۲-۲-۱-۳- سازند زاگون (کامبرین زیرین):

سازند زاگون به علت ترکیب ماسه‌سنگی و شیل رسی نازک‌لایه، رخنمون‌های پست و کم ارتفاع را با ضخامت حدود ۱۱۰ متر به نمایش گذاشته است. این سازند همبری پائین خود را با سازند باروت بصورت گسل‌های رانده تجربه کرده اما با سازند بالایی (لالون) بصورت هم‌شیب و تدریجی قرار گرفته است (اشکال ۲-۶، ۲-۷ و ۲-۸).



شکل ۲-۶- نمای کلی از سه سازند، باروت، زاگون و لالون (جهت عکس: شمال غرب)



شکل ۲-۷- ریپل مارک موجود در سازند زاگون



شکل ۲-۸- چین جعبه‌ای قرار گرفته در سازند زاگون

## ۲-۱-۲-۴- سازند لالون (کامبرین زیرین):

سازند لالون تقریباً در همه جای ایران اما با ضخامت‌های متفاوت شناخته شده است. این سازند همیشه با تاپ‌کوارتزیت بخش بالایی خود همراه است. مقطع تیپ آن در البرز مرکزی برای اولین بار بوسیله آسرتو (۱۹۶۶) معرفی شد که مجموعه‌ای با ضخامت ۵۸۲ متر، متشکل از ماسه‌سنگ آرکوزی قرمز، شیل و ماسه بین‌لایه‌ای می‌باشد.

در مقطع مورد مطالعه این سازند شامل، لیتولوژی ماسه‌سنگ آرکوزی قرمز، ساب‌آرکوز و شیل-های قرمز همراه با ساخت‌های رسوبی همچون بودیناژ، فلوت‌کست، کراس‌بدینگ، ریپل‌مارک، ... است، که نشانی بر وجود محیط اکسیدان و کم‌انرژی همانند محیط قاره‌ای تا دلتایی در زمان تشکیل این سازند می‌باشد. کنتاکت بالایی آن با میلا بصورت مشخص و گسله (وجود تاپ‌کوارتزیت در قسمت بالای

این سازند نشانی بر مرز بین این سازند و میلا است) و کنتاکت پایین آن بصورت تدریجی با سازند زاگون قرار گرفته است (اشکال ۹-۲ و ۱۰-۲).



شکل ۹-۲- طبقه‌بندی مورب در سازند لالون



شکل ۱۰-۲- چین خوابیده در سازند لالون

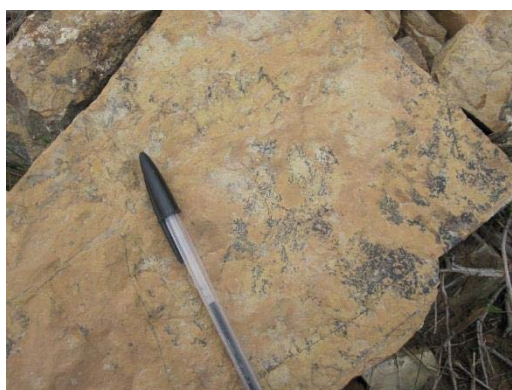
#### ۲-۲-۱-۵- سازند میلا (کامبرین میانی - بالایی):

مقطع تیپ این سازند برای اولین بار توسط اشتوکلین (۱۹۶۸)، در ناحیه میلاکوه دامغان شناسایی شد. ضخامت متوسط این سازند حدود ۵۰۰ متر و با راستای شرقی - غربی، بعلت تغییر در لیتولوژی توسط ممبرهای پنج گانه از هم جدا می‌شوند. کنتاکت زیرین سازند میلا با تاپ‌کوارتزیت سازند لالون (ممبر ۱ میلا) بصورت ناپیوستگی هم‌شیب و با رسوبات اردویسین زیرین سازند لشکرک (کنتاکت بالایی) بصورت تدریجی قرار می‌گیرد. ممبرهای ۵ گانه سازند میلا به سمت شرق ایران مرکزی و شرق ایران

(ناحیه شیرگشت)، با پیوستگی جانبی هم افزایش ضخامت و هم تنوع لیتولوژیکی بیشتری پیدا می‌کند، به طوریکه از لکرکوه تا طبس، ضخامت میلا به ۳۰۰۰ متر رسیده و تقسیمات دیگری هم به آن اضافه می‌شود (اشتوکلین و همکاران، ۱۹۶۸ و روتنر و همکاران، ۱۹۶۸). برعکس در منطقه علم‌کوه از ضخامت سازند میلا کاسته شده و رسوبات اردویسین زیرین تا میانی بنا به اعتقاد گلوس (۱۹۶۵) نام لشکرک را که معادل ممبرهای ۴ و ۵ میلا است، به خود می‌گیرند. این سازند در مقطع مورد مطالعه از گسترش خوبی، مشتمل بر دولومیت، آهک، شیل و ماسه برخوردار است. کنتاکت زیرین آن با لالون بصورت تدریجی / گسله و مرز بالایی آن با جیرود به صورت ناپیوستگی است، در این کنتاکت حضور توده‌های بازیک با ضخامت ۱۰ متر و لیتولوژی غالب اپیدوت و دره‌های گسلی بسیار زیاد دیده شده است. ممبرهای ۱ تا ۵ کاملاً قابل تفکیک بوده و همچنین در این سازند و جیرود، شاهد بیشترین حضور توده‌های نفوذی هستیم (اشکال ۲-۱۱ و ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۱- نمای کلی از سازند میلا (دید به جنوب شرق)



شکل ۲-۱۲- رشد دندریتیک منگنز در آهک‌های سازند میلا

## ۲-۱-۶- سازند لشکرک (اردویسین زیرین):

این سازند با ضخامت حدود ۵۰۰ متر از ماسه‌سنگ میکاسه ارغوانی، شیل‌های میکاسه سبز با میان لایه‌های آهک نازک لایه خاکستری تشکیل شده است. در مرز زیرین آن با ممبر ۵ سازند میلا بصورت تدریجی و هم‌شیب و در مرز بالایی آن با ناپیوستگی در زیر نهشته‌های سیلورین قرار گرفته است.

## ۲-۱-۷- سازند قلی (اردویسین میانی - بالایی):

این سازند در منطقه مورد مطالعه شامل مجموعه‌ای از شیل و سیلت‌استون میکادار، ماسه، گدازه بازیک و شیل سبز با مجموعه ضخامتی حدود ۳۰۰ متر می‌باشد. هم‌مرز زیرین آن با سازند جیروود و هم‌مرز بالایی آن با ممبر ۵ میلا بصورت ناپیوستگی است.

## ۲-۱-۸- سازند جیروود (دونین بالایی):

در مقطع تیپ این سازند بر روی سازند میلا و در ۲۰۰ متری شمال دهکده جیروود، واقع در بالای دره جیروود در البرز مرکزی قرار گرفته است و خود توسط روانه‌های بازالتی که احتمالاً مربوط به پایان دونین و حد بین دونین و کربونیفر است، پوشیده می‌شود. از نظر لیتولوژیکی به ۴ ممبر: A (قاعده مقطع) که شامل ماسه‌سنگ، شیل، آهک ماسه‌ای فسیل‌دار، لایه‌های فسفات و ۱۵۰ متر لاوای بازالتی، کنگولومرا و آهک ماسه‌ای فسیل‌دار می‌شود. بخش B از آهک فسیل‌دار سیاه‌رنگ، شیل سیاه مارنی با ضخامت ۲۲۰ متر بهره برده در حالیکه بخش C از ۱۷۰ متر آهک دولومیتی ضخیم لایه با رنگ روشن مشتمل شده است. بخش D در مقطع تیپ رخنمون نداشته اما در ناحیه شاهرود دیده شده، که شامل مجموعه‌های بی‌نظیری از آهک خاکستری ضخیم لایه پرفسیل، شیل‌های نخودی و سیاه رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ کوارتزیتی می‌باشد.

این سازند در مقطع مورد مطالعه دارای روند شرقی - غربی بوده و کنتاکت آن هم در مرز زیرین با میلا و هم با مرز بالایی خود سازند شمشک به صورت ناپیوسته و گسلی است. لیتولوژی متغیر این

سازند که شامل آهک خاکستری پرفسیل، شیل و ماسه‌سنگ ارغوانی رنگ می‌باشد، نشانی بر تغییرات محیط رسوبی و پیشروی - پسروی‌های ممتد دریای زمان رنین است. از جمله ساخت‌های رسوبی می‌توان به آثار فسیلی، کراس‌ب‌دینگ، ریپل‌مارک و ... و از جمله ساخت‌های غیررسوبی و تکتونیکی می‌توان به درزه‌های عمود برهم اشاره کرد (اشکال ۲-۱۳، ۲-۱۴، ۲-۱۵ و ۲-۱۶).

Erathem	System	Seri	Formation	Lithology	Description
Paleozoic	Carbonifer	Lower	Jirud		Lime stone
	Devonian	Upper			Green, thin bedded shale
			Fossiliferous limestone		
					Fine grain sand stone

شکل ۲-۱۳- ستون چینه‌شناسی سازند جیروود در منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود)



شکل ۲-۱۴- سازند جیروود به‌مراه شیل سیاه سازند شمشک (نمای دور) (دید به جنوب غرب)



شکل ۲-۱۵- آهک نخودی رنگ و پرفسیل سازند جیروود (دید به جنوب شرق)



شکل ۲-۱۶- توده‌های نفوذی در سازند جیروود (با ترکیب غالب اپیدوت/ میکا) (دید عکس به سمت جنوب)

### ۲-۱-۲-۲- معادل سازند مبارک (کربونیفر زیرین):

این سازند که صرفاً در مجاور جاده معدن آموزشی دهملا برون زد دارد، شامل ۱۲۰ متر سنگ آهک خاکستری پرفسیل و شیل‌های نازک لایه‌زرد می‌باشد. هم در مرز بالا و هم در مرز پائین با سازند شمشک به صورت گسله قرار گرفته است (کشانی و همکاران، ۱۳۸۲).

### ۲-۲-۲- سازندهای دوران دوم:

در منطقه مورد مطالعه برونزدهای دوران دوم، از تنوع لیتولوژیکی، ضخامت و گسترش قابل توجهی برخوردار هستند که در زیرمفصلاً<sup>۲</sup> به تشریح چینه‌شناسی غالب این سازندها می‌پردازیم.

### ۲-۲-۲-۱- سازند الیکا (تریاس زیرین - بالایی):

مقطع تیپ این سازند در دره چالوس، شرق البرز مرکزی توسط گلوس (۱۹۶۵)، توصیف شده و وجه تسمیه آن از روستای الیکا که از گردنه کندوان به سمت شرق منشعب می‌شود، گرفته شده است (اشتوکلین، ۱۹۷۲). واحد لیتولوژیکی آن با ضخامت ۳۹۵ متر اساساً از ۲ ممبر زیرین با ترکیب آهک ورقه‌ای یا ورمیکوله (ریبن، ۱۹۳۵) تا آهک شیلی و گاهی مارنی و دولومیتی با ضخامت ۹۵ متر و ممبر بالایی از دولومیت‌های توده‌ای تا آهک دولومیتی زرد تا خاکستری با ضخامت ۲۰۰ متر و لایه‌بندی منظم و ضخیم، تشکیل شده است. حد زیرین این سازند در مقطع تیپ متفاوت است، به‌طوری‌که در



دامنه شمالی البرز مرکزی به صورت ناپیوسته روی سازند نسن قرار می‌گیرد اما در دامنه جنوبی با دگرشیبی روی سازند روته و قدیمی‌تر قرار گرفته است. حد بالایی این سازند در بیشتر نقاط به صورت دگرشیب و لایه‌ای از اکسید آهن و منگنز قرمز رنگ روی توالی‌های شمشک قرار گرفته است. گسترش این سازند در نقاط مختلف ایران متفاوت است، به‌طوری‌که در البرز از گسترش فوق‌العاده زیادی برخوردار بوده و میتوان تا آذربایجان و مرز شوروی آن را تعقیب کرد، این در حالیست که در مقطع مورد مطالعه از ضخامت و گسترش کمی برخوردار است. هم‌کنتاكت بالایی آن با سازند شمشک و هم‌کنتاكت پائین آن با سازند لالون به صورت گسله است و به علت لیتولوژی غالب آهکی، نسبت به شمشک توپوگرافی مرتفع‌تری را ایجاد می‌کند (شکل ۲-۱۷).



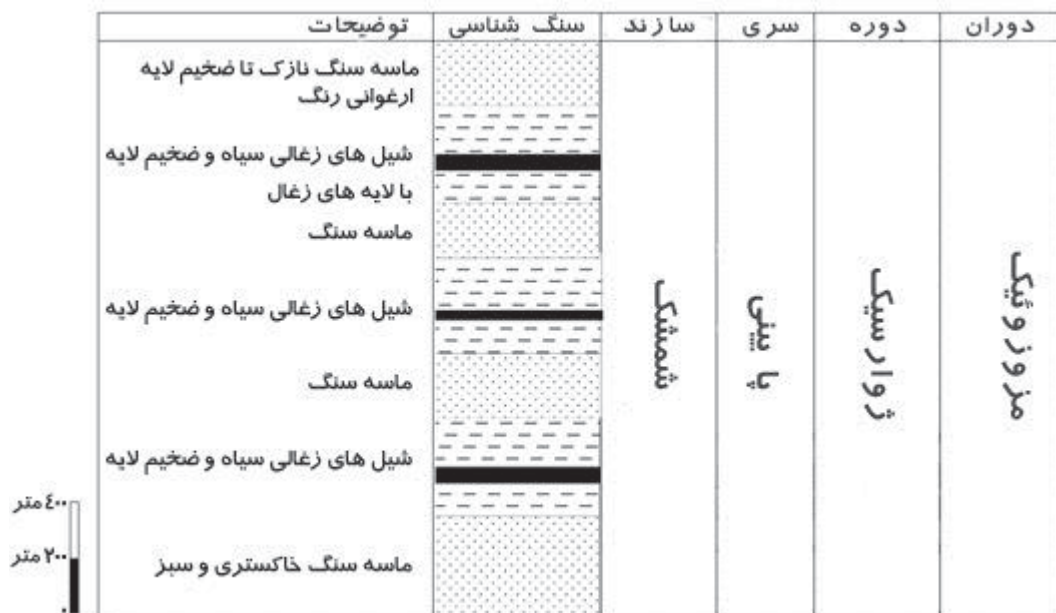
شکل ۲-۱۷- نمای کلی از سازندهای الیکا، شمشک و لار

## ۲-۲-۲-۲- سازند شمشک (تریاس بالایی - ژوراسیک میانی):

سازند شمشک بعنوان یکی از گسترده‌ترین رسوبات شیلی / ماسه‌ای ایران و بسیاری از کشورهای دنیا، علاوه بر اهمیت اقتصادی زغالخیزی، از غنی‌سازی عنصری همانند: اورانیوم، روی، منگنز و... و همچنین پتانسیل هیدروکربنی‌زایی خوبی، برخوردار است. در این پژوهش سعی شده، هم بر اهمیت هیدروکربن‌زایی شیل‌های این سازند استراتژیک با تکیه بر ژئوشیمی آلی و آنالیزهای دستگاهی و هم بر اهمیت غنی‌سازی عنصری با تکیه بر آنالیزهای جزئی‌تر دستگاهی پرداخته شود. مقطع تیپ این سازند در شمال گردنه لاسم در دره‌ی علیای روته، بخش شرقی منطقه معدنی شمشک انتخاب شده است (آسرتو، ۱۹۶۶ و اشتوکلین، ۱۹۷۲) که به علت لیتولوژی غالب رسی، ماسه‌سنگی و شیلی با توپوگرافی

پست و برجستگی‌های کم ارتفاع را ایجاد می‌کنند. راد (۱۹۸۶)، این سازند را در مقطع تیپ به ۶ واحد لیتواستراتیگرافی تقسیم کرده که از قدیم به جدید شامل: ۱- شیل و ماسه‌سنگ که به صورت ناهمشیب روی رسوبات تریاس قرار گرفته‌اند، همراه با خاک‌های قدیمه. ۲- ماسه‌سنگ‌های پرکننده کانال‌های شاخه‌ای، که دارای ویژگی‌هایی همچون کاهش تدریجی اندازه ذرات، وجود ماسه پبلی تا میکروکنگلوмера در قاعده، نبود فسیل و لایه‌بندی مورب است. ۳- شیل‌های آهکی که نشانی بر محیط آرام رسوب‌گذاری است، حضور لامیناسیون نازک رسی و سلیت استونی، آثار زیاد فسیل گیاهی و افق‌های زغال نشانی بر رسوب‌گذاری در محیط باتلاقی است. ۴- بیشتر حالت ماسه‌سنگی دارد همراه با حفرات تشکیل شده توسط موجودات و ریپل‌مارک‌های جریان‌ی که نشانی بر محیط قسمت جلوی دلتا به سمت دریا است. ۵- این واحد بیشتر شیلی است و حاوی مقادیر زیادی فسیل فرامینیفر، دوکفه‌ای و آمونیت است که نشانی بر شرایط دریایی و محیط آرام است. ۶- غالباً ماسه‌سنگی با جورشدگی خوب که در جزایر سدی رسوب کرده‌اند. در نتیجه واحدهای شماره ۱-۳ نشانی بر محیط خارج از آب و شماره‌های ۴-۶ به محیط زیر آب دلتایی اشاره می‌کنند. در مقطع تیپ این سازند با ضخامت ۱۰۲۷ متر، با بخش D سازند جیروود کنتاکت زیرین دارد، گرچه در سایر نواحی این حد متفاوت و از پرکامبرین تا الیکا است، اما در همه جا به صورت دگرشیبی زاویه‌دار است. در بیشتر نقاط حد فوقانی شمشک به سازند دلیچای ختم می‌شود. با اینکه قاعده سازند شمشک در بیشتر نواحی شامل افق‌های بوکسیت، لاتریت و فرسایشی است اما در نواحی چون فیروزکوه (آلباخ، ۱۹۶۶)، کندوان (گلوس، ۱۹۶۵) و کوه‌های شمال قزوین- آبیگ (فورون، ۱۹۴۱) قاعده این سازند را سنگ‌های آتش‌فشانی و بازالت تشکیل می‌دهند. بررسی فسیل‌های گیاهی شمشک در البرز شرقی نشان می‌دهد که شروع این سازند قبل از لیاس بوده و متعلق به نورین فوقانی تا رسین است، زیرا در ۳۵۰ متری بالاتر از قاعده سازند شمشک مجموعه گیاهان رسین را می‌توان یافت؛ نتیجه می‌گیریم در البرز شرقی گیاهان از رسین رو به توسعه نهاده و تا لیاس و دوگر پابرجا بوده‌اند (فورون، ۱۹۴۱). در مقطع مورد مطالعه این سازند با حدود ۸۰۰ متر ضخامت، از لیتولوژی غالب شیل، ماسه‌سنگ و لایه‌های زغال بهره برده است. هم کنتاکت فوقانی آن با لار و هم کنتاکت زیرین آن

با الیکا و در بسیاری موارد با سازند جیروود، به صورت گسله است. بر اساس مطالعه مقاطع نازک و نمونه‌های دستی، رسوبات شمشک (شیل و ماسه‌سنگ) توالی ریز و نازک‌شونده را به سمت بالا به نمایش می‌گذارند و همچنین، ماسه‌سنگ و شیل‌های این سازند دارای ترکیب غالب کوارتز، فلدسپار و میکا می‌باشند (درحیطه‌ی پتروگرافی شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک مفصلاً در فصول آتی بحث خواهد شد). وجود مواد آلی درون ژئوپس، دولومیتی و پیریتی شدن در برخی اجزاء تشکیل‌دهنده شیل بویژه شیل‌های سیاه (بر اساس مطالعات آنالیز دستگاهی SEM) از جمله پدیده‌های خاص و کمیاب مشاهده و مطالعه شده در این سازند بوده و دگرسانی شدید، فرسایش انحلالی و ورنی شدن ماسه‌سنگ‌ها، از جمله پدیده‌های غالب در مطالعه سازند مورد مطالعه به شمار می‌آیند (اشکال ۲-۱۸ تا ۲-۲۷).



شکل ۲-۱۸ - ستون چینه‌شناسی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود)



شکل ۲-۱۹- نمای کلی از سازند شمشک با کنتاکت گسله با توالی‌های سازند لار (دید به شمال)



شکل ۲-۲۰- نمایی از گسترش سازند تخریبی شمشک در منطقه مورد مطالعه (دید به جنوب)



شکل ۲-۲۱- تناوب ریتمیکی از لیتولوژی شیل و ماسه‌سنگ در سازند شمشک (دید به غرب)



شکل ۲-۲۲- تصویر برخی از ماسه‌سنگ‌های ورنی شده سازند شمشک



شکل ۲-۲۳- تورق در ماسه‌سنگ و شیل‌های سازند شمشک



شکل ۲-۲۴- هوازدگی شدید و لیمونیتی شدن در شیل‌های سازند شمشک (دید به شمال)



شکل ۲-۲۵- کنتاكت گسله بين شيل‌هاى نخودى رنگ سازند جیروود و سازند شمشک (دید عکس: جنوب غرب)



شکل ۲-۲۶- دگرسان شدید ماسه‌سنگ‌هاى سازند شمشک

### ۲-۲-۳- سازند دلیچای (ژوراسیک میانی):

توالی‌های این سازند در دو برش کوه تپال و ناحیه پریخان مورد مطالعه دقیق چینه‌شناسی و محیط رسوبگذاری قرار گرفته است (گیاهی یزدی، ۱۳۷۸). براساس آمونیت‌های موجود در این سازند، سنی معادل با باژوسین بالایی- کالووین را برای این سازند در نظر گرفته‌اند که مشتمل بر ماسه‌سنگ آهکی قهوه‌ای، مارن سبز با میان لایه سنگ آهک خاکستری، سنگ آهک خاکستری روشن و مارن سبز زیتونی آمونیت‌دار و ندول‌های چرت می باشد (سیدامامی، ۱۳۷۶). رخساره‌های این سازند با ضخامت حدود ۲۸۰ متر مرتبط با نواحی عمیق دریایی است. کنتاكت پائین آن با سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه به صورت ناپیوستگی فرسایشی ناشی از عملکرد فاز سیمیرین میانی (آقاناتی، سیدامامی ۱۳۷۱) و با آهک‌های سازند لار به صورت هم‌شیب و تدریجی است (شکل ۲-۲۷).



شکل ۲-۲۷- تصویر کلی از سازند دلیچای و سازند لار (نرسیده به منطقه مورد مطالعه - ۱۰ کیلومتری جاده دامغان - شاهرود) (دید به شمال شرق)

### ۲-۲-۴- سازند لار (ژوراسیک میانی - بالایی):

این سازند در منطقه مورد مطالعه از گسترش خوبی با ضخامت حدود ۶۰۰ متر برخوردار بوده که مشتمل بر آهک خاکستری روشن ضخیم لایه و توده‌ای همراه با ندول چرت و آمونیت می‌باشد. گیاهی یزدی (۱۳۷۸)، محیط تشکیل این سازند را با توجه حضور محیط سدی، لاگونی و پهنه جزر و مدی، مدل رخساره کم عمق دریایی دانسته که بررسی تغییرات عمودی آن با سازند دلیچای نشان می‌دهد که از زمان ژوراسیک میانی تا بالایی، پسروی آب دریا موجب قرارگیری رخساره کم عمق لار بر روی سازند عمیق دلیچای می‌شود.

### ۲-۳- نهشته‌های کواترنری:

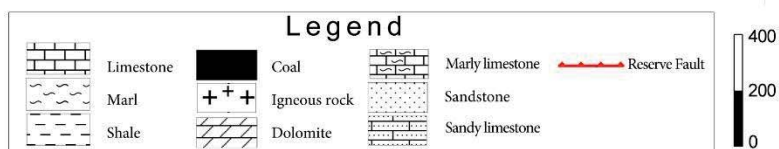
تراس‌های رودخانه‌ای همراه با پادگانه‌های آبرفتی و همچنین مخروط افکنه‌های پرشیب از جمله رسوبات کواترنری منطقه مورد مطالعه به شمار می‌آیند (شکل ۲-۲۸). ستون چینه‌شناسی منطقه دهملا نیز در مبحث آخر چینه‌شناسی آورده شده است (شکل ۲-۲۹).



شکل ۲-۲۸- برخی از تراس‌های رودخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه



Erathem	System	Seri	Formation	Thickness	Lithology	Description
Mesozoic	Jurassic	Upper	lar	600 m		Lighq grey, thick bedded to massive limestone and cherty limestone, Ammonite bearing
		Middle	dalichay	280 m		Brown calcareous sandstone at the base, light green marl with intercalation of grey limestone and alternations of grey limestone and marl with abundant Ammonite
		Lower	shemshak	1100 m		Alternations of black, thin bedded coaly shale and green, thin to medium bedded sandstone
	Triassic	Upper				
	Devonian	Upper	jirud	450 m		Alternations of grey, thick bedded fossiliferous limestone and black, thin bedded shale with intercalation of quartz sandstone
Paleozoic	Ordovician	Upper	gheli	300 m		Shale, green shale, mica siltstone
		Middle				
		Lower	lashkarak	500 m		Alternation of dark green micaceous sandstone (Ichnofossil bearing) and green micaceous shale with intercalations of grey, thin bedded limestone
	Cambrian	Upper	mila	600 m		Dark grey dolomite, yellow shale and marl, grey limestone and shaly limestone (Brachiopoda and Trilobite bearing), siltstone and quartz sandstone
		Middle				
		Lower	lalun	400 m		Purple, thick bedded quartz, sandstone with intercalation of purple, thin bedded argillaceous shale
			zagun	100 m		Alternations of purple, thick bedded quartz sandstone and purple, thin bedded argillaceous shale
	barut		290 m		Alternation of cherty dolomite, limestone and violet argillaceous shale	
Precambrian	Upper	soltaineh	300 m		Light brown to grey, massive cherty dolomite, stromatolite bearing	



شکل ۲-۲۹- ستون چینه‌شناسی منطقه ده‌ملا (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاه‌رود)

## ۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی:

براساس نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود (شکل ۲-۱) و گسل‌های فعال ایران (شکل ۲-۳۰) شاید بتوان منطقه دهملا را یکی از فعالترین مناطق تکتونیزه سمنان و حتی البرز به حساب آورد، دلیل آن وجود گسل‌های رانده و امتداد لغز فراوان به همراه چین‌ها و خمش‌های ناشی از عملکرد فازهای کوهزاد سیمربنی و هرسی‌نین در این منطقه می‌باشد.

بدلیل اهمیت ساختمانی این منطقه، به شرح مختصری از حضور سیستم‌های گسلیده - چین- خورده آن می‌پردازیم:

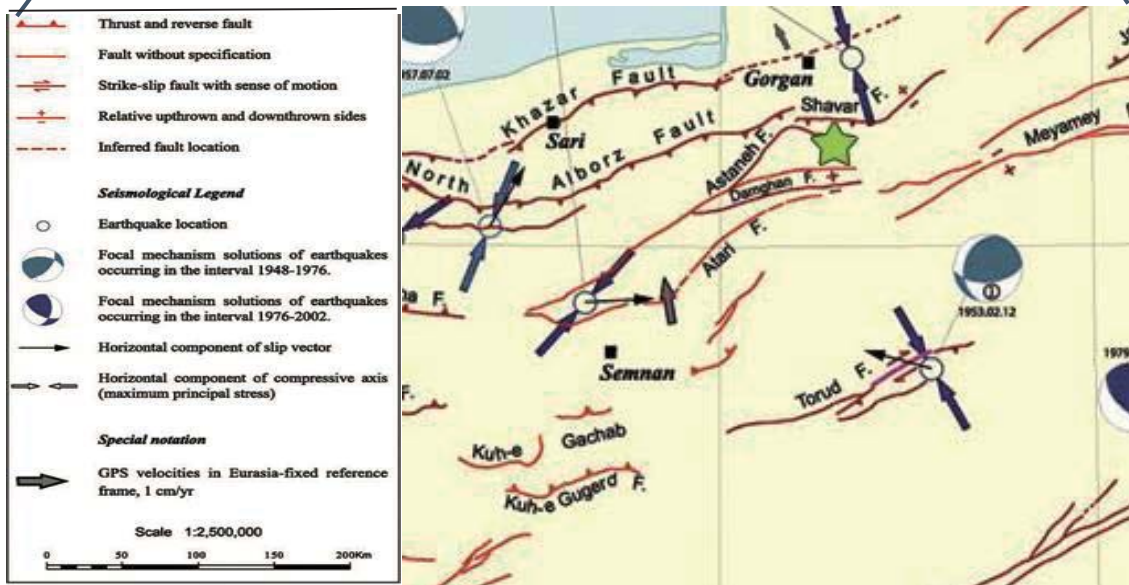
الف-گسل‌ها: در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر گسل‌های کوچک و عرضی، بیش از ۳۰ گسل با روندهای مختلف وجود دارد، حضور این گسل‌ها، علاوه لرزه‌خیزی احتمالی، بر مورفولوژی منطقه هم تأثیر گذاشته، بطوریکه باعث جدا شدن مناطق فلات‌گونه و پست ایران مرکزی (جنوب منطقه مورد مطالعه) از نواحی مرتفع و کوهستانی در شمال گشته است (رانندگی البرز بر روی ایران مرکزی در طول گسل شاهرود). پراهمیت‌ترین و فراوان‌ترین انواع گسل، نوع رانده - تراستی بوده که با روند غالب شرقی- غربی متعلق به دوران مزوزوئیک میباشند، گسل‌های اصلی طزره، شاهرود، مجن و میامی نمونه‌های بارز این نوع گسل‌ها بشمار می‌آیند. گسل‌های امتداد لغز بعد از گسل‌های رانده در درجه دوم اهمیت و گستردگی قرار می‌گیرند، این گسل‌ها اساساً راست‌گرد بوده و با روند غالب شمال غرب - جنوب شرق به توالی‌های پالئوزوئیک تعلق دارند. بعنوان مثال گسل‌های امتداد لغز متعلق به دهملا و ناحیه طزره و....، یکسری گسل‌های متعلق به توالی‌های کواترنری هم در منطقه مشاهده شده است که احتمالاً ساز و کار عادی و معکوس داشته و بیشتر در جنوب منطقه مورد مطالعه برونزد دارند.

ب- چین‌خوردگی‌ها: مجموعه‌ای از ساخت‌های تاقدیس و ناودیس مانند از تشکیل دهندگان اصلی چین‌خوردگی‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. روند اکثر این چین‌ها به صورت شرقی - غربی و یا شمال شرقی - جنوب غربی بوده که به صورت نامتقارن و گاهی متقارن هم دیده می‌شوند. ناودیس دهملا

و تاقدیس متقارن تپال (شمال غرب منطقه مورد مطالعه) نمونه‌های بزرگ و پیچیده این مجموعه چین‌خورده هستند که در زیر به شرح مختصری از ناودیس دهملا اشاره می‌شود:

ناودیس دهملا یا ناودیس میاناب (گزارش زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰)، ناودیس نامتقارن با روند عمومی شرقی - غربی است که هسته‌ی آن در بیشتر موارد سازند میلا و سازند شمشک می‌باشد. توالی‌های لالون، زاگون جزء یالهای این ناودیس بزرگ به حساب می‌آیند و معدن دهملا در یال جنوبی آن قرار گرفته است، بطوریکه یال شمالی توسط راندگی بزرگ شاهرود بریده شده است. از مشخصات بارز این ناودیس حضور فراوان گسل‌های رانده در آن می‌باشد.

علاوه بر مثال‌های فوق، می‌توان به پدیده‌های تکتونیکی کوچکتری چون، تاقدیس متقارن خربش در سازند سلطانیه، تاقدیس نامتقارن تل (ایران مرکزی) و... نیز اشاره کرد.



شکل ۲-۳۰- نقشه گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه (منطقه مورد مطالعه بصورت علامت ستاره) (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، سال ۱۳۸۲)

## ۲-۵ - منابع معدنی و پتانسیل اقتصادی

حوضه زمین‌ساختاری البرز و به تبع آن مناطق واقع در آن، به علت فراهم آوردن شرایط مناسب جهت انباشت و غنی‌سازی عناصر معدنی و غیرمعدنی ناشی از فازهای کششی سیمرینی - هرسینین، اهمیت ملی دارد. در این بین استان سمنان نیز بی‌نصیب نبوده است، به طوریکه علاوه بر سابقه‌ی طولانی استخراج زغال‌سنگ از لایه‌های زغال‌خیز سازند شمشک و حضور کنسارهای فلزی همانند: MVT، SEDEX، هیدروترمالی، اسکارن و...، پتانسیل هیدروکربنی‌زایی<sup>۱</sup> مناسبی را در رسوبات شیلی خود و هم‌چنین دارا بودن افق‌های بوکسیت و لاتریت در قاعده دو سازند الیکا و شمشک و... را در پرونده‌ی زمین‌شناسی و معدنی خود ثبت کرده است. با وجود رخنمون نداشتن افق‌های لاتریت و بوکسیت در منطقه مورد مطالعه، لیکن مطالعه‌ی شیل‌های شمشک به علت آنومالی بالای عنصری همچون U، Zr، Pb، Zn، Cu، Th و ... زغالخیزی و هم‌چنین پتانسیل مناسب هیدروکربن‌زایی از اهمیت بالایی برخوردار است.

---

<sup>۱</sup> همانند بررسی‌های شکاری فرد، ۱۳۸۶ و سید امامی، ۱۳۸۸ - حوضه البرز مرکزی و شرقی



## فصل سوم

### مشخصات سنگ‌شناسی سازند شمشک

---

از سال ۱۹۰۸ که سربی<sup>۱</sup> شاخصه‌های مطالعاتی شیل و گلسنگ را مورد بررسی قرار داد، تا اکنون که کارهای جدید محققین به فهم و مدلسازی مسائل مرتبط به آنها کمک شایانی کرده است، شیل و اجزاء سازنده آن، طیف وسیعی از تعاریف، رفتارشناسی متالوژنی - هیدرولیکی - مهندسی و ... را با توجه به شاخصه‌های کنترل‌گر خود (لیتولوژی سنگ منشاء، محیط دیاژنتیکی اولیه، شرایط Eh-Ph، دما، فشار و ...) نشان داده‌اند. بر همین اساس، جنبه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای (با وجود مشکل و جدید بودن مطالعات و ابزارهای مطالعاتی سنگ‌های ریزدانه رسوبی نسبت به درشت دانه) در گرایش‌های مختلف زمین‌شناسی، همانند: زمین‌شناسی نفت، زمین‌شناسی اقتصادی، چینه‌شناسی، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، ژئوشیمی (آلی و معدنی) و ... به آنها اختصاص گرفته است.

همانطور که می‌دانیم، شیل‌ها از انواع اصلی سنگ‌های رسوبی سیلیسی کلاستیک (کوچکتر از ۲ میکرون) به شمار آمده که در حدود ۵۰ درصد ستون چینه‌شناسی سرتاسر دنیا و یا به عبارت دیگر، بیش از نیمی از کل سنگ‌های رسوبی را به خود اختصاص داده‌اند<sup>۲</sup> و بعلاوه آنکه شناخت بهتر ویژگی‌ها و جنبه‌های مختلف ژئوشیمیایی (آلی - غیرآلی)، اقتصادی و حتی زیست‌محیطی، سنگ‌های سیلیسی - آواری، بویژه شیل و همچنین اجزای سازنده‌ی آنها (کانی‌های رسی، سولفیدی، کانی‌های سنگین، هالیدها و ...) توسط کانی‌شناسی و بویژه لیتولوژی سنگ منشأ کنترل میشود، در این فصل ابتداً به توصیف کانی‌شناسی شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه، از طریق آنالیزهای دستگاهی نیمه کیفی و پایه‌ای XRF / XRD (پراش پرتو ایکس) و EDS / SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) که کاربردهای فراوانی در توصیف شاخصه‌های شیمیایی - فیزیکی شیل دارند و همچنین، مقاطع میکروسکوپی نازک و صیقلی ماسه‌سنگ و شیل (مقطع نازک - در جایی که شیل‌های منطقه مورد مطالعه تورق بالاتری را نشان می‌دادند) پرداخته و سپس به اختصار به سایر پارامترها و شاخصه‌های

---

<sup>۱</sup> Sorby

<sup>۲</sup> Hallam, et. al, 1977



فیزیکی تأثیرگذار در خصوصیات شیل‌ها اشاره می‌گردد. در ادامه نیز، با هدف تکمیل جنبه‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی سازند شمشک، به نتایج مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی ماسه‌سنگ‌ها و لایه‌های زغال نیز پرداخته می‌شود.

در انتها، متذکر میشویم که به علت جدید بودن مطالعات ارائه شده در زمینه شیل‌های منطقه و به منظور تکمیل داده‌ها و ارائه بستر مناسب علمی، در هر بخش، زیرمجموعه‌هایی به صورت تعریف کلی آورده شده است و همچنین از اطلاعات شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند جیرود (دونین فوقانی) که در بسیاری از نقاط منطقه مورد مطالعه توسط گسل‌های رانده در مجاور هم قرار می‌گیرند، به صورت مقایسه‌ای (صرفاً در این بخش) نیز استفاده شده است.

### ۳-۲- پتروگرافی و کانی‌شناسی شیل

از آنجاییکه شناخت بهتر ویژگی‌ها و جنبه‌های مختلف ژئوشیمیایی (آلی - غیرآلی)، اقتصادی و حتی زیست‌محیطی، سنگ‌های سیلیسی - آواری، بویژه شیل و اجزای سازنده‌ی آنها (کانی‌های رسی، سولفیدی، کانی‌های سنگین، هالیدها و ...) به فهم صحیح پارامترها و مسائل فیزیکی مرتبط به آنها بستگی دارد، در این بخش به بررسی ویژگی‌های فیزیکی شیل‌های ناحیه دهملا از منطقه مورد مطالعه می‌پردازیم.

#### ۳-۲-۱- کانی‌شناسی کل سنگ<sup>۱</sup>

ترکیب کانی‌شناسی کلی سنگ‌های رسوبی و بویژه شیل و گل‌سنگ<sup>۲</sup> که از طریق هوازدگی شیمیایی - فیزیکی سنگ‌های پوسته بالایی در سطح زمین تشکیل شده و تغییرات عمده‌ای را در

---

<sup>۱</sup> Whole Rock

<sup>۲</sup> Mudstone

کانی‌شناسی و شیمی متحمل می‌شوند بسیار متنوع است. لیتولوژی سنگ منشاء، سنگ‌شدگی و فرآیندهای دیاژنتیکی بعد از تدفین از جمله عوامل اصلی (اولیه) و فرآیندهای انتخابی<sup>۱</sup> در محیط ته‌نشست، فراوانی فازهای جانبی<sup>۲</sup> (سولفیدزایی، دولومیت‌زایی و ...) و هوازدگی، از مثال‌های عمده عوامل ثانویه تأثیرگذار در تنوع و پیچیدگی کانی‌شناسی شیل‌ها به شمار می‌آیند<sup>۳</sup>.

تعاریف زیادی از کانی‌شناسی کل شیل‌ها آورده شده است، به عنوان مثال تورتلوت، ۱۹۷۹<sup>۴</sup>، دو جنبه را در تعریف آنها لحاظ کرده است:

- معرف سنگ‌های رسی لامینه‌دار

- معرف گروه بزرگی از سنگ‌های رسوبی ریزدانه سیلیسی

به طور کلی، کانی‌شناسی تیپیک یک شیل توسط حضور گسترده کانی‌های رسی (۵۷ تا ۱۷ درصد)، کوارتز (۱۵ تا ۴۵ درصد)، فلدسپار (فلدسپار پتاسیک + پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۵ درصد)، فازها و کانی‌های فرعی (کمتر از ۱۰ درصد، همانند فازهای آلی، زئولیت، سولفات، سولفید یا فاز پیریتیک، آپاتیت و یا کانی‌های سنگین، سیمان اکسید آهن، کربنات و ...) تعریف و شناخته می‌شود (جدول ۳-۱).

الگوی آنالیزهای دستگاهی پراش پرتو ایکس XRD و فلورسانس XRF و طیف سنج جرمی ICP (کرج - شرکت آریا شیمی) نمونه‌های کل سنگ شیل‌های منطقه مورد مطالعه که به واحد آزمایشگاه تحقیقات مواد معدنی کانساران بینالود واقع در مشهد مقدس جهت تعیین کانی‌شناسی (اصلی) ارسال شده بودند، به حضور شاخص کوارتز به عنوان فاز اصلی و ایلیت (کانی رسی)، آلبیت

---

<sup>۱</sup> Selective Accumulation

<sup>۲</sup> Secondary Phase

<sup>۳</sup> Boggs, S., 2001

<sup>۴</sup> Tourtelot, 1979

(فلدسپار) و کانی‌های آهن‌دار در فاز فرعی، در هر سه نوع شیل (سیاه، سبز و زغالی) سازند شمشک اشاره می‌کند (جدول ۲-۳ و ۳-۳) (شکل ۱-۳).

علیرغم تشخیص سخت کانی‌های ثانویه به علت آنکه توسط پیک‌های مرتفع عناصر اصلی همپوشانی<sup>۱</sup> پیدا می‌کنند، در شیل‌های سیاه شاهد حضور شاموزیت به عنوان فاز جزئی و همچنین در تصاویر میکروگراف SEM، زیرکن (شکل ۲-۳)، دولومیت، کانی‌های سولفیدی<sup>۲</sup> همانند پیریت و اکسیدهای آهن هماتیت و احتمالاً مگنتیت هستیم. در شیل زغالی، کلینوکلر و در شیل سبز، مسکوویت و کلسین<sup>۳</sup> از جمله عناصر جزئی ثبت شده در تصاویر پراش پرتو ایکس می‌باشند. همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود، نمونه‌هایی که از منطقه معین و مورد مطالعه برداشت شده بودند ترکیب کانی‌شناسی کلی و نزدیک به هم را نشان می‌دهند، بطوریکه تفاوت آنها در مقادیر جزئی‌تر کاملاً بارز و آشکار است (اشکال ۳-۳، ۴-۳ و ۵-۳).

دولومیت‌زایی در شیل سیاه احتمالاً مرتبط به واکنش‌های شیمیایی اضافی در طی تدفین پیش-رونده اجزاء آواری می‌باشد<sup>۴</sup> (شکل ۶-۳). در برخی موارد نادر، ژئپس‌های کربن‌دار (حاوی کربن ارگانیکی) در محل درز و شکاف‌ها دیده شده، که احتمالاً محصول واکنش محلول‌های سولفوردار شسته شده از سطوح و لایه‌های بالایی با کانی‌های رسی همانند ایلیت در رسوبات حاوی مواد آلی هستند (تشکیل ثانویه از قوت اثبات بیشتری برخوردار است) (شکل ۷-۳). حضور مقادیر بالای کوارتز، ایلیت و فلدسپار در انواع شیل، علاوه بر اشاره به هموزنز و فلسیک بودن سنگ منشاء (در این زمینه در بخش ژئوشیمی معدنی بیشتر بحث خواهد شد) به تخریبی بودن عمده کانی‌ها هم اشاره می‌کند<sup>۵</sup>.

---

<sup>۱</sup> Osbscure

<sup>۲</sup> در طبیعت سولفید عمدتاً با Fe رسوب کرده و منجر به پیدایش مونوسولفیدهای آهن می‌شود، این مونوسولفیدهای نیمه پایا به سازندگان پیریت که از لحاظ ترمودینامیکی پایدار و در محیط‌های کاهنده بسیار معمول است، تبدیل می‌شود (Machemer, et. al., 1993). حضور پیریت در شیل‌های سیاه ابتداً به آهن مرتبط می‌شود و سپس به فعالیت بالای مواد آلی بویژه باکتری‌ها که باعث احیای سولفات از آب دریا میشود.

<sup>۳</sup> Calcian

<sup>۴</sup> Sethi, P.S. & Schieber, J., 2012

<sup>۵</sup> Weaver, 1985

جدول ۳-۱ اجزاء اصلی و عمده‌ی تشکیل دهنده شیل‌ها و گل‌سنگ‌ها (Potter, et.al, 1980)

درصد متشکله	اجزاء تشکیل دهنده
کانی‌های سیلیکاته	
کوارتز	بین ۲۰ تا ۳۰ درصد میانگین شیل را تشکیل داده که بیشتر تخریبی بوده و همچنین به صورت اشکال بیوژنیک اوپال A و CT، کلسودنت دیده می‌شود.
فلدسپار	کمتر از کوارتز دیده شده، پلاژیوکلاز بسیار فراوان تر از فلدسپار آркоزی مشاهده می‌شود.
زئولیت	بیشتر محصول دگرسانی شیشه آتشفشانی، فیلیپسیت و کلینو تیلوئیت می‌باشد و در رسوبات دریا‌های امروزه رایج است.
کانی‌های رسی	
کائولینیت	تحت شرایط شستشوی قوی و باران‌های فراوان با زهکشی خوب و آب‌های اسیدی شکل گرفته و بیشتر در محیط‌های نزدیک به ساحل تا نیمه خشکی دیده می‌شود.
اسمکتیت - ایلیت - مسکوئیت	اسمکتیت از کانی‌های رایج و هیدراته است که در خاک دیده می‌شود و بیشتر از دگرسانی شیشه آتشفشانی حاصل می‌آید. ایلیت کانی رایج در شیل هاست که از دگرسانی مسکوئیت در طی دیاژنز حاصل می‌آید. مسکوئیت می‌تواند تبخیری باشد.
کلریت - ورمیکولیت - کورنزیت	کلریت در طی دیاژنز دفنی شکل می‌گیرد و دومین فراوانی را بعد از ایلیت در دوران پالئوزوئیک دارد. در طی تدفین، ورمیکولیت تبدیل به کورنزیت و در نهایت به کلریت تبدیل می‌شود.
اسپولیت و آتاپالژیت	کانی‌های غنی از منیزیم که تحت شرایط خاص شکل می‌گیرند بویژه هنگامی که آب‌های نفوذی غنی از منیزیم می‌شوند همانند دریاچه‌های شور.
اکسیدها و هیدروکسیدها	
اکسیدهای آهن	هماتیت در شیل رایج است اما گوئتیت یا لیمونیت در گل‌های امروزه معمول هستند و فقط شیل‌ها را می‌پوشانند. تحت محیط‌های کاهنده می‌توانند به پیریت یا سیدریت تبدیل شوند.
گیپسیت	شامل $AIOH_3$ است که ممکن است با همراهی کائولینیت از اجزای اصلی شیل‌ها باشد. تحت محیط‌های گرم‌تری شدید شکل می‌گیرد.
کربنات‌ها	
کلسیت	در شیل‌های دریایی نسبت به غیردریایی رایج تر است
دولومیت	سیمانی مهم در شیل به حساب می‌آید.
سیدریت و آنکریت	در شیل بیشتر به صورت اجتماعات دیده می‌شود.
کانی‌های سولفور	
سولفات‌ها: ژپس-انیدریت و باریت	با غلظت‌های بالا در شیل دیده می‌شوند و ممکن است به دلیل شرایط فوق اسیدی در طی ته نشست و بعد از آن شکل گیرد.
سوفید	بیشتر به صورت سولفید آهن، پیریت و مارکاسیت دیده شده که در شیل‌های دریایی رایج هستند که اشاره به محیط‌های احیایی دارند.
سایر اجزا	
آپاتیت	در شیل‌های دریایی بیشتر به صورت نودول دیده شده که به کندی در محیط‌های آلی فراوان تشکیل می‌شوند.
شیشه آتشفشانی	در گل‌های قاره‌ای امروزه و دریا‌ها نواحی آتشفشانی معمول هستند و در طی دیاژنز دفنی می‌توانند به زئولیت و اسمکتیت تبدیل شوند.
کانی‌های سنگین	
مواد آلی	در شیل‌ها وجود داشته اما کمتر شناخته شده هستند.
ذرات آلی شکل دار	بیشتر به صورت پلی‌نومورف یا ذرات زغالی کوچک هستند.
کروژن	در تمام انواع شیل‌ها به غیر از نوع قرمز دیده می‌شوند.

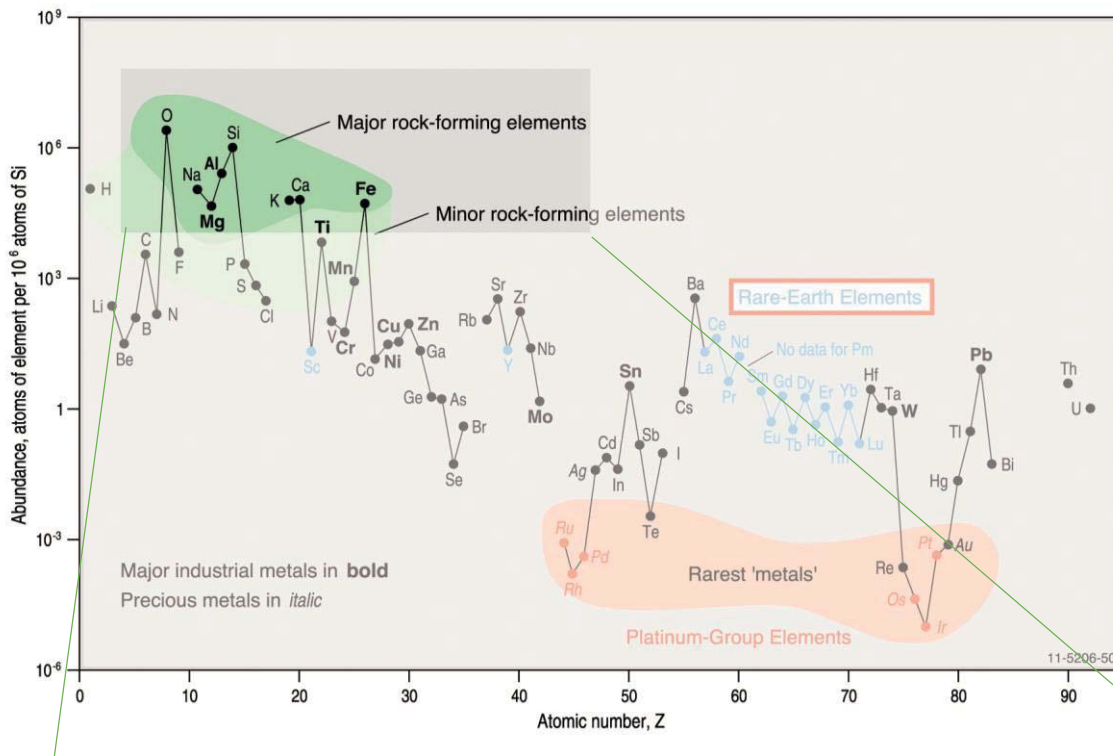
جدول ۲-۳ درصد نسبی عناصر اصلی، ردیاب و نادر خاکی تشکیل دهنده شیل‌های منطقه مورد مطالعه با نتایج سایر محققین (موارد مرجع)

Element	Units	Shaw et al. (1967,1976)	Eade and Fahrig (1973)	Condie (1993)	Gao et al. (1998a)	Sims et al. (1990)	Plank and Langmuir (1998)	Peucker-Eherenbrink and Jahn (2001)	Taylor and McLennan (1985,1995)	Wedepohl (1995)	PAAS	NASC	This Study (Average)
SiO <sub>2</sub>										58.9	62.80	64.80	57.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										16.7	18.78	16.90	16.59
Na <sub>2</sub> O										1.6	1.19	1.14	0.79
MgO										2.06	2.19	2.86	1.54
K <sub>2</sub> O										3.6	3.68	3.97	3.02
TiO <sub>2</sub>										0.78	0.99	0.70	0.97
MnO										0.08	0.11	0.06	0.05
CaO										2.2	1.29	3.63	0.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>										0.16	0.16	0.13	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										6.91	7.18	5.65	7.76
SO <sub>3</sub>													1.55
LOI										6.3			8.93
Cs	µg g <sup>-1</sup>				3.55		7.3		4.6 <sup>c</sup>				
Ba	"	1070	730	633	678				550				201
La	"	32.3	71	28.4	34.8				30	(32.3)	38.20	31.1	21.3
Ce	"	65.6		57.5	66.4				64	(65.7)	79.60	67.03	58
Pr	"								7.1	6.3	8.83	9.1	6.21
Nd	"	25.9		25.6	30.4				26		33.90	30.4	19.56
Sm	"	4.61		4.59	5.09				4.5	4.7	5.55	5.98	4.62
Eu	"	0.937		1.05	1.21				0.88	0.95	1.08	1.25	0.83
Gd	"			4.21					3.8	2.8	4.66	5.5	3.72
Tb	"	0.481		0.66	0.82				0.64	(0.5)	0.77	0.85	0.493
Dy	"	2.9							3.5	(2.9)	4.68	5.54	2.493
Ho	"	0.62							0.8	(0.62)	0.99	1.27	
Er	"								2.3		2.85	3.275	3.16
Tm	"								0.33		0.41	0.54	0.33
Yb	"	1.47		1.91	2.26				2.2	(1.5)	2.82	3.11	1.33
Lu	"	0.233		0.32	0.35				0.32	(0.27)	0.43	0.456	0.22
Hf	"	5.8		4.3	5.21				5.8	(5.8)			
Ta	"	5.7		0.79	0.74		0.96		1.0 <sup>c</sup>	1.5			
W	"				0.91	3.3			2	1.4			
Re	ng g <sup>-1</sup>							0.198	0.4				
Os	"							0.031	0.05				
Ir	"	0.02						0.022	(0.02)				
Pt	"							0.51					
Au	"	1.81			1.24				1.8				
Hg	µg g <sup>-1</sup>	0.096			0.0123					0.056			
Tl	"	0.524			1.55				0.75	0.75			

جدول ۳-۲- ادامه

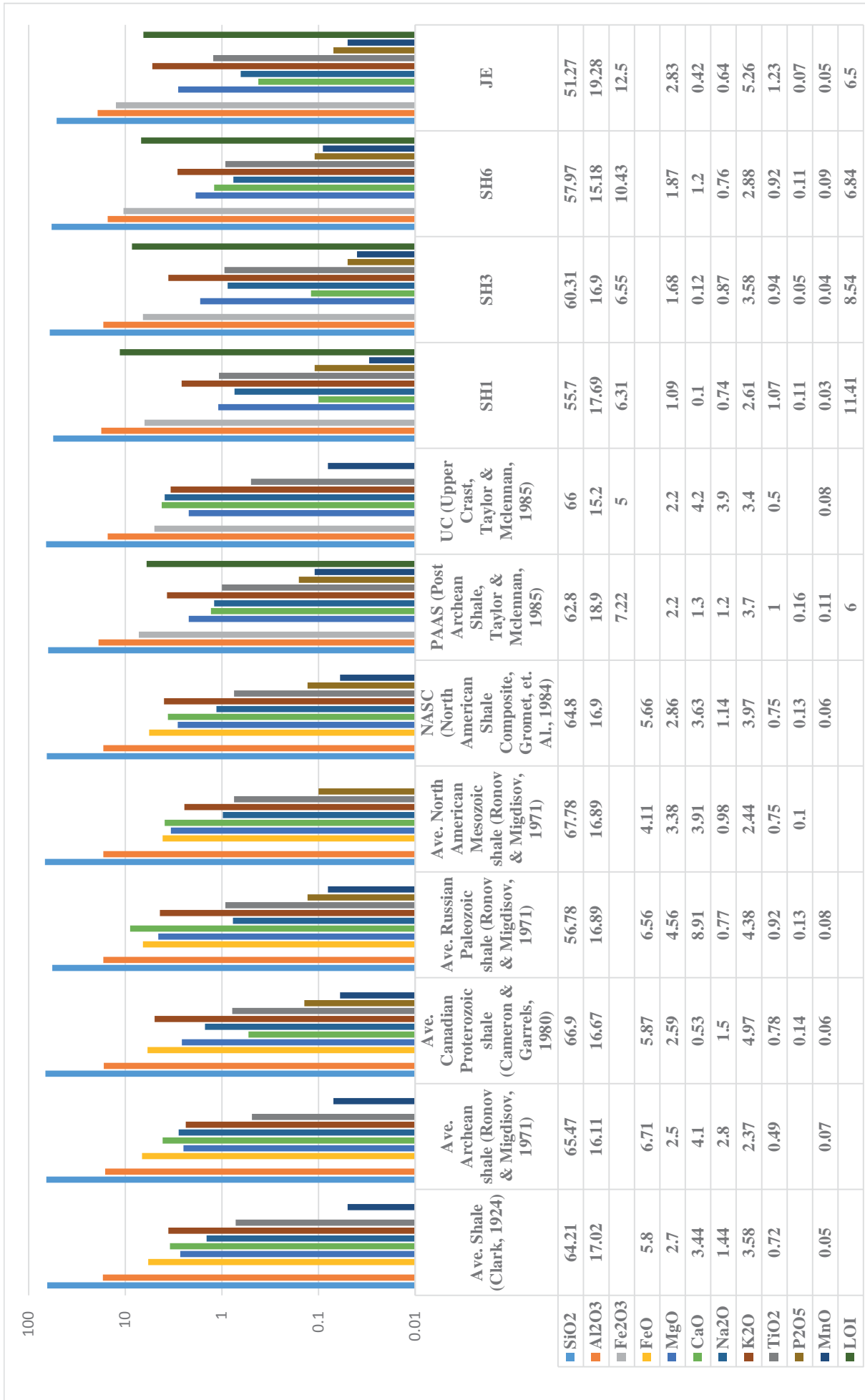
Element	Units	Shaw et al. (1967,1976)	Eade and Fahrig (1973)	Condie (1993)	Gao et al. (1998a)	Sims et al. (1990)	Plank and Langmuir (1998)	Peucker-Eherenbrink and Jahnn (2001)	Taylor and McLennan (1985,1995)	Wedepohl (1995)	NASC	This Study
Li	µg g <sup>-1</sup>	22			20				20	(22)		48.2
Be	"	1.3			1.95				3	3.1		<1
B	"	9.2			28				15	17		
N	"									83		
F	"	500			561					611		
S	"	600			309					953		
Cl	"	100			142					640		255
Sc	"	7	12	13.4	15				13.6	(7)		8.8
V	"	53	59	86	98				107	(53)		98
Cr	"	35	76	112	80				85	(35)		75.5
Co	"	12		18	17				17	(12)		36
Ni	"	19	19	60	38				44	(19)		68.6
Cu	"	14	26		32				25	(14)		
Zn	"	52	60		70				71	(52)		134.2
Ga	"	14			18				17	(14)		
Ge	"				1.34				1.6	1.4		
As	"				4.4	5.1			1.5	2		121.2
Min	"											420.8
Se	"				0.15				0.05	0.083		
Br	"									1.6		
Rb	"	110	85	83	82				112	110		210
Sr	"	316	380	289	266				350	(316)		93.6
Y	"	21	21	24	17.4				22	(21)	NR	64
Zr	"	237	190	160	188				190	(237)		84.4
Nb	"	26		9.8	12		13.7		12	(26)		210
Mo	"				0.78	1.2			1.5	1.4		2.6
Ru	ng g <sup>-1</sup>							0.34				
Pd	"				1.46			0.52	0.5			
Ag	"				55				50	55		<1
Pb	"	17	18	17	18			17 <sup>c</sup>	17			51.4
Bi	"	0.035			0.23			0.13	0.123			<10
Th	"	10.3	10.8	8.6	8.95			10.7	(10.3)			16
U	"	2.45	1.5	2.2	1.55			2.8	(2.5)			10
Cd	µg g <sup>-1</sup>	0.075			0.079				0.098	0.102		<1
In	"								0.05	0.061		
Sn	"				1.73				5.5	2.5		<5
Sb	"				0.3	0.45			0.2	0.31		16

جدول ۳-۳- فراوانی عناصر اصلی سازنده شیل‌های سازند شمشک و مقایسه آن با مقادیر زمینه (بهنجارشده)



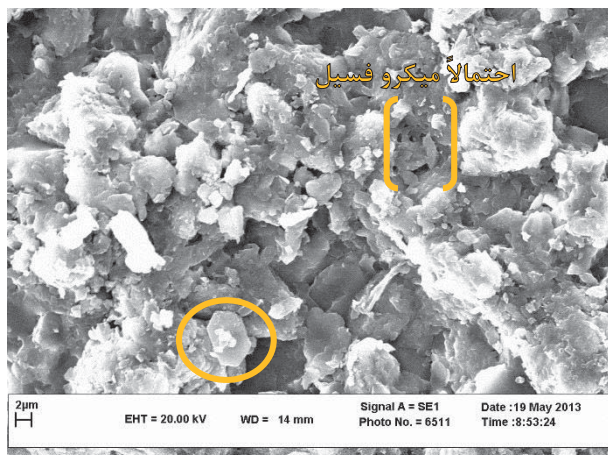
Elements	SH1 %	SH3 %	SH6 %	JE(JIROD) %	UC	NASC	PAAS	Wedepohl(1995)
SiO <sub>2</sub>	55.70	60.31	57.97	51.27	66	64.80	62.80	58.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.69	16.90	15.18	19.28	15.20	16.90	18.78	16.7
Na <sub>2</sub> O	0.74	0.87	0.76	0.64	3.90	1.14	1.19	1.6
MgO	1.09	1.68	1.87	2.83	2.20	2.86	2.19	2.06
K <sub>2</sub> O	2.61	3.58	2.88	5.26	3.40	3.97	3.68	3.6
TiO <sub>2</sub>	1.07	0.94	0.92	1.23	0.50	0.70	0.99	0.78
MnO	0.03	0.04	0.09	0.05	0.09	0.06	0.11	0.08
CaO	0.10	0.12	1.20	0.42	4.20	3.63	1.29	2.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.05	0.11	0.07		0.13	0.16	0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.31	6.55	10.43	12.5	5	5.65	7.18	6.91
SO <sub>3</sub>	2.91	0.20	1.55	00.0				
LOI	11.41	8.54	6.84	6.5				6.3

	SH1	SH3	SH6	JE(JIROD)
Main phase	Quartz	Quartz	Quartz	Quartz
Minor phase	Illite, Clinocllore, Ferroan, Albite	Illite, Albite, Chamosite	Illite, Clinocllore, Ferroan, Albite, Muscovite, Calcian	Illite, Clinocllore, Ferroan, Albite

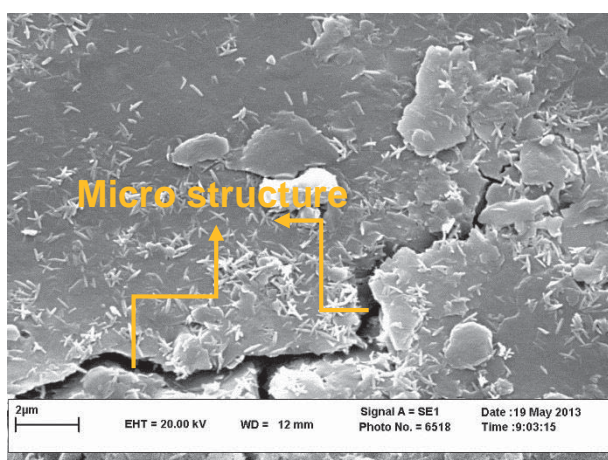


شکل ۳-۱- نمودار مقایسه‌ای عناصر اصلی شیل‌های منطقه مورد مطالعه با غلظت‌های مرجع

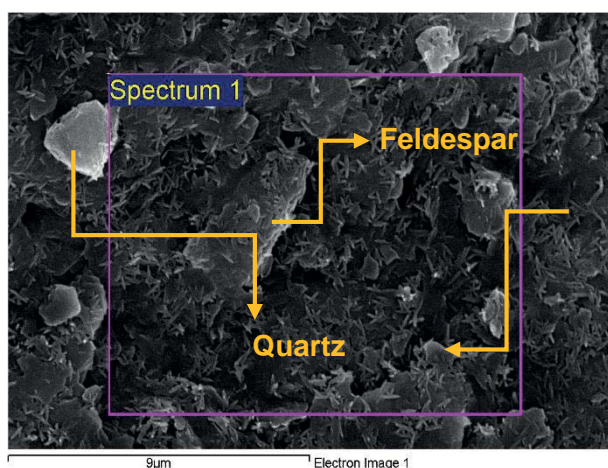




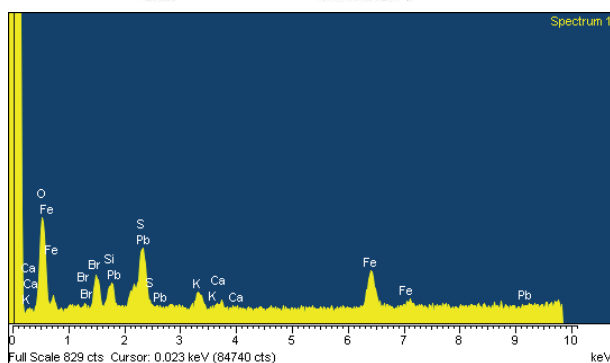
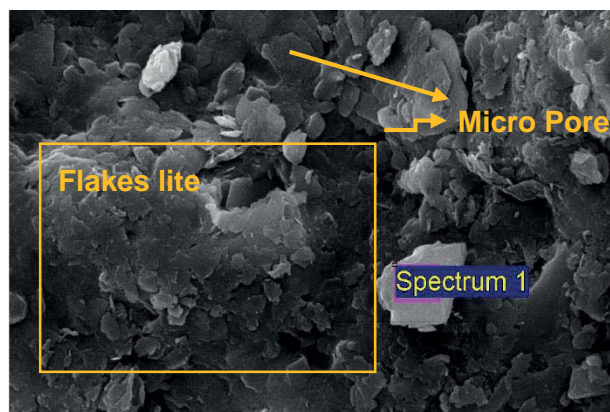
شکل ۳-۲- زیرکن در شیل‌های سیاه منطقه مورد مطالعه (تصویر میکروگراف SEM)



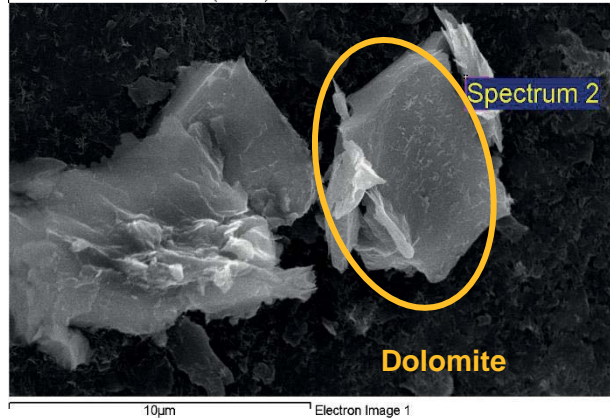
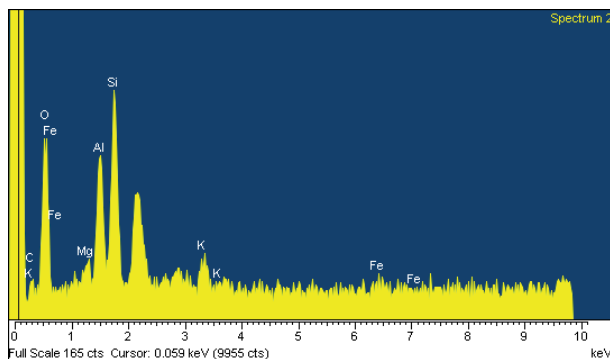
شکل ۳-۳- کانی‌های اکسید آهن ( ستاره‌ای شکل - هماتیت) همراه با میکروشکستگی موجود در شیل زغالی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۴- کانی‌های اکسید آهن، رسی (ایلپیت)، کوارتز و فلدسپار در تصویر SEM شیل زغالی



شکل ۳-۵- پیریت و ایلیت (ادامه تصاویر بالا) مشاهده شده در شیل سیاه منطقه مورد مطالعه در تصاویر SEM/EDS (نقطه اسپکتروم - پیریت)



شکل ۳-۶- دولومیت و کلریت ( فیبری شکل، کلریت - نقطه اسپکتروم) مشاهده شده در میکروگراف SEM/EDS شیل سیاه



شکل ۳-۷- ژئیس حاوی مواد ارگانیکی (منطقه مورد مطالعه)

### ۳-۲-۱-۲- بررسی کانی‌های رسی

به دلیل پراهمیت بودن مباحث مرتبط با کانی‌های رسی در مطالعات سنگ‌های ریزدانه آواری و بویژه شیل، در این قسمت بطور جداگانه به تشریح آنها می‌پردازیم. طبقه‌بندی، تعاریف و جنبه‌های کاربردی زیادی از کانی‌های رسی در مطالعات محققین سرتاسر دنیا آمده است که در زیر به تعریفی ساده از آنها اشاره می‌شود:

بوگز<sup>۱</sup> (۲۰۰۹)، کانی‌های رسی را متعلق به گروهی از کانی‌های سیلیکاته به نام فیلوسیلیکات‌ها دانسته که توسط بنیان  $\text{SiO}_4^{-4}$  و کاتیون‌های فلزی شناخته می‌شوند. بنیان  $\text{SiO}_4^{-4}$  شامل یک اتم سیلیس است که توسط ۴ اتم اکسیژن در اطراف احاطه شده و تشکیل یک واحد ساختاری تتراهدرالی به نام سیلیکات‌تتراهدرون و یا سیلیکا - اکسیژن تتراهدرون را می‌دهند. تتراهدرون‌های سیلیکا به هم متصل شده تا باعث گسترش ورقه‌های تتراهدری شوند. فیلوسیلیکات‌ها دارای گروه OH منفی هستند که با کاتیون‌هایی همانند Al, Mg, Fe در یک کئوردیناسیون شش گوش متصل شده و تشکیل ساختار و ورقه‌های اکتاهدرالی را می‌دهند. به ورقه‌های اکتاهدری، O و تتراهدری T گفته می‌شود. تمام انواع کانی‌های رسی و فیلوسیلیکاته (کانی‌های رسی معمول همانند کائولن، اسمکتیت، ایلیت و ... و همچنین

<sup>۱</sup> Boggs, 2009

کانی‌های رسی غیرمعمول با فرمول شیمیایی و ساختاری پیچیده) توسط ترکیبات متنوع لایه‌های T و O شکل می‌گیرند. بعضی فیلوسیلیکات‌ها دارای یک ساختار T-O به نام یک لایه‌ای یا ۱:۱ (همانند آنتی‌گوریت - تری‌اکتاهدری و کائولینیت - دی‌اکتاهدرال) و برخی دیگر دو لایه‌ای یا T-O-T یا ۲:۱ هستند (همانند پیروفیلیت - دی‌اکتاهدرال و تالک - تری‌اکتاهدرال). اتصال لایه‌های منفرد T-O با سایر لایه‌های T-O که توسط پیوندهای ضعیف واندروالس صورت می‌گیرد، کلیواژ را در فیلوسیلیکات‌ها شکل می‌دهد.

فاکتورهایی همانند لیتولوژی سنگ منشاء، تغییرات آب و هوایی، فعالیت‌های تکتونیکی، تبدیل و تغییرات بعد از ته‌نشست (تعدیلات دیاژنتیکی)، تدفین شاخص، آب‌های متئوریک، نرخ و نوع هوازدگی، دما - فشار، فعالیت‌های میکروبی و ... در تنوع کانی‌شناسی رسی نقش بسزایی دارند.<sup>۱</sup>

در کل، سیلیکا، آلومینیوم و آب به عنوان سازندگان اصلی و آهن، عناصر قلیایی و قلیایی خاکی، مواد آلی و ... از سازندگان جزئی کانی‌های رسی به حساب می‌آیند.<sup>۲</sup> کانی‌های رسی بر اساس ویژگی‌های متفاوتی همانند: تفاوت در ساختار (طبقه‌بندی شویجر و تاکاگی، ۲۰۰۰<sup>۳</sup>)، روش‌های جذب آب و تغییر در حجم و ... طبقه‌بندی (جداول ۳-۴ و ۵-۳) و بسته به هدف مطالعاتی از طریق آنالیزهای دستگاهی متفاوتی همانند: SEM<sup>۴</sup> و XRD<sup>۵</sup> جهت بررسی مورفولوژی و کانی‌شناسی توده بلوری، TEM<sup>۶</sup> جهت شناخت شاخصه‌های بلور تک، HRTEM<sup>۷</sup> جهت مطالعه و شناخت انفرادی سطوح اتمی و ... مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر، علاقه‌مندی به کشف و تشخیص کانی‌های رسی در مطالعات

---

<sup>۱</sup> Keller, 1963, Albery et. al., 2003

<sup>۲</sup> Ralph, 1968

<sup>۳</sup> Schichi & Takagi, 2000

<sup>۴</sup> Scanning Electron Microscope

<sup>۵</sup> X-Ray Diffraction

<sup>۶</sup> Transmission Electron Microscope

<sup>۷</sup> High Resolution Transmission Electron Microscope

زمین‌شناسی و بویژه زمین‌شناسی نفت و اقتصادی به علت دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد، جذب سطحی<sup>۱</sup>، پتانسیل تبادلات یونی<sup>۲</sup> و بویژه رفتار آلی دوست - فلزدار<sup>۳</sup>، در آنها بسیار بالا رفته است<sup>۴</sup>.

همانطور که در بالا به آن اشاره شد، تجمعات کانیاپی رسی بعنوان گروه پیچیده‌ای از انواع کانی‌ها و نیز ارتباط آنها با هم، نقش مهمی در توصیف بسیاری از پارامترها و پدیده‌های زمین‌شناسی همانند: دیرینه تکتونیک، دیرینه آب و هواشناسی، تعیین نوع سنگ منشاء، تغییرات بعد از ته‌نشست، شیوه انتقال رسوب، مطالعات ژنز و تاکسونومیک<sup>۵</sup> خاک، مطالعات هیدروکربنی (از زایش تا خروج پترولیوم)، مسائل زیست‌محیطی و .. ایفا می‌کنند. کانی‌شناسی رسی در فتو میکروگراف‌های SEM (شیل سیاه و زغالی)، پراش پرتو ایکس (در هر سه نوع شیل سیاه، سبز و زغالی) و مقاطع نازک ماسه‌سنگ و شیل (سیاه)، به تنوع کانی‌های رسی به صورت ایلیت و کوارتز به عنوان فاز اصلی و کلریت، مسکوویت و بیوتیت به عنوان فازهای جانبی و همچنین به حضور ریزمنافذ<sup>۶</sup> و ریزشکستگی‌ها<sup>۷</sup> اشاره می‌کند.

ایلیت در این سازند محصول تخریبی ناشی از هوازدگی سنگ‌های بلورین حاوی فلدسپار پتاسیک و میکا بوده که بیشتر به صورت اشکال فلسیک<sup>۸</sup> و سوزنی<sup>۹</sup> دیده می‌شوند. همانطور که می‌دانیم در طبیعت کانی‌های رسی با هم در هم‌آمیختگی<sup>۱۰</sup> دارند و از آنجاییکه تصاویر SEM گرفته شده فقط جنبه‌های مطالعات مورفولوژیک و کانی‌شناسی داشته، جزئیات دقیق بسیاری از تغییر و تبدیلات کانیاپی از جمله وجود کانی‌های لایه آمیخته<sup>۱۱</sup> مثل کلریت / اسمکتیت یا ایلیت / اسمکتیت و ... که در شیل

---

<sup>۱</sup> Sorption

<sup>۲</sup> CEC - Cation Exchange Capacity

<sup>۳</sup> Organophilic-Metaliferous

<sup>۴</sup> شاخصه جذب سطحی در کانی‌های رسی باعث افزایش ناحیه سطحی و تخلخل هم می‌شود. (Singh, B. K., 2007)

<sup>۵</sup> Taxonomic

<sup>۶</sup> Micropore

<sup>۷</sup> Microstructure

<sup>۸</sup> Flakes

<sup>۹</sup> Acicular

<sup>۱۰</sup> Intermixed

<sup>۱۱</sup> Mixed layer

رایج هستند و یا حضور بلورهای هماتیت، گوتیت، ورمیکولیت و کائولینیت با منشاء کانی‌های میکایی غنی از آهن همانند بیوتیت و مسکوویت، نیاز به آنالیزهای دقیق تر بلورشناسی در شیل‌های منطقه مورد مطالعه دارد. با توجه به شکل (۳-۸)، آب و هوا نقش کم‌رنگی در تنوع کانیایی و بویژه رس در شیل‌های سازند شمشک داشته و احتمالاً فعالیت‌های تکتونیکی (سیمیرین پیشین)، تدفین شاخص و بویژه نوسانات سطح آب دریا نقش پررنگتری در کنترل تنوع کانی‌شناسی رسی این منطقه ایفا کرده است.

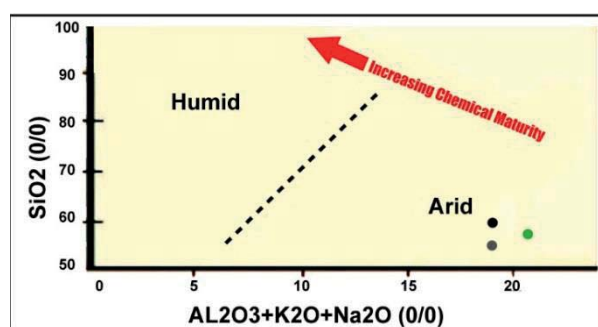
جدول ۳-۴- طبقه‌بندی کانی‌های رسی براساس ساختار کانی‌شناسی (برگرفته از Boggs, S. 2009)

Layer type	Interlayer material	Group	Subgroup	Species (examples)
1:1	None or H <sub>2</sub> O only	Serpentine-kaolin (x ~ 0)	Serpentine	Chrysotile, lizardite, berthierine
			Kaolin	Kaolinite, dickite, nacrite, halloysite
2:1	None	Talc-pyrophyllite (x ~ 0)	Talc	Talc, willemseite
			Pyrophyllite	Pyrophyllite
	Hydrated exchangeable cations	Smectite (x ~ 0.2-0.6)	Saponite	Saponite, hectorite, sauconite, stevensite, etc.
			Montmorillonite	Montmorillonite, beidellite, nontronite
	Hydrated exchangeable cations	Vermiculite (x ~ 0.6-0.9)	Trioctahedral vermiculite	Trioctahedral vermiculite
			Diocahedral vermiculite	Diocahedral vermiculite
	Nonhydrated cations	True mica (x ~ 0.5-1.0)	Trioctahedral true mica	Phlogopite, biotite, lepidolite, annite
			Diocahedral true mica	Muscovite, illite, glauconite, paragonite, celadonite
	Nonhydrated cations	Brittle mica (x ~ 2.0)	Trioctahedral brittle mica	Clintonite
			Diocahedral brittle mica	Margarite
Hydroxide	Chlorite (x variable)	Trioctahedral chlorite	Clinochlore, chamosite, nimite, pennantite	
		Diocahedral chlorite	Donbassite	
2:1 Mixed-layer (regular)	Variable	None	None	Hydrobiotite, rectorite, corrensite, aliettite, tosudite, kulkeite
Modulated 1:1 layer	None	No group name (x ~ 0)	No subgroup name	Antigorite, greenalite
Modulated 2:1 layer	Hydrated exchangeable cations	Sepiolite-palygorskite (x variable)	Sepiolite	Sepiolite, loughlinite
			Palygorskite	Palygorskite
	Variable	No group name (x variable)	No subgroup name	Minnesotaite, stilpnomelane, zussmanite

$x = \text{layer charge}/\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

جدول ۳-۵- تقسیم‌بندی رایج کانی‌های رسی، براساس عناصر سازنده اصلی (برگرفته از رقیمی، م.، ۱۳۸۶)

عناصر غالب	نام کانی رسی
	انواع انبساط‌پذیر
Al	اسمکتیت‌ها
Al (جزیی $Fe^{+2}$ )	بیدلایت
$Fe^{+3}$	مونت موریلونیت
Mg, Al	نانترونیت
Mg, Al	ساپونیت
Mg, $Fe^{+2}$ , Al (جزیی $Fe^{+3}$ )	ورمی کولیت
	کانی‌های لایه آمیخته
	انواع غیر انبساط‌پذیر
K, Al (جزیی Fe, Mg)	ایلیت
K, $Fe^{+2}$ , $Fe^{+3}$	گلاکونیت
K, $Fe^{+3}$ , Mg, $Fe^{+3}$ , $Al^{+3}$	سلادونیت
Mg, Fe, Al	کلریت
$Fe^{+2}$ , $Al^{+3}$ (جزیی Mg)	برترین
Al	کائولینیت
Al	هالوسیت
Mg, Al	سپیولیت
Mg, Al	پالی گورسکیت
Mg, $Fe^{+2}$	تالک



شکل ۳-۸- نمودار دوتایی عناصر اصلی شیل‌های منطقه مورد مطالعه (سبز، سیاه و زغالی) جهت تعیین نسبی آب و هوا در ناحیه منشأ (Suttner & Dutta, 1986)

۳-۲-۲- مقایسه شیل‌های سازند شمشک با شیل‌های سازند جیروود (دونین فوقانی)

سازند جیروود در منطقه مورد مطالعه شامل مجموعه بی‌نظیری از آهک‌های خاکستری، ضخیم

لایه و پرفسیل، شیل‌های نخودی و سبز رنگ همچنین میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ می‌باشد. علاوه بر

دلایل لیتولوژیکی، که هر دو سازند شمشک و جیروود به عنوان سازندهای تخریبی - آواری شناخته می‌شوند (هر دو سازند حاوی شیل‌های سبز - سیاه و ماسه‌سنگ‌های بین لایه‌ای بوده و تنها در محیط ته‌نشست و سن با هم تفاوت دارند)، گسترش فوق‌العاده زیاد این دو سازند در منطقه، همچنین عملکرد فازهای کوهزایی آلپین که باعث قرار دادن سازند جیروود در کنار سازند شمشک در بسیاری از بخش‌های منطقه مورد مطالعه گشته، از جمله دلایلی است که امکان جنبه‌های مقایسه‌ای و تکمیل‌کننده را برای سازند شمشک در منطقه فراهم آورده است. به منظور مقایسه با داده‌های شیلی سازند شمشک، ۳ نمونه ماسه‌سنگ و یک نمونه شیل مدادی سبز رنگ سازند جیروود، جهت مطالعات میکروسکوپی، مقاطع نازک و همچنین انجام آنالیزهای عنصری بویژه، تعیین عناصر جزئی به دانشگاه فردوسی مشهد ارسال گردید.<sup>۱</sup> مقایسه عناصر اصلی شیل سبز جیروود با داده‌های میانگین جهانی شیل<sup>۲</sup>، NASC<sup>۳</sup>، PAAS<sup>۴</sup>، RPS<sup>۵</sup>، NAMS<sup>۶</sup> و همچنین شیل‌های سبز، سیاه و زغالی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه، غنی‌شدگی بالای عنصری همانند  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  و همچنین تهی‌شدگی نسبت به  $CaO$  و  $Na_2O$  را نشان می‌دهد. این درحالی است که عناصر  $SiO_2$  و  $MgO$  سازند جیروود الگوهای مشابه و یکنواختی را نسبت به میانگین شیل جهانی و RPS به نمایش گذاشته است. عناصر جزئی سازند جیروود که نسبت به  $^{238}U$ ، میانگین جهانی شیل و شیل‌های سازند مورد مطالعه نرمالیزه شده‌اند، غنی‌شدگی بسیار بالایی را در عناصر سنگین و ردیاب همانند  $Co$ ,  $Cr$ ,  $Cu$ ,  $Nb$ ,  $Ni$ ,  $U$ ,  $Th$ ,  $Zn$  و ... نسبت به موارد بهنجار شده نشان دادند (اشکال ۳-۹ و ۳-۱۰).

<sup>۱</sup> شرکت تجزیه مواد معدنی طیف کانساران بینالود

<sup>۲</sup> Clark, 1984

<sup>۳</sup> Gromet, et. al., 1984, North American Shale Composite

<sup>۴</sup> Taylor & McLennan, 1985, Post Archean Shale

<sup>۵</sup> Ronov & Migdisov, 1971, Russian Paleozoic Shale

<sup>۶</sup> Ronov & Migdisov, 1971, North American Mesozoic Shale

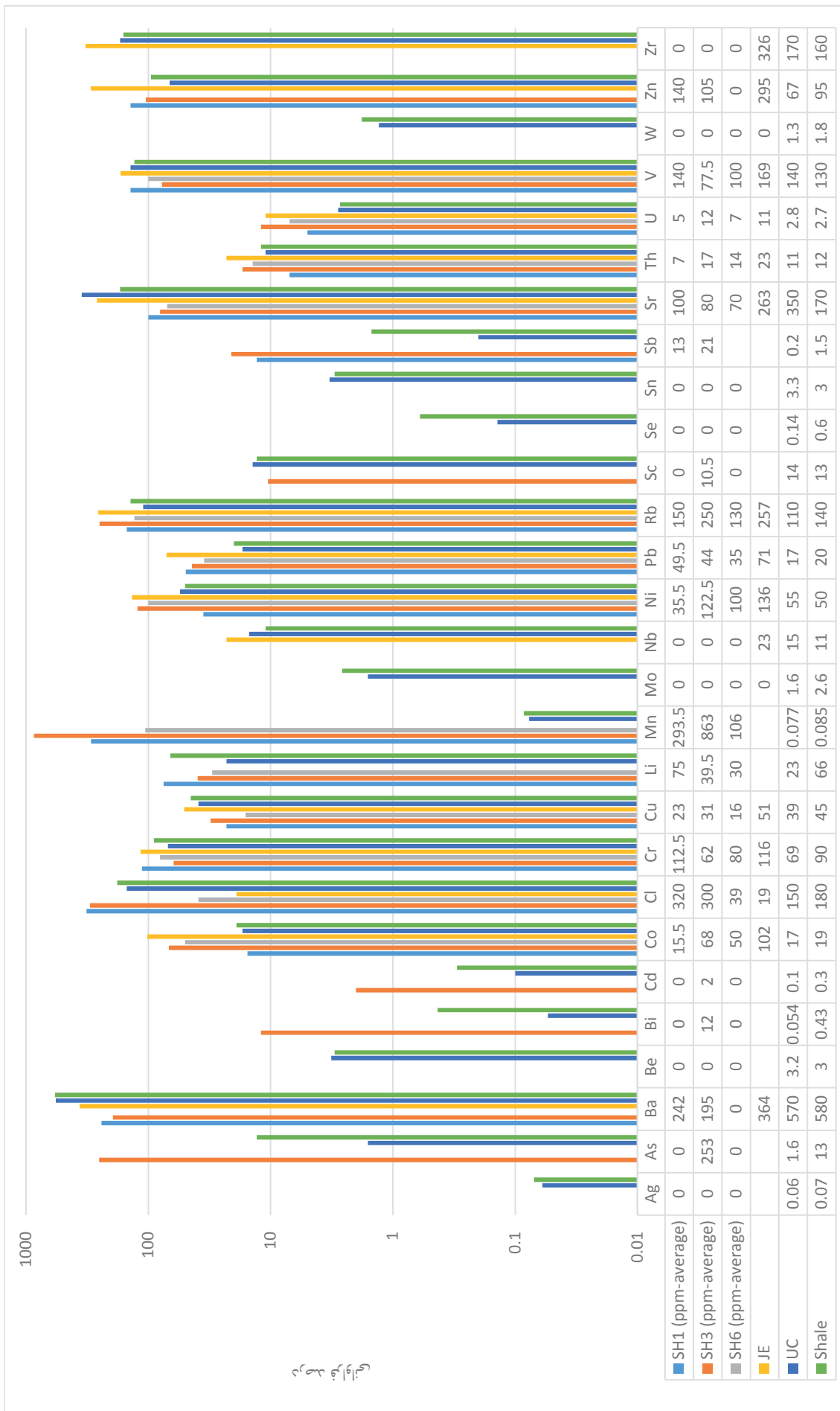
<sup>۷</sup> Li, 2000, Upper Crust



میزان بالای کانی‌های پتاسیم‌دار همانند فلدسپار، ایلیت و کلریت (کانی‌های رسی) از تأمین-  
کنندگان و عامل اصلی بالا رفتن مقادیر  $K_2O$  و  $Al_2O_3$  در شیل‌های سازند جیروود به شمار می‌آیند<sup>۱</sup>.

---

<sup>۱</sup> Deru, et. al., 2007



شکل ۳-۹- بهنجار سازی عناصر جزئی سازندهای شیلی - ماسهای جیروود و شمشک توسط موارد زمینه

## ۳-۳- توصیف سایر شاخصه‌های فیزیکی شیل‌ها

### ۳-۳-۱- طبقه‌بندی شیل‌ها

در سنگ‌های درشت‌دانه رسوبی (کنگومرا و ماسه‌سنگ) بیشتر شاخصه‌های بافتی، ویژگی‌های کانی‌شناسی ابتدایی و ترکیب تشکیل دهنده سنگ در طبقه‌بندی اهمیت دارد، در حالی که در شیل و گل‌سنگ طبقه‌بندی از گسترش و تنوع بیشتری برخوردار است. (به علت چندگانگی در خصوصیات فیزیکی - شیمیایی و جنبه‌های مطالعاتی آنها) به عنوان مثال:

- طبقه‌بندی بر اساس فراوانی نسبی ذرات در اندازه سیلت و رس

- طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های بافتی

- طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های فیزیکی همانند رنگ (شیل قرمز، شیل سبز و ...)

- طبقه‌بندی بر اساس محتوای کربن آلی (شیل‌های کربن‌دار و ..)

- طبقه‌بندی بر اساس درصد نسبی انواع ذرات تشکیل‌دهنده یا ویژگی‌های شیمیایی (شیل

آهک‌دار، شیل آهن‌دار و ...)

- طبقه‌بندی بر اساس وجود یا عدم وجود فیزیلیتی<sup>۱</sup> و یا لامیناسیون و ... (جدول ۳-۶)

در طبقه‌بندی شیل‌های سازند شمشک، علاوه بر تقسیم‌بندی از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی، همانند

رنگ - فقدان یا حضور لامیناسیون یا فیزیلیتی (در اینجا دو مفهوم را در معنای مشابه به کار می‌بریم)

از بعد فراوانی نسبی ذرات تشکیل‌دهنده هم مورد بررسی قرار می‌دهیم. شیل‌های زغالی، سیاه و سبز

در بیشتر نقاط به حالت متراکم و ناپایدار در برخی موارد با لایه‌بندی بسیار ظریف دیده می‌شدند، به

<sup>۱</sup> شکافته شدن و یا در بسیاری از مفاهیم به تورق پذیری هم اشاره شده است.

جز برخی موارد که شیل‌های سیاه حالت لامیناسیون موازی صفحه‌ای<sup>۱</sup> (شکل ۳-۱۰) را در رخنمون‌های سطحی و همچنین میکروگراف‌های SEM نشان می‌داد. شیل سیاه این نقطه از منطقه مورد مطالعه تنها جایی بود که ترکیب بالایی از تنگستن و کانی‌شناسی پیچیده را نشان می‌داد، در حالیکه نتایج ICP و ICP-MS شیل‌های سیاه و زغالی در سایر نقاط منطقه مورد مطالعه هیچ نشانه‌ای از تنگستن بالا را نشان نمی‌دهند (شکل ۳-۱۲). شیل‌های سازند شمشک را بر اساس فراوانی نسبی ذرات تشکیل دهنده، (بر اساس مقاطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ‌ها و شیل و همچنین نتایج آنالیزهای XRD و XRF) که عمدتاً از کانی‌های کوارتز و کانی رسی تشکیل شده بودند، شیل سیلیس‌دار نامیدیم (شکل ۳-۱۳).

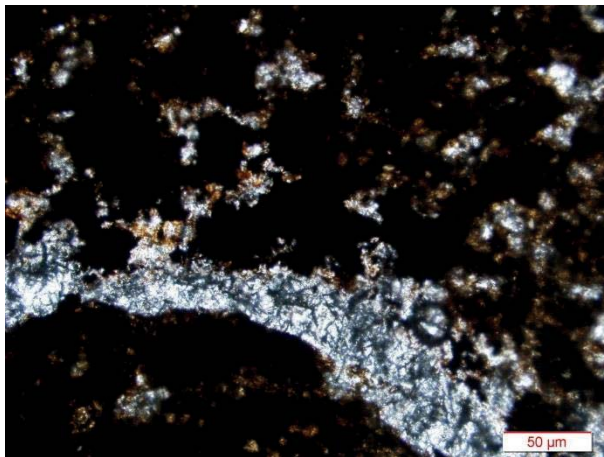
Percentage clay-size constituents		0-32	33-65	66-100	
Field adjective		Gritty	Loamy	Fat or slick	
Nonindurated	Beds	Greater than 10 mm	Bedded silt	Bedded mud	Bedded claymud
	Laminae	Less than 10 mm	Laminated silt	Laminated mud	Laminated claymud
Indurated	Beds	Greater than 10 mm	Bedded siltstone	Mudstone	Claystone
	Laminae	Less than 10 mm	Laminated siltstone	Mudshale	Clayshale
Metamorphosed			Quartz argillite	Argillite	
		Low # High	Quartz slate	Slate	
			Phyllite and/or mica schist		

جدول ۳-۶- طبقه‌بندی رایج در انواع شیل (برگرفته از Boggs, S., 2009)

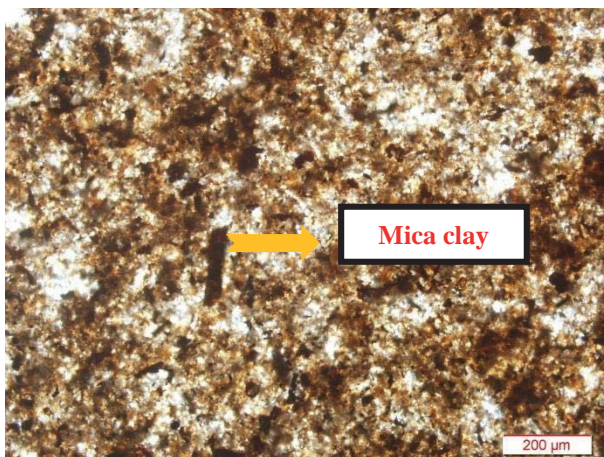
<sup>۱</sup> platy shale



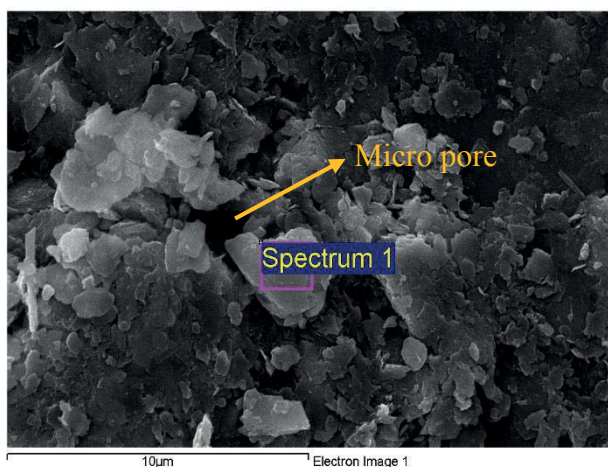
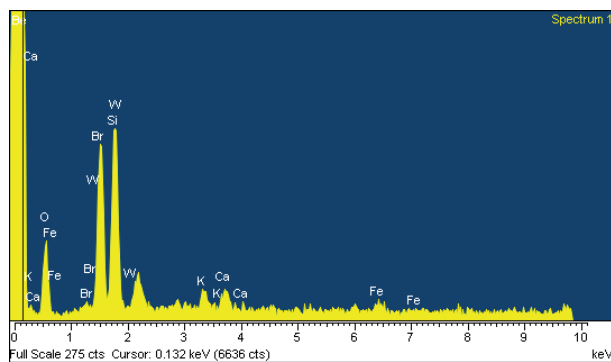
شکل ۳-۱۰- آثار تورق در شیل سیاه منطقه مورد مطالعه



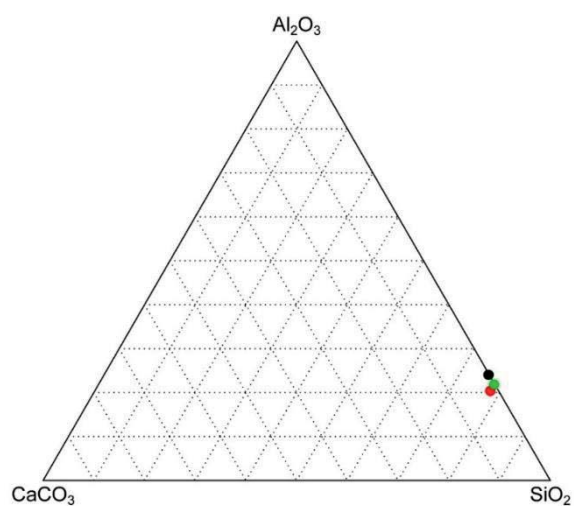
شکل ۳-۱۱- مقطع نازک از شیل‌های سیاه در نور XPL (نقاط روشن - کوارتز و نقاط مشکی احتمالاً مواد آلی یا اکسید های آهن هستند)



شکل ۳-۱۲- مقطع نازک از شیل‌های سیاه در نور PPL



شکل ۳-۱۳- تصویر میکروگراف SEM/EDS شیل سیاه (دارای تورق و کانی شناسی پیچیده) همراه با پوسته‌های ایلیت



شکل ۳-۱۴- دیاگرام سه تایی  $\text{CaCO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  جهت تعیین کانی شناسی کل و طبقه‌بندی شیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Hossinnejad, R. K. & Spencer, R.J, et.al, 2012)

### ۳-۳-۲- رنگ شیل ها

شیل ها تنوع رنگی بالایی را به صورت طیف های قرمز، قهوه ای، زرد، سبز، صورتی، خاکستری تیره تا روشن و سیاه از خود بروز می دهند. سه فاکتور اصلی که در زیر به تشریح مفصل آنها می پردازیم مسئول اصلی پیچیدگی و تنوع رنگی در شیل و گل سنگ به حساب می آیند:

الف: محتوای کربن: پیشرفت رنگی از خاکستری کم رنگ به سمت تیره و سیاه با افزایش محتوای کربن (آلی) همراه است.

ب: وضعیت اکسیداسیون آهن: تنوع رنگی از قرمز به سمت صورتی تا خاکستری در رسوبات، مرتبط با کاهش نسبت  $Fe^{+3}/Fe^{+2}$  است.  $Fe^{+3}$  رنگ قرمز و  $Fe^{+2}$  رنگ سبز به شیل می دهد، در نتیجه در رسوبات خاکستری، آهن کمتری نسبت به نوع قرمز وجود دارد. ذکر این نکته که وضعیت و حالت اکسیداسیون آهن نیز، توسط مقدار مواد آلی رسوبات کنترل می شود، بسیار حائز اهمیت است.

پ: محیط و شرایط ته نشست - دیاژنز: به عنوان مثال شیل های سیاه نشان دهنده ته نشست در حوضه های کم عمق تا عمیق با شرایط آنوکسیک<sup>۱</sup> و قابلیت بالای حفظ و نگهداری مواد آلی هستند و یا شیل قرمز نشانی بر حاکم بودن شرایط اکسیدان در محیط ته نشست است (همانند محیط های قاره ای). بسیاری از محققین همانند بوگز (۲۰۰۹)، رنگ را در گل سنگ و شیل بعلت غیر قابل اعتماد و ناپایدار بودن، واجد شرایط مناسب جهت تعیین برخی عوامل محیطی و شرایط ته نشست نمی دانند. به عنوان مثال، رنگ شیل ممکن است در طی دیاژنز دفنی و بالا آمدگی<sup>۲</sup> تغییر کند (تغییر در شرایط و ویژگی های محیط). مثلاً، آهن فریک ( $Fe^{+3}$ ) که از ویژگی های شیل قرمز است ممکن است به آهن فرو ( $Fe^{+2}$ ) در طی ته نشست و دیاژنز کاهش یافته و به سمت شیل سبز گرایش پیدا کند و یا بعد از ته نشست، اگر

<sup>۱</sup> anoxic

<sup>۲</sup> Uplift

شرایط احیایی اولیه از شرایط اکسیدان غالب در محیط تبعیت کند، شیل‌های سبز ممکن است به قرمز تغییر رنگ دهند.

در شیل‌های منطقه مورد مطالعه تعیین پارامترهای فیزیکی همانند رنگ یا ساختار رسوبی چندان مشکل نیست. سه نوع شیل زغالی، سیاه و سبز با محتوای مواد ارگانیکی<sup>۱</sup> و شرایط ته‌نشست (نوسانات سطح آب دریا و یا تغییرات دیرینه محیط شناختی) متفاوت، از گسترش بالایی در این منطقه برخوردار هستند (تصاویر ۳-۱۵ تا ۳-۱۷). بر اساس انتظار شیل سیاه و زغالی از محتوای کربن کل آلی بالاتری که نشان بر پیشروی آب دریا و حاکم شدن شرایط غالب و مناسب انباشت و حفظ مواد آلی است، بهره برده و شیل سبز که معرف پیشروی آب دریاست از مقدار TOC کمتری برخوردار شده است.



شکل ۳-۱۵- نمای کلی از گسترش شیل سیاه و سبز سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب)

<sup>۱</sup> TOC





شکل ۳-۱۶- نمای نزدیک شیل سیاه سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۱۷- نمای نزدیک شیل سبز از رخنمون‌های شیلی سازند مورد مطالعه

### ۳-۳-۳- ساخت‌های رسوبی شیل‌ها

بسیاری از ساخت‌های رسوبی معمول در سنگ‌های رسوبی، در شیل و مادستون هم یافت می‌شوند، چینه‌بندی موازی<sup>۱</sup>، دانه‌بندی تدریجی<sup>۲</sup>، ریپل‌مارک<sup>۳</sup>، لامیناسیون پیچیده<sup>۴</sup>، ترک‌های گلی<sup>۵</sup>، باندهای رنگی<sup>۶</sup>، ساختارهای مخروط در مخروط<sup>۷</sup> و ... از جمله ماکروساختارهای رایج (از طریق مشاهده

<sup>۱</sup> Parallel Stratification

<sup>۲</sup> Graded Bedding

<sup>۳</sup> Ripple Mark

<sup>۴</sup> Convolute Lamination

<sup>۵</sup> Mud Cracks

<sup>۶</sup> Color Bandings

<sup>۷</sup> Cone-in-Cone Structures

و ابزارهای دستی ساده مثل لوپ قابل بررسی‌اند) و میکروکراس‌های لامینه<sup>۱</sup>، لامینه‌های تدریجی<sup>۲</sup> و ... هم از میکروساختارهای معمول (ساختارهای در حد میلی‌متر و کمتر که برای دیده شدن و تفسیر نیاز به گرفتن عکس‌های پتروگرافیک یا پراش پرتو ایکس دارند) در شیل و گلسنگ می‌باشند. لامیناسیون موازی که مفهوم بسیار نزدیک با فیزیلیتی (تورق‌پذیری) دارد، از جمله رایج‌ترین ساخت‌رسوبی در بیشتر شیل‌های گزارش شده در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود. لامیناسیون که بعنوان ساختارهای با ضخامت کمتر از ۱۰ میلی‌متر تعریف می‌شود، نتیجه نوسانات شرایط ته‌نشست و سطح آب دریا است که نهایتاً منجر به تغییر و تنوع در اندازه دانه، محتوای رس و مواد آلی، ترکیب کانیایی، میکروفسیل و ... خواهد شد<sup>۳</sup>. فیزیلیتی (تورق‌پذیری)، همانطور که قبلاً به آن اشاره شد توسط الحاق لایه‌های منفرد T-O از طریق نیروهای ضعیف واندروالس در ساختار رس و یا انواع جهت‌یافتگی در کانی‌های رسی و میکا تعریف می‌شود.

شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه که در بیشتر موارد با هوازدگی شدید همراه بودند، آثار ساختی معمولی همانند لامیناسیون موازی ظریف و فیزیلیتی را نشان میدادند. ماسه‌سنگ-های سازند شمشک در بیشتر موارد آثار آلتراسیون هیدروژنز، ورنی شدن و فرسایش انحلالی شدیدی را نشان می‌دادند. ضمن آنکه لایه بندی موازی در آنها هم به صورت ضخیم و هم نازک قابل پیگیری است که احتمالاً به نوسانات سطح آب دریا و تغییرات دیرینه آب و هواشناسی مربوط می‌شود (اشکال ۳-۱۸ تا ۳-۲۲).

ترک‌های گلی و اثرات قطرات باران (عهد حاضر)، تراس‌های رودخانه‌ای (جدید و قدیم) همراه با آثار دانه‌بندی تدریجی از جمله ساخت‌های غالب در محیط و پایین دست سازند مورد مطالعه به شمار می‌روند (اشکال ۳-۲۳).

---

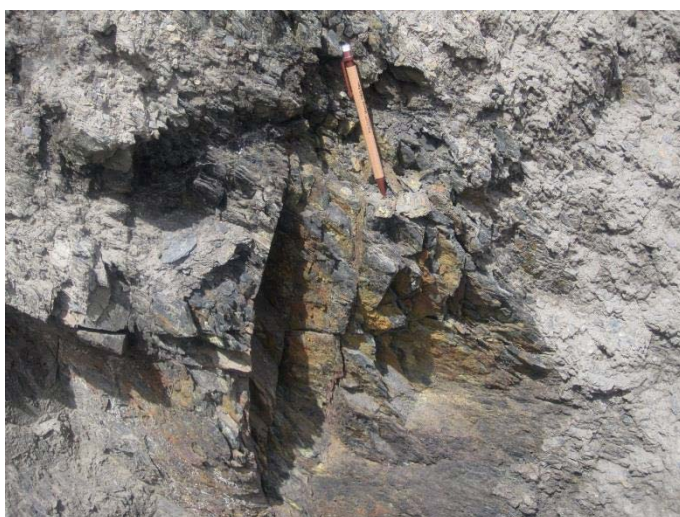
<sup>۱</sup> Micro Cross Lamination

<sup>۲</sup> Graded Lamination

<sup>۳</sup> توصیف محیط ته‌نشست از طریق لامیناسیون بسیار با اهمیت است



شکل ۳-۱۸- آثار هوازدگی شدید در شیل‌های (سیاه) منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۱۹- لیمونیتی شدن ناشی از هوازدگی و اکسیداسیون شدید در شیل‌های سیاه منطقه



شکل ۳-۲۰- ماسه‌سنگ ضخیم لایه سازند شمشک به‌مراه آثار ورنی شدن در آن



شکل ۳-۲۱- ماسه‌سنگ نازک لایه (نزدیک معدن ده‌ملا) سازند شمشک



شکل ۳-۲۲- آلتراسیون هیدروژنز در ماسه‌سنگ‌های سازند مورد مطالعه



شکل ۳-۲۳- ترک های گلی و آثار قطرات باران ( عهد حاضر)

### ۳-۳-۴- توصیف بافت (اندازه و شکل) شیل‌ها

تحلیل و بررسی برخی مسائل در شیل و گلسنگ، بویژه توصیف بافت بدلیل ریزدانه بودن و همچنین سخت و حساس بودن جنبه‌های تحقیقاتی و دستگاه‌های آنالیزور بسیار مشکل است. بر اساس بافت (اندازه ذرات) به تمام مواد کوچکتر از ۴ میکرون، رس، بین ۴ تا ۶۴ میکرون، سیلت و بیش از ۶۴ میکرون تا ۲ میلیمتر ماسه گفته می‌شود.<sup>۱</sup> شکل ذرات شیلی برخلاف شکل در ماسه و ذرات درشت‌تر، کمتر توسط فرسایش و انتقال (عوامل ثانویه) تعدیل پیدا می‌کند. به عنوان مثال، ذرات کوچک کوارتز ( $\sim 0.1\text{mm}$ ) به هیچ وجه توسط باد یا انتقال رودخانه‌ای گرد نمی‌شوند، در نتیجه اشکال ریز سیلت و رس در شیل و گلسنگ منعکس‌کننده فرم اصلی ذرات تخریبی یا ته‌نشست دیاژنتیکی آنها می‌باشد (بیشتر به صورت زاویه‌دار دیده می‌شوند).

بررسی بافتی شیل‌های منطقه مورد مطالعه به علت وجود فازهای اکسیده آهن، مواد ارگانیکی، کوارتز و کانی‌های میکایی فراوان، از پیچیدگی و حساسیت خاصی برخوردار است. براساس تصاویر SEM / EDS و همچنین مقاطع نازک گرفته شده که پیشتر نشان داده شدند، پولک‌های<sup>۲</sup> ظریف ایلیت به همراه اشکال قلوهای<sup>۳</sup> و زاویه‌دار کوارتز از تشکیل دهندگان اصلی بافت در شیل‌های منطقه مورد مطالعه به حساب می‌آیند. □

---

<sup>۱</sup> Pettijohn, 1975

<sup>۲</sup> Flake

<sup>۳</sup> Blocky

<sup>۴</sup> در تصاویر میکروسکوپ الکترونی، کانی‌های رسی و میکاهای ریزدانه بیشتر به اشکال، صفحه‌ای (Platy)، فلسی (Flaky) و سوزنی (Acicular) که شکل بلورین قابل انتظار وایده ال لایه‌های سیلیکاته است، دیده میشوند.

### ۳-۳-۴- میکروفابریک در شیل ها

میکروفابریک در شیل بعنوان، جهت گیری انتخابی<sup>۱</sup>، نظم بندی یا گسترش فضایی ذرات جامد و همچنین ارتباط ذره به ذره کانی های رسی بعنوان مهمترین و فراوان ترین عضو تشکیل دهنده سنگهای ریزدانه تعریف می شود (بیشتر کانی های رسی به اشکال ورقه ای، پولکی (فلسی) دیده می شوند).

بنت (۱۹۹۱)، سه مکانیسم اصلی را در تشکیل و کنترل فاکتورهای مؤثر در میکروفابریک شیل

دخیل می داند:

۱- فرآیندهای فیزیکوشیمیایی<sup>۲</sup>:

الف- الکتروشیمی<sup>۳</sup>: نیروی نگهدارنده ذرات که باعث جفت و ترکیب شدن آنها با هم می شود.

ب- ترموشیمی<sup>۴</sup>: نیرویی که باعث آزادسازی گرما می شود. (اختلاف دمایی)

پ- دینامیک بین سطوح<sup>۵</sup>: تفاوت های حرکتی ناشی از تأثیر نیروی گراویته و اختلاف جریان

توده آبی، ذرات در حال ته نشین شدن که نهایتاً منجر به اختلاف در چگالی ذرات، تأثیر ذرات بر رسوب بین

سطحی، جریان یافتن بین سطوح و ریزناهمواری های بین سطحی می گردد.

۲- فرآیندهای بیوارگانیک<sup>۶</sup>:

الف- بیومکانیکال<sup>۷</sup>: همانند بیوتوربیشن.

ب- بیوفیزیکال<sup>۸</sup>: همانند اجتماع یا چسبندگی ذرات توسط فرآیندهای ارگانیک.

---

<sup>۱</sup> Selective Orientation

<sup>۲</sup> Physicochemical Processes

<sup>۳</sup> Electrochemical

<sup>۴</sup> Thermochemical

<sup>۵</sup> Interface Dynamic

<sup>۶</sup> Bioorganic Processes

<sup>۷</sup> Biomechanical

<sup>۸</sup> Biophysical

پ- بیوشیمی<sup>۱</sup>: تولید و تخریب شیمیایی، همانند تولید گاز متان توسط ارگانسیم ها و ...

۳- دیاژنز دفنی<sup>۲</sup>: فرآیندهای دیاژنز دفنی توسط عواملی مثل مکانیسم توده گرانش، سیمان‌زایی و سایر پدیده‌های تأثیرگذار در دیاژنز کنترل می‌شود.

فیزیل<sup>۳</sup> به معنای تقسیم‌شدن اجزاء یا جدایش سنگ در امتداد لامیناسیون است که باعث نازک شدن لامینه می‌شود. نوسان تفکیک در فیزیل از ۰/۵ میلیمتر تا ۱ میلیمتر در تغییر است، بطوریکه اگر جداسدن کمتر از ۰/۵ میلیمتر باشد کانی رسی حالت کاغذی و اگر بیشتر از ۱ میلیمتر باشد، اشکال صفحه‌ای، فلگی<sup>۴</sup> و تکه تکه یا باریک شدن<sup>۵</sup> را از خود بروز می‌دهند<sup>۶</sup>.

ژئوشیمی محیط، محتوای رس، مواد آلی و کربنات از مهمترین عوامل تأثیر گذار در فیزیلیتی (تورق‌پذیری) شیل و گل‌سنگ به حساب می‌آیند، به عنوان مثال،

پوتر (۱۹۸۰) بیان داشت هنگامی که محتوای رس و مواد آلی درون شیل از مقدار کربنات آن کمتر شود، آنها حالت ضخیم تری به خود می‌گیرند. جهت یافتگی متنوع و متفاوت در کانی‌های رسی بعد از تراکم و ته‌نشست (دیاژنز دفنی) و پیچیده بودن رابطه بین محیط ته‌نشست و فابریک از جمله دلایلی است که کاربردهای این مبحث را در بسیاری از جنبه‌های پژوهشی شیل (همانند تفسیر دیرینه محیط شناختی) محدود کرده است<sup>۷</sup>.

---

<sup>۱</sup> Biochemical

<sup>۲</sup> Burial Diagenesis

<sup>۳</sup> Aylmore & Qurk, 1960 جهت یافتگی موازی ناشی از سنگ‌شدگی بقایای میکروسکوپی یا ساب‌میکروسکوپی ذرات رسی که آرایش موازی دارند و در محیط‌های اکسیژنی به صورت رندوم جهت‌یابی کرده ولی در محیط‌های بی‌اکسیژنی بصورت موازی قرار می‌گیرند، را در محیط‌های بی‌اکسیژنی، عامل تشکیل فیزیلیتی در شیل و گل‌سنگ می‌دانند. ذکر این نکته قابل تامل است که دامنه ی نوسان اطلاعاتی و تعاریف، در بسیاری از مباحث مرتبط با شیل، در ادبیات زمین‌شناسی کشورهای مختلف دنیا متفاوت است.

<sup>۴</sup> Flaggy

<sup>۵</sup> Slabby

<sup>۶</sup> Potter et. al., 1980

<sup>۷</sup> Bennett et. al., 1991b

همانطور که اشاره گردید، مطالعات مشاهده‌ای (بازدیدهای صحرایی) و تصاویر میکروگراف‌های SEM از شیل سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه، وجود لامیناسیون ظریف و فیزیلیتی (با جهت یافتگی متفاوت) کانی‌های رسی و ذرات ریز کوارتز را به صورت قلوهای نشان می‌دهند (در اکثر موارد شیل‌های سبز هیچگونه لامیناسیون و تورقی را نشان نداده و بیشتر بصورت توده‌ای دیده می‌شدند). احتمالاً فراوانی کانی‌های غیرصفحه‌ای مثل کوارتز (مانع توسعه فابریک صفحه‌ای در اطراف خود می‌شوند) و یا بالا رفتن نسبت مقادیر سیلت در کاهش جهت یافتگی کانی‌های رسی شیل‌های این منطقه تأثیر بسزایی داشته است<sup>۱</sup>.

#### ۳-۴- پتروگرافی و کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها

علیرغم آنکه هدف تحقیقاتی بر روی مطالعات ژئوشیمی آلی و بررسی توان هیدروکربن‌زایی شیل‌های این سازند استوار گردیده است، لذا به علت همبستگی نزدیک و تکمیل مطالعات معدنی و اقتصادی شیل‌ها با مسائل مرتبط با پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها و لایه‌های زغال و همچنین اهمیت و ارتباط پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها در حفظ اطلاعات با ارزشی همانند رژیم زمین ساختی و نوع سنگ منشأ در این قسمت به تشریح اجمالی برخی خصوصیات میکروسکوپی و ماکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های دو سازند شمشک و جیرود می‌پردازیم.

#### ۳-۴-۱- کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک

در مطالعات صحرایی و ماکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک منطقه، فراوانی پدیده‌ها و آثار زمین‌شناسی همانند آلتراسیون هیدروژنز، ورنی شدن، فرسایش انحلالی، دانه‌بندی تدریجی و... به راحتی به چشم می‌خورند، ضمن آنکه، لایه‌بندی موازی هم به صورت ضخیم لایه و هم نازک لایه قابل مشاهده است که احتمالاً به نوسانات سطح آب دریا و تغییرات دیرینه آب و هواشناسی مربوط می‌شود.

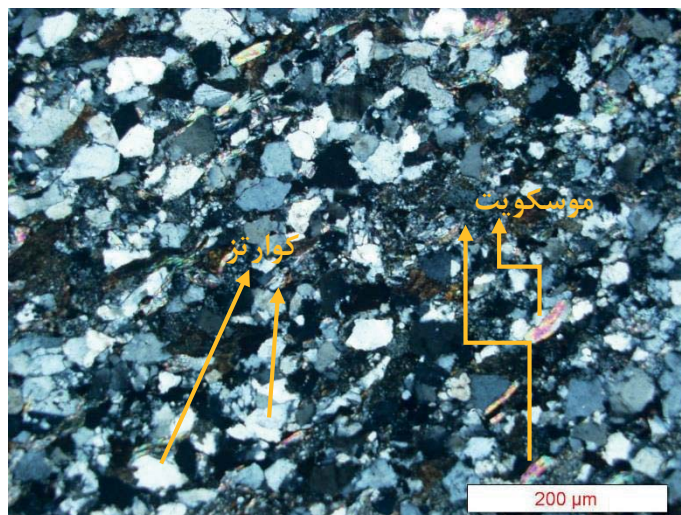
---

<sup>۱</sup> Curtis, et. al., 2002

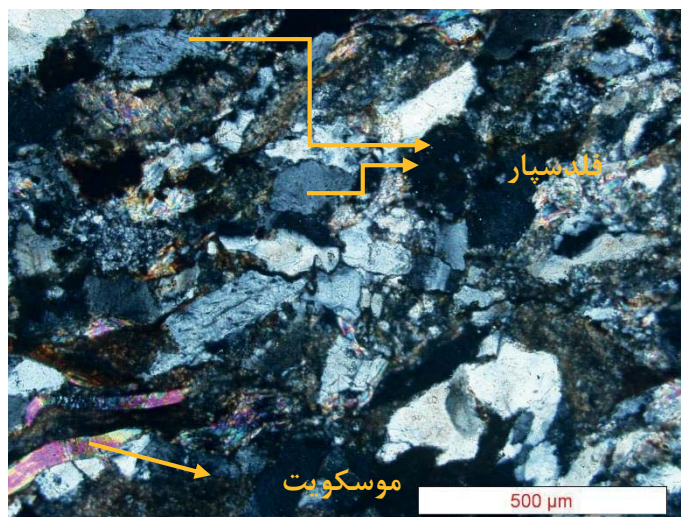


ماسه‌سنگ‌ها اغلب دانه‌ریز تا دانه‌درشت بوده که به سمت بالای توالی، رسوبات به صورت نازک و ریزشونده دیده می‌شوند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی اجزاء تشکیل دهنده این ماسه‌سنگ‌ها از کوارتز (در بیشتر موارد خاموشی موجی را نشان می‌دهند)، فلدسپار (پلاژیوکلاز به مقدار کم، احتمالاً حاوی اورتو کلاز و آلبیت)، کلریت، میکا (مسکوویت و بیوتیت) به همراه خرده سنگ و همچنین ماتریکس رسی و اکسید آهن تشکیل شده است.

تغییر قابل ملاحظه‌ای در اجزای تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها از پایین به بالای سازند دیده نشده، این در حالی است که سازند شمشک در بخش‌های مختلف ایران همانند پهنه سنندج - سیرجان و ایران مرکزی دارای دامنه وسیعی از تغییرات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی می‌باشد. به عنوان مثال در پهنه سنندج - سیرجان طیف وسیعی از سنگ‌های دگرگونه همانند اسلیت، گرافیت، شیست، کوارتزیت و ... به مجموعه سنگ‌های این سازند اضافه می‌گردد که بنا بر اعتقاد عمیدی و مجیدی ۱۹۷۷، این طیف مرهون عملکرد فازهای مختلف متامورفیزم در این زون ساختاری می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی فولک، ۱۹۷۴، ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه به نوع ماسه‌سنگ‌های آرکوزیک تعلق داشته (احتمالاً ساب‌آرکوز) که از لحاظ بلوغ بافتی طیفی از نابالغ تا الغ را به نمایش می‌گذارند. فراوانی دانه‌های کوارتز که احتمالاً با کاهش مقادیر فلدسپار همراه است (نیاز به شمارش دقیق و استفاده از مقاطع میکروسکوپی بیشتر دارد) علاوه بر اشاره به منشاء گرفتن از منابع فلسیک، به حذف بسیاری از کانی‌ها و عناصر ناپایدار اشاره می‌کنند. ذکر این نکته نیز خالی از لطف نیست که به علت محدود بودن تعداد نمونه‌های برداشت شده و همچنین مقاطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ‌های سازند جیرود و شمشک اظهار نظر کلی از دیدگاه‌های نامگذاری، مچوریتی بافتی و حتی تعیین لیتولوژیکی سنگ منشاء به صورت احتمالی بیان شده و نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه کاملاً محسوس است.



شکل ۳-۲۴- فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در مقاطع نازک ماسه‌سنگ شمشک منطقه مورد مطالعه (مرزبالا-نور XPL)



شکل ۳-۲۵- کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپار در ماسه‌سنگ‌های سازند مورد مطالعه (نور XPL- مرز پایین)

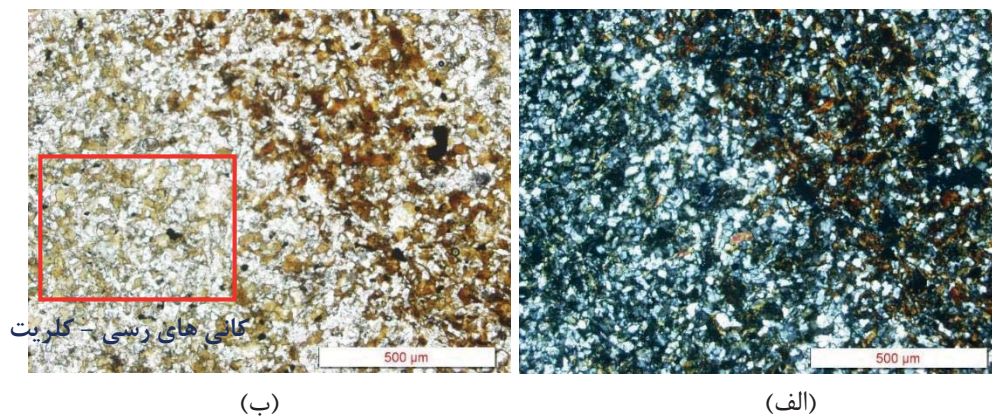
### ۳-۴-۲- مقایسه ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک با ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود

(دونین فوقانی)

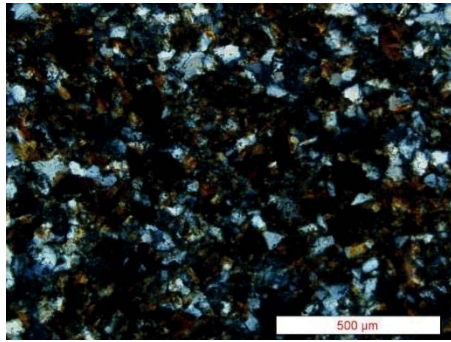
طبقه‌بندی مورب، ریزچین‌ها، گسل‌های کوچک عرضی و ... از جمله ساختارها و پدیده‌های زمین‌شناسی رایج در سازند جیروود به شمار می‌آیند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود در منطقه مورد مطالعه علاوه بر مقادیر بالای کوارتز و فلدسپار پتاسیک، تمایل شدیدی را

به کلریت بویژه نوع غنی از آهن آن، مسکوویت و بیوتیت نشان داده و همچنین، تغییرات قابل ملاحظه‌ای بویژه از بعد اجزاء تشکیل دهنده و درصد آنها در این سازند دیده نشده است.

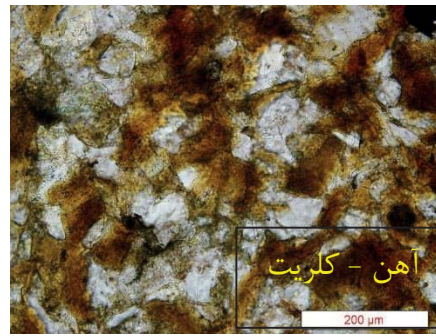
بر اساس طبقه‌بندی فولک، ۱۹۷۴، این ماسه‌سنگ‌ها به گروه لیت‌آرنایت، احتمالاً ساب لیت‌آرنایت تعلق داشته و بلوغ بافتی در این سازند نیز همانند سازند شمشک به صورت نابالغ می‌باشد. نکته قابل تأمل در مطالعه شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود، هماهنگی قابل توجه یکنواختی لیتولوژیکی و غنی بودن عنصری در آنهاست، به طوریکه مقاطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ‌های جیروود مقادیر بسیار بالاتری از فازهای رسی بویژه کلریت غنی از آهن و منیزیم و همچنین سایر کانی‌های میکایی همراه با فراوانی در اجزاء آواری (کوارتز و فلدسپار پتاسیک) را نشان می‌دهند. احتمالاً فازهای اوروژنیک انتهایی کالدونین که با فعالیت‌های ماگمایی همراه بوده است در غنی‌سازی و هموزنری سنگ‌مادر اولیه شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود نقش اساسی ایفا کرده است.



شکل ۳-۲۶- فراوانی کانی‌های رسی (کلریت (کانی‌های سبز رنگ)، بیوتیت و موسکوویت) و کوارتز در مقطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ سازند جیروود تحت دو نور XPL (الف) و PPL (ب)



(ب)



(الف)

۲۷-۳- کلریت آهن‌دار سازند جیروود در ۲ نور PPL (الف) و XPL (ب)

### ۳-۵- کانی‌شناسی لایه‌های زغال

از زمانیکه زغالسنگ برای اولین بار در ۲۰۰۰ سال پیش توسط چینی‌ها به عنوان سوخت، استخراج و مورد استفاده قرار گرفت تا اکنون، نقش بسزایی در حرکت صنعتی دنیا به عنوان یکی از منابع عظیم انرژی ایفا کرده است، بطوریکه علی‌رغم وجود سایر منابع انرژی همانند انرژی‌های نو و تجدیدپذیر (خورشیدی، باد و...)، زغالسنگ، نفت و گاز همچنان بیش از ۷۰ درصد تأمین انرژی جهان را به خود اختصاص داده است (یعقوب‌پور، ۱۳۸۳).

زغالسنگ که از تغییرات بیولوژیک ناشی از افزایش فشار و بالا رفتن دما بر روی گیاهان از روزگاران بسیار دور به وجود آمده است، از نظر ترکیب، تنوع بسیار زیادی از ابعاد آلی تا کانی‌های غیر آلی و عناصر سنگین را با نسبت‌های متفاوت شامل می‌شود. به عنوان مثال کربن، هیدروژن و اکسیژن از جمله عناصر آلی و ژئوپس، رس، سیلت و گوگرد (معمولاً به صورت پیریت یا مارکاسیت مشاهده می‌شوند) از جمله ناخالصی‌ها و ترکیبات غیرآلی آن به شمار می‌آیند (تاکر، ۲۰۰۲). وجود مواد ناخالص نقش مهمی در تعیین کیفیت زغالسنگ ایفا می‌کند، بدین صورت که هر چه مقدار این ترکیبات در زغالسنگ بیشتر باشد، باعث بالارفتن خاکستر، کاهش مرغوبیت، ایجاد دود بیشتر شده و یا به عبارت دیگر در نسبت سوخت (نسبت کربن ثابت به مواد فرار) زغالسنگ تأثیر مستقیمی می‌گذارد (یعقوب‌پور، ۱۳۸۳).

تقسیم بندی‌های متفاوتی از انواع زغالسنگ در منابع مختلف شده است اما یکی از کاربردی‌ترین و معمول‌ترین طبقه‌بندی‌ها بر اساس موارد استفاده آنهاست<sup>۱</sup> که به سه صورت :

۱- زغالسنگ‌های انرژی‌زا (حرارتی) که از آن به عنوان تأمین کننده گرما استفاده می‌شود

۲- زغالسنگ‌های کک‌شو که عمدتاً جهت تهیه کک در صنعت فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳- زغالسنگ‌هایی که قابلیت تبدیل به نفت و گاز را داشته و از گاز حاصل از این نوع زغالسنگ‌ها برای تهیه سوخت‌های مایع و فرآورده‌های شیمیایی استفاده می‌شود.

زغالسنگ‌ها در ادوار مختلف زمین‌شناسی به صورت رگه‌ای، لایه‌ای و یا عدسی پراکنده هستند، لیکن در برخی دوره‌ها از گسترش و ضخامت بالاتری برخوردار بوده، دوره کربونیفر یکی از این ادوار زغالخیزی است که علاوه بر اهمیت جهانی از بزرگترین تشکیلات زغالسنگی در دنیا به حساب می‌آید. به عنوان مثال کربونیفر ایالات متحده آمریکا با داشتن ۲۶۶ میلیارد تن از ۹۵۸ میلیارد تن ذخیره قطعی (کک شو و حرارتی) زغالسنگ در کل دنیا بزرگترین منبع این انرژی به حساب می‌آید.<sup>۲</sup>

در ایران سابقه تحقیقات اکتشافی و سیستماتیک بر روی ذخایر زغالسنگ به سال ۱۳۴۵ برمیگردد که به منظور تأمین نیاز کارخانه ذوب آهن اصفهان و همچنین پیش‌بینی تهیه زغالسنگ برای فازهای آینده توسعه این کارخانه دست به استخراج مقادیر قابل توجهی منابع ذغالسنگی در مناطق مستعد زده شد.<sup>۳</sup> حوضه‌های زغالی در ایران در دو بخش بزرگ زمین‌شناسی ایران یعنی البرز و ایران مرکزی با سن تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی گسترش یافته و اغلب در محیط‌های زمین ساختی فعال و عموماً ناودیس شکل (همانند ناودیس ده‌ملا - منطقه مورد مطالعه) تشکیل شده‌اند<sup>۴</sup> ( شکل ۳-۲۸).

<sup>۱</sup> در تقسیم بندی دیگری زغالسنگ را به همراه درختان امروزه جزء سوخت‌های جامد در نظر میگیرند. مجله ترازنامه انرژی، ۱۳۸۲

<sup>۲</sup> گزارش بین‌المللی انرژی، IEA, 2005

<sup>۳</sup> حیدری، ۱۳۹۱

<sup>۴</sup> همان

سازندهای نایبند و آق دربند در ایران مرکزی و کپه داغ و همچنین، سازند شمشک در حوضه البرز، دارندگان اصلی زغالسنگ‌های ایران با سن مزوزوئیک میانی و همچنین لیتولوژی غالب شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سیلت به حساب می‌آیند.<sup>۱</sup>

ویژگی عمومی زغالسنگ‌های این حوضه‌ها آن است که اغلب از نوع گازدار، گازدارچرب تا چرب بوده و از نظر تجاری از نوع کک شو و کمتر حرارتی میباشند.<sup>۲</sup> بررسی شواهد زمین‌شناسی و شرایط تکتونیکی ایران در اواخر تریاس تا ژوراسیک نشان داده که فازهای کوهزایی آلپ پیشین، کیمیرین پیشین و پسین در پیدایش میدین زغال ایران نقش اساسی داشته است. بر همین اساس، با وقوع کوهزایی کیمیرین پیشین در اواخر تریاس فوقانی شرایط مناسب جهت گسترش گیاهان انبوه در ژوراسیک تحتانی و میانی به وجود آمده و سپس فازهای کوهزایی کیمیرین میانی و پسین در اواخر ژوراسیک فوقانی، اوایل کرتاسه و همچنین فازهای کوهزایی لارامید و پیرینه در پالئوژن موجبات چین خوردگی و ماگماتیسم در اغلب این مناطق را فراهم آورده، در نهایت شرایط مناسب جهت انباشت و تولید ذخایر زغالسنگی ایران وجود می‌آید.<sup>۳</sup> همانطور که در بالا اشاره گردید، سازند شمشک که یکی از گسترده‌ترین رسوبات زغال‌دار ایران را در اختیار دارد از لحاظ اقتصادی برای کشور ما از اهمیت بالایی برخوردار است. این سازند در منطقه مورد مطالعه نیز از گسترش قابل توجهی برخوردار می‌باشد. اطلاعات محدودی از فعالیت معدن‌کاری زغالسنگ و بویژه پتروگرافی زغالسنگ‌های منطقه در دسترس است که سابقه طولانی (زمان غالب‌بودن فرضیه ژئوسنکلینال بر تشکیل حوضه البرز و مطالعات شوری سابق در دهه ۵۰ و ۶۰)، یکی از علل آن می‌تواند به شمار آید. بر همین اساس طبق گزارش نیمه تفصیلی زغالسنگ البرز شرقی (۱۳۶۰)، زغال‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه ضخامت‌های متفاوتی را شامل می‌شوند که احتمالاً حضور گسل‌های فراوان (به ویژه نوع رانده) و گسستگی‌ها در این تغییر

<sup>۱</sup> آثاری از وجود زغالسنگ در روسبات پرمین، کربونیفر و ترشیاری نواحی شمال ایران هم گزارش شده است، مجله ترازنامه انرژی، ۱۳۸۲

<sup>۲</sup> شرکت ملی فولاد ایران، ۱۳۷۵

<sup>۳</sup> حیدری، ۱۳۹۱

ضخامت نقش اصلی داشته، ضمن آنکه با تقسیم شدن بخش‌های مختلف زمین به بلوک‌های مختلف مشکلاتی در عملیات استخراجی آنها به وجود آمده است.

بونه (۱۹۳۶)<sup>۱</sup>، از تجزیه زغالسنگ‌های سازند شمشک در البرز شرقی اطلاعات زیر را بدست آورد:

آب، ۱۵٪، خاکستر ۳/۱۵٪، کربن ۸۶/۹۷٪، هیدروژن ۴/۴۲٪، گوگرد ۲/۲۶٪، فسفر ناچیز، اکسیژن ۱/۲۹٪ و همچنین در آنالیزی دیگر، کک ۸۲/۶٪، گاز (در تن) ۲۷۶ مترمکعب و آمونیاک (در تن) ۲/۶۱ کیلوگرم را بدست آورد. ترکیب مینرالوژیکی زغال‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه متغیر بوده که شامل ۷۳ تا ۹۱ درصد گروه ماسرالی<sup>۲</sup> ویترنیت، کمتر از ۷٪ لیپتینیت و بین ۱/۵ تا ۲۴ درصد فیوزنیت می‌باشد (گزارش شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰) (جدول ۳-۷ و شکل ۳-۲۹). در مطالعات جدید ربانی و همکاران، ۱۳۹۱، نیز ترکیب پتروگرافی زغالسنگ‌های سازند شمشک در ناحیه قشلاق (البرز شرقی) وجود هر سه نوع گروه ماسرالی زغالسنگ (ویترنیت، اینرتینیت و لیپتینیت)، با نسبت‌های متغیر به اثبات رسیده است، به طوریکه ویترنیت گروه ماسرالی غالب و لیپتینیت کمترین درصد را به خود اختصاص داده‌اند. همانطور که می‌دانیم ارتباط نزدیکی بین اطلاعات پتروگرافی زغالسنگ یا مقدار و ترکیب کانیایی آن و همچنین محیط ته‌نشست آن با تغییر پوشش گیاهی شرایط آبی نهشت تورب و نرخ فرونشست حوضه وجود دارد، بر همین اساس، با توجه به حضور پیریت به ویژه به صورت فرامبوئیدال، فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در درون شیل‌های سیاه و زغالی دربردارنده لایه‌های زغالسنگی و همچنین حضور مقادیر بالای ویترنیت در ترکیب پتروگرافی زغالسنگ‌های این ناحیه، احتمالاً شرایط بی‌هوازی در طول تشکیل زغالسنگ و متغیر بودن سطح ایستابی حکمفرما بوده است (نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه می‌طلبد). زغالسنگ‌های منطقه از نظر کیفیت به دو دسته:

۱- حاوی بیشتر از ۳۳ درصد مواد فرار (کیفیت پایین و کم ارزش) ۲- حاوی کمتر از ۳۳ درصد مواد

<sup>۱</sup> Bonee, 1936

<sup>۲</sup> ماسرال از اجزاء تشکیل دهنده میکروسکوپی زغال سنگ هستند که هم ارز مینرال در سنگ‌شناسی آذرین به حساب می‌آیند، تاکر ۲۰۰۲

فرار (کیفیت خوب) تقسیم‌بندی شده که نوع مرغوب آن به کارخانه فولاد اصفهان جهت تهیه باطری‌های کک سازی ارسال می‌گردد<sup>۱</sup>.

در آخر ذکر این نکته هم حائز اهمیت است که در برخی نقاط عملیات استخراجی با افزایش بیش از حد گاز متان روبرو شده که این افزایش با عمق رابطه مستقیم داشته، احتمالاً این نوع پدیده در طی کربونیفیکاسیون و افزایش درجه ذغالی شدن (در برخی قسمت‌ها) که با آزاد شدن بیشتر متان و سایر هیدروکربن‌ها همراه است رابطه داشته و باید تمهیدات مناسب جهت ایمنی معادن در این منطقه صورت گیرد.

ابر دوره	دوران	دوره	آشکوب	زغالی	اروژنی	M/Y	M/Y	
دوران حیات فانروزوئیک	سنوزوئیک (دوران سوم)	کواترنری	هولوسن پلیستوسن			۲	۲m/y	
		ترشیاری	نئوزن	پلگوسن میوسن			۲۳	۶۸ m/y
			پالئوزن	ایگوسن میوسن پلگوسن		پیرینه لارامید	۴۵	
		مزوزوئیک (دوران دوم)	کرتاسه	پالایی میایی پالایی		سیمیرین پسین	۶۵	۱۵۵ m/y
	زوراسیک		پالایی میایی پالایی		سیمیرین میانی	۴۵		
	تریاس		پالایی میایی پالایی		سیمیرین پیشین	۴۵		

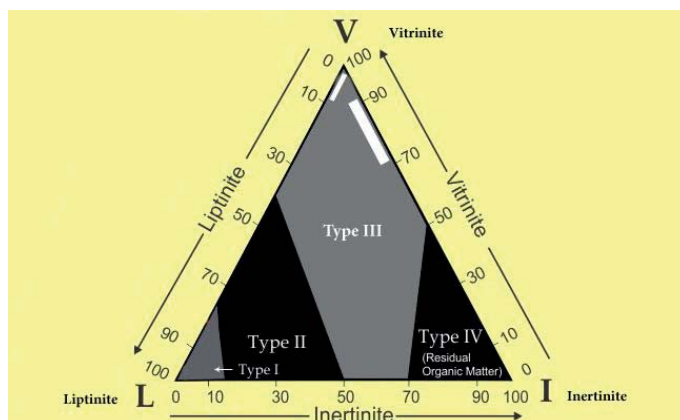
شکل ۳-۲۸- دوران‌های زمین‌شناسی، دوره‌های زغالی و فازهای تکتونیکی زغالساز ایران (برگرفته از حیدری، ۱۳۹۱)

جدول ۳-۷- ماسرال‌های اصلی در ذغال‌ها

منشاء	ماسرال‌ها	گروه ماسرال
چوب	کلینیت	ویتروئینیت
	تیلینیت	
بافت‌های چوبی	فوزینیت	اینرتینیت
	نیمه فوزینیت	
قارچ	اسکلروتینیت	لیپتینیت
رزین پلی مریزه شده	میکربینیت	
اسپورها	اسپورینیت	
کوتیکل	کاتینیت	لیپتینیت
رزین	رزینیت	
جلبک	آلگینیت	

<sup>۱</sup> گزارش شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰





شکل ۳-۲۹- ترکیب غالب اجزاء تشکیل دهنده زغالسنگ‌های ناحیه دهملا بصورت شماتیک (بر اساس داده های شرکت زغالسنگ البرز شرقی، شاهرود، ۱۳۵۹)

### ۳-۶- نتیجه گیری

ترکیب کانی‌شناسی کل شیل‌های سازند مورد مطالعه در هر سه نوع شیل، سبز، سیاه و زغالی به حضور شاخص کوارتز، فلدسپار و کانی‌های رسی بویژه ایلیت با نسبت‌های متفاوت و همچنین کانی‌های ثانویه کلینوکلر در شیل سبز و پیریت، زیرکن، دولومیت و اکسیدهای آهن در شیل سیاه و زغالی اشاره میکند. مقایسه عناصر اصلی و فرعی شیل‌های منطقه با مقادیر زمینه (همانند میانگین جهانی شیل، شیل جیروود در منطقه مورد مطالعه، NASC, PAAS و...) در بیشتر موارد نسبت‌ها و مقادیری برابر (حتی کمتر) را نشان داده ولیکن از برخی عناصر همانند  $TiO_2, Al_2O_3, U, Mn, Zr, As$  و... از خود غنی‌شدگی بروز دادند. مطالعه شیل‌های سازند جیروود که بعلت عملکرد فازهای کوهزایی آلپین در بسیاری نقاط منطقه مورد مطالعه در کنار سازند شمشک قرار گرفته و بعنوان همبری زیرین این سازند شناخته میشود، مقادیری برابر و در بیشتر عناصر و اکسیدها همانند  $U, Zn, Fe_2O_3, Al_2O_3, K_2O$ ،  $Cr, Th$  و... نسبت به موارد مرجع غنی‌شدگی نشان می‌دهد. نکته با اهمیت در مطالعه پتروگرافی ماسه‌سنگ و شیل‌های این سازند، هماهنگی قابل توجه لیتولوژیکی در غنی بودن عنصری آن است، بطوریکه مقاطع نازک گرفته شده از ماسه‌سنگ‌های سازند جیروود، مقادیر بسیار بالایی از کانی‌های رسی

بوئژه کلریت غنی از آهن و منیزیم و همچنین سایر کانی‌های میکایی همراه با فراوانی اجزاء آواری کوارتز و فلدسپار پتاسیک را نشان می‌دهند. میزان بالای کانی‌های پتاسیم‌دار همانند ایلیت، کلریت و فلدسپار از تأمین کنندگان و عوامل اصلی بالارفتن مقادیر K20 و Al2O3 در شیل‌های این سازند می‌باشند. احتمالاً فازهای اوروژنیک انتهایی کالدونین در غنی‌سازی و هموژنزی سنگ‌مادر اولیه و ماسه‌سنگ‌های سازند جی‌رود نقش اساسی ایفا کرده است، این موضوع اهمیت حضور فازهای ماگمایی و هیدروترمال را در اغناء عنصری شیل‌ها (که نهایتاً کنترل‌کننده لیتولوژی سنگ‌مادر(غنی‌سازی) است) فارغ از شرایط ته‌نشست (سازند شمشک) نشان می‌دهد. ماسرال‌های اصلی و تشکیل‌دهنده ترکیب زغالسنگ‌ها در پتروگرافی لایه‌های زغال منطقه مورد مطالعه با نسبت‌های متفاوت دیده می‌شوند. برهمین اساس، ویتروینیت، ماسرال غالب و لیپتینیت از جمله اجزاء فرعی تشکیل‌دهنده زغالسنگ‌های منطقه مورد مطالعه به شمار می‌آیند.

## فصل چہارم

### ژئوشیمی

---

#### ۴-۱- مقدمه

همانطور که قبلاً اشاره گردید، شیل‌ها بیشترین فراوانی را در حوضه‌های رسوبی کل دنیا نشان داده و نسبت به سایر سنگ‌های رسوبی، بهترین نشانگر و معرف میانگین پوسته بالایی، تعادل توده رسوبی و سنجش پارامترهای ژئوشیمی آلی و معدنی، به علت دارا بودن صدها ویژگی خاص همانند فراوانی کانی‌های رسی، هموزنزی و ناتراوایی نسبی بعد از ته‌نشست و ... به شمار می‌آیند. شیل‌های غنی از مواد آلی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه یکی از بهترین و تیبیک‌ترین نمونه‌های پژوهشی اقتصادی، هیدروکربن‌زایی و ژئوشیمی (آلی - معدنی) محسوب می‌شوند، در این فصل به اهمیت جنبه‌های مطالعاتی:

الف- ژئوشیمی معدنی: تحت عناوین ژئوشیمی عناصر اصلی (از طریق آنالیزهای دستگاهی XRD و XRF - یک نمونه شیل سبز، پنج نمونه شیل سیاه، دو نمونه شیل زغالی)، عناصر جزئی (از طریق آنالیز ICP - یک نمونه شیل سبز، پنج نمونه شیل سیاه و دو نمونه شیل زغالی) و عناصر نادر خاکی یا REEs (از طریق آنالیز ICP-MS - یک نمونه شیل سیاه، یک نمونه شیل سبز و یک نمونه شیل زغالی)

ب- ژئوشیمی آلی: تحت عنوان بررسی توان هیدروکربن‌زایی شیل‌های سازند شمشک با تکیه بر نتایج دستگاهی راک اول (ده نمونه شیل سیاه، زغالی، سبز و ماسه‌سنگ) که هدف اصلی از تدوین این پایان‌نامه قلمداد می‌شود، پرداخته و همچنین جنبه‌های کاربردی آنها را از طریق ترسیم نمودارهای پایه‌ای همانند، تعیین لیتولوژی سنگ‌مادر اولیه، موقعیت تکتونیکی، محیط ته‌نشست، نوع و مقدار ماده آلی و ... بررسی می‌کنیم.

## ۴-۲- ژئوشیمی معدنی

مطالعات ژئوشیمی معدنی و بخصوص استفاده از نسبت‌های عنصری در شیل (همچنین پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ)، به علت آنکه اطلاعات مفید و کاربردی را در مورد تعیین ترکیب منشاء اولیه، موقعیت تکتونیکی، تاریخچه هوازگی سنگ‌مادر به ما ارائه می‌کند، بسیار با اهمیت و پرارزش است. بر همین اساس، در این بخش به صورت جداگانه و مفصل به بررسی و تحلیل نقش ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و نادرخاکی در تعیین و تشخیص فاکتورهای زمین‌شناسی / استراتیگرافی شیل‌های منطقه مورد مطالعه می‌پردازیم.

## ۴-۲-۱- ژئوشیمی عناصر اصلی

جهت کمک به مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، ردیاب و REEs، به هنجار کردن هریک از عناصر در سنگ، کانی، سیال و ... نسبت به مواد استاندارد و مرجع امری ضروری و سودمند است. بدین منظور، منابع متعددی در نظر گرفته شده لیکن شیل سیاه، زغالی و سبز سازند شمشک در منطقه مورد مطالعات توسط بهترین و کاملترین موارد زمینه (NASC, UC, PAAS, ASPS, NAMS) و میانگین شیل جهانی<sup>۱</sup> نرمال‌سازی شده‌اند. ترکیب شیمیایی شیل‌های تریاس فوقانی - ژوراسیک زیرین سازند شمشک در حوضه البرز شرقی توسط دستگاه‌های تجزیه‌گر XRD-XRF (تعیین غلظت عناصر اصلی و جزئی)، ICP (تعیین غلظت عناصر جزئی)، ICP-MS (تعیین غلظت عناصر نادر خاکی) مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. ترکیب عناصر اصلی شیل‌های این منطقه مقادیری مشابه در  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$

---

<sup>۱</sup> UC = Upper Crust - Taylor & McLennan, 1985

NASC = North American Shale Composite - Gromet et. al., 1984

PAAS = Post Archean Shale - Taylor and McLennan, 1985

Ave. Shale = Clark, 1984

ASPS = Average Russian Paleozoic Shale - Ronov and Migdisov, 1971

NAMS = Average North American Mesozoic Shale - Ronov and Migdisov, 1971

TiO<sub>2</sub>، MnO و MgO را نسبت به غلظت‌های مرجع: UC، NASC، PAAS، ASPS، NAMS و Ave.Shale نشان داده و از نظر CaO، Na<sub>2</sub>O و P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> مقادیر پایینتری را به نمایش می‌گذارد (جدول ۴-۱).

Al، Si و Fe (%Wt) به ترتیب از فراون‌ترین عناصر اصلی در شیل‌های منطقه مورد مطالعه شناسایی شده که ارتباط و همبستگی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> به SiO<sub>2</sub> و همچنین مقادیر بالای آنها نشان دهنده حضور بالای عوامل تخریبی در ترکیب سنگ‌مادر اولیه است. مقادیر پایین CaO، Na<sub>2</sub>O علاوه بر آنکه نشان دهنده غلظت‌های پایین آنها در سنگ منشأ (نمونه‌ها ارتباط اندکی با کربنات‌ها دارند) بوده، و همچنین به بلوغ نسبی آنها نسبت به شیل‌های پس از آرکئن<sup>۱</sup> هم اشاره می‌کند<sup>۲</sup> (جدول ۴-۲).

ذکر این نکته حائز اهمیت است که در مطالعات صورت گرفته، شیل‌های سازند شمشک منطقه ده‌ملا علاوه بر آنکه جهت تعیین پارامترهای ژئوشیمیایی با ارزشی همانند: تعیین ترکیب سنگ منشأ اولیه، تشخیص موقعیت تکتونیکی، تاریخچه هوازگی و ... مورد بررسی قرار می‌گیرند، نسبت به مقادیر و نتایج بدست آمده از شیل‌های نئوژن گروه سورما، حوضه بنگال، بنگلادش<sup>۳</sup> نیز مقایسه شده‌اند.

### الف- بلوغ و تعیین سنگ منشأ اولیه

حضور مقادیر بالای کوارتز، ایلیت و کلریت در شیل‌های مورد مطالعه هم به غالب بودن کنترل‌گرهای آواری و هم به اشتقاق از منابع فلسیک اشاره دارد. در بیشتر سنگ‌های کلاستیک، نسبت Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> به TiO<sub>2</sub> جهت تعیین سنگ‌مادر به کار می‌رود که این مقدار برای سنگ‌های آذرین مافیک، ۳ تا ۸، سنگ‌های حد واسط ۸ تا ۱۲ و سنگ‌های آذرین فلسیک ۱۲ تا ۷۰ است<sup>۴</sup>. در نمونه‌های مورد مطالعه این مقدار به طور متوسط ۱۶/۸ است و اشاره به منشأ گرفتن منابع فلسیک دارد، ضمناً ترسیم

---

<sup>۱</sup> Post - archean

<sup>۲</sup> Mahjoor, A. S., et. al., 2009

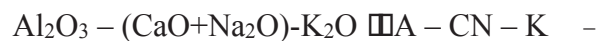
<sup>۳</sup> Suzuki, Sh. & Rahman M. J., 2007

<sup>۴</sup> hayashi, et. al., 1997

نتایج حاصل در دیاگرام شویبر (۲۰۰۹)<sup>۱</sup> تمام نمونه‌ها را با ترکیب گرانودیوریتی نشان داده است (شکل ۱-۴). نسبت  $Na_2O/K_2O < 1$  در شیل‌های سازند شمشک ( $\cong 0.263$ ) اشاره به بلوغ آنها می‌کند، همچنین نسبت بالای  $Rb/K_2O$  در نمونه‌های مورد مطالعه ( $\cong 57\%$ ) نسبت به مقادیر زمینه UC ( $\cong 32\%$ ) بیانگر مچوریتی بسیار بالای آنها است.<sup>۲</sup>

### ب- هوازگی ناحیه منشاء

در توصیف تاریخچه هوازگی بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی از دیاگرام‌های:



و همچنین دو اندیس هوازگی شیمیایی:

CIA یا اندیس شیمیایی دگرسانی<sup>۵</sup>

CIW یا اندیس شیمیایی هوازگی<sup>۶</sup>

استفاده می‌گردد. مقادیر CIA از طریق فرمول زیر بدست می‌آید:

$$CIA = \left[ \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} \right] \times 100$$

<sup>۱</sup> Schieber, 2009

<sup>۲</sup> Suzuki, Sh. & Rahman, M.J., 2007

<sup>۳</sup> Cullers et. al. (۱۹۹۴) معتقد است که بلوغ کانی‌شناسی رسوبات می‌تواند نشانگر منشاء فلسیک یا منابع رسوبی Reworked باشد (Okunlola, et. al., 2012).

<sup>۴</sup> Nesbitt & Young, 1982

<sup>۵</sup> Nesbitt & Young, 1982

<sup>۶</sup> Harnois, 1988

$CIA \cong 50$  نشان دهنده سنگ‌های گرانیته تازه و حضور کائولینیت و کلریت می‌باشد،  $CIA <$  50 نشانگر سنگ‌مادر غیرهوازده، و مقادیر  $CIA > 50$  نشان دهنده هوازدهگی شدید در منشاء می‌باشد. غلظت‌های بالای  $Al_2O_3$  و همچنین CIA (به طور متوسط ۷۹/۳۷) در شیل‌های سازند شمشک هم معرف هوازدهگی نسبتاً شدید در منشاء و هم حضور فراوان کانی‌های رسی و تهی‌شدگی فلدسپار تخریبی است (شکل ۴-۲).

### پ- تعیین موقعیت تکتونیکی

برخی از محقق همانند کورسچ و روزر (۱۹۸۶) و بهاتیا (۱۹۸۳)<sup>۱</sup>، از آنالیزهای پایه‌ای عناصر اصلی  $Fe_2O_3$ ،  $Al_2O_3$ ،  $TiO_2$  و... و همچنین ژئوشیمی عناصر ردیاب جهت تعیین ۴ ایالت تکتونیکی اصلی (OIA، CIA، PM، ACM)<sup>۲</sup> برای شیل و گلسنگ استفاده کردند.

پلات دیاگرام‌های اصلی  $SiO_2$  در مقابل  $Na_2O/K_2O$  (شکل ۳-۴)<sup>۳</sup>،  $SiO_2/Al_2O_3$  در مقابل  $K_2O/Na_2O$  (شکل ۴-۴)<sup>۴</sup> و همچنین دیاگرام سه‌تایی  $CaO - Na_2O - K_2O$  (شکل ۵-۴)<sup>۵</sup> در نمونه‌های شیلی مورد مطالعه به اختلاطی از ACM و PM اشاره می‌کند. احتمالاً<sup>۵</sup> ته نشست تحت شرایط مختلف حادثه تکتونیکی بزرگ آلپین در این اختلاط بی تاثیر نبوده و نیاز به مطالعات تخصصی بیشتری را در این زمینه می‌طلبد.

<sup>۱</sup> Korsch and Roser, 1986 و Bhatia, 1983

<sup>۲</sup> ACM: Active Continental Margine

PM: Passive Margine

CIA: Continental Island Arc

OIA: Oceanic Island Arc

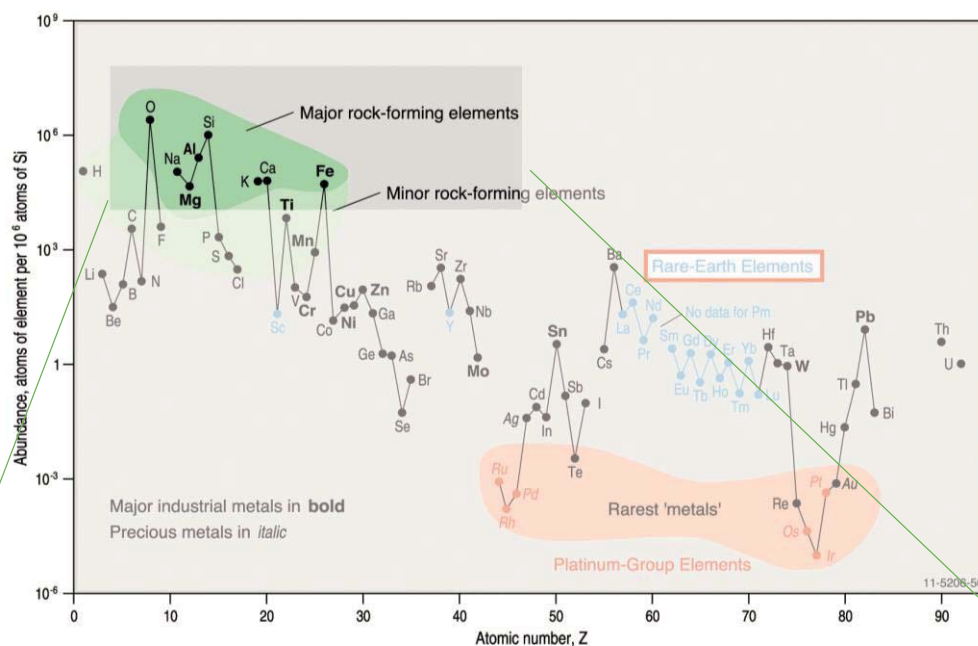
<sup>۳</sup> Roser and Krosch, 1986

<sup>۴</sup> Tao, H., et. al., 2013

<sup>۵</sup> Bhatia, 1983

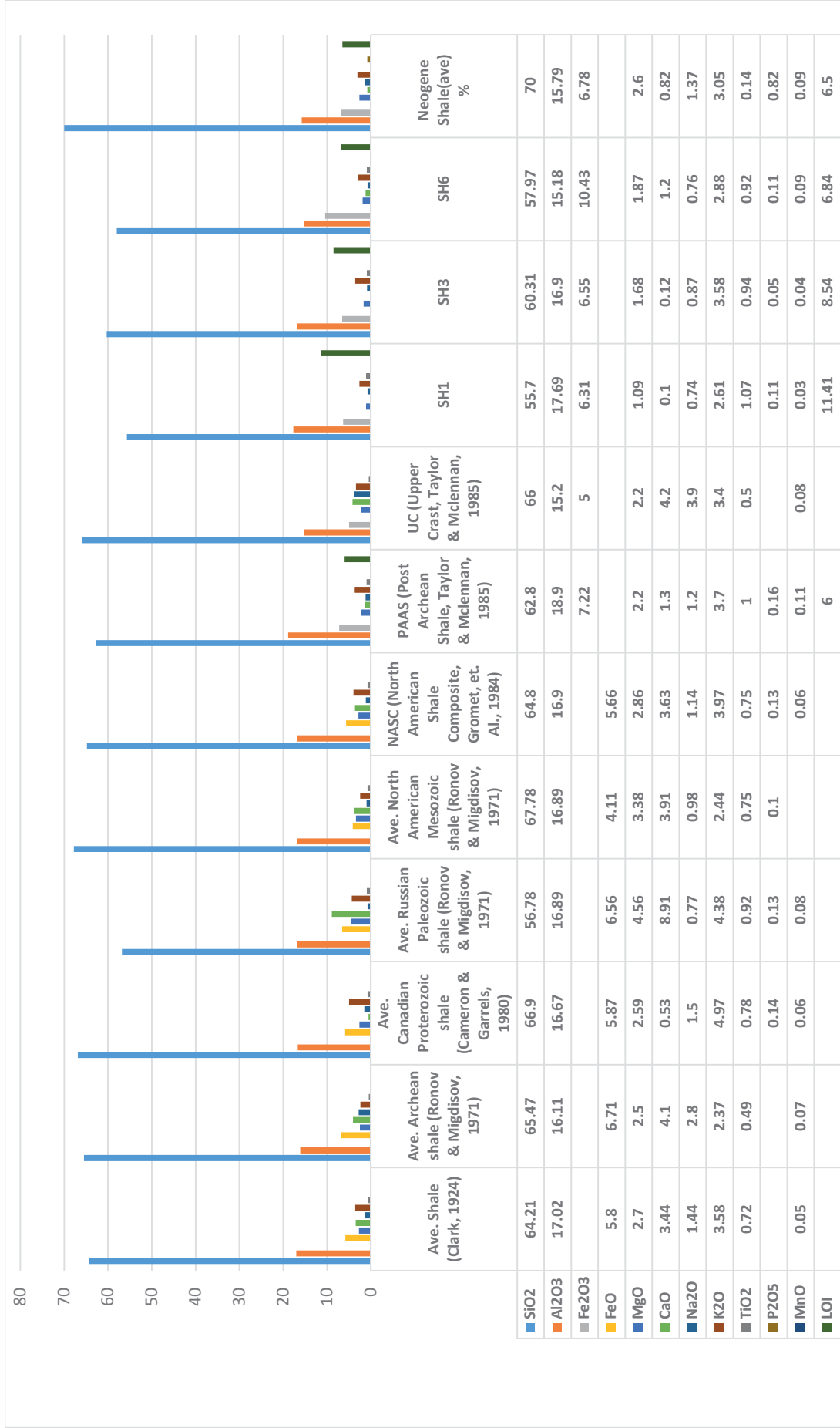


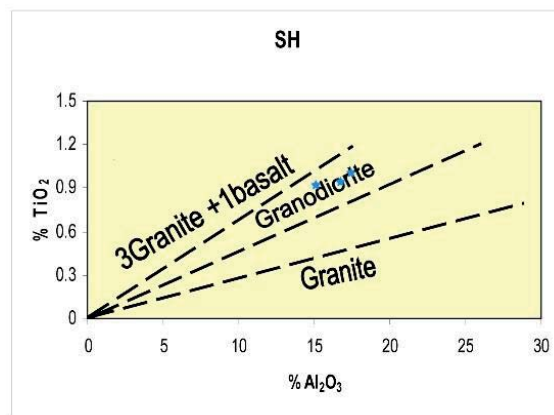
جدول ۴-۱- عناصر اصلی به همراه نسبت‌های رایج عنصری درشیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه و مقایسه با مقادیر زمینه



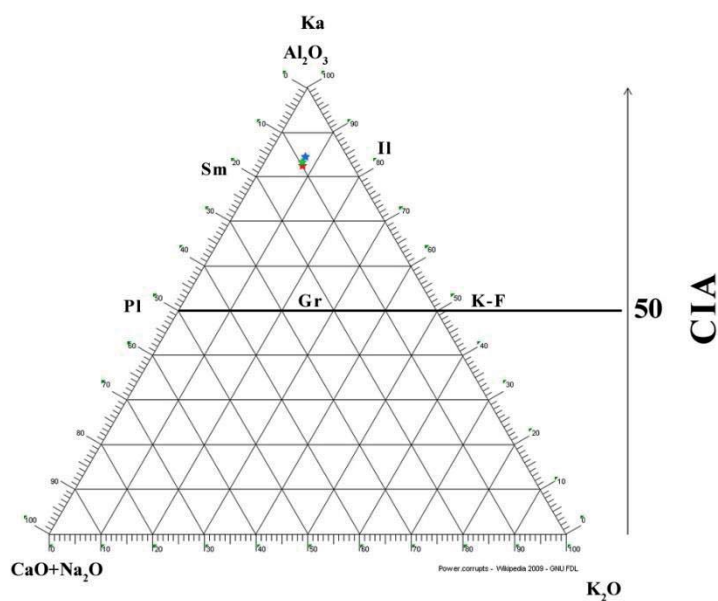
Elements	SH1 %	SH3 %	SH6 %	Neogene Shale(ave) %	UC	NASC	PAAS	wedepohl
SiO <sub>2</sub>	55.70	60.31	57.97	70	66	64.80	62.80	58.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.69	16.90	15.18	15.79	15.20	16.90	18.78	16.7
Na <sub>2</sub> O	0.74	0.87	0.76	1.49	3.90	1.14	1.19	1.6
MgO	1.09	1.68	1.87	2.60	2.20	2.86	2.19	2.06
K <sub>2</sub> O	2.61	3.58	2.88	3.05	3.40	3.97	3.68	3.6
TiO <sub>2</sub>	1.07	0.94	0.92	0.82	0.50	0.70	0.99	0.78
MnO	0.03	0.04	0.09	0.09	0.09	0.06	0.11	0.08
CaO	0.10	0.12	1.20	1.37	4.20	3.63	1.29	2.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.05	0.11	0.14		0.13	0.16	0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.31	6.55	10.43	6.78	5	5.65	7.18	6.91
SO <sub>3</sub>	2.91	0.20	1.55	00.0				
LOI	11.41	8.54	6.84	6.5				6.3
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.148	3.56	3.81	3.9				
K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	3.51	4.21	3.78	2.066				
K <sub>2</sub> O / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.147	0.211	0.189					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / TiO <sub>2</sub>	16.5	17.5	16.5	19.5				
TiO <sub>2</sub> / Zr	0.0026	0.0031	0.0092					
Rb/K <sub>2</sub> O	57.47	69.83	45.138					
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O								

جدول ۴-۲- نمودار مقایسه‌ای شیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه با مقادیر زمینه مرجع

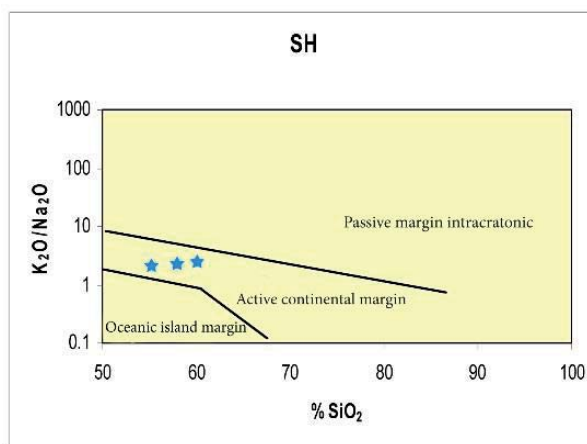




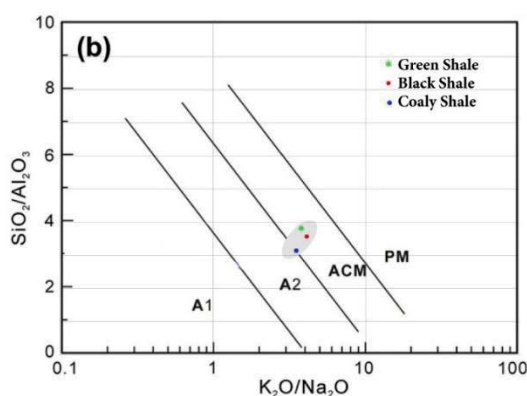
شکل ۴-۱- دیاگرام  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  شیل‌های سازند شمشک (Sheiber, 1992)



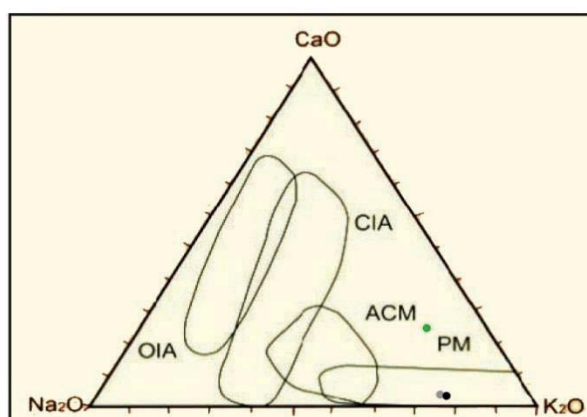
شکل ۴-۲- نمودار سه‌تایی A-CN-K شیلی سازند شمشک (Ka: Kaolinite, Sm: Smectite, Il: Illite, Pl: plagioclase, K-F: K-Feldspar, Gr: Granite)



شکل ۴-۳- دیاگرام  $SiO_2$  در مقابل  $K_2O/Na_2O$  برای شیل‌های سگشن مورد مطالعه (Rosre & Korsch, 1986)



شکل ۴-۴- پلات عناصر اصلی  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  نمونه‌های شیلی مورد مطالعه (Tao, H. et al, 2013)



شکل ۴-۵- رسم نمونه‌های شیلی شمشک در نمودار سه‌تایی (Na2O - CaO - K2O) (Bhatia, 1983)

## ۴-۲-۲- ژئوشیمی عناصر جزئی

ژئوشیمی عناصر ردیاب و بویژه عناصر نادرخاکی به علت آنکه از تحرک و ضریب تفکیک پایینی<sup>۱</sup> تحت شرایط مختلف زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی برخوردار هستند، بهترین معرف و نشانگر ترکیب منشاء، موقعیت تکتونیکی و بویژه مطالعات دیرینه اکسیداسیون-احیاء<sup>۲</sup> بشمار می‌آیند و یا عبارتی ابزاری قابل اعتماد در زمینه بررسی تکامل منشاء رسوبات هستند<sup>۳</sup>. نرمالیزه عناصر جزئی در شیل‌های سیاه و زغالی و سبز سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه با مقادیر  $^{238}\text{U}$  و میانگین شیل<sup>۵</sup>، غلظت‌های مشابه و یا کمتری را در بسیاری از عناصر همانند Ba, Be, Cu, Sc, V, Cd و ... و همچنین آنومالی‌های

<sup>۱</sup> Partition Coefficient

<sup>۲</sup> Paleo Redox

<sup>۳</sup> Taylor & McLennan, 1985

<sup>۴</sup> Upper Crust ) Taylor & McLennan, 1985(

<sup>۵</sup> Clark, 1924

شاخصی را در مقادیر عنصری Ar, Bi, Mn, Zr, U و Th بخصوص در شیل سیاه نشان می‌دهند (جدول ۴-۳).

### الف - ترکیب سنگ‌مادر اولیه و موقعیت تکتونیکی:

بر اساس جدول (۴-۴)، که از نسبت‌های عنصری (یا جزئی) رایج همانند Th/Cr, Th/Co, Th/Sc, La/Sc, Cr/Th و ... در تعیین ترکیب سنگ منشاء استفاده شده است، سنگ منشاء فلسیک برای نمونه‌های شیلی سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه استنتاج می‌شود<sup>۱</sup>. علاوه بر آن گسترش نسبی عناصر نامتحرک<sup>۲</sup> همانند La/Th که بیشتر تمایل در تجمع سنگ فلسیک نشان می‌دهند و همچنین استفاده از دیاگرام‌های Th در مقابل Sc و La/Sc در مقابل Th/Co اشاره به منابع فلسیک در ترکیب سنگ منشاء اولیه دارد. محققانی همانند نسبیت و همکاران (۱۹۸۲)<sup>۳</sup> و کوندای (۱۹۹۳)<sup>۴</sup> به این نتیجه رسیدند که کاتیون‌های کوچکی همانند Na, Ca, Sr و ... در پروفیل‌های هوازدگی به طور انتخابی شسته<sup>۵</sup> و از محیط خارج می‌شوند، در حالیکه کاتیون‌های بزرگ، مثل: K, Rb و Ba ممکن است توسط فرآیندهایی همانند جذب سطحی و تبادلات یونی در رس و مواد آلی تثبیت شوند. نمونه‌های مورد مطالعه تهی‌شدگی بارزی از باریوم و استرانسیوم را نشان می‌دهند، که احتمالاً به تبلور مجدد<sup>۶</sup> رس و تخریب پیشرونده فلدسپار مرتبط شود.<sup>۷</sup>

میکاه و بویژه کلریت و ایلیت در نمونه‌های شیلی - ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه غنی‌شدگی نشان می‌دهند که احتمالاً حضور مقادیر بالای عناصر Rb, k از عناصر اصلی تأمین کننده آنها بحساب

<sup>۱</sup> Wronkiewicz & Condie, 1990, Cullers, 1994

<sup>۲</sup> Immobile

<sup>۳</sup> 1982 Nesbitt et. al.,

<sup>۴</sup> Conday, 1993

<sup>۵</sup> Leaching

<sup>۶</sup> Recrystallization

<sup>۷</sup> باریوم و استرانسیوم بیشتر در پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیک وجود داشته و حفظ می‌شوند، در نتیجه هوازدگی پلاژیوکلاز باعث کاهش مقادیر آنها می‌شود. پلاژیوکلاز نسبت به فلدسپار پتاسیک راحت‌تر هوازده شده و استرانسیوم نسبت به باریوم متحرک‌تر است.

می‌آیند. نسبت Cr/Ni کمتر از ۱/۳ در نمونه‌ها، اشاره به اشتقاق از منابع فلسیک دارد. از پارامترها و تقسیم بندی‌های متنوعی جهت تفسیر موقعیت تکتونیکی استفاده می‌شود، به عنوان مثال استفاده از نسبت‌های ژئوشیمیایی  $Th/U$ ،  $Zr/Th$ ،  $Zr/Nb$ ،  $Nb/Y$  و ... کاربرد فراوانی دارد. براساس فراوانی عناصر جزئی و همچنین قرار گیری نمونه‌ها در دیاگرام‌های تعریف شده  $Th - Sc - Zr/10$ ، باز هم مقادیری بین ACM و PM بدست می‌آید. به اعتقاد بهاتیا (۱۹۸۳)، شیل و گل‌سنگ در بسیاری از عناصر بویژه عناصر غیرمتحرک مقادیری شبیه به هم نشان می‌دهند، که البته از طریق غلظت‌های برخی عناصر می‌توان به حدس نسبی در تعیین موقعیت تکتونیکی رسید، به عنوان مثال غلظت بالای  $Ba/Sr$ ،  $Rb/Sr$  و فراوانی کروم و نیکل برای حاشیه واگرا (PM) قابل پیگیری است (جدول ۴-۵ و اشکال ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸).

با توجه به اینکه رسوبات رودخانه - دلتایی سازند شمشک (تریاس زیرین - ژوراسیک فوقانی) در حد فاصل دو رخداد زمین ساختی سیمیرین پیشین و میانی نهشته شده، شاید چنین اختلاطی دور از ذهن نباشد (نیاز به مطالعات بیشتر کاملاً محسوس است).

#### ب- شرایط پالئوریداکس (دیرینه اکسیژن‌زایی)

در بسیاری از مطالعات، از نسبت‌های  $V/Cr$ ،  $Cu/Zn$ ،  $Ni/Co$  و ... جهت تعیین شاخصه‌های دیرینه اکسیژن‌زایی استفاده میشود<sup>۱</sup>. منتهی، استفاده از اکسیداسیون اورانیوم و بویژه اورانیوم اتونیک و همچنین نسبت‌های  $U/Th$  و  $Ni/Co$  که شاخصه کنترل ژئوشیمی دریایی هستند، از کاربرد وسیعی برخوردار است<sup>۲</sup>.

<sup>۱</sup> Dill, et. al., 1986

<sup>۲</sup> Barnes & Cochran, 1990

تحت شرایط اکسیدان، اورانیوم در غلظت‌های بالایی به عنوان اورانیل سه کربنات<sup>۱</sup> در محیط وجود دارد، در حالیکه تحت شرایط احیایی U VI به U IV تبدیل و می‌تواند به راحتی از آب دریا متحرک شده و در سطح ذرات ته‌نشست پیدا کند، در نتیجه کاهش مقادیر اورانیوم به طور کلی در رسوباتی که تحت شرایط اکسیژن‌زایی ته‌نشست پیدا می‌کنند، حادث می‌شود و غلظت‌های بیشتر مرتبط با رسوبات زون مینیمم اکسیژن است.<sup>۲</sup>

اورانیوم اتوزنیک که از طریق فرمول :

$$\frac{Th}{2} - U \square \square$$

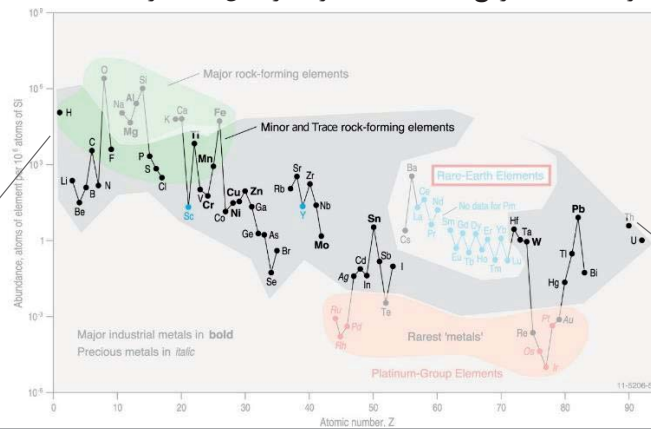
بدست می‌آید به عنوان شاخصه آب‌های عمقی و شرایط ته‌نشست شناخته می‌شود. مقادیر متوسط تا بالای اورانیوم و توریوم مشاهده شده در انواع شیل سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه بطور عمده از سنگ منشاء اولیه ناشی میشود. بنا به اعتقاد ویگنال و ویر(۱۹۹۸)<sup>۳</sup>، مقادیر پایین‌تر از ۵ اورانیوم اتوزنیک به شرایط ته‌نشست اکسیدان (شیل سبز) و بیشتر از ۵ به شرایط ته‌نشست بی‌اکسیژنی (شیل سیاه و زغالی  $\cong 5$ ) اشاره دارد. نسبت‌های پایین Ni/Co ( $> 5$ ) و همچنین U/Th ( $> 1/5$ ) در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، شرایط دیرینه اکسیژن‌زایی اکسیک را برای شیل‌های منطقه مورد مطالعه به نمایش می‌گذارد. مطالعه در این حیطة نیازمند به اطلاعات و جزئیات دقیق پژوهشی دارد.

<sup>۱</sup> Tri - Carbonate

<sup>۲</sup> Barnes & Cohran, 1990 و Nath, et. al., 1997

<sup>۳</sup> Wignall & Wyers, 1998

جدول ۳-۴- عناصر جزئی به همراه نسبت‌های رایج غلظت‌های عنصری در شیل‌های سازند شمشک منطقه مورد مطالعه

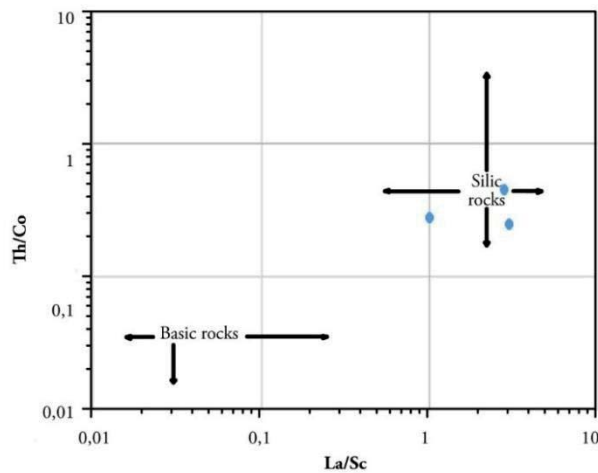


Elements	SH1 (ppm-average)	SH3 (ppm-average)	SH6 (ppm-average)	Neogene Shale(Ave)	UC	Shale	
Ag	<1	<1	<1		0.06	0.07	
As	□<100	□253	□<50		1.6	13	
Ba	□242	□195	□<150	483	570	580	
Be	□<1	□<1	□<1	3	3.2	3	
Bi	□<10	□12	□<10		0.054	0.43	
Cd	□<1	□2	□<1		0.1	0.3	
Co	□15.5	□68	□50		17	19	
Cl	□320	□300	□39		150	180	
Cr	112.5	62	80	99	69	90	
Cu	23	31	16	59	39	45	
Li	75	39.5	30		23	66	
Mn	293.5	863	106		0.077	0.085	
Mo	<3	<4	<2		1.6	2.6	
Nb	<20	<20	<20	16	15	11	
Ni	35.5	122.5	100	42	55	50	
Pb	49.5	44	35	28	17	20	
Rb	150	250	130	150	110	140	
Se	<10	10.5	<6	17	14	13	
Sn	<5	<5	<5	4	3.3	3	
Sb	13	21		1	0.2	1.5	
Sr	100	80	70	127	350	170	
Th	7	17	14	18	11	12	
U	5	12	7		3	2.8	2.7
V	140	77.5	100	110	140	130	
W	N	N	N	N	1.3	1.8	
Zn	140	105	<100	130	67	95	
Zr	<400	<300	<100	270	170	160	
Ni/Co	2.33	1.79	2				
Zr/Th	57.142	17.64	7.142				
Zr/Nb	20	15	5				
Nb/Y	1.45	1.41	2.56				
Rb/Sr	1.5	3.125	1.85		1.62		
Ba/Sr	2.42	2.43	2.142				
U/Cr	0.044	0.193	0.08				
Th/Co	0.46	0.25	0.28				
La/Sc	2.8	3	1				
La/Cr	0.25	0.48	0.075				
La/Th	4	1.76	0.42				
Co/Th	215	4	3.57				
Zr/Sc	40	30	16.6				
Th/Sc	0.7	1.7	2.3				
Th/Cr	0.062	0.27	0.17				
Ba/Sc	24.2	19.5	25				
Zr/Hf	190.47	109.9	90.09				
U/Th	0.714	0.705	0.5				
V/Cr	1.25	1.24	1.25				
Cr/Ni	2.2	0.508	0.8				
Th/Co	0.46	0.25	0.28				
Cu/Zn	0.164	0.295	0.16				
Cu+Mo/Zn	0.185	0.33	0.18				

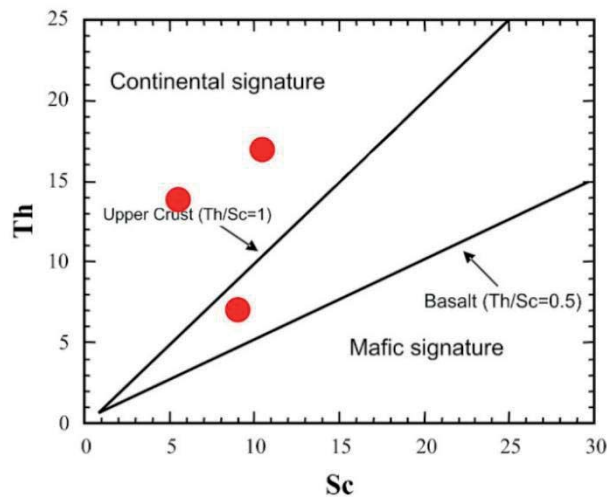


جدول ۴-۴- نسبت‌های عناصر جزئی شیل‌های سازند شمشک با مقادیر زمینه مرجع

Element Ratiot	Shale (This Study)	Range of the Neogene Shales from the Surma Group, Bengal Basin	Range of Sediments (Cullers, 1994,2000)		UCC Upper Continental Crust (Taylor & McLennan, 1985)	PAAS Post-Archean Average Shale (Taylor & McLennan, 1985)
			Felsic Rocks	Mafic Rocks		
Th/Sc	1.56	0.9-1.29	0.84-20.5	0.05-0.22	0.79	0.9
Th/Co	0.33	0.90-1.26	0.67-19.4	0.04-1	0.63	0.63
La/Sc	2.21	2.19-3.26	2.5-16.3	0.43-0.86	2.21	2.4
Th/Cr	0.167		0.13-2.7	0.018-0.046	0.13	0.13
Cr/Th	8.47	4.88-6.45	4-15	25-500	7.76	7.53
La/Co	0.78	2.29-3.08	1.8-13.8	0.14-0.38	1.76	



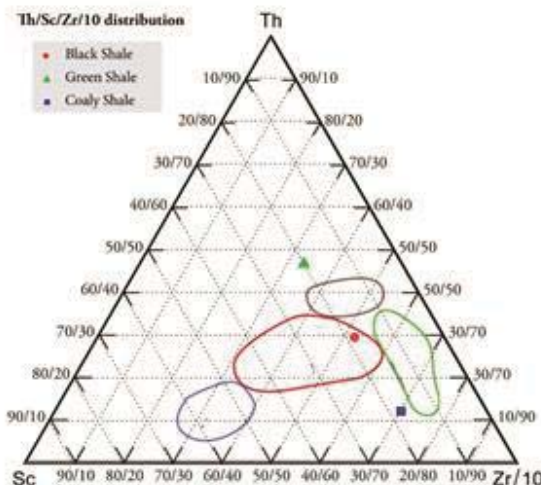
شکل ۴-۶- قرارگیری La/Sc در مقابل Th/Co در نمونه‌های مورد مطالعه (Cullers, 1994)



شکل ۴-۷- نمودار Th در مقابل Sc شیل‌های شمشک دهملا (برگرفته از Suzuki, Sh. & Rahman, M.J., 2007)

جدول ۴-۵- نسبت‌های عنصری معمول در شیل‌های شمشک منطقه مورد مطالعه و مقایسه با موارد مرجع

Element	Shemshak Formation (This Study)	Bengal Basin (Rahman & Faupl, 2003)	OIA Oceanic Island Arc	CIA Continental Island Arc	ACM Active Continental Margine (Bhatia, 1983)	PM Passive Margine (Bhatia, 1983)
Nb	<20	16	3/7	9	16/5	15/8
Zr/Nb	13/3	14/7	38	21	11	10
Nb/Y	1/8	0/5	0/17	0/35	0/5	0/54
Rb/Sr	2.66	1/3	5/29	1/31	2/9	5/8
Th	12.6	18	5/5	16/2	28	22
Zr/Th	27.3	13/3	28	12	7	7
Ba/Sr	2.33	3/9	2/5	6/3	8/7	17/6
Cr	84.83	99	39	55	58	100
Ni	86	42	15	18	26	36
La	21.3	45	18	24	42	34
La/Sc	2.21	2/3	1	1/8	2/5	1/9
Sc/Ni	0.04	0/4	1/7	0/96	0/75	0/45



شکل ۴-۸- دیاگرام سه تایی Sc-Zr/10-Th در شیل‌های منطقه مورد مطالعه (Bhatia, et al. 1983)

#### ۴-۲-۳- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی<sup>۱</sup>

رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی کمیاب به علت جالب و سودمند بودن این عناصر در پاسخگویی به بسیاری از مسائل گوناگون سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، موضوع مطالعات وسیعی در طی چند دهه گذشته بوده است. نامتحرک بودن نسبی آنها در طول انواع دگرسانی سنگ (جهت تعیین طبیعت یا ماهیت اولیه سنگ‌مادر)، رفتار اکسایش - کاهش متفاوت (تشخیص حدود فعالیت

<sup>۱</sup> REEs Elements

اکسیژن‌زایی)، کمپلکس سازی تحت محیط‌های مختلف (درک بهتر نسبت اجزاء آنیونی)، توزیع نسبی در سیستم‌های آذرین، دگرگون و رسوبی (در مطالعات سنگ‌زایی کاربرد زیادی دارد)، ایزوتوپ‌های پایدار – ناپایدار (مطالعات سنگ‌زایی و زمین‌گاه‌شماری)، قابلیت انحلال پایین و ... از جمله موارد کاربردی ژئوشیمی این عناصر در حل مسائل کانی‌شناسی و پترولوژیکی است.<sup>۱</sup> در حیطه زمین‌شناسی اقتصادی نیز می‌توان به استفاده این عناصر در تفکیک توده‌های عقیم نسبت به بارور (کانه‌دار)، تشخیص و تعیین اندیس‌های معدنی و ... اشاره کرد.

در بسیاری از مطالعات از الگوی عناصر نادرخاکی و آنومالی Eu در سنگ‌های رسوبی، جهت فهم بهتر ویژگی‌های سنگ‌مادر استفاده می‌شود، بطوریکه نسبت‌های بالا LREE/HREE و همچنین آنومالی منفی Eu و Tm اشاره به سنگ‌های فلسیک و نسبت‌های پایین LREE/HREE و پایین بودن یا فقدان آنومالی خاص Eu نشانگر منشاء گرفتن از سنگ‌های مافیک است.<sup>۲</sup> غلظت‌های عناصر نادرخاکی شیل‌های سازند شمشک در منطقه ده‌ملا – حوضه البرز شرقی توسط الگوی کندریت، NASC و UC نرمالیزه شده است. شیل‌های شمشک، غنی‌شدگی اندکی در برخی از عناصر نادرخاکی سبک (LREEs) و همچنین الگوی یکنواختی را در عناصر نادر سنگین (HREEs) همراه با آنومالی منفی Eu و Tm به نمایش می‌گذارد. نسبت بالای LREEs/HREEs و  $\Sigma$ REEs در نمونه‌های مورد مطالعه به اشتقاق از منابع فلسیک اشاره می‌کند، همچنین استفاده از نسبت Gd/Yb علاوه بر تعیین طبیعت سنگ‌مادر، ترکیب پوسته قاره‌ای را هم بهتر نشان و اثبات می‌کند. این مقدار، در پوسته آرکئن<sup>۳</sup>، بالا و در سنگ‌های رسوبی بیشتر از ۲ است، در حالیکه در سنگ‌های بعد آرکئن<sup>۴</sup>، بین ۱ تا ۲ قرار گرفته است.<sup>۵</sup> در شیل‌های

---

<sup>۱</sup> Rollinson, 1993

<sup>۲</sup> Cullers, 1994

<sup>۳</sup> Archean

<sup>۴</sup> Post Archean

<sup>۵</sup> Taylor & McLennan, 1985

سازند شمشک این نسبت، بیشتر از ۲ است و پیشنهاد می‌کند که از سنگ مادری با نسبت‌های برابر HREEs (صرفاً نه از سنگ مادر تهی) مشتق شده‌اند<sup>۱</sup> (جدول ۴-۶).

#### ۴-۲-۴- مقایسه با داده‌های حوضه بنگال گروه سورما (بنگلادش)

میانگین ترکیب عناصر اصلی در شیل‌های نئوزن گروه سورما، حوضه بنگال که نوعی شیل نفتی به شمار می‌آید، مشابه با ترکیب میانگین و زمینه آنها به غیر از مقادیر پایین CaO است. ایلیت و کلریت در گراف‌های XRD، غنی‌شدگی بالایی را نشان می‌دهند. مقادیر بالا  $\text{SiO}_2$ ، CIA و CIW نسبت به سایر شاخصه‌ها به شدت هوازگی فوق‌العاده زیاد در ناحیه منشأ اشاره می‌کند (بیشتر از ۸۰ درصد). استفاده از شاخصه‌ها و نسبت‌های ژئوشیمی رایج در تعیین موقعیت تکتونیکی، حاشیه قاره‌ی فعال را برای این شیل‌ها پیشنهاد می‌کند و همچنین استفاده از نسبت‌های عناصر نادر خاکی و ردیاب LREE/HREE، آنومالی منفی Eu، Th/Co و ... اشاره به مشتق شدن از منابع فلسیک دارد.

همانطور که مشاهده می‌کنیم بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی (بویژه در عناصر اصلی) شیل‌های نئوزن گروه سورما مشابه با شیل‌های سازند شمشک می‌باشد، لیکن آنچه شیل‌های سازند شمشک را در برخی عناصر، بویژه عناصر جزئی غنی‌تر ساخته، علاوه بر اغناء سنگ‌مادر اولیه، شدت کم هوازگی نسبت به شیل‌های نفتی نئوزن گروه سورما است که در کاهش تحرک‌سازی بسیاری از عناصر همانند کاتیون‌های کوچک نقش بسزایی ایفا می‌کند.<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> آنومالی Eu به طور عمده توسط فلدسپار و بویژه در ماگمای فلسیک کنترل می‌شود. (Rollinson, 1993)

<sup>۲</sup> CIA  $\frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{TiO}_2} \times 100$  CIA  $\frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3} \times 100$



## ۴-۳- ژئوشیمی آلی

از زمان شناخت و پیدایش پترولیوم (نفت و گاز) به عنوان شاهرگ اقتصادی جوامع جهانی و هم‌چنین تاریخچه‌ی صدساله‌ی اکتشاف اولین چاه نفت ایران و خاورمیانه (منابع معمول) در مسج‌سلیمان که به صورت تراوشات طبیعی و حفر چاه‌های دستی صورت گرفت، تا امروز از روش‌ها و شیوه‌های متنوع اکتشافی استفاده شده است. لیکن، ژئوشیمی آلی با توجه به نقصان و رو به اتمام نهادن ذخایر کشف شده رایج و نیاز به شناخت هر چه بیشتر منابع غیر معمول هیدروکربوری همانند شیل نفتی، شیل گازی، ماسه قیردار و... در جهت رفع بسیاری از خواسته‌ها و پیچیدگی‌های تولیدی و اکتشافی قدم برداشته است.

ژئوشیمی نفت، به کارگیری اصول شیمیایی و زمین‌شناسی در مطالعات منشأ، مهاجرت، تجمع و دگرسانی پترولیوم و هم‌چنین استفاده از نتایج حاصل، جهت اهداف اکتشافی و بازیافت نفت می‌باشد. شاخصه اصلی ژئوشیمی آلی در آنالیز حوضه‌های رسوبی به عنوان یک روش اکتشافی نوین (در کشف ذخایر نفت و گاز معمول، بیشتر از فنون مدرن، همانند: چینه‌شناسی، ویژگی‌های ساختمانی و به کارگیری از روش‌های متنوع ژئوفیزیکی، حفاری و ... استفاده می‌شود)، فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز، جهت توصیف نقش و ویژگی‌های سنگ‌مادر اولیه (به ویژه ارزیابی بلوغ حرارتی و نوع - مقدار مواد آلی سنگ منشأ)، تحول ماده آلی، تهیه نقشه‌های غنی‌سازی، تفسیر سیستم‌های نفتی با استفاده از بیومارکرها و هم‌چنین گرایش‌های جدید آن، همانند ژئوشیمی مخزن و ژئوشیمی تولید، با به کارگیری از آنالیزهای پایه‌ای راک-اول، کربن آلی کل، انعکاس و یتیرینایت و ... می‌باشد. در نهایت، از نتایج حاصل، جهت کاهش ریسک اکتشافی، افزایش (یا بازیافت) پتانسیل اقتصادی و بازسازی-مدل سازی یک حوضه‌ی نفت خیز استفاده می‌شود. در این بخش، به تحلیل موضوع و هدف اصلی نگارش از پایان‌نامه، تحت عنوان بررسی توان هیدروکربورزایی شیل‌های سازند شمشک در منطقه ده‌ملا شاهرود، با تکیه بر آنالیز دستگاهی پیرولیزراک-اول می‌پردازیم. بدین منظور، ابتدا به تشریح مختصری از برخی مفاهیم

پایه و رایج در ژئوشیمی آلی و نیز معرفی اجمالی از منابع غیرمتعارف شیل نفتی و گاز دار پرداخته و سپس به تعبیر و تفسیر نتایج حاصل با استناد بر نمودارهای مربوطه خواهیم پرداخت.

#### ۴-۳-۱- تعاریف

### مختصری در توصیف سنگ منشأ هیدروکربوری<sup>۱</sup>

نفت موجود در مخازن از سنگ غنی از ماده آلی که تحت عنوان سنگ مادر نامیده می‌شود، منشأ می‌گیرد. سنگ منشأ، سنگی غنی از مواد آلی و دانه‌ریز است، که تحت فشار و دمای کافی، توانایی زایش حجم قابل توجهی هیدروکربور را دارا است. و یا به عبارتی سنگ منشأ، نتیجه تقارب<sup>۲</sup> فرآیندهای فیزیکی، بیوشیمیایی و زمین‌شناسی مؤثر در تشکیل سنگ‌های رسوبی ریزدانه حاوی مواد آلی است. حجم (ضخامت و گسترش جانبی)، میزان مواد آلی (وابسته به مقدار و نوع مواد آلی موجود در کروژن)، بلوغ حرارتی، رخساره‌های رسوبی، تاریخچه‌ی تدفین، تکتونیک، مینرالوژی و سایر ویژگی‌های زمین-شناختی، از جمله عوامل مؤثر در پتانسیل زایش نفت و گاز در یک سیستم نفت خیز به حساب آمده که از یک حوضه به حوضه دیگر متفاوت بوده و کنترل کننده مکانیسم‌های رفتار پترولیوم<sup>۳</sup> از زایش تا خروج می‌باشند<sup>۴</sup>.

در یک طبقه‌بندی ساده، میتوان سنگ منشأ را به دو دسته فعال<sup>۵</sup> و غیرفعال<sup>۶</sup> تقسیم‌بندی کرد. سنگ منشأ فعال، شامل رسوبات یا سنگی است که نفت را تحت زمان‌های بحرانی تولید و خارج کرده

---

<sup>۱</sup> Source Rock

<sup>۲</sup> convergence

<sup>۳</sup> مینرالوژی نقش مهمی در توصیف توسعه یک سنگ منشأ ایفا می‌کند، زیرا کانی‌هایی که همزمان (و یا بعد از ته‌نشست) با مواد آلی درون رسوبات نشست و انتقال پیدا می‌کنند، می‌توانند با اجزاء آلی واکنش داده و از غلظت مواد آلی درون رسوبات بکاهند، در نتیجه موجبات رقیق شدگی آنها را باعث شوند (Mccarthy,k,etal,2012).

<sup>۴</sup> Abdula.R.,etal2010

<sup>۵</sup> active Source Rock

<sup>۶</sup> inactive Source Rock

است که معمولاً این نوع سنگ منشأ در پنجره نفتی قرار دارد<sup>۱</sup>، اما در سنگ منشأ غیرفعال، زایش نفت قطع شده، گرچه هنوز پتانسیل تولید هیدروکربو را دارا می‌باشد<sup>۲</sup>.

ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که یک سنگ منشأ نفت در نهایت به مرحله فوق بلوغ<sup>۳</sup> خود رسیده و جهت تولید نفت غیر مستعد می‌گردد، با این حال ممکن است، همچنان توانایی تولید گاز تر و خشک را در خود حفظ کرده باشد<sup>۴</sup>.

مقدار و نوع ماده آلی درون سنگ، به علت آن که اولین کنترل‌گرهای تولید هیدروکربن بعد از بلوغ بشمار می‌آیند، از فاکتورهای مهم در توصیف ارزیابی سنگ منشأ به شمار رفته و همچنین تأثیرات عمده‌ای بر ماهیت هیدروکربن تولیدی می‌گذارند<sup>۵</sup>.

شیل‌ها می‌توانند مقادیر متفاوتی از انواع کروژن از تیپ ۱ تا ۴ را داشته باشند که شرایط محیطی ته‌نشست، محتوای اکسیژنی ستون آب / رسوبات، تولیدات اولیه ارگانیکی و حفاظت از آنها، مینرالوژی، نرخ رسوبگذاری و انرژی از جمله عوامل موثر در تعیین و کنترل مقدار و نوع ماده آلی (کروژن) درون سنگ و یا رسوبات می‌باشند<sup>۶</sup>. بعنوان مثال، اکسیژن در ستون آبی، بیشتر از طریق تولیدات بیولوژیکی مواد آلی و یا اکسیداسیون، تخریب میکروبی<sup>۷</sup> کنترل می‌شود. میزان اکسیژن آب، توسط اکسیژن انحلال‌پذیر توصیف می‌شود. بنابر اعتقاد تیسون و پیرسون<sup>۸</sup>، ۱۹۹۱، آب‌های اکسیژن‌دار<sup>۹</sup> دارای مقادیر

---

<sup>۱</sup> Dow, 1997

<sup>۲</sup> Barker, 1974

<sup>۳</sup> post-mature

<sup>۴</sup> Barker, 1974

<sup>۵</sup> همان

<sup>۶</sup> Mc Carthy K., et al, 2012

<sup>۷</sup> Biodegradation

<sup>۸</sup> Tyson & Pearson, 1991

<sup>۹</sup> oxic water



۲-۸ O<sub>2</sub>/LH<sub>2</sub>O (میلی لیتر/لیتر) اکسیژن، آب‌های دیس‌اکسیک<sup>۱</sup> حاوی ۲-۰/۲ O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (میلی لیتر/-لیتر) اکسیژن، آب‌های ساب‌اکسیک<sup>۲</sup> از ۰-۰/۲ O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O (میلی لیتر/لیتر) اکسیژن و بالاخره آب‌های بی‌اکسیژنی فاقد هر گونه اکسیژنی هستند. همانطور که می‌دانیم محیط تهی از اکسیژن بهترین محیط جهت حفاظت و تجمع مواد آلی به حساب می‌آید که حضور وارو یا لامینه، گواهی است بر وجود شرایط بی‌اکسیژنی در سنگ منشأ و حاکم شدن این شرایط، ارتباط نزدیکی با انرژی (کاهش) محیط ته‌نشست دارد. به علت سکون در آب‌های مناطق احیایی و کمبود اکسیژن در چنین شرایطی، شرایط لازم جهت حفظ مواد آلی در رسوبات ته‌نشین شده مهیا گردد. معمولاً، ارتباط نزدیک بین اندازه دانه و میزان مواد آلی موجود در سنگ منشأ دیده می‌شود. در محیط‌های پرانرژی (همانند ساحل) سنگ منشأ نمی‌تواند شکل بگیرد، ولی در سنگ‌های دانه‌ریز مانند شیل‌ها که در محیط کم‌انرژی مانند لاگون‌ها نهشته می‌شود میزان مواد آلی بالا است. همانطور که می‌دانیم، مواد آلی موجود در سنگ‌های مادر تحت فشار و حرارت حاکم در طبقات رسوبی در طی تدفین به ماده‌ای تحت عنوان کروژن تبدیل می‌شوند، که این ماده غیرقابل حل در حلال‌های آلی است. کروژن در ادامه تدفین و افزایش حرارت و فشار به انواع نفت و گازها تبدیل می‌شوند. کروژن‌ها بر اساس نوع ماده آلی تشکیل دهنده آن‌ها به انواعی تقسیم می‌شوند.

انواع کروژن از طریق استفاده از نسبت اتمی H/C در مقابل O/C دیاگرام ون-کروئن، همراه با توصیف شاخصه‌های زغال سنگ تشخیص داده می‌شوند.<sup>۳</sup>

انواع کروژن عبارتند از:

**کروژن تیپ I:** این تیپ کروژن شاخص محیط‌های دریایی (در برخی موارد) و بیشتر، محیط‌های دریاچه‌ای هستند. این نوع از کروژن‌ها از بقایای جلبک‌ها، پلانکتونیک‌ها، مواد آلی تخریب یافته باکتریایی و سایر میکروارگانیسم‌های دریاچه‌ای منشأ می‌گیرد. این نوع از کروژن‌ها میزان H/O آن‌ها بالا است و

<sup>۱</sup> Dysoxic

<sup>۲</sup> suboxic

<sup>۳</sup> Stach, et. al, 1975

در مقایسه با سایر کروژن‌ها غنی از هیدروژن می‌باشد ( $H/C > 1.5$  و  $O/C < 0.1$ ). این نوع کروژن مستعد تولید نفت بوده، منتهی بسته به مرحله بلوغ حرارتی می‌تواند گاز هم تولید کنند. این گونه کروژن‌ها معمول نیستند و کمتر از ۳٪ مخازن نفت و گاز دنیا را به خود اختصاص می‌دهند. بهترین مثال این نوع تیپ کروژن سازند گرین‌ریور<sup>۱</sup> جنوب ایالات متحده آمریکا است.

**کروژن تیپ II:** خاص محیط‌های دریایی است و عمدتاً از بقایای پلانکتونیک‌ها و بقایای جلبک‌های دریایی منشأ می‌گیرند، این نوع از کروژن در مقایسه با نوع قبلی از میزان هیدروژن کمتری برخوردار می‌باشند ( $H/C = 1-1.5$  و  $O/C < 0.2$ ). در طی تدفین و افزایش دما و بلوغ حرارتی می‌تواند نفت و گاز تولید کنند. سازند رسی کیمریج<sup>۲</sup> دریای شمال و سازند باژنو<sup>۳</sup> سیبری از جمله مثال‌های بارز این تیپ کروژن به حساب می‌آیند.

**کروژن تیپ II-S:** شاخصه اصلی این تیپ کروژن، مقادیر بالای گوگرد در آنهاست معمولاً در محیط‌های دریایی آب و هوای گرم و کربناته تشکیل می‌شوند. سازند مونتری<sup>۴</sup> کالیفرنیا و لالونا<sup>۵</sup> ونزوئلا از مثال‌های شناخته شده، این دسته از کروژن محسوب می‌شوند.

**کروژن تیپ III:** محصول بقایای گیاهان خشکی است که در محیط‌های کم‌عمق تا عمیق دریایی یا محیط‌های نیمه‌دریایی ته‌نشست کرده‌اند. نسبت به تیپ I و II از محتوای هیدروژن پایین‌تر اما اکسیژن بالاتری برخوردار بوده ( $H/C = 0.5-1$  و  $O/C > 0.2$ ), و نهایتاً زایش گاز خشک را می‌توان برای آنها متصور بود. بیشتر زغالسنگ‌های (هومیک) از این تیپ کروژن هستند.

---

<sup>۱</sup> Green River

<sup>۲</sup> Kimmeridge

<sup>۳</sup> Bazhenov

<sup>۴</sup> Monterey

<sup>۵</sup> Laluna

**کروژن تیپ IV:** این نوع کروژن حاصل از تخریب و رسوب مجدد کروژنهای قبلی در محیط رسوبی جدید است، در این کروژنها نسبت H/C بسیار پایین و O/C بسیار بالا است. معمولاً توان تولید هیدروکربور ندارد. گرچه برخی محققین، تصور زایش نفت را در صورت بهره‌گیری از روش‌های دقیق ژئوشیمی اکتشافی، در آنها دور از ذهن نمی‌بینند.<sup>۱</sup>

### - شیل نفتی

تولید انرژی یکی از مهمترین مسائل پیشروی جوامع است و تولید انرژی از طریق نفت خام از دیرباز مورد توجه بوده، به طوری‌که صنعت نفت امروزه از مهمترین صنایع بشمار می‌آید. یکی از روش‌های تولید انرژی، استخراج نفت از شیل نفتی<sup>۲</sup> می‌باشد.

شیل نفتی، یک گروهی از سنگ‌های شیلی هستند که حاوی مواد آلی و غیرآلی می‌باشند. مواد آلی (کروژن) موجود در آنها به علت آنکه در عمق کافی مدفون نشده، هنوز به مرز پختگی و مهاجرت نرسیده و نفتی تولید نمی‌کند. لیکن می‌توان در آزمایشگاه به وسیله حرارت‌دادن و تقطیر آنها نفت را استخراج کرد.<sup>۳</sup> میزان نفت تولیدی از این سنگ‌ها در فرآیند تقطیر از حدود ۴ تا ۵۰ درصد وزن سنگ متغیر است. به چنین نفت غیرمتعارفی که از این شیل‌های نفتی با کمک انحلال حرارتی، پیرولیز و یا هیدروژن‌دهی استخراج می‌گردد، اصطلاحاً نفت شیل یا نفت کروژن هم گفته می‌شود. شیل‌های نفتی تیپیک عمدتاً حاوی کروژن نوع I و II می‌باشند (مقادیر بالای H/C با نسبت‌های اندک O/C) که حکایت از پتانسیل بالا برای زایش نفت دارد.<sup>۴</sup> این نوع سنگ‌ها در پهنه وسیعی از طبیعت از آب‌های شیرین تا دریاچه‌های نمکی و باتلاق‌های رسوبی و ... و همچنین، بین دوره‌های کامبرین (همانند شیل ناساچ میشیگان و ویسکانسین با سنی حدود ۱۱۰۰ میلیون سال) تا ترشیاری شکل گرفته‌اند.

<sup>۱</sup> Smyth, 1983

<sup>۲</sup> Oil Shale

<sup>۳</sup> یزدانی، ر.، ۱۳۹۱

<sup>۴</sup> Cook, et. al., 2008

نحوه استخراج نفت شیل به دو شیوه انجام می‌پذیرد که در زیر به صورت مختصر به آن‌ها اشاره

می‌گردد:

## ۱- حفاری سطحی:

أ. روش قدیم: در این روش نفت شیل را به صورت سنتی از زمین استخراج کرده و پس از انتقال به ساختمان‌های ویژه فرآیند، آن را تا دمای ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند. در این ساختمان‌ها، نفت شیل را با هیدروژن غنی کرده و نفت حاصل را از مواد زائد جدا می‌کنند.

ب. روش جدید: در طی این روش، جهت پالایش بیشتر از کریستال قیر پس از کامل شدن فرآیند کاتالیستی استفاده می‌شود.

## ۲- حفاری درجا:

در این روش توسط حرارت دهنده‌های الکتریکی که درون زمین قرار گرفته‌اند، نفت شیل طی یک دوره ۲ تا ۳ ساله تا ۷۰۰ درجه فارنهایت حرارت داده می‌شود تا نفت از آنها خارج گردد. سپس به وسیله چاه‌های نفت آن را استخراج می‌کنند. این روش، نسبت به سایر روش‌ها از خطرات زیست محیطی کمتری برخوردار است<sup>۱</sup>.

استفاده از نفت شیل به دوران باستان بازمی‌گردد که همانند زغالسنگ به‌طور مستقیم از آن استفاده می‌شد<sup>۲</sup>. امروزه، بیشتر شیل‌های نفتی به واسطه معدن‌کاری سنگ‌ها شناخته می‌شوند، همچنان که استفاده دوباره از نفت شیل به سال ۱۸۵۰ در اسکاتلند باز می‌گردد، بطوریکه در بین سال‌های ۱۸۸۱ تا ۱۹۵۵ حدود یک تا چهار میلیون تن نفت شیل از معادن اسکاتلند استخراج می‌شد. ایالات متحده

---

<sup>۱</sup> هزاوه‌ای و همکاران، ۱۳۸۷

<sup>۲</sup> همان

آمریکا با در دست داشتن حدود ۳/۳ تریلیون تن ذخیره نفت شیل اولین کشوری است که بهره‌برداری از نفت شیل را در مقیاس وسیع آغاز کرد. مجموع ذخایر نفت شیل در دنیا ۴۱۱ گیگاتن که معادل ۲/۸ تا ۳/۳ تریلیون بشکه است تخمین زده شده که البته همه‌ی آن قابل بازیافت نیست، این رقم از کل ذخایر اثبات شده‌ی متعارف نفت دنیا در اواخر سال ۲۰۱۰ حدود ۱/۳۸ تریلیون بشکه اعلام شده است، فراتر است. ایالات متحده آمریکا با حدود ۶۲ درصد از ذخایر نفت شیل دنیا که عمدتاً در ۳ بخش کلرادو، یوتا و وایومینگ منطقه گرین‌ریور واقع شده‌اند، بزرگترین ذخایر نفت شیل دنیا به حساب می‌آیند (شکل ۴-۹). روسیه، برزیل، چین و ونزوئلا نیز از جمله دارندگان دیگر مخازن شیل نفتی در دنیا به شمار می‌روند<sup>۱</sup>.

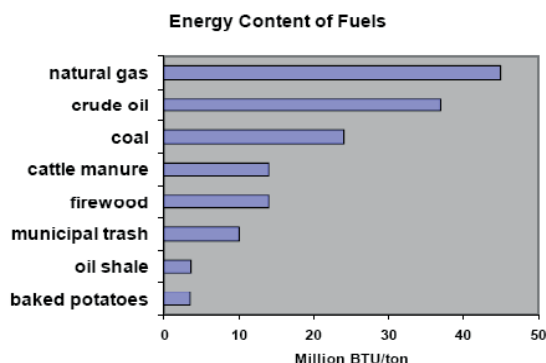
علیرغم آنکه در کشورمان، منابع بزرگ متعارف هیدروکربوری در سطح جهانی از اهمیت بالایی برخوردار هستند، لیکن با توجه به نیاز آینده، افزایش روزافزون تقاضای انرژی، محدود بودن منابع رایج انرژی و همچنین گسترش فوق‌العاده زیاد سازندهای شیلی و زغالدار همانند شمشک، مبارک و ... در کشورمان، توجه به منابع غیر معمول از اولویت و اهمیت خاصی برخوردار است. همچنان که مطالعات گسترده‌ای را در بررسی پتانسیل هیدروکربورزایی سازند شمشک در حوضه‌ی زغالخیز البرز<sup>۲</sup> و یا شیل‌های سیلورین گروه دهرم<sup>۳</sup> و ... در سطح کشورمان شاهد هستیم.

در آخر نیز ذکر این نکته حائز اهمیت است که، اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، نبود تکنولوژی مناسب، هزینه‌های بالای تولید نفت از شیل نفتی (امروزه ۶۰ دلار بر بشکه برآورد می‌شود)، انرژی حرارتی پایین‌تر نسبت به منابع متعارف (شکل ۴-۱۰) و ... از جمله موانع عمده در توسعه صنعت نفت شیل به شمار می‌آیند. با این حال، استفاده از نفت شیل تنها زمانی صرفه اقتصادی دارد که قیمت نفت به طور ثابت بالا بوده و نیز تکنولوژی لازم برای انجام فرآیندها نیز در دسترس باشد.

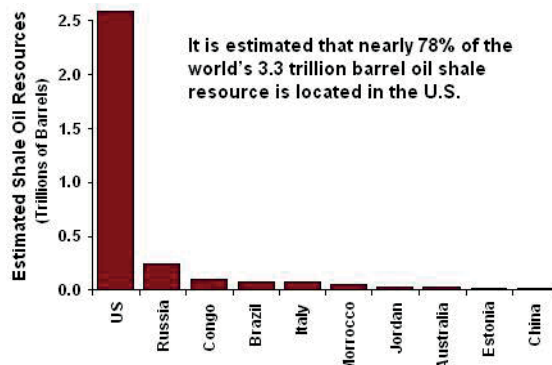
<sup>۱</sup> یزدانی، ر.، ۱۳۹۱

<sup>۲</sup> توسط شکاری‌فرد، ع و همکاران، ۱۳۸۶

<sup>۳</sup> سنگ منشأ پالئوزوئیک زاگرس، سپهوند، س.، ۱۳۸۹



شکل ۴-۱۰- ارزش حرارتی مواد مختلف  
(برگرفته از هزاوه‌ای و همکاران، ۱۳۸۷)



شکل ۴-۹- موقعیت دارندگان عمده شیل نفتی  
در دنیا (Hewitt, M., 2007)

## – شیل گازی

منابع گاز غیرمتعارف به چند گروه شیل گازی، مخازن فشرده گاز، متان لایه‌های زغال و هیدرات-های گازی تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۴-۱۱). شیل‌های گازی در واقع گروهی از سنگ‌های رسی فشرده تیره رنگ حاوی مواد غنی هیدروکربوری از نوع گاز هستند. به طور کلی ۴ نوع شیل گازی وجود دارد که از شیل‌های گازی بعنوان سنگ منشأ با بلوغ حرارتی مناسب در پنجره حرارتی گاز تا شیل‌های گازی بصورت سنگ منشأ با بلوغ حرارتی نامناسب و تحت تاثیر فعالیتهای باکتریایی (گاز بیوژنیک) متغیر است<sup>۱</sup>.

آنالیز استراتیگرافی حوضه‌های رسوبی مناطق مختلف نشان داد، که تولید گاز از منابع شیل گازی عمدتاً در لایه‌های بلوغ یافته حرارتی و غنی از موجودات پلانکتونی که در سیستم تراکت رسوبی پیشرونده و یا همان شیل‌های سیاه نهشته شده‌اند، صورت می‌پذیرد.

گاز در منابع شیل گازی یا به صورت فاز آزاد در فضای خالی سنگ که شامل فضای خالی درون مواد آلی نیز می‌شود و نیز به صورت جذب شده بر روی مواد آلی و معدنی به ویژه رس و یا همچنین

<sup>۱</sup> Stevens, 2012

محلول در کروژن و بیتومن وجود دارد.<sup>۱</sup> همانطور که بیان گردید از آنجائیکه بخش مهمی از گاز در منابع شیل گازی به صورت جذب شده بر روی مواد آلی و کانه‌های معدنی به ویژه رس ذخیره می‌شوند (گاهی مقدار آن بیش از ۵۰ درصد ظرفیت کل سنگ تخمین زده می‌شود)، لذا ارزیابی و بررسی نوع، مقدار، میزان و بلوغ حرارتی ماده آلی و همچنین ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ در ارزیابی توان زایش، ظرفیت و برآوردسازی واقعی میزان ذخیره سنگ منشأ و همچنین سنگ مخزن ضروری است.<sup>۲</sup> به عنوان مثال حداقل میزان ماده آلی (TOC) برای تشکیل یک ذخیره شیل گازی ۲ تا ۳ درصد عنوان شده (در برخی منابع این میزان با تغییر در عوامل زمین‌شناسی مثل ضخامت، لایه‌های شیل و خصوصیت مخزنی متغیر بوده و حتی به یک درصد هم به عنوان پتانسیل قابل قبول رسیده است) به طوریکه در شیل‌های منطقه بارنت آمریکا که از بهترین نمونه‌های شیل گازدار دنیا است این مقدار ۴/۵ و در منطقه آنترین به ۲ درصد نیز رسیده است.<sup>۳</sup> حداقل انعکاس و پترینایت (RO) جهت تعیین میزان بلوغ حرارتی در شیل گازی حدود ۱/۱ درصد ذکر شده است.<sup>۴</sup>

سابقه تولید و اکتشاف از منابع شیل گازی به سال ۱۸۲۱ در آمریکا باز می‌گردد، تا سال‌های اخیر به دلایل فنی و اقتصادی برداشت وسیع از این منابع امکان نداشت اما با پیشرفت‌های فنی در زمینه حفاری و کاهش هزینه این عملیات و همچنین افزایش چشم‌گیر قیمت منابع انرژی فسیلی، تولید از مخازن شیل گازی اقتصادی شده است. ایالات متحده آمریکا با در دست داشتن حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ تریلیون فوت مکعب ذخایر شیل گازی تنها کشوری است که برداشت از این منابع را، علیرغم تمام

---

<sup>۱</sup> Curtis, et al. 2002

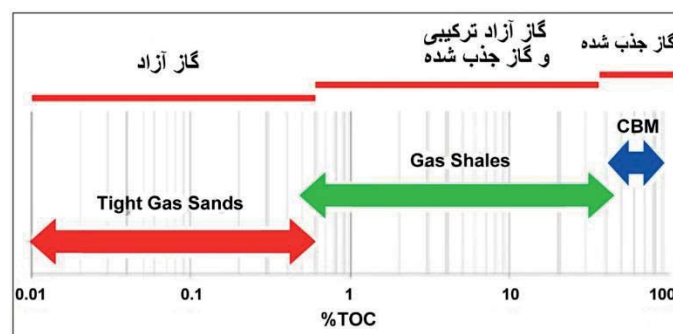
<sup>۲</sup> Hartwig, et al. 2010

<sup>۳</sup> Arthur, et al. 2008

<sup>۴</sup> Cluff, et al. 2007

پیچیدگی‌ها در مسائل زمین‌شناسی و فنی منابع نامتعارف به ویژه شیل‌های گازی، به مرحله تجاری-سازی رسانده است، به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۳۵ بتواند نیمی از نیاز تولید گاز طبیعی خود را از محل شیل‌های گازی تأمین کند.<sup>۱</sup>

در ایران نیز علی‌رغم آنکه مطالعات تفصیلی کلی بر روی منابع شیل‌های گازی صورت نگرفته، لیکن پی‌جویی‌های مقدماتی از سال ۱۳۹۰ بر روی این منابع غیرمعمول در حوضه‌های رسوبی زاگرس، کپه‌داغ و ایران مرکزی آغاز گردیده است. بر همین اساس، مطالعات در حوضه شیل‌های گازدار سازندهای شیلی سرگلو و گرو به سن ژوراسیک میانی و کرتاسه زیرین در ناحیه لرستان از حوضه رسوبی زاگرس تحت فاز ارائه گردیده است.<sup>۲</sup> با توجه به ابعاد وسیع ناحیه‌ای سازندهای آواری و مستعد منابع نامعمول، همانند سازندهای دوران دوم، بویژه دوره ژوراسیک و کرتاسه، شاید دور از ذهن نباشد که با مطالعه و بکارگیری فنون و علوم اکتشاف و استخراج چنین منابعی، بتوانیم میزان ذخایر گازی را در کشورمان افزایش داده و حتی به عنوان منبع اصلی گاز مصرفی داخل کشور جایگزین کنیم.



شکل ۴-۱۱- انواع منابع و مخازن نامتعارف گازی بر اساس میزان کل محتویات کربنی (برگرفته از مجله LEGS (Resources)

## - آشنایی با دستگاه پرولیزراک-اول

از آنجائی که دستگاه پرولیزراک-اول، از کاربردی وسیع در تفاسیر ژئوشیمی آلی برخوردار است، در این بخش به تشریح مفصل اهمیت، عملکرد، شاخص‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط آن

<sup>۱</sup> Stevens,2012

<sup>۲</sup> کاوسی و همکاران، ۱۳۹۰



می‌پردازیم. اولین گام در توصیف تکامل یک سیستم نفت‌زا، تشریح خصوصیات سنگ منشأ آن است، در بیشتر روش‌های توصیفی از نمونه‌های برداشت شده سنگی (رخمون‌های سطحی، مغزه، چاه‌های حفاری و ...)، استفاده از پیرولیز راک-اول و مقادیر TOC اندازه‌گیری شده و هم‌چنین به کارگیری از داده‌های RO، جزئیات لاگ‌های ژئوشیمیایی و ... جهت تکمیل مطالعات، از کاربرد وسیعی برخوردار است.<sup>۱</sup>

از زمان ارائه اولین مقاله مرتبط با توسعه و کاربرد پیرولیز راک-اول در سال ۱۹۷۷ توسط اسپیتالی<sup>۲</sup> و همکاران، تاکنون این روش یکی از بهترین و پرکاربردترین متدهای دستگاهی آنالیز ژئوشیمی آلی در ارزیابی سازندهای هیدروکربوری و مطالعات اکتشافی نفت و گاز به شمار می‌آید. در این روش مقادیر اندکی (۷۰-۱۰۰ mg) از نمونه پودر شده سنگ، تحت محیط اتمسفری نیتروژن به منظور تعیین مقدار هیدروکربورهای آزاد موجود در سنگ (پیک S<sub>1</sub>) و پتانسیل باقی‌مانده که در صورت بلوغ قادر به تولید هیدروکربور است (پیک S<sub>2</sub>) تا ۶۵۰ درجه (در راک-اول ۶ تا ۹۰۰ درجه حرارت داده می‌شود)، با نرخ ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه در آون پیرولیز حرارت داده می‌شود. هیدروکربورهای آزاد شده که تا حرارت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بخار شده توسط آشکارساز<sup>۳</sup> FID تحت عنوان پارامتر S<sub>1</sub> بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ  $\left(\frac{mgHc}{gRock}\right)$  نشان داده می‌شود. با افزایش حرارت، مواد آلی موجود در نمونه، در نتیجه پیرولیز حرارتی تبدیل به هیدروکربور شده و پیک S<sub>2</sub> را بر حسب  $\left(\frac{mgHc}{gRock}\right)$  شکل می‌دهد. درجه حرارتی که در آن درجه، حداکثر هیدروکربور تولید می‌شود، تحت عنوان T<sub>max</sub> بیان شده که پارامتری مهم در ارزیابی بلوغ مواد آلی سنگ مورد مطالعه است. گروه‌های کربوکسیلیک موجود در کروژن سنگ تحت دمای ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد شکسته شده و به صورت CO<sub>2</sub> آزاد می‌شود که توسط آشکارساز IR-Cell و تحت عنوان پارامتر S<sub>3</sub> آنالیز و نشان داده می‌شود. مواد آلی

---

<sup>۱</sup> Casa & Peters, 1994

<sup>۲</sup> Espitalie

<sup>۳</sup> Flame Ionization Detector

باقی مانده در سنگ، در آون اکسیداسیون با نرخ ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۸۵۰ درجه، حرارت داده می‌شود و پارامترهای متعدد دیگری هم اندازه‌گیری می‌شود. S<sub>4</sub> یا کربن پسماند توسط سیستم اکسیداسیون دستگاه و توسط آشکارساز TCD محاسبه می‌گردد. با استفاده از این مقادیر و مقادیر به دست آمده در مرحله اکسیداسیون، TOC یا کربن آلی کل نمونه‌های مورد مطالعه به دست می‌آید. دقت، سرعت (در حدود ۲۰ دقیقه نمونه‌ها را آنالیز می‌کند)، نیاز به مقادیر اندک نمونه، ساده بودن و کارایی فراوان در اکتشاف منابع هیدروکربوری از جمله مزایای مطلق و قابل اهمیت استفاده از پیرولیز راک-اول به عنوان روشی استاندارد<sup>۱</sup> در ارزیابی سنگ منشأ به حساب می‌آیند. با این حال، محدودیت‌هایی را هم شامل می‌شوند، از جمله: برداشت از رخنمون‌های سنگی هوازده (اکسید شده) ممکن است مقادیر کمتری از پارامترهای S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> و درجات بالاتری از T<sub>max</sub> را به نمایش بگذارد و یا در ارزیابی نمونه‌ها، معمولاً مقادیر S<sub>2</sub> کمتر از ۰/۲ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ، جهت مطالعات بعدی باید حذف گردند<sup>۲</sup>.

علاوه بر اینکه در جدول ۴-۷ شاخص‌ها و پارامترهای اصلی ارزیابی شده توسط پیرولیز راک-اول آورده شده، در زیر به تشریح مفصل برخی از مهم‌ترین فاکتور و اندیس‌های اندازه‌گیری شده توسط این دستگاه می‌پردازیم:

پیک S<sub>1</sub>: این پیک، بر اولین مرحله دمایی پیرولیز که تحت آن، هیدروکربورهای آزاد موجود در سنگ، بدون کراکینگ کروژن تحت دمای ۳۰۰°C در عرض ۳ دقیقه توسط آشکارساز FID اندازه‌گیری می‌شود، منطبق است و بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ  $\left(\frac{mgHC}{gRock}\right)$  بیان می‌شود<sup>۳</sup>.

---

<sup>۱</sup> در یک نوع تقسیم‌بندی، داده‌های حاصل از آنالیز دستگاهی پیرولیز راک-اول، TOC و پتروگرافی آلی در Screening Method قرار گرفته و استفاده از اندیس‌ها و نتایج SPI، MBC (Mass Balance Calculation)، به عنوان تکنیک‌های تفسیری یا Interpretive Techniques شناخته و طبقه‌بندی می‌شوند. (Demaison & Huizing, 1991)

<sup>۲</sup> Peter, 1986

<sup>۳</sup> Peter, et al 2012

پیک S<sub>2</sub>: این پیک بر هیدروکربورهای آزاد شده در طی دومین مرحله دمایی پیرولیز (۶۰۰-۳۰۰ درجه، با نرخ ۲۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه تحت شرایط اتمسفری هلیوم) اطلاق و توسط آشکارساز FID نشان داده می‌شود.<sup>۱</sup>

این پیک از ۳ جنبه در مطالعات اکتشافی حائز اهمیت است:

۱ - نشان دهنده‌ی میزان توان تولید هیدروکربور باقی‌مانده در سنگ است؛

۲ - دما در این پیک به Max خود رسیده که بسته به طبیعت و بلوغ حرارتی کروژن، به عنوان T<sub>max</sub> شناخته می‌شود و فاکتوری کلیدی در ارزیابی بلوغ مواد آلی سنگ منشأ مورد مطالعه به شمار می‌آید؛

۳ - به پتانسیل محتمل تولید هیدروکربورهای باقی‌مانده از سنگ منشأ، اگر بلوغ حرارتی ادامه پیدا کند، اشاره می‌کند.

پیک S<sub>3</sub>: پیک S<sub>3</sub> بر CO<sub>2</sub> رها شده از گروه‌های کربوکسیل و سایر ترکیبات اکسیژن‌دار کروژن تحت دمایی ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه اشاره می‌کند که در بخشی از دستگاه به تله افتاده و جمع می‌شود تا در نهایت بعد از سرد شدن دستگاه، و اتمام تولید و ثبت هیدروکربور از کروژن، رها شده و توسط آشکارساز هدایت حرارتی TCD<sup>۲</sup> بر حسب میلی‌گرم CO<sub>2</sub> بر گرم‌سنگ یا  $\frac{mgCO_2}{gRock}$  اندازه‌گیری شود.<sup>۳</sup>

پیک S<sub>4</sub>: کربن ارگانیکی باقی‌مانده پس از ثبت پیک S<sub>2</sub>، در آون اکسیداسیون، در دمایی ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه و تحت شرایط اتمسفر اکسیژن، اکسید می‌شود تا در نهایت CO<sub>2</sub> به دست آمده، تشکیل پیک S<sub>4</sub> را بدهد. واحد اندازه‌گیری این پیک، میلی‌گرم CO<sub>2</sub> یا کربن بر گرم‌سنگ می‌باشد.<sup>۴</sup>

---

Mc Carthy K., Peters, et al, 2012 <sup>۱</sup>

Thermal Conductivity Detector <sup>۲</sup>

Hunt, 1996 <sup>۳</sup>

Hunt, 1996 <sup>۴</sup>

اندیس HI: شاخص هیدروژن<sup>۱</sup>، منطبق با نسبت اتمی  $\frac{H}{C}$ ، حاصل از آنالیز عنصری کروژن در نمودار ون-کروتن و متناسب با مقدار هیدروژن موجود در کروژن است که می‌تواند در پیگیری نوع و بلوغ حرارتی کروژن به کار رود. معمولاً کروژن‌های حاوی مقادیر بالای HI، از پتانسیل زایش هیدروکربوری خوبی برخوردار هستند، در نتیجه این شاخص، می‌تواند تا حدی نشانگر توان هیدروکربن‌زایی و نوع کروژن در نمونه‌های مورد مطالعه باشد و از طریق  $\frac{S_2}{TOC}$  هم محاسبه می‌شود<sup>۲</sup>.

اندیس OI: شاخص اکسیژن<sup>۳</sup>، منطبق بر مقادیر  $\frac{O}{C}$  اتمی حاصل از آنالیز عنصری کروژن در نمودار ون-کروتن و متناسب با مقادیر اکسیژن موجود در کروژن است که از طریق نسبت  $\frac{S_3}{TOC}$  به دست می‌آید<sup>۴</sup>.

اندیس PI: شاخص تولید<sup>۵</sup>، از نسبت  $\frac{S_1}{S_1+S_2}$  حاصل می‌آید و جهت تفسیر تکامل مواد آلی با عمق بسیار مفید است، زیرا تمایل دارد تدریجاً با افزایش عمق تدفین و بلوغ سنگ منشأ پیش از خروج هیدروکربور، در رسوبات دانه‌ریز، افزایش می‌یابد<sup>۶</sup>.

TOC: کربنی آلی کل<sup>۷</sup>، اولین گام جهت تعیین کمیت غنی‌سازی ارگانیکی در یک نمونه سنگی به حساب می‌آید. همان‌طور که می‌دانیم، کربن عنصری ضروری در هر ذره‌ی آلی است و یک راه جهت ارزیابی غنی‌سازی مواد آلی، تعیین مقدار کربن موجود در آن است و به علت آنکه پتانسیل نفت یا گاز زایی یک سازند به مقدار کربن آن نسبت داده می‌شود، اندازه‌گیری TOC (از طریق آنالیز پیرولیز یا

---

Hydrogen Index<sup>۱</sup>

Peters, 1986<sup>۲</sup>

Oxygen Index<sup>۳</sup>

<sup>۴</sup>- این شاخص‌ها جهت پیگیری نوع و بلوغ کروژن، هنگامی که روی نمودار ون-کروتن پلات شوند، بسیار مفید هستند، به عنوان مثال، کروژن تیپ I حاوی مقادیر بالای HI و نسبت‌های اندک OI است. (Peters, 1986)

Production Index<sup>۵</sup>

McCarthy, k., et al, 2012<sup>۶</sup>

Total Organic Carbon<sup>۷</sup>

آزمایش (R0) یک امر مقدماتی جهت ارزیابی شاخصه‌های کمی سنگ منشأ به شمار می‌آید. کربن موجود در کروژن نهایتاً تبدیل به CO<sub>2</sub> و CO می‌شود.<sup>۲</sup>

T<sub>max</sub>: شاخص پختگی، نشانگر درجه حرارتی است که در آن درجه حرارت، بیشترین هیدروکربن در محدوده حرارتی ۳۰۰-۶۰۰ درجه تولید می‌شود. در جدول ۴-۷ برخی پارامترها و اندیس‌های مهم قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه پیرولیز راک-اول، بصورت خلاصه‌وار آورده شده است.

جدول ۴-۷- برخی پارامترها و اندیس‌های مهم قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه پیرولیز راک-اول

نام پارامتر	فرمول	واحد	پارامترهای محاسبه شده
T <sub>max</sub>	TpS2 - T <sub>max</sub>	°C	T <sub>max</sub>
PI	S1/(S1+S2)		□□□□□ □□□
PC	$[(S1 + S2) * 0.83] + [S3 * 12/44] + [S3CO + S3'CO/2] * 12/28$	Wt%	□□□□□□ □□□□ □□□
RC CO	$S4CO * 12/44 / 10$	Wt%	□CO□□□□□□□□ □□□ □□
RC CO <sub>2</sub>	$S4CO2 * 12/44 / 10$	Wt%	□CO <sub>2</sub> □□□□□□□□ □□□ □□
RC	RC CO + RC CO <sub>2</sub>	Wt%	□□□□□□□ □□ □□
TOC	PC + RC	Wt%	□ □□□ □□□□ □
S1/TOC	{S1 * 100} / TOC	Mg HC/g TOC	
HI	{S2 * 100} / TOC	Mg HC/g TOC	□□□□□□□ □□□
OI	{S3 * 100} / TOC	mg CO <sub>2</sub> /g TOC	□□□□ □□ □□□
OI CO	{S3CO * 100} / TOC	Mg CO/g TOC	اندکس اکسیژن CO
PyroMinC	$[(S3 * 12/44) + (S3'CO/2) * 12/28] / 10$	Wt%	کربن معدنی حاصل از پیرولیز
OxiMinC	$S5 * 12/44 / 10$	Wt%	کربن معدنی حاصل از اکسیداسیون
MinC	PyroMinC + OxiMinC	Wt%	کل کربن معدنی

#### ۴-۳-۲- تعبیر و تفسیر نتایج حاصل

به منظور انجام‌رسانی این پژوهش، طی چندین مرحله بازدید مقدماتی از منطقه مورد مطالعه، تعداد ۲۰ نمونه سطح‌الارضی شیل سیاه، شیل زغالی، زغال، شیل سبز و ماسه‌سنگ، با توجه به جنس

<sup>۱</sup> - مقادیر TOC تنها یک مقیاس نیمه کمی در تعیین پتانسیل زایش پترولیوم است و نمونه‌ها باید تحت آزمایشات اضافی دیگر جهت ارزیابی کیفیت و بلوغ مواد آلی قرار گیرند، به عنوان مثال گرافیت که حاوی ۱۰٪ کربن است، قادر به تولید نفت نیست و برخی شیل‌های دریایی دریایی، دارای مقادیر بیشتر از ۵٪ وزنی، TOC هستند، اما فقط می‌توانند به مقادیر پایین زایش هیدروکربوری برسند و یا پتانسیل زایش مناسبی ندارند، زیرا مواد آلی در فاز گازی یا Inert قرار گرفته است (McCarthy, K. et. al., 2012).  
<sup>۲</sup> Peters, et. al, 2011

و لیتولوژی غالب و قابل انتظار واحدهای سنگی سازند شمشک، از یک برش چینه‌شناسی مناسب، به صورت عمود بر لایه‌بندی و کاملاً رندوم، برداشت شدند. از بین نمونه‌ها، تعداد ۱۰ عدد بعد از انجام مراحل شستشو با آب معمولی، خردایش و پودر کردن در دانشگاه صنعتی شاهرود، با هدف انجام آنالیز ژئوشیمی آلی (پیرولیز راک-اول) به دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد آزمایشگاه ژئوشیمی آلی ارسال گردید. نتایج حاصل در جدول ۴-۸ آورده شده است.

جدول ۴-۸- نتایج حاصل از پیرولیز راک-اول ۶ در نمونه‌های مورد مطالعه

Sample	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	PI	Tmax (°C)	S3 (mg/g)	PC (%)	RC (%)	TOC (%)	HI	OI	pyroMINC (%)	oxiMINC (%)	MINC (%)
Sh1	0.01	0.04	0.12	540	0.63	0.02	0.47	0.49	8	129	0.11	0.18	0.29
Sh2	0	0.01	0.1	444	0.14	0.01	0.07	0.08	12	175	0.01	0.07	0.08
Sh3	0.02	0.04	0.29	533	0.61	0.02	0.69	0.71	6	86	0.1	0.03	0.14
Sh4	0	0	0.7	540	0.18	0.01	0.07	0.08	0	225	0.05	0.1	0.15
Sh5	0.01	0.06	0.1	602	0.28	0.02	1.66	1.68	4	17	0.06	0.03	0.09
Sh6	0.03	1.12	0.02	416	0.85	0.12	1.04	1.16	97	73	0.13	0.47	0.6
Sh7	0	0.42	0.01	497	0.18	0.05	1.59	1.64	26	11	0.05	0.05	0.1
Sh8	0.72	62.6	0.01	425	3.76	5.65	17.59	23.24	269	16	0.24	7.46	7.71
Sh9	0.04	9.43	0	529	13.89	1.44	17.2	18.64	51	75	1.26	12.99	14.25
Sh10	0.05	5.42	0.01	593	21.79	1.71	19.27	20.98	26	104	1.6	25	26.6

#### ۴-۳-۲-۱- تقسیم‌بندی مواد آلی (کروژن)

بعلت جلوگیری از پراکنش مطالب ارائه شده در بخش ژئوشیمی آلی، این قسمت تحت عنوان

کلی تقسیم‌بندی مواد آلی ارائه می‌گردد.

#### ۴-۳-۲-۱- مقدار و نوع ماده آلی (کروژن)

همانطور که بیان گردید اندازه‌گیری پارامترهای پایه‌ای و کلیدی همانند نوع ماده آلی و کیفیت

آن، بلوغ حرارتی ماده آلی و... در ارزیابی پتانسیل تولید و اکتشاف هیدروکربورزایی شیل‌ها، نقش اساسی

دارد. بسته به محیط و شرایط رسوب‌گذاری و همچنین توالی و ساختار زمین‌شناسی / تکتونیک، شیل‌ها

می‌توانند مقادیر متفاوتی از انواع کروژن ۱ تا ۴ را داشته باشند. در نمونه‌های مورد مطالعه جهت بررسی

و شناسایی نوع ماده آلی از نمودار  $T_{max}$  در مقابل  $HI^1$ ، نمودار  $HI$  در مقابل  $OI^2$  و نمودار  $S2$  در مقابل  $TOC$  استفاده گردید (اشکال ۴-۱۲، ۴-۱۳ و ۴-۱۴).

همانطور که مشاهده می‌کنیم، نوع کروژن موجود در نمونه‌ها از نوع III یا ذغالی می‌باشد که از شاخصه‌های آن، مقادیر نسبتاً پایین  $HI$  است و لزوماً از مواد خشکی منشا گرفته و همچنین غنی از ماسرال ویتروینایت می‌باشد. در نمودار  $HI$  در مقابل  $OI$  نمونه‌هایی که مقادیر بالای  $OI$  را نشان می‌دهند، احتمالاً هوازده هستند. بر اساس نمودار  $S1$  در مقابل  $TOC^3$ ، نمونه‌های مورد بررسی، نشان از عدم آلودگی و برجا بودن هیدروکربورهای احتمالی تولیدی در منطقه مورد مطالعه سازند شمشک دارند (شکل ۴-۱۵). در مطالعات صورت گرفته بر روی پتانسیل زایش نفت و گاز از انواع کروژن، مواد آلی مستعد تولید گاز شاخص هیدروژن آنها کمتر از ۲۰۰، رخساره‌های آلی مولد مخلوط نفت و گاز دارای شاخص هیدروژن بین ۲۰۰ - ۳۵۰ و مواد آلی مستعد تولید نفت، شاخص هیدروژن آنها بیشتر از ۳۵۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد<sup>۴</sup>.

پترز، ۱۹۸۶ معتقد است، سنگ‌های منشا بالغ مستعد تولید گاز،  $HI$  کمتر از ۱۵۰ داشته و شاخص هیدروژن برای مواد آلی مستعد تولید نفت - گاز بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ و برای مواد آلی مستعد تولید نفت، بیش از ۳۰۰ است.

بر همین اساس، نوع هیدروکربور در نمونه‌های مورد مطالعه از طریق استفاده از نمودارهای  $HI$  در مقابل  $T_{max}^5$  و  $HI$  در مقابل  $TOC^6$  و همچنین جدول ارائه شده توسط پترز، ۱۹۸۶<sup>۷</sup> (با استفاده

---

<sup>۱</sup> Peters, 1986

<sup>۲</sup> Espitalie, et al, 1997

<sup>۳</sup> Moldowan, 2006

<sup>۴</sup> Jones, 1987

<sup>۵</sup> Peters, 1986

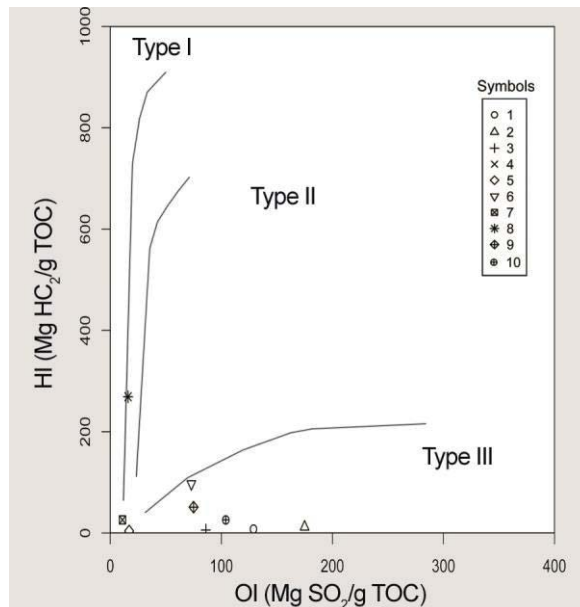
<sup>۶</sup> Jackson, et. al, 1985

<sup>۷</sup> Peters, 1986

از شاخص HI و نسبت S2/S3، مشخص گردید که شیل‌های این سازند عمدتاً گاززا است (اشکال ۴-۱۶ و ۱۷-۴ و جدول ۴-۹).

پترز (۱۹۸۶)، بر اساس مقادیر TOC، اگر درصد TOC در سنگ بین ۰/۵ - ۰ درصد وزنی باشد، سنگ از نظر پتانسیل تولید فقیر<sup>۱</sup> به حساب آمده و اگر درصد TOC بین ۱ - ۰/۵ درصد وزنی باشد، سنگ دارای پتانسیل تولید ضعیف<sup>۲</sup>، اگر درصد TOC بین ۲ - ۱ درصد وزنی باشد، سنگ دارای پتانسیل تولید خوب<sup>۳</sup> و اگر مقادیر TOC بالاتر از ۲ درصد وزنی باشد، سنگ دارای پتانسیل تولید خیلی خوب است<sup>۴</sup>. در سال ۱۹۹۴، کاستا و پترز<sup>۵</sup> این جدول را کاملتر کرده و به سنگ‌هایی که دارای مقادیر درصد وزنی TOC بیشتر از ۴ باشند، به عنوان سنگ‌هایی با پتانسیل تولید عالی نام بردند (جداول ۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲).

در نمونه‌های مورد مطالعه مقادیر TOC بین ۰/۰۸ تا ۲۳/۲۴ قرار گرفته است.



شکل ۴-۱۲- بررسی تغییرات HI/OI بر روی دیاگرام ون - کرولن به منظور تعیین نوع کروژن. نمونه‌های مورد مطالعه، عمدتاً دارای کروژن تیپ III می‌باشند.

<sup>۱</sup> poor

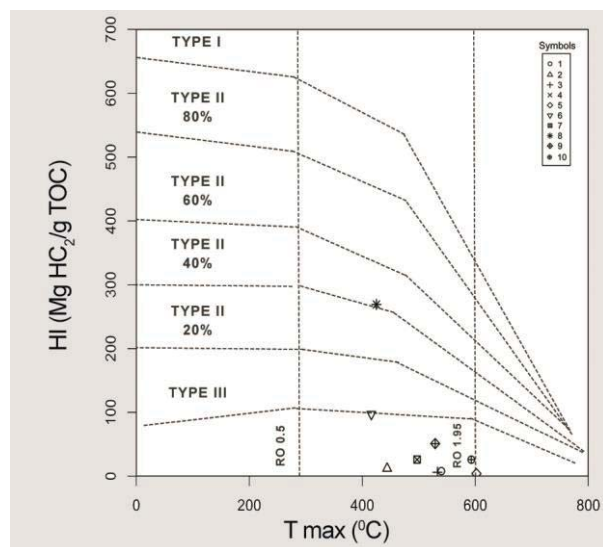
<sup>۲</sup> fair

<sup>۳</sup> good

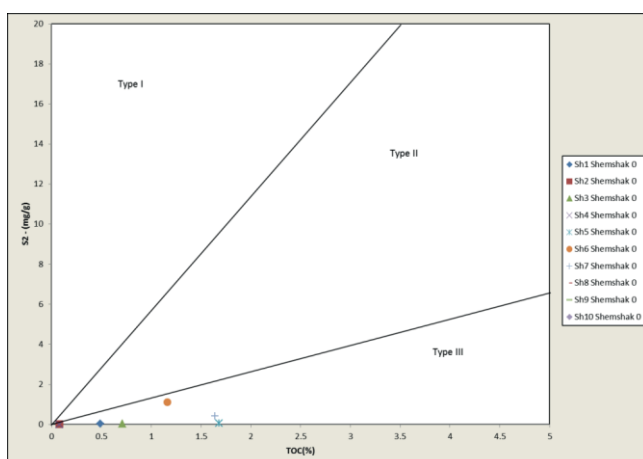
<sup>۴</sup> very good

<sup>۵</sup> Casa & Peters, 1994

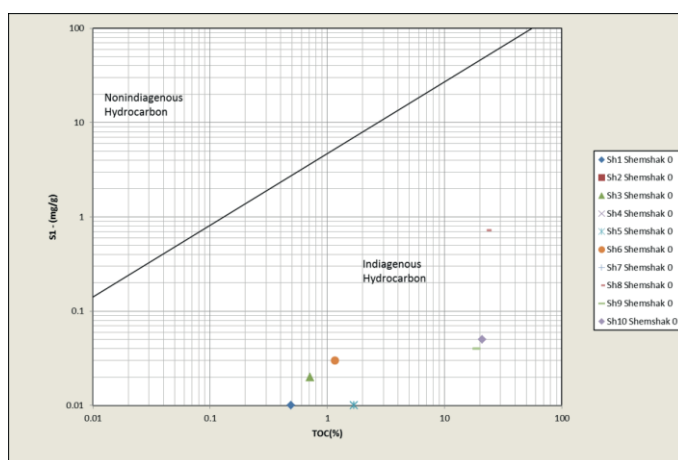




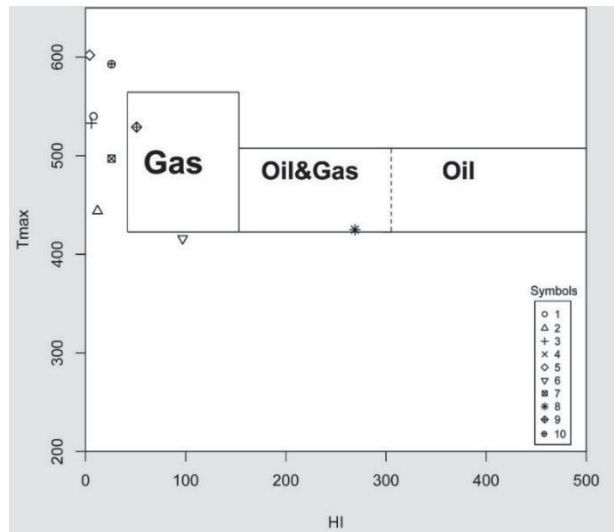
شکل ۴-۱۳- نمایش تغییرات Tmax در مقابل HI در نمونه‌های مورد مطالعه به منظور شناسایی نوع ماده آلی. نمونه‌ها عمدتاً در مرحله بالغ تا فوق بالغ قرار گرفته و به تیپ III تعلق دارند.



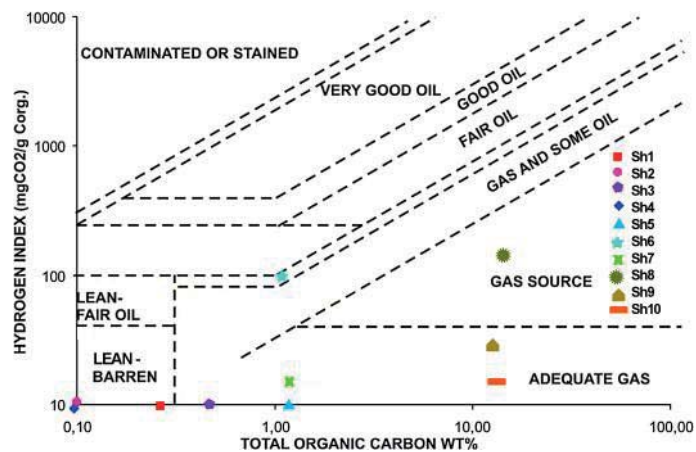
شکل ۴-۱۴- تعیین نوع کروژن در نمونه‌های مورد مطالعه از طریق پارامتر S2 در مقابل TOC. مواد آلی نمونه‌های مورد مطالعه از نوع کروژن نوع III می‌باشند.



شکل ۴-۱۵- نمودار S1 در مقابل TOC نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده هیدروکربورهای برجا قرار گرفته و همچنین نشان دهنده قابل تفسیر بودن آنها، نیز می‌باشد



شکل ۴-۱۶- نمایش تغییرات HI/Tmax جهت تشخیص نوع هیدروکربور در نمونه‌های مورد مطالعه. اکثریت نمونه‌ها در محدوده زون گاز (گاز خشک) قرار دارند.



شکل ۴-۱۷- پلات HI در برابر TOC نمونه‌های مورد مطالعه جهت ارزیابی نوع هیدروکربور تولید شده. تعداد اندکی از نمونه‌ها در محدوده زون نفت/گاززایی قرار داشته و اکثریت حدود گاززایی (مناسب) را نشان می‌دهند.

جدول ۴-۹- تشخیص نوع هیدروکربور با استفاده از نسبت S2/S3 و شاخص HI

S2/S3	HI	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □
۰-۳	۰-۱۵۰	گاز
۳-۵	۱۵۰-۳۰۰	گاز و نفت
بیش از ۵	بیش از ۳۰۰	نفت

جدول ۴-۱۰- تقسیم‌بندی سنگ منشأ هیدروکربوری بر اساس مقادیر TOC (Peters, 1986)

TOC (wt %)	TOC (wt %)	TOC (wt %)
0-0.5	0-0.5	0.5
0.5-1	0.5-1	1-1.5
1-2	1-2	2-2.5
2-4	2-4	4-5
>4	>4	>5

جدول ۴-۱۱- پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده پتانسیل تولید (Peters, 1986)

Quantity	TOC (wt %)	S <sub>1</sub> (mg HC / g ROCK)	S <sub>2</sub> (mg HC / g ROCK)	S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> (Mg HC/g ROCK)
Poor	0-0.5	0-0.5	0-2.5	0-3
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5	3-6
Good	1-2	1-2	5-10	6-12
Very Good	+2	2+	+10	+12

جدول ۴-۱۲- پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین‌کننده پتانسیل تولید (Casa & Peters, 1994)

Quantity	TOC (wt %)	S <sub>1</sub> (mg HC / g ROCK)	S <sub>2</sub> (mg HC / g ROCK)
Poor	0-0.5	0-0.5	0-2.5
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5
Good	1-2	1-2	5-10
Very Good	2-4	2-4	10-20
Excellent	>4	>4	>20

#### ۴-۳-۲-۱-۲- گروه ماسرالی

کروژن از ترکیب ماسرال‌ها و مواد آلی متفاوت، تشکیل شده است. ماسرال‌ها از بقایای انواع مختلف گیاهان و مواد جانوری تشکیل شده و براحتی توسط پتروگرافی میکروسکوپی، شاخصه‌های مرفولوژیکی و شیمیایی قابل تشخیص می‌باشند!

<sup>۱</sup> Stach, et. al., 1975

ترکیب ماسرالی کروژن نقش مهمی در توصیف پتانسیل زایش و همچنین تفاوت‌های افقی یا جانبی یک سنگ منشأ ایفا می‌کند.<sup>۱</sup>

ماسرال در کروژن، هم‌ارز مینرال (کانی) در سنگ بوده (رضایی، ۱۳۸۷) و اصطلاحاً برای اجزاء زغالسنگی کاربرد دارد، اما در سنگهای رسوبی هم از گسترش بالایی برخوردار است. بر همین اساس،<sup>۳</sup> گروه ماسرالی اصلی در زغالسنگ و سنگهای رسوبی شامل: ۱- لیپتینیت<sup>۲</sup> - ویتترینایت<sup>۳</sup> - اینرتینایت<sup>۴</sup> می‌باشد. ماسرال لیپتینیت که به آن اگزینایت هم اطلاق می‌شود، شامل: جلبک، اسپورو پولن، کوتیکول برگ و موم تشکیل شده است. این نوع ماسرال، در مسیر دیاگرام ون-کروژن، بر کروژن تیپ I و II اشاره می‌کند.

ویتترینایت، ماسرال اصلی بسیاری از کروژن‌ها و مهمترین سازنده زغالسنگ به حساب آمده که تقریباً بطور کامل از بافت چوبی گیاهان مشتق می‌شود. از آنجاییکه این ماسرال به سختی تجزیه می‌شود، در تمام محیط‌های رسوبی دریایی و غیر دریایی دیده شده است. ویتترینایت در دیاگرام ون-کروژن در امتداد کروژن تیپ III قرار می‌گیرد. کولینیت<sup>۵</sup> از اجزای بی‌ساختمان و تلینیت<sup>۶</sup> از بقایای چوبی گیاهان خشکی بشمار می‌آیند.<sup>۷</sup>

ماسرال اینرتینایت همانند فیوزینیت<sup>۸</sup> و سمی - فیوزینیت<sup>۹</sup> که در امتداد کروژن تیپ IV قرار می‌گیرد، می‌تواند از منشأ متفاوتی بوجود آیند، منتها قبل از نهشته شدن شدیداً اکسید می‌شوند.

---

<sup>۱</sup> Casa & Peters, 1994

<sup>۲</sup> Exinite

<sup>۳</sup> Vitrinite

<sup>۴</sup> Inertinite

<sup>۵</sup> Collinite

<sup>۶</sup> Tellinite

<sup>۷</sup> Casa & Peters, 1994

<sup>۸</sup> fusinite

<sup>۹</sup> Semi-fusinite

کروژنهای نفت زا<sup>۱</sup>، معمولاً حاوی بیش از ۶۵٪ اگزینایت و قطعات آمورف هستند. موادی که از لیپید غنی هستند نسبت به کربوهیدرات و پروتئین در برابر تجزیه کاملاً مقاوم بوده و حفظ می‌شوند<sup>۲</sup>، بطور کلی، پالینومورفها و جلبکها نسبت به فیتوکلاستها از لیپید بیشتری برخوردار بوده و به همراه ماسرال‌های غنی از لیپید، سنگ منشأهای مستعد هیدروکربور مایع و گاز را تشکیل می‌دهند<sup>۳</sup>.

بر اساس اطلاعات شرکت زغالسنگ البرز شرقی واقع در شاهرود که بر اساس داده‌های سال ۱۳۵۹ در منطقه دهملا (تونل اصلی و رگه‌های حفاری شده زغالسنگی در شیل‌ها) صورت گرفته، ترکیب زغالسنگی دارای ۸۰ - ۹۰ درصد ویتربینایت، ۰ تا ۱۰ درصد لیپتینایت و ۰ تا ۴ درصد فیوزینیت می‌باشد.

#### ۴-۳-۱-۲-۳-۴- دگرسانی و بلوغ حرارتی مواد آلی

کیفیت سنگ منشأ، چه بصورت شیل و چه کربنات، به تعداد زیادی شاخصه معمول وابسته است، منتهی محیط و شرایط رسوبگذاری و بلوغ حرارتی کروژن از اهمیت خاصی برخوردار هستند<sup>۴</sup>. بلوغ حرارتی و یا همان گرادیان دمایی مشتق شده از واکنش‌هایی که مواد آلی درون رسوبات (سنگ منشأ) را به نفت، گازتر، گاز خشک و پیروبتیومین تبدیل می‌کند، هم از طریق شاخصه  $T_{max}$  و هم مقادیر  $R_o$  حاصل می‌آید.<sup>۵</sup> در طی پیرولیز، تولید هیدروکربن از کروژن نوع II بین محدوده حرارتی ۴۲۰-۴۶۰ درجه سانتی‌گراد و برای کروژن نوع III، بین محدوده حرارتی ۴۷۰-۶۰۰ (محدوده حرارتی گاز تر و نفت میعانی بین ۴۷۰-۵۴۰ درجه و محدوده حرارتی گاز خشک بیش از ۵۴۰ درجه می‌باشد) قرار دارد. دیاژنز (به تمامی تغییرات طبیعی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در ویژگی‌های مواد آلی در طی تنه‌نشست و یا قبل از پیشرفت دگرسانی حرارتی شاخص در سنگ منشأ، در طی درجه حرارت ۶۰-۸۰

<sup>۱</sup> oil prone

<sup>۲</sup> Hunt, 1996

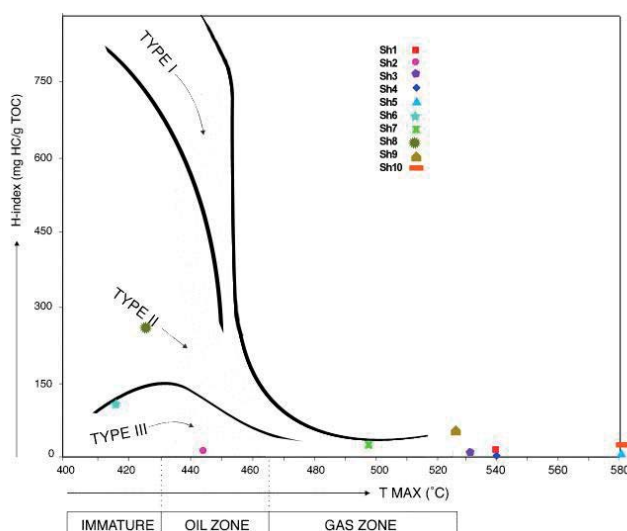
<sup>۳</sup> Ibrahim, et. al, 2000

<sup>۴</sup> McCarthy, k., et al, 2012

<sup>۵</sup> مدل‌سازی بلوغ حرارتی از طریق مقادیر TTI (Time-Temperature-Index) و همچنین بکارگیری از نرم افزارهای مهمی همانند petro mod از کاربرد بالایی در ژئوشیمی آلی برخوردار است.

درجه سانتی‌گراد، گفته می‌شود)، کاتائز (در طی این مرحله که منطبق با زون نفت و زون گاز مرطوب است، دما بین ۵۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است و پترولیوم حاصل شدت کراکینگ حرارتی کروژن با افزایش عمق تدفین است)، متائز (در این مرحله سنگ منشأ در پنجره گازی، متان تأخیری و یا همان گاز خشک به همراه غیرهیدروکربورهای همانند:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  قرار گرفته و به عنوان مرحله آخر بلوغ حرارتی و تحت دمای ۱۵۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد (یا بیشتر) شناخته می‌شود، مراحل پیشرونده دگرسانی مواد آلی در طی تاریخچه تدفین سنگ منشأ به شمار می‌آیند.

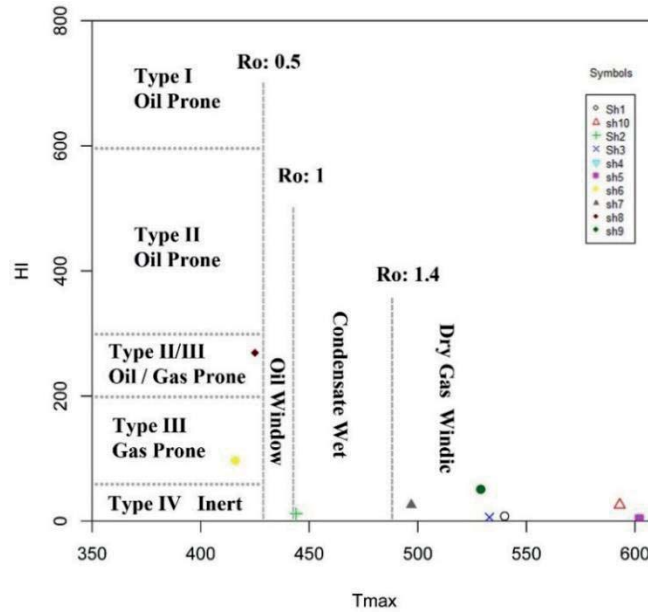
جهت تعیین پارامترهای گرادیان بلوغ حرارتی در نمونه‌های مورد مطالعه از نمودارهای PI بر حسب Tmax، HI در مقابل Tmax<sup>۱</sup> و HI در برابر Tmax<sup>۲</sup> استفاده شد (اشکال ۴-۱۸، ۴-۱۹ و ۴-۲۰). محدوده بلوغ حرارتی در نمونه‌های مورد مطالعه از نابالغ تا بالغ بوده که نمونه‌های تیره بلوغ بالاتری را نشان می‌دهند. شایان ذکر است که در برخی از نمونه‌ها میزان تبدیل مواد آلی در محدوده پایینی قرار گرفته، اما اکثر نمونه‌های شیلی منطقه مورد مطالعه وارد مرحله متائز و تولید گاز خشک شده‌اند (بجز یک مورد که تلفیقی از زون نفت/گاز را با مرحله کاتائز نشان می‌دهد).



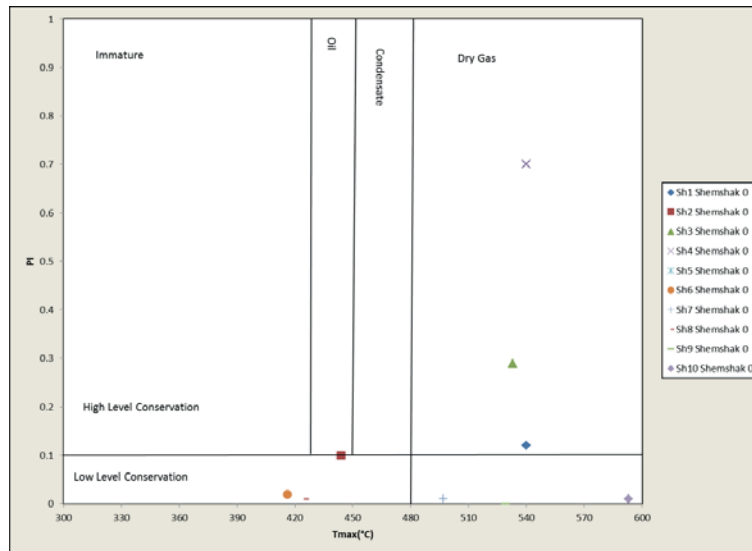
شکل ۴-۱۸- نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده فوق بالغ و گاززایی قرار دارند.

<sup>۱</sup> Tissot&Welte

<sup>۲</sup> Abeede, et al. 2011



شکل ۴-۱۹- نمودار HI - Tmax، جهت تعیین پنجره هیدروکربوری در نمونه‌های مورد مطالعه، اکثریت نمونه‌ها در مراحل انتهایی کاتازن و ورود به مرحله متاژن و تولید گاز خشک قرار گرفته‌اند، ضمن آنکه تیپ اکثر نمونه‌ها از نوع کروژن III و IV می‌باشد.



شکل ۴-۲۰- موقعیت نمونه‌ها در نمودار PI - Tmax در محدوده‌ی زون زایش گاز قرار دارند.

#### ۴-۳-۲-۱-۴- رخساره آلی (محیط رسوب گذاری)

مفهوم رخساره آلی، اولین بار توسط پتروگرافیست‌های زغالی در مورد انواع ماسرال‌ها، میکرولیتوتیپ‌ها و اثر دیاژنز اولیه بر روی آنها بکار برده شد<sup>۱</sup>، و امروزه این اصطلاح کاربرد گسترده‌ای در ژئوشیمی آلی دارد.

استفاده و تلفیق مطالعات رخساره آلی با مفاهیم ستون چینه‌نگاری می‌تواند گامی موثر در بهبود توانایی پیش‌گویی توانایی هیدروکربوزایی یک سنگ منشأ ایفا می‌کند<sup>۲</sup>.

رخساره آلی به حجمی از سنگ‌های رسوبی گفته می‌شود که دارای گسترش عرضی و قائم معینی بوده و همچنین دارای خصوصیات آلی یکسان و مشخص باشند<sup>۳</sup>. نویسندگان زیادی از اصطلاح رخساره آلی بصورت مترادف، همانند رخساره کروژن‌دار (بر مبنای داده‌های ژئوشیمیایی) و رخساره تجمعات ماسرالی (داده‌های پتروگرافی آلی) استفاده کرده‌اند<sup>۴</sup>.

ذکر این مطلب حائز اهمیت است که پراکنش رخساره‌های آلی تصادفی نبوده و در توصیف آنها، نمی‌توان از نقش منشأ مواد آلی، مدت زمانی که قبل از رسوبگذاری در محیط اکسیدان گذارنده‌اند، پتانسیل احیای که در سطح رسوبات در محیط دیاژنز اولیه حکمفرما بوده، نرخ رسوبگذاری و پالئوژئوگرافی حوضه، چشم‌پوشی کرد، زیرا از عوامل اصلی و تأثیرگذار به حساب می‌آیند<sup>۵</sup>.

در نمونه‌های مورد مطالعه جهت تعیین شاخصه‌های رخساره رسوبی از نمودارهای HI در مقابل OI و HI در برابر TOC، استفاده شد و همچنین از نمودار HI در مقابل TOC هم، جهت تعیین محیط رسوب‌گذاری نمونه‌های مورد بررسی استفاده شد. جونز در سال ۱۹۸۷ هفت رخساره آلی را بر اساس ظرفیت و پتانسیل تولید هیدروکربور با استفاده از مقادیر HI، TOC، H/C و همچنین خصوصیات

---

<sup>۱</sup> Stach, et al. 1975

<sup>۲</sup> Pasley, et. al, 1991

<sup>۳</sup> Jones, 1987

<sup>۴</sup> Petters & Cassa, 1994

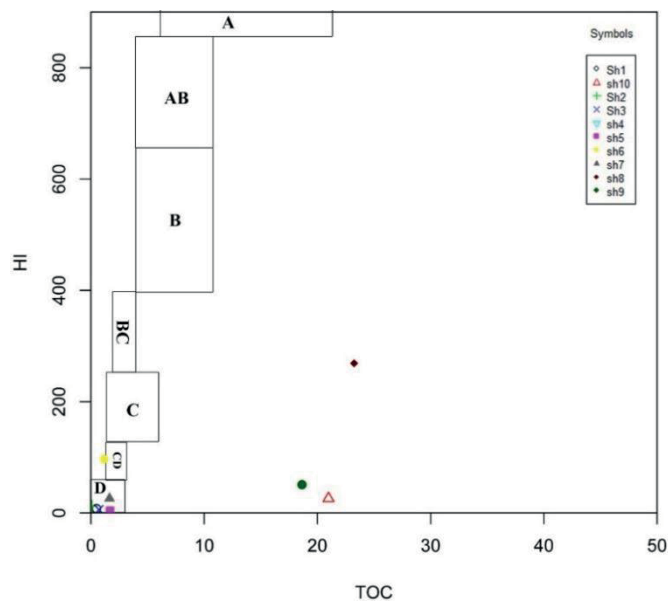
<sup>۵</sup> Akande, W. G., 2012



پتروگرافی آلی تعریف کرد (جدول ۴-۱۴)، بر همین اساس: محدوده A متعلق به رخساره آلی نمونه‌های مواد آلی نهشته شده در محیط شدیداً احیایی با  $HI > 850$  و  $TOC = 5-20$  میباشد. محدوده AB نشان‌دهنده محیط‌های احیایی دریایی پیشرونده با  $HI = 650-850$  و  $TOC = 3-10$  است. B، محیط‌های دریایی یا دریاچه‌ای نسبتاً احیایی با مقادیر  $HI = 400-650$  و  $TOC = 3-10$  را به نمایش می‌گذارد. BC نمایشگر محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای با رسوب‌گذاری سریع در شرایط نسبتاً اکسیدان، همچنین مقادیر  $HI = 250-400$  و  $TOC = 1-3$  است. C محیط‌های با سرعت رسوب‌گذاری متوسط تحت شرایط احیایی و  $HI = 125-250$  و  $TOC = 0.5-2$  را نشان میدهد. CD منعکس‌کننده محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی با  $HI = 50-125$  و  $TOC = 0.5-2$  و بالاخره D نمایشگر محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان با  $HI < 50$  و  $TOC = 0.5-2$  می‌باشد. از رخساره آلی A بسمت D محتوای جلبکی رسوبات کاهش و به مقدار ماده آلی از منشأ خشکی، اکسید شده اضافه می‌گردد. در نمونه‌های مورد مطالعه، اکثر نقاط در محدوده D و تعداد اندکی در محدوده CD قرار می‌گیرند. محدوده D حاکی از محیط‌های قاره‌ای با شرایط شدیداً اکسیدان است که با پسروری و پیشروی‌های مقطعی آب دریا روبه‌رو شده است (اشکال ۴-۲۱، ۴-۲۲ و ۴-۲۳). وجود مقادیر بالای OI و پایین HI همراه با فراوانی مواد آلی با منشأ خشکی یا دریایی تجزیه شده نیز حکایت از محیط غالب خشکی تحت اکسایش بالا دارد، همچنان که مطالعات ژئوشیمی معدنی نیز چنین شرایطی را (هوازگی شدید) برای شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه نشان میدهد.

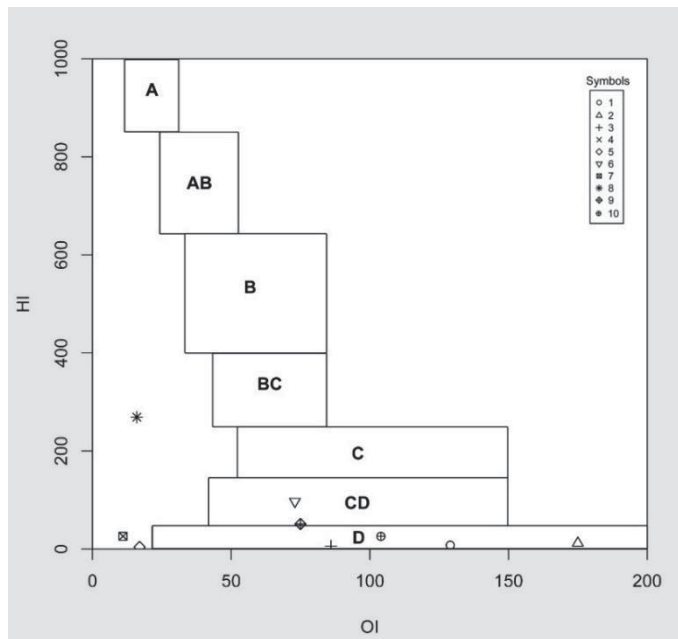
جدول ۴-۱۳- رخساره‌های آلی تعیین شده به همراه پارامترهای ژئوشیمیایی، مواد آلی غالب، ارگانوسم‌های اولیه، محیط‌رسوبی و محصولات اولیه (Jones, 1987)

نمونه های رایج	محصولات ثانویه	محیط ته نشست	ارگانوسم های اولیه	مواد آلی مشخص	TOC wt%	OI	HI	H/C	رخساره های آلی
شیل نفتی گرین ریور	نفت	دریاچه ها، محیط های فاقد اکسیژنی تحت آب و هوای گرم و مرطوب	بوتری کوکوس و تاسمانیا	جلبک های آمورف	۲۰-۵	۳۰-۱۰	۸۵۰<	۱,۴۵<	A
کربنات های ژوراسیک عربستان سعودی	نفت	محیط های بی اکسیژنی تحت آب و هوای نیمه گرم	تاسمانیا و کانتکوس	اجزای آمورف و ورودی های تخریبی	۱۰-۳	۵۰-۲۰	۸۵۰-۶۵۰	-۱,۳۵ ۱,۴۵	AB
شیل دریای شمال	نفت	محیط های کم عمق تا نیمه عمیق دریایی	کانتکوس و تاسمانیا، جلبک دریایی و باکتری	اجزای آمورف و ورودی های تخریبی	۱۰-۳	۸۰-۲۰	۶۵۰-۴۰۰	-۱,۱۵ ۱,۳۵	B
گل های جلوی دلتایی	گاز و نفت مایع	مواد آلی دریایی هوازده، گل سنگ های دریایی، محیط های قاره ای تحت شرایط اکسیژنی	انواع متنوع جلبک	جلبک های متنوع و ورودی های تخریبی	۳-۱	۸۰-۴۰	۴۰۰-۲۵۰	-۰,۹۵ ۱,۱۵	BC
محیط های ساحلی لابرادور	پنجره گاز	محیط های حدواسط غنی از H <sub>2</sub> O	تلنیت و کولنیت	ترکیبی از جلبک و محصولات هوازده	۶-۰,۵	۱۵۰-۵۰	۲۵۰-۱۲۵	-۰,۷۵ ۰,۹۵	C
سواحل جنوب ایالات متحده آمریکا	گاز خشک	محیط های عمیق تا نیمه عمیق دریایی با بالآمدگی سریع	مواد تخریبی قاره ای و سایر مواد آلی ناشناس	مواد تخریبی قاره ای و اکسید شده	۲-۰,۵	۱۵۰-۴۰	۱۲۵-۵۰	۰,۷۵-۰,۶	CD
محیط های کربناته	گاز خشک با بلوغ بالا	دریایی عمیق تا قاره ای	اینترتینت و مواد آلی تخریبی اکسید شده	مواد آلی اکسید شده	<۲-۰,۵	۲۰۰-۲۰	۵۰<	۰,۶<	D

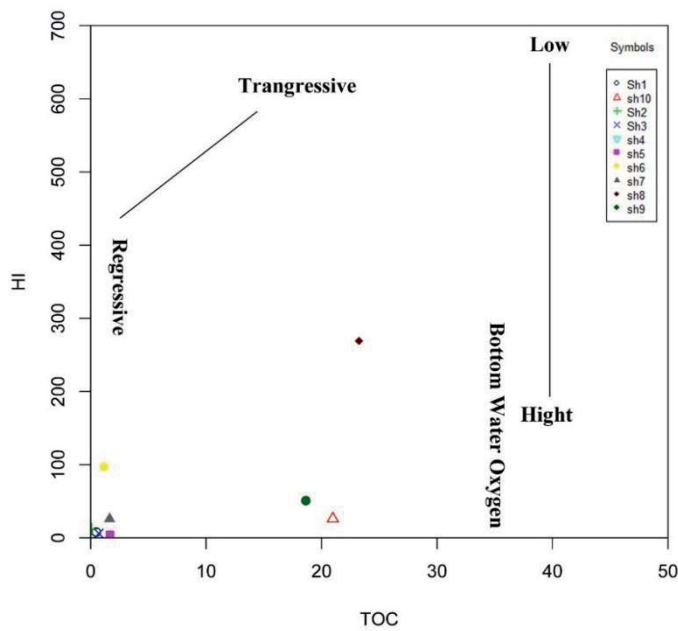


شکل ۴-۲۱- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه سازند شمشک در روی نمودار HI در مقابل TOC جهت تعیین رخساره آلی (Jones, 1987)

اکثر نمونه‌ها، در محدوده D نهشته شده‌اند (محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان).



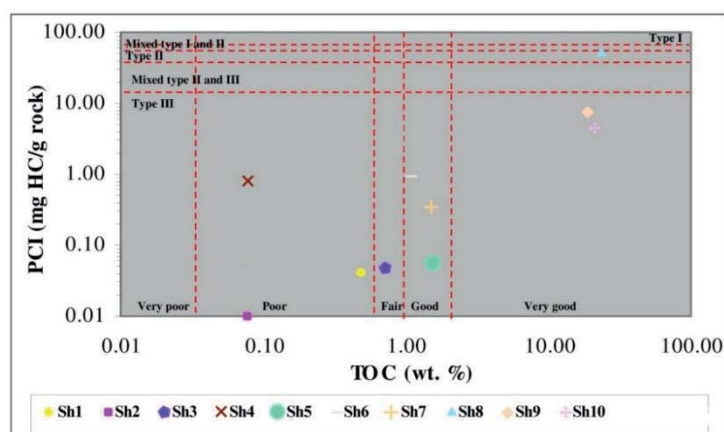
شکل ۴-۲۲- نمایش رخساره‌های آلی با استفاده از تغییرات HI/OI (Jones, 1987)



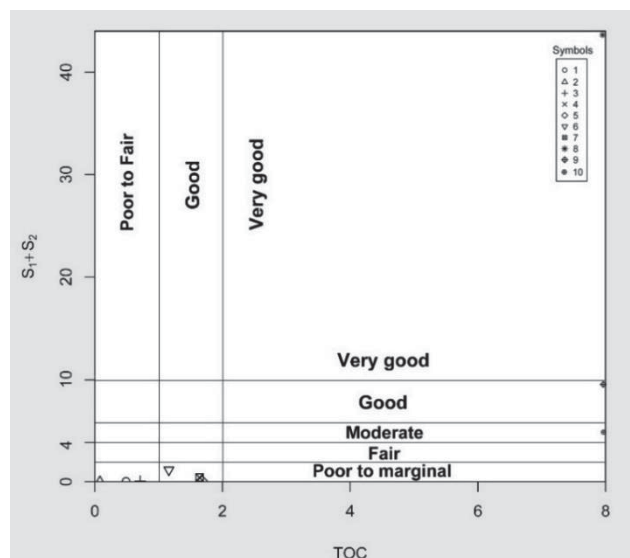
شکل ۴-۲۳- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار HI در برابر TOC بمنظور شناسایی شرایط محیط رسوب‌گذاری آنها (Dean, et al, 1986)

#### ۴-۳-۲- بررسی توان هیدروکربن‌زایی

توان هیدروکربن‌زایی را می‌توان با استفاده از پارامترهای  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_1+S_2$  و مقادیر TOC تعیین نمود. همچنین، پترز در سال ۱۹۸۶ و بارکر در سال ۱۹۷۴ پتانسیل زایش هیدروکربور را بر مبنای چگونگی توزیع مقادیر  $S_1+S_2$ /TOC بر روی نمودار مشخص کردند. در نمونه‌های مورد بررسی، جهت تعیین پتانسیل هیدروکربورزایی از نمودار  $S_1+S_2$  در مقابل TOC و PCI در برابر TOC و همچنین جداول توزیع پارامترهای قابل اندازه‌گیری دستگاه راک-اول،  $S_1, S_2, HI, S_1+S_2$  و همچنین مقادیر TOC استفاده گردید (اشکال ۴-۲۴ و ۴-۲۵ و جداول ۴-۱۴، ۴-۱۵ و ۴-۱۶).



شکل ۴-۲۴- استفاده از اندیس PCI/TOC برای تعیین کیفیت سنگ منشأ، تیپ کروژن و پتانسیل هیدروکربن‌زایی نمونه‌های مورد مطالعه. مقادیر  $PCI \geq 75$  تیپ نوع I، مقادیر بین ۴۰ تا ۵۰ تیپ نوع II و کمتر از ۱۵ تیپ نوع III می‌باشد. حداقل مقادیر PCI نمونه‌ها دارای مقدار ۰/۰۰۸۳ و حداکثر مقدار ۵۱/۷۳ است. تیپ اکثر نمونه‌ها به نوع III تعلق داشته و محدوده پتانسیل هیدروکربورزایی آنها از ضعیف تا خیلی خوب نشان داده می‌شود (Shaaban et. al, 2006).



شکل ۴-۲۵- نمودار  $S_2 + S_1$  در برابر TOC به منظور تعیین پتانسیل ژنتیکی نمونه‌ها (Barker, 1974) نمونه‌ها عمدتاً در محدوده ضعیف تا خوب قرار گرفته‌اند.

جدول ۴-۱۴ - ارزیابی توان هیدروکربورزایی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس پارامترهای  $S_1, S_2$  و  $S_1+S_2$  (Peters, 1986)

$S_1+S_2$	$S_2$	$S_1$	توان هیدروکربن زایی
۰-۳	۰-۲/۵	۰/۵-۰	ضعیف
۳-۶	۲/۵-۵	۰/۵-۱	مناسب
۶-۱۲	۵-۱۰	۱-۲	خوب
بیش از ۱۲	بیش از ۱۰	بیش از ۲	خیلی خوب

جدول ۴-۱۵- استفاده از پارامترهای استاندارد دستگامی راک اول جهت تعیین پتانسیل هیدروکربورزایی در نمونه‌های مورد مطالعه (Casa & Peters, 1994)

Kerogen Type	5c	
	HI (mg HC/g TOC)	$S_2/S_3$
I	<800	<15
II	300-600	10-15
II/III	200-300	5-10
III	50-200	1-5
IV	>50	>1

جدول ۴-۱۶- بکارگیری از مقادیر TOC بمنظور بررسی پتانسیل زایش هیدروکربوری در نمونه‌های مورد مطالعه (Casa & Peters, 1994)

Petroleum Potential	Organic Matter		
	TOC	Rock-Eval	Pyrolysis
		$S_1$	$S_2$
Poor	0-0/5	0-0/5	0-0/25
Fair	0/5-1	0/5-1	2/5-5
Good	1-2	1-2	5-10
Very Good	2-4	2-4	10-20
Excellent	>4	>4	>20

بر همین اساس، پتانسیل تولید هیدروکربور در نمونه‌های مورد مطالعه از ضعیف تا خیلی خوب قرار گرفته که نمونه‌های شیلی سبز دارای توان هیدروکربوری ضعیف (غیرقابل قبول) و نمونه‌های شیلی سیاه و زغالی از پتانسیل تولید قابل توجه و قابل قبولی برخوردار هستند.

همانطور که قبلاً اشاره گردید، به دلیل آنکه شیل‌ها می‌توانند تغییرات عمده‌ای را در بسیاری از پارامترهای زمین‌شناسی / استراتیگرافی همانند محتوای کانی‌شناسی، تغییر در ضخامت، بلوغ حرارتی و ... در فواصل بیش از چند کیلومتر متحمل شوند، سعی شد، نمونه‌گیری در منطقه مورد مطالعه از برش چینه‌شناسی مشخص و در مقیاس معمولی (که با تغییرات عمده‌ای همراه نیست) انتخاب شود. بر همین منوال، بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز دستگاهی پایه‌ای راک-اول نمونه‌های شیلی / ماسه‌ای (دو نمونه)، و همچنین مشاهدات صحرائی که حکایت از گسترش شیل‌های زغالی، سبز و سیاه در منطقه مورد مطالعه دارند می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

- پلات نمونه‌ها در نمودار  $S_1$  در مقابل TOC نشان از برجا و خودزا بودن هیدروکربور موجود در آنها و نیز قابل تفسیر بودن نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نوع کروژن موجود در اکثر نمونه‌ها به کروژن نوع III و IV تعلق داشته که از نظر بلوغ حرارتی طیفی از بالغ تا فوق بالغ را با حدود گرادین حرارتی  $T_{max} = 416 - 602$  شامل می‌شود، ضمن آنکه نمونه‌های تیره تر بلوغ حرارتی بالاتری را نشان می‌دهند. (شیل سیاه و زغالی) نمونه‌ها اکثراً در مرحله گاززایی، گاز خشک و ورود به مرحله متاژنز قرار دارند. کروژن تیپ III در دامنه بلوغ خود گاز تولید می‌کند.

پلات و توزیع نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار HI در برابر OI (Jones, 1987) محدوده‌ی رخساره‌ای اکثریت نمونه‌ها را قاره‌ای با شرایط اکسیدان شدید (D) نشان می‌دهد، که احتمالاً با پیشروی‌ها و پسروی‌های مقطعی آب دریا همراه بوده است همچنانکه، مقادیر OI بالا، HI پایین اکثریت

نمونه‌ها علاوه بر اشاره به غالب بودن شرایط اکسایش قوی و مواد آلی فقیر از هیدروژن با منشا قاره‌ای یا دریایی تجزیه شده، به گاززا بودن اکثر آنها (بویژه نمونه‌های شیل زغالی) نیز اشاره می‌کند.

علیرغم آنکه اکثریت نمونه‌ها در مرحله ورود به متاژنز و تولید گاز خشک قرار دارند، تعداد کمی نیز (SH8) با مقادیر HI و TOC بالا محدوده زون نفت میعانی / گاززایی را نشان می‌دهند که نیاز به مطالعات بیشتر را می‌طلبد، بهتر است شیل‌های سازند شمشک از این منطقه را تنها نوعی شیل زغالی دانسته و از اطلاق شیل گاززا (و یا حتی نفتی) به آنها خودداری کنیم.

#### ۴-۴- نتیجه‌گیری

از مباحث مرتبط با ژئوشیمی معدنی، نتایج زیر به صورت خلاصه قابل استنتاج است:

در نمونه‌های شیل زغالی و سیاه مقادیر مشابهی از عناصر اصلی، کمیاب و عناصر نادرخاکی (در بیشتر موارد، شیل سبز تهی‌شدگی قابل توجهی را در غلظت‌های عنصری از خود نشان می‌دهد) دیده می‌شود. غنی‌شدگی در زیرکن، نیوبیوم، توریم و اورانیوم احتمالاً به حضور کانی‌های سنگین همانند زیرکن که نسبت به هوازدگی شدید در سنگ منشأ مقاوم هستند و یا حضور بالای مواد ارگانیکی و کانی‌های رسی به عنوان پذیرندگان عنصری نسبت داده می‌شوند.

غنی‌شدگی نسبی از عناصر ناسازگار (همانند LREE و Th) نسبت به عناصر سازگار (همانند Sc و Co) در نمونه‌های مورد مطالعه و نیز بالا بودن عناصر نادر خاکی سبک اشاره به منشأ فلسیک با ترکیب گرانودیوریت همراه با رژیم هوازدگی شدید دارد.

به کارگیری شواهد پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ می‌تواند در تحلیل بهتر داده‌های ژئوشیمی شیل‌های سازند شمشک به عنوان یکی از بهترین راهکارها در تعیین شرایط پالئوئیداکس (دیرینه

اکسیژن‌زایی) و تعیین موقعیت تکتونیکی که ابهامات زیادی را در برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده ایجاد کرده است، فراهم آورد.

در بخش ژئوشیمی آلی نیز نتایج زیر قابل پیگیری است:

از لحاظ بلوغ، مواد آلی در سازند مورد مطالعه طیفی از بالغ تا فوق بالغ را در برمیگیرند که نمونه‌های تیره‌تر (شیل سیاه و زغالی) از بلوغ بالاتری برخوردار هستند.

موقعیت نمونه‌ها در نمودار ون‌کرولن بیشتر به کروژن تیپ III و IV اشاره دارد. اکثر نمونه‌های شیلی از لحاظ پتانسیل تولید در زون گازی / گاز خشک قرار گرفته و موارد اندکی شامل ورود به مرحله نفت / گاز (شیل سیاه - دارای توان مناسب هیدروکربن‌زایی) می‌شود.

توزیع مقادیر HI در برابر OI و استفاده از مقادیر TOC حدود رخساره‌ای D که حکایت از محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان و همچنین تعداد اندکی در موقعیت CD که نشانی از محیط‌های دریایی با رشته کوه‌های بالا آمده است را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

آنالیز ژئوشیمی آلی انجام گرفته (پیرولیز راک-اول) بر روی نمونه‌ها، بیانگر وجود درصد قابل توجهی مواد آلی غنی از اکسیژن (OI نسبتاً بالا)، فقیر از هیدروژن (HI پایین) با منشأ قاره‌ای یا دریایی تجزیه شده دارد.

این سازند پتانسیل مناسب جهت مطالعات سنگ منشأ هیدروکربنی را داشته و مقادیر پایین HI در نمونه‌های آن، همراه با درصد بالای ماسرال ویتروینایت در شیل‌های زغالی و زغالسنگ، نشانگر توانایی گاززایی آن دارند. (شیل‌های زغالی) گرچه در بعضی نمونه‌ها (SH8 - شیل سیاه) مقادیر HI بالاتر رفته که مستعد بودن توان هیدروکربن‌زایی مایع را به نمایش می‌گذارد.



## فصل پنجم

# اهمیت اقتصادی شیل‌ها

---

## ۵-۱- مقدمه

ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی در واقع نتیجه سکانس پیچیده فرآیندهای عمل کننده زون شروع مواد زمین‌شناختی است، چنین مواد آغازگری می‌توانند از تجزیه<sup>۱</sup> و هوازدگی سنگ‌های قبلی و یا از رسوب اجزاء محلول‌هایی که یا همراه یا بدون همراهی ارگانسیم‌های ضروری حیات هستند، به درون حوضه رسوبی تشکیل شوند و در نهایت در طی تکامل سیستم‌های رسوبی (ته‌نشست، دیاژنز، تدفین، فرونشست و ...) تجمعات اقتصادی نفت و گاز، زغالسنگ و منابع عنصری را شکل می‌دهند. در این فصل به این مطلب تأکید می‌کنیم که تکامل کانیایی و نسبت‌های ارگانیکی رسوبات بویژه در شیل از هم جدا نبوده و همچنین به بررسی اقتصادی شیل‌های سیاه سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه به عنوان یکی از پتانسیل‌های مهم و قابل توجه هیدروکربورزایی و منابع عنصری می‌پردازیم.

## ۵-۲- شیل بعنوان ذخایر عنصری (فلزی و غیرفلزی)

شیل‌ها و بویژه نوع غنی از مواد آلی آن (شیل سیاه) از لحاظ اغناء فلزات متنوع انتقالی<sup>۲</sup> همانند مولیبدن، روی، نیکل، نقره، کبالت و ... و همچنین میزبانی کانسارهای عظیم فلزی سین‌ژنتیک از دیرباز مورد اهمیت بوده‌اند. بعبارتی ساده‌تر، شیل‌های سیاه گل‌سنگ‌هایی با رنگ سیاه و حاوی مواد آلی بوده که از میزبانان فلزات به صورت سین‌ژنتیک به شمار می‌آیند<sup>۳</sup>. در واقع آنها نیازمند حضور شرایطی هستند که موجبات تجمع و حفظ حجم عظیمی از مواد آلی و فلزات را فراهم آورد، فلزات به صورت تیپیک از طریق<sup>۳</sup>:

۱- مشتق شدن از آب دریا (مستقیم)

۲- تجمع درون ارگانسیم‌های حیاتی جانوری و گیاهی (غیرمستقیم)

<sup>۱</sup> Disintegration

<sup>۲</sup> Transition

<sup>۳</sup> Tourtelot, H. A., 1979

۳- الگوهای غیرعادی، همانند محلول‌های هیدروترمال و خاکسترهای آتشفشانی، درون شیل‌ها تمرکز پیدا می‌کنند.<sup>۱</sup>

علیرغم عیار پایین کانسارهای واقع در سنگ‌های تخریبی همانند شیل، آنها بزرگترین میزبانان

کانسارهای اقتصادی دنیا به حساب می‌آیند، در زیر به شرح اجمالی مهمترین آنها می‌پردازیم:

جدول ۵-۱- عمده‌ترین کانسارهای اقتصادی دنیا با سنگ میزبان شیل (Fu, et. al., 2010)

کانسار	کشور	زمان تشکیل و عنصر اقتصادی	سنگ میزبان و علت کانه‌زایی
Mt-Isa Hilton Mc. Arthur Leidy Laretta	استرالیا	فلزات پایه، پروتوزوئیک	ویژگی‌های مشابه با کانسارهای برون‌دمی - سولفیدی
White Pine Sullivan	آمریکای شمالی	پالئوزوئیک، فلزات پایه	کانه‌زایی تحت یک محیط دریاچه‌ای همراه با ریفت <i>Keweenawian</i> متعلق به آبهای عمیق حوضه <i>Belt-Purcell</i>
Zamibian	آفریقا	کمبرند مس - کبالت	کانه‌زایی استراتیفرم مس - کبالت هم بصورت سین‌ژنتیک و هم اپی‌ژنتیک رخ داده است.
Copperschifer	آلمان	سرب - روی - مس - پرمین بالایی	کانه‌زایی در دریای اپی‌کانتیننتال رخ داده است.
Howarad Pass	کانادا	پالئوزوئیک، سرب - روی	سدکس
مشخص نشده	چین	پالئوزوئیک، طلا و عناصر گروه پلاتین	سدکس
مشخص نشده	چین	عناصر نادر خاکی	شیل‌های نفتی دریایی
Moverly	ایالات متحده آمریکا	کرتاسه، منابع هیدروکربوری	شیل سیلیس‌دار
چاه‌میر بافق	ایران	فلزات پایه، کامبرین پیشین	سدکس

شیل‌های سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه، آنومالی در عناصر As, Mn, Zr, U, Th و... را نسبت

به موارد مرجع نشان دادند، درحالی‌که شیل‌های سبز منطقه در بیشتر عناصر تهی‌شدگی یا مقادیری

برابر داشتند. بدلیل اهمیت استراتژیک و همچنین غلظت‌های بالای عناصر نادرخاکی (بوئزه نوع سبک)

در شیل‌های سیاه سازند شمشک، ابتداءً به تشریح مفصلی در مورد آنها پرداخته و سپس به برخی

خصوصیات فیزیکی - شیمیایی و کاربردهای صنعتی چند عنصر آنومال و با اهمیت اقتصادی شیل‌های

منطقه مورد مطالعه اشاره می‌گردد. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که بعلت همبستگی و ارتباط

<sup>۱</sup> ذکر این نکته قابل تأمل است که در تمامی مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی صورت گرفته در حیطه‌ی شیل و بوئزه شیل سیاه، کانی‌های سولفیدی

به عنوان بخش جدایی ناپذیر ذکر شده‌اند (Schieber, 1992).

اطلاعات و خطرات احتمالی زیست‌محیطی عناصر آنومال با بسیاری مسائل زمین‌شناسی بخصوص مسائل اکتشافی و کانه‌زایی، علل احتمالی این آنومالی‌ها در فصل ششم مورد بررسی قرار می‌گیرند.

عناصر نادرخاکی شامل مجموعه‌ی پیوسته‌ای از عناصر گروه IIIA جدول تناوبی، از اسکاندینیوم (عدد اتمی ۲۱)، ایتریوم (عدد اتمی ۳۹)، لانتانیوم (عدد اتمی ۵۷) تا لانتانیدها همراه با ۱۴ عضو از سرییم (عدد اتمی ۵۸) تا لوتسیوم (عدد اتمی ۷۱) می‌شوند (جدول ۵-۲). در مباحث زمین‌شناسی و ژئوشیمی، کاربرد واژه عناصر خاکی کمیاب غالباً به ایتریوم، لانتانیوم و لانتانیدها محدود می‌شود. فراوانی برخی از آنها در پوسته قاره‌ای زمین بسیار پایین است اما مقدار آنها از کمیاب‌ترین عناصر طلا، جیوه، تنگستن، آرسنیک و ... کمتر نیست، بطوریکه سرییم از میان تمام این عناصر با تمرکزی حدود ۳۰ میکروگرم بر گرم، یکی از فراوان‌ترین عناصر خاکی در پوسته به حساب می‌آید.

جدول ۵-۲- فهرست اصلی عناصر نادرخاکی به‌همراه خصوصیات فیزیکی- شیمیایی رایج آنها (Hoatson, et. al, 2011)

Element	Symbol	Atomic number	Density (gcm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	Melting point (°C) <sup>1</sup>	Boiling point (°C) <sup>1</sup>	Crustal abundance (ppm) <sup>2</sup>	Vicker's hardness <sup>3</sup>	Crystal structure <sup>1,4</sup>
Scandium	Sc	21	2.989	1541	2832	8	85	Hex
Yttrium	Y	39	4.469	1522	3337	30	38	Hex
<i>Light-rare-earth elements</i>								
Lanthanum	La	57	6.146	918	3469	30	37	Hex
Cerium	Ce	58	8.160	789	3257	60	24	Cub
Praseodymium	Pr	59	6.773	931	3127	7	37	Hex
Neodymium	Nd	60	7.008	1021	3127	25	35	Hex
Promethium <sup>5</sup>	Pm	61	7.264	1042	3000	4.5 x 10 <sup>-20</sup>	-	Hex
Samarium	Sm	62	7.520	1074	1900	5	45	Rho
Europium	Eu	63	5.244	822	1597	1	17	Cub
<i>Heavy-rare-earth elements</i>								
Gadolinium	Gd	64	7.901	1313	3233	4	57	Hex
Terbium	Tb	65	8.230	1356	3041	0.7	46	Hex
Dysprosium	Dy	66	8.551	1412	2562	3.5	42	Hex
Holmium	Ho	67	8.795	1474	2720	0.8	42	Hex
Erbium	Er	68	9.066	1529	2510	2.3	44	Hex
Thulium	Tm	69	9.321	1545	1727	0.32	48	Hex
Ytterbium	Yb	70	6.966	819	1466	2.2	21	Cub
Lutetium	Lu	71	9.841	1663	3315	0.4	77	Hex

عناصر نادرخاکی در بسیاری از انواع سنگهای آذرین، رسوبی و دگرگونی تنها بصورت عناصر کم مقدار وجود داشته (در این سنگها، این عناصر بیشتر در چند کانی سنگ ساز همانند: تیتانیت، آپاتیت، زیرکن، گارنت و ... متمرکز می شوند) و هیچگاه بصورت فلزات آزاد در پوسته زمین یافت نمی شوند. باستانزیت (منبع عناصر کمیاب سبک)، موناژیت (منبع عناصر کمیاب سبک و کانسنگ اصلی توریم) و زینوتایم (منبع عناصر کمیاب سنگین و ایتریوم) سه کانه اصلی و اقتصادی در بین بیش از ۲۰۰ کانی مهم شناخته شده دربرگیرنده این عناصر هستند (جدول ۵-۳). بسیاری از کربناتیتها، برخی از پگماتیتهای گرانیتی و سینیتی، کیمبرلیتها، لامپروفیرها، گرانیت، اسکارن، ذخایر بازجذبی (همانند ذخایر موجود در چین و آمریکا) نهشتههای ثانویه در سواحل، تلماسهها و پلاسره‌های آواری (همانند ذخایر قرارگرفته در استرالیا) می توانند حاوی هزار قسمت در میلیون از انواع عناصر نادرخاکی (HREE و LREE) باشند. کشورهای استرالیا (ذخایر پلاسر موناژیت دار)، چین (کانسار بایان ابو، نهشتههای آهن با سنگ میزبان رسوبی است که بزرگترین ذخیره جهان می باشد)، ایالات متحده آمریکا (کانسار مونتاین پس<sup>۱</sup> کالیفرنیا - کربناتیت) و هند بیشترین میزان ذخایر این عناصر را در کل دنیا به خود اختصاص داده اند<sup>۲</sup> (شکل ۵-۱).

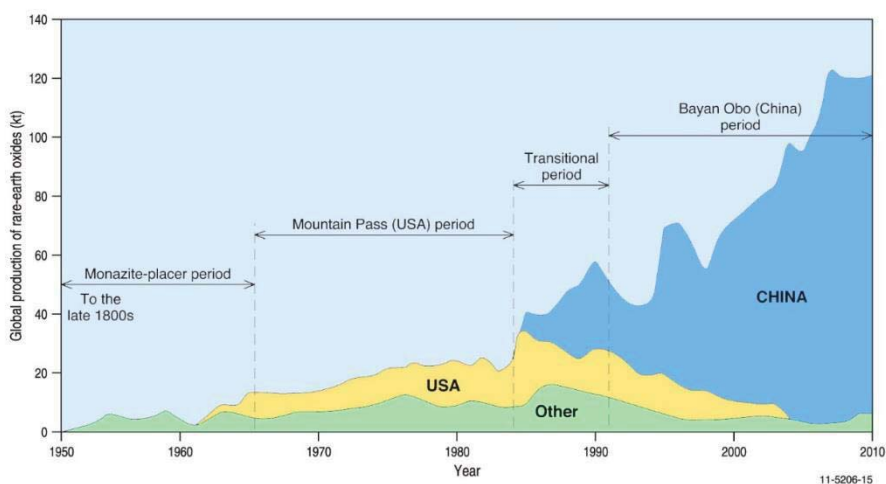
---

<sup>۱</sup> Mountain pass

<sup>۲</sup> Henderson, 1984b

جدول ۵-۲- کانی‌های دارنده عناصر نادر خاکی

Mineral	Mineral chemistry	Mineral	Mineral chemistry
Aeschnite	(Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub>	Gorceixite	(Ba,REE)Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> )(PO <sub>3</sub> OH)(OH) <sub>6</sub>
Allanite (orthite)	(Ce,Ca,Y) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	Goyazite	SrAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> •H <sub>2</sub> O
Anatase	(Ti,REE)O <sub>2</sub>	Hingganite-(Y)	(Y,Yb,Er) <sub>2</sub> Be <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (OH) <sub>2</sub>
Ancylite-(Ce)	SrCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH)•H <sub>2</sub> O	Huanghoite-(Ce)	BaCe(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F
Apatite	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	Hydroxylbastnäsite-(Ce)	(Ce,La)(CO <sub>3</sub> )(OH,F)
<b>Bastnäsite-(Ce)<sup>2</sup></b>	(Ce,La)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F	Iimoriite-(Y)	Y <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(CO <sub>3</sub> )
<b>Brannerite</b>	(U,Ca,Y,Ce)(Ti,Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Kainosite-(Y)	Ca <sub>2</sub> (Y,Ce) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> (CO <sub>3</sub> )•H <sub>2</sub> O
Britholite-(Ce)	(Ce,Ca) <sub>5</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F)	<b>Loparite-(Ce)</b>	(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb) <sub>3</sub> O <sub>3</sub>
Brockite	(Ca,Th,Ce)(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •H <sub>2</sub> O	<b>Monazite-(Ce)</b>	(Ce,La,Nd,Th)PO <sub>4</sub>
Calcio-ancylite (Ce)	(Ca,Sr)Ce <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub> •H <sub>2</sub> O	Mosandrite	(Na,Ca,Ce) <sub>3</sub> Ti(SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> F
Cerianite-(Ce)	(Ce <sup>4+</sup> ,Th)O <sub>2</sub>	Parisite-(Ce)	Ca(Ce,La) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> F <sub>2</sub>
Cerite-(Ce)	Ce <sub>3</sub> <sup>3+</sup> Fe <sup>3+</sup> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> [SiO <sub>3</sub> (OH)](OH) <sub>3</sub>	Perovskite	(Ca,REE)TiO <sub>3</sub>
Cheralite-(Ce)	(Ce,Ca,Th)(P,Si)O <sub>4</sub>	Pyrochlore	(Ca,Na,REE) <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (OH,F)
Chevkinite	(Ca,Ce,Th) <sub>4</sub> (Fe <sup>2+</sup> ,Mg) <sub>2</sub> (Ti,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub>	Rhabdophane-(Ce)	(Ce,La)PO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O
Churchite-(Y)	YPO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	Rhabdophane-(La)	(La,Ce)PO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O
Crandallite	CaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> •H <sub>2</sub> O	Rinkite	(Ca,Ce) <sub>4</sub> Na(Na,Ca) <sub>2</sub> Ti(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (O,F) <sub>2</sub>
Doverite (synchysite-(Y))	YCaF(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Samarskite-(Y)	(Y,Ce,U,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>16</sub>
Eudialyte	Na <sub>4</sub> (Ca,Ce) <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> ,Mn <sup>2+</sup> ,Y)ZrSi <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH,Cl) <sub>2</sub>	Steenstrupine-(Ce)	Na <sub>4</sub> Ce <sub>6</sub> Mn <sup>2+</sup> Mn <sup>3+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (Zr,Th)(Si <sub>6</sub> O <sub>18/2</sub> )(PO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub> •3H <sub>2</sub> O
Euxenite-(Y)	(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Synchysite-(Ce)	Ca(Ce,La)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F
Fergusonite-(Ce)	(Ce,La,Y)NbO <sub>4</sub>	Thalénite-(Y)	Y <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH)
Fergusonite-(Y)	YNbO <sub>4</sub>	Titanite (sphene)	(Ca,REE)TiSiO <sub>5</sub>
Florencite-(Ce)	CeAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	Uraninite	(U,Th,Ce)O <sub>2</sub>
Florencite-(La)	(La,Ce)Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	Vitusite-(Ce)	Na <sub>3</sub> (Ce,La,Nd)(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Fluocerite-(Ce)	(Ce,La)F <sub>3</sub>	<b>Xenotime-(Y)</b>	YPO <sub>4</sub>
Fluocerite-(La)	(La,Ce)F <sub>3</sub>	Yttrofluorite	(Ca,Y)F <sub>2</sub>
Fluorapatite-(Ce)	(Ca,Ce) <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F	Yttrotantalite-(Y)	(Y,U,Fe <sup>2+</sup> )(Ta,Nb)O <sub>4</sub>
Fluorite	(Ca,REE)F <sub>2</sub>	Zircon	(Zr,REE)SiO <sub>4</sub>
Gadolinite	(Ce,La,Nd,Y) <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Be <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub>		
Gagarinite-(Y)	NaCaY(F,Cl) <sub>6</sub>		
Gerenite-(Y)	(Ca,Na) <sub>2</sub> (YREE) <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> •2H <sub>2</sub> O		



شکل ۵-۱- کشورهای عمده تولید کننده و صادر کننده عناصر نادر خاکی (Henderson, 1984)

کاربرد عناصر نادرخاکی با توجه به خواص آنها به پنج گروه شیمیایی، متالوژیکی، نوری، مغناطیسی و هسته‌ای تقسیم می‌شود که به سه صورت:

۱- عناصر نادرخاکی جدا نشده (به طور طبیعی در کانی وجود دارد)

۲- عناصر نادرخاکی تغلیظ شده (شامل ۶۰ تا ۹۰ درصد عناصر خاص مورد علاقه)

۳- عناصر نادرخاکی (شامل ۹۸ تا ۹۹/۹۹ درصد اکسید عنصری)

در ذخایر مرتبط به آنها تأمین میشوند (سویزی، م. و باکویی، ا.، ۱۳۸۷). در جهان حدود ۳۵٪ از عناصر نادرخاکی بصورت کاتالیزور و در پالایش نفت خام، ۹۵٪ بصورت ترکیبی و ۵٪ بصورت عناصر مجزا استفاده می‌شود.

برخی از مهمترین کاربردهای این عناصر در صنایع مختلف در جدول ۳-۵ آورده شده است. در ایران، در حال حاضر تنها معدن فسفات اسفوردی بافق - یزد آنها به صورت جزء فرعی به استخراج عناصر نادرخاکی (بوپزه سریوم و ایتریوم) می‌پردازد. گرچه آنومالی‌های بالای عنصری در بسیاری از نقاط کشورمان همانند بوکسیت جاجرم<sup>۱</sup>، توده گرانیته سنگان خواف، لیستونیت ارسنجان، کائولن باوران و ... گزارش شده است. در این مطالعه داده‌های آنالیز ICP-MS عناصر نادرخاکی شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه علاوه بر نرمالیزه از طریق مقادیر زمینه NASC، کندریت، UC، توسط غلظت‌های این عناصر در کانسار لاتریت چین<sup>۲</sup>، کربناتیت مانتن پاس کالیفرنیا<sup>۳</sup> و همچنین شیل‌های نفتی سازند گرین‌ریور<sup>۴</sup> هم مقایسه و بررسی شده‌اند (جدول ۴-۵ و شکل ۲-۵).

<sup>۱</sup> اثنی عشری و همکاران، ۱۳۸۵

<sup>۲</sup> CLO – Haxel et. al., 2002

<sup>۳</sup> MPC – Haxel et. al., 2002

<sup>۴</sup> APM – Birdwell, J. E., 2012

جدول ۵-۳- کاربرد عناصر نادرخاکی در صنایع مختلف (برگرفته از Hoatson, et. al., 2011)

عنصر	کاربرد صنعتی
Lanthanum	شیشه های سرامیکی، شیشه های نوری با کیفیت بالا، لنزهای دوربین، کریستالهای میکروموج، پولیش شیشه، تجزیه مولکول های بزرگ مواد نفتی.
Cerium	پولیش شیشه، کاتالیست هایی که برای تجزیه مولکول های بزرگ نفتی، آلیاژهای آهن‌داری برای جرقه زدن در فندک، در ترکیب با آلومینیم، منیزیم و استیل برای بهبود خصوصیات حرارتی و استحکام و استحفاظ تابشی آلیاژها.
Praseodymium	رنگدانه های سرامیک زرد، کاشی، باتری هایی از جنس سرامیک، با نئودیمیم بصورت ترکیب برای محافظ شیشه.
Neodymium	باتری هایی از جنس سرامیک، در لعاب و شیشه های رنگی، اشعه لیزر، استحکام زیاد در مگنت های ثابت مثل آلیاژهای نئودیمیم، آهن و بر، تجزیه مولکول های بزرگ نفتی.
Promethium	این عنصر در طبیعت یافت نمی شود و به صورت رادیواکتیو، در راکتورهای اتمی تولید می شود و برای طولانی کردن عمر باتری ها، ابزارهای قابل پرتاب (گلوله) در محیط های خشن استفاده می شود.
Samarium	در آلیاژهای مگنتیک بالا برای مگنت ثابت، آلیاژ -samarium کبالت ممکن است به عنوان جانشین نئودیمیم قرارگیرد، شیشه های لیزری، کنترل راکتور و استحفاظ نوترون.
Europium	یکی از عناصر نادر خاکی و واکنش پذیر ترین آنها بوده و جاذب نوترون میله کنترل در راکتورهای هسته ای، لامپ های رنگی، لامپ اشعه کاتدی، روشنایی قرمز در تلویزیون های رنگی استفاده می گردد.
Gadolinium	لیزرهای سه بعدی، جزء اصلی در تراشه حافظه کامپوتر، مقاومت در حرارت های بالا و خنک کن های برودتی.
Terbium	این عنصر همراه با Gadolinium دیده می شود و در تونل های اشعه کاتدی، مگنت ها، حافظه نوری کامپیوتر، از متشکله های Hard Disc های آینده و آلیاژهای Magnetostriuctive کاربرد دارد.
Dysprosium	جاذب نوترون، آلیاژهای مگنتیک، کنترل راکتورهای هسته ای، ترکیب با نئودیمیم برای مگنت های ثابت، کاتالیست ها.
Holmium	جاذب نوترون، کنترل راکتورهای هسته ای، کاتالیست ها، مقاوم ها.
Erbium	این عنصر خصوصیات فیزیکی تقریباً مشابه با Holmium و Dysprosium دارد و در سرامیک ها برای تولید لعاب صورتی و شیشه های جاذب اشعه مادون قرمز کاربرد دارد.
Thulium	پرتوافکن اشعه X در راکتورهای هسته ای و ماشین های پرتابل.
Ytterbium	خصوصیات آن بسیار مشابه Lutetium بوده اما ارزش کاربردی آن در حال حاضر شناخته شده نیست.
Lutetium	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن شناخته شده نیست. احیا کننده در محصولات استن لس استیل، باتری های قابل شارژ، مصارف پزشکی، روشنایی قرمز در تلویزیون های رنگی، فوق هادی ها.
Yttrium	همراه با Holmium و Erbium یافت می شود. احیا کننده در محصولات استیل، باتری های قابل شارژ، مصارف پزشکی، روشنایی قرمز در تلویزیون های رنگی، فوق هادی ها.
Scandium	این عنصر از لحاظ خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار نزدیک به آلومینیم است و در لوله اشعه ایکس، کاتالیست هایی برای پلیمریزاسیون، آلیاژهای سخت شده Ni-Cr، چینی (porcelain) دندانپزشکی کاربرد دارد.
Thorium	این عنصر همانند نیکل و به نرمی و فراوانی سرب بوده و در Gas Mantles می تواند به عنوان جانشین اورانیوم به عنوان سوخت هسته ای مورد استفاده قرار بگیرد.

نمودار به هنجار شده ی شیل سیاه و زغالی سازند شمشک مقادیری مشابه و کمی بالاتر از عناصر

نادرخاکی سبک و همچنین مقادیر متنوبی از عناصر نادرخاکی سنگین را نسبت به مقادیر زمینه UC،

NASC، کندریت و APM و همچنین تهی شدگی نسبت به MPC و CLO نشان می دهند. این درحالی



است که شیل سبز نسبت به تمام موارد زمینه فوق الذکر، تخلیه شدید عنصری را بروز میدهد. نسبت LREE/HREE در شیل‌های این منطقه با مجموع ۹/۶۳ نسبت به مقادیر زمینه UC، NASC و کندریت آنومالی نشان می‌دهند. اخیراً از سری لانتانیدی یا REEs و Y در شیل‌های نفتی دریایی چین هم استخراج به عمل می‌آید<sup>۱</sup>. شیل‌های منطقه مورد مطالعه بویژه نوع زغالی و سیاه آن با وجود آنکه قابل قیاس با کانسارهای بزرگ واقع در چین و آمریکا نیستند اما حائز توجه و اهمیت بیشتر مطالعاتی بویژه در زمینه عناصر نادر خاکی می‌باشند.

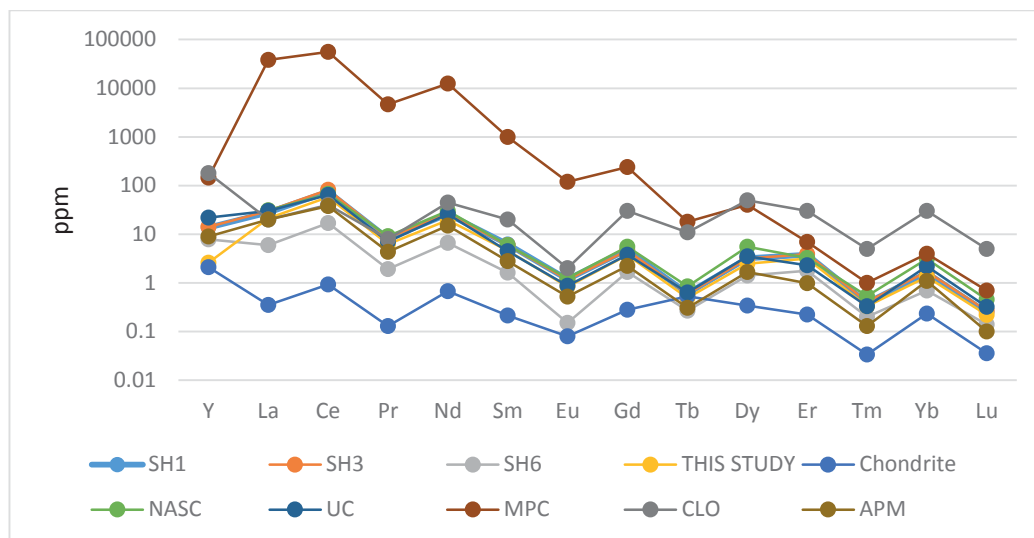
جدول ۵-۴- بهنجارسازی عناصر نادر خاکی شیل‌های شمشک با نسبت‌ها و مقادیر زمینه

Elements	DL (Detection Limite) ppm	SH1 ppm	SH3 ppm	SH6 ppm	THIS STUDY (average)	Chondrite	NASC	UC	MPC	APM	CLO
Y	0.5	13.7	14.1	7.8	2.6	2.1		22	146	9	180
La	1	28	30	6	21.3	0.354	31.1	30	38000	20.1	20
Ce	0.5	75	82	17	58	0.934	67.03	64	55700	37.7	40
Pr	0.05	8.23	8.51	1.91	6.21	0.129	9.1	7.1	4630	4.34	8
Nd	0.5	25.9	26.2	6.6	19.56	0.676	30.4	26	12540	15.1	45
Pm											
Sm	0.02	6.25	6	1.63	4.62	0.213	5.98	4.5	1000	2.8	20
Eu	0.1	1.18	1.17	0.15	0.83	0.080	1.25	0.88	120	0.52	2
Gd	0.05	4.84	4.64	1.68	3.72	0.283	5.5	3.8	240	2.25	30
Tb	0.1	0.61	0.6	0.27	0.493	0.53	0.85	0.64	18	0.31	11
Dy	0.02	3.19	3.15	1.42	2.493	0.341	5.54	3.5	40	1.68	50
Ho											
Er	0.05	3.82	3.89	1.78	3.16	0.225	3.275	2.3	7	0.98	30
Tm	0.1	0.39	0.41	0.2	0.33	0.034	0.54	0.33	1	0.13	5
Yb	0.05	1.6	1.7	0.7	1.33	0.234	3.11	2.2	4	1.1	30
Lu	0.1	0.25	0.27	0.14	0.22	0.036	0.456	0.32	0.7	0.1	5
LREE/HREE		5.376	5.727	6.75	9.630	1.9	7.1	9.5	355.5	11.6	0.8
ΣREE		187.7	197.3	48.1	124.866	5.8	165.4	168.4	112451	96.5	485
ΣLREE		158.26	167.98	41.9	113.12	4.486	144.81	154.48	112136	89.56	315
ΣHREE		29.44	29.33	6.2	11.846	1.649	19.271	13.09	310.7	6.55	161
Gd/Yb		3.025	2.75	2.4	2.72						

■ HREEs

□ LREEs

<sup>۱</sup> Fu, et. al., 2010



شکل ۵-۲- نمودار نرمالیزه عناصر نادرخاکی منطقه مورد مطالعه با غلظت‌های مرجع آن

## -آرسنیک

آرسنیک عنصری با عدد اتمی ۳۳، عدد جرمی ۷۴/۹۲، متعلق به گروه V-A، کالکوفیل<sup>۱</sup> است.<sup>۲</sup> به شدت شکننده و دارای ۳ شکل آلوتروپیک<sup>۳</sup>، با رنگ‌های زرد (نرم، سبک و سمی با خاصیت مومی)، سیاه (شکننده، رسانایی کم و شیشه‌ای) و خاکستری (نیمه هادی و جامد) می‌باشد.<sup>۴</sup> با آنکه اسید آرسنیک یک اسید ضعیف با کاربرد محدود است اما در مقابل نمک آن (آرسنات) به طور گسترده‌ای در کشاورزی کاربرد دارد. تقویت‌کننده فلزاتی چون سرب - روی در تهیه باتری‌های ماشین، دستگاه‌های الکترونیکی، نیمه هادی و...، بعنوان رنگدانه در صنعت نقاشی (بویژه  $As_2S_3$ )، مواد اولیه تولید آفت کش‌ها، بعنوان آنتی‌بیوتیک و رفع بیماری‌های چون پارازیتی، رماتیسم، التهاب مفاصل و ...، در صنایع

<sup>۱</sup> Metalloid- Oxyanionic

<sup>۲</sup> Bradl, H. B, 2005

<sup>۳</sup> Allotropic Shape

<sup>۴</sup> Stantol, L., 2004

داروسازی و پزشکی، ماده خام اولیه در صنایع شیشه‌سازی و ... از جمله کاربردهای صنعتی آرسنیک، بعنوان یکی از فراوان‌ترین عناصر در پوسته‌ی زمین هستند.

آرسنیک به طور گسترده‌ای در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی (آذرین، دگرگونی و رسوبی) پراکنده شده است، بطوریکه بیش از ۲۴۵ نوع از کانی‌های حاوی آن، که یا مرتبط با مناطق کانی‌زایی هستند یا محصول هوازدگی آنها، چه بصورت جزء سازنده و چه فرعی در دنیا شناخته شده است.<sup>۱</sup> مقدار As در پوسته‌ی زمین بین ۰/۵ تا ۲/۵ گرم بر تن است که رسوبات ریزدانه نسبت به درشت‌دانه، تمایل به جذب و تغلیظ بالاتری از آرسنیک را در خود نشان می‌دهند (جدول ۵-۵). به علت ژئوشیمی نزدیک آرسنیک با گوگرد، می‌تواند به راحتی جانشین آن شده و در سولفیدهای اصلی چون: پیریت ( $FeS_2$ )، آرسنو پیریت ( $FeAsS$ )، رآلگار ( $AsS$ ) و اربی‌منت ( $As_2S_3$ ) که از فراوانترین و اصلی‌ترین کانی‌های آرسنیک‌دار هستند، تجمع و تمرکز پیدا کرده و یا در گالن، مارکاسیت بعنوان سولفیدهای کم رایج و همچنین اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزات آبدار (بوئزه Fe و کمتر در Al و Mn)، محصولات هوازدگی کانی‌های سولفیدی اولیه و کانی‌های فیلو سیلیکاته، با درصدهای متفاوتی حضور داشته باشند<sup>۲</sup> (جدول ۵-۶). در بسیاری از محیط‌های ژئوشیمیایی، آرسنیک با Se، Mo، V و U ارتباط مثبتی را نشان می‌دهد و ثابت شده است که اکتشاف بسیاری از کانی‌های اورانیوم‌دار از طریق ردیابی همین عنصر صورت می‌گیرد.<sup>۳</sup>

چندگانی در وضعیت اکسایش به صورت‌های  $As^0$ ،  $As^{-1}$ ،  $As^{+3}$  و بوئزه  $As^{+5}$  که تحت شرایط متفاوت Eh-ph، پایدارتر و معمول‌تر است، و همچنین تحرک، فراوانی تولید بسیار بالا در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی، باعث پیچیدگی رفتار ژئوشیمیایی این عنصر، و مبدل ساختن آن به

<sup>۱</sup> Nordstrom, 2000, Bhattacharya et al., 2002

<sup>۲</sup> Nickson et al, 2000

<sup>۳</sup> Kinniburgh & Smedley, 2007

گونه‌ای تک و بی‌همتا در بین سایر فلزات سنگین و به همان اندازه، خطر زا در زیست‌محیط جهانی شده است.<sup>۱</sup>

جدول ۵-۵- مقادیر آرسنیک در سنگهای مختلف (برگرفته از Kabata, et al., 2007)

Environmental compartment	As
Earth's crust (mg kg <sup>-1</sup> )	0.5 - 2.5
Igneous rocks (mg kg <sup>-1</sup> )	
Mafic	0.5 - 2.5
Acid	1 - 2.5
Sedimentary rocks (mg kg <sup>-1</sup> )	
Argillaceous	5 - 13
Sandstones	0.5 - 1.2
Calcareous	1 - 2.5
Raw energy material (mg kg <sup>-1</sup> )	
Coal, hard <sup>b</sup>	7 - 24
Fly ash <sup>c</sup>	60
Crude oil	0.005 - 0.14
Petrol	0.02 - 2
Soils (mg kg <sup>-1</sup> )	
Light sandy	<0.1 - 30
Medium loamy	1.3 - 27
Heavy loamy	2 - 23
Calcareous	-
Organic	<0.1 - 67
Waters (µg l <sup>-1</sup> )	
Snow <sup>e</sup>	0.1
Rain <sup>e</sup>	0.3 - 0.4
Ocean, sea <sup>e</sup>	1.2 - 3.7
River <sup>d</sup>	0.11 - 9.4
Air (ng m <sup>-3</sup> )	
Urban <sup>e</sup>	2 - 53
South Pole	0.007
Greenland/Shetland Islands	0.6

<sup>۱</sup> Heederik, j. p, 2006

جدول ۵-۶- فراوانی آرسنیک در کانی‌ها مختلف (برگرفته از Kinniburgh, D.G., Smedley P.L., 2007)

Mineral	As concentration range (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Sulphide Mineral:</b>	
Pyrrhotite	100-77,000
Pyrotite	5-100
Marcasite	20-126,000
Galena	5-10,000
Sphalerite	5-17,000
Chalcopyrite	10-5000
<b>Oxide minerals</b>	
Haematite	Up to 160
Fe oxide (undifferentiated)	Up to 2000
Fe (III) oxyhydroxide	Up to 76,000
Magnetite	2.7-41
Ilmenite	<1
<b>Silicate minerals</b>	
Quartz	0.4-1.3
Feldspar	<0.1-2.1
Biotite	1.4
Amphibole	1.1-2.3
Olivine	0.08-0.17
Pyroxene	0.05-0.8
<b>Carbonate minerals</b>	
Calcite	1-8
Dolomite	<3
Siderite	<3
<b>Sulphate minerals</b>	
Gypsum an hydrite	<1-6
Barite	<1-12
Jarosite	34-1000
<b>Other minerals</b>	
Apatite	<1-1000
Halite	<3-30
Huorite	<2

## – عناصر پرتوزاء

Th-U : اورانیوم و توریوم هر دو متعلق به گروه ۳ (IIIb) و سری اکتیندها هستند (از سایر عناصر پرتوزا و مهم این گروه می‌توان به <sup>۱</sup>Ac، <sup>۲</sup>Pa و <sup>۳</sup>Pu اشاره کرد). اورانیوم را به عنوان عنصری لیتوفیل، الکتروپوزیتیو قوی، رسانایی ضعیف، نقطه ذوب بالا (۱۱۳۲ درجه سانتی‌گراد) و با عدد اتمی ۹۲، عدد جرمی ۲۳۸ و چگالی <sup>۳</sup>۱۱/۹۲۹ Cm به خوبی می‌شناسیم. رنگ سفید – نقره ای، چگالی بالا که چندین برابر سرب است و آنرا بعنوان عنصری بسیار سنگین مطرح ساخته، حالت‌های اکسیداسیونی ۵ گانه بویژه وضعیت‌های +۴، +۶ که بسیار معمولتر و رایج‌تر هستند، از جمله سایر ویژگی‌های منحصر به فرد اورانیوم است. تمام هر سه ایزوتوپ اورانیوم، <sup>۲۳۵</sup>U، <sup>۲۳۴</sup>U و <sup>۲۳۸</sup>U رادیواکتیو بوده و با آنکه گسترش Th و U در لیتوسفر عمدتاً توسط سیستم Eh -PH کنترل می‌شود، اما در مقایسه با نقره، طلا و عناصر نادر خاکی فراوان تر و نسبت به قلع، جیوه و سرب رایج ترند.<sup>۴</sup> در پوسته، فراوانی متوسط ۰/۰۰۰۳ درصد را به خود اختصاص داده که از این بین، رسوبات رس‌دار، خاکستر زغالسنگ، سنگ‌های آذرین سیلیک، از محتوای اورانیوم بیشتری نسبت به سنگ‌های اسیدی، ماسه و آهک برخوردار هستند<sup>۵</sup> (جدول ۵-۷). اورانیوم در بسیاری از کانی‌ها، هم بعنوان جزء سازنده و هم جزء فرعی شرکت می‌کند به عنوان مثال: اورانی نیت<sup>۶</sup> و پیچبلند<sup>۷</sup> از کانی‌های اصلی و تجاری آن به حساب می‌آیند (جدول ۵-۸).

<sup>۱</sup> Actinum

<sup>۲</sup> Protactinium

<sup>۳</sup> Putonium

Zavodska L, kosorinova, E, 2008 <sup>f</sup>

Kabata, A. & Mukherjee A.B, 2007 <sup>د</sup>

Uraninite <sup>ف</sup>

Pitchblend <sup>ف</sup>

جدول ۵-۷- فراوانی کانی‌ها اورانیوم‌دار در پوسته زمین و سنگهای مختلف (برگرفته از Kabata, et al., 2007)

Rocks/soils	Thorium	Uranium	<sup>238</sup> U (pCi g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>
Earth's crust	3.6 - 9.6	0.9 - 1.7	0.2 - 0.3
<b>Igneous rocks</b>			
Mafic	1 - 14.0	0.3 - 3.0	0.2; 0.3 <sup>c</sup>
Salic	10 - 23	2.5 - 6	1.3; 1.6 <sup>c</sup>
<b>Sedimentary rocks</b>			
Argillaceous	10 - 12	3 - 4	1.0
Sandstones	2 - 4	0.5 - 0.6	<0.3 - 1.0
Limestones	2 - 3	2.2 - 2.5	0.7
<b>Soils</b>			
in Europe	3.4 - 10.5	0.8 - 11.0	-
in the USA	6.1 - 7.6	2.3 - 3.7	0.6

جدول ۵-۸- فراوانی کانی‌های اورانیوم‌دار در سنگهای مختلف (Finch, R., Murakami, T, 1999)

Minerals with uranium as an essential component		Minerals with uranium as a minor component	
Name	Formula	Name	Formula
Uraninite	$(U_{1-x-y-z}^{4+} REE_y^{3+} M_2^2+)O_{2+x-y-z}$	Betafite	$(Ca, Na, U)_2(Ti, Nb, Ta)_2O_6(OH)$
Coffinite	$USiO_4 \cdot nH_2O$	Brabantite	$Ca(Th, U)(PO_4)_2$
Brannerite	$(U, Ca, Y, Ce)(Ti, Fe)_2O_6$	Davidite	$(Ce, La)(Y, U, Fe^{2+})(Ti, Fe^{3+})_{20}(O, OH)_{30}$
Orthobrannerite	$(U^{6+}, U^{4+})(Ti, Fe)_2O_6(OH)$	Ekanite	$Ca_2(Th, U)Si_5O_{20}$
Ianthinite	$U^{4+}(U^{6+}O_2)O_4(OH)_6(H_2O)_9$	Huttonite	$(Th, U)SiO_4$
Ishikawaite	$(U, Ca, Y, Ce)(Nb, Ta)O_4$	Kobeite-(Y)	$(Y, U)(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$
Lermontovite	$U(PO_4)(OH)(H_2O)_n$	Mekelveyite-(Y)	$Ba_3Na(Ca, U)Y(CO_3)_6(H_2O)_3$
Moluranite	$H_4U(UO_2)_3(MoO_4)_7(H_2O)_{18}$	Monazite-(REE)	$(La - Sm)PO_4$
Mourite	$UMo_5O_{12}(OH)_{10}$	Plumbobetafite	$(Pb, U, Ca)(Ti, Nb)_2O_6(OH, F)$
Ningyoite	$(U, Ca, Ce, Fe)_2(PO_4)_2 \cdot 1 - 2H_2O$	Plumbomicrocline	$(Pb, U, Ca)_2Ta_2O_6(OH)$
Petschekite	$UFe^{2+}(Nb, Ta)_2O_8$	Plumbopyrochlore	$(Pb, U, Ca)_{2-x}Nb_2O_6(OH)$
Sedovite	$U(MoO_4)_2$	Samarskite-(Y)	$(Y, REE, U, Fe^{3+}, Fe^{2+})(Nb, Ta)O_4$
Uranomicrocline	$(U, Ca, Ce)_2(Ta, Nb)_2O_6(OH, F)$	Thorianite	$(Th, U)O_2$
Tyuyamunite	$Ca(UO_2)_2(V_2O_8)(H_2O)_8$	Thorite	$(Th, U)SiO_4$
Carnotite	$K_2(UO_2)_2(V_2O_8)(H_2O)_3$	Thorogummite	$(Th, U)(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$
Torbernite	$Cu[(UO_2)(PO_4)]_2(H_2O)_8$	Tristramite	$(Ca, U^{4+}, Fe^{3+})(PO_4, SO_4)(H_2O)_2$
Autunite	$Ca[(UO_2)(PO_4)]_2(H_2O)_{10-12}$	Yttrobetafite-(Y)	$(Y, U, Ce)(Ti, Nb, Ta)_2O_6(OH)$
Vyacheslavite	$U(PO_4)(OH)(H_2O)_{2,5}$	Yttrocraasite-(Y)	$(Z, Th, Ca, U)(Ti, Fe^{3+})_2(O, OH)_6$

Note: REE - Rare Earth Element

Th، توریوم: عنصری شیمیایی با عدد اتمی ۹۰، عدد جرمی ۲۳۲، نقطه ذوب ۱۷۵۰، چگالی

$11.72 \text{ gcm}^{-3}$  و سه حالت اکسایش ۲+، ۳+ و ۴+ است که حالت‌های ۲+ و ۴+ تحت محیط‌های

مختلف زمین‌شناسی و شرایط متفاوت Eh-ph پایداری بیشتری نشان می‌دهند. کانی‌های کلریتیک<sup>۱</sup> و مونازیت از حامل‌های رایج Th به شمار می‌آیند، با این حال در کانی‌هایی چون توریت و تیورایت (ThO<sub>2</sub>) و چندین کانی دیگر، بعنوان جزء اصلی و سازنده وجود دارد<sup>۲</sup>. اطلاعات در مورد تولید تجاری Th و U متنوع و پراکنده است. اما بر اساس گزارش رن‌من و گریتات<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸، در طی سال ۱۹۸۴، تولید Th و U تنها حدود ۷۰۰ t در کل دنیا بوده، که این رقم در سال ۲۰۰۳ به بیش از ۳۵/۳۷ kt رسیده است<sup>۴</sup>. اورانیوم خالص بیشتر در صنعت هسته‌ای و ساخت دستگاهی پیشرفته کاربرد داشته، اما اجزاء و ساختارهای اورانیوم‌دار در عکاسی، تولید لامپ‌های مخصوص، صنایع چرم‌سازی، سرامیک، چوب و... از کاربردهای وسیعی برخوردار هستند. DU<sup>۵</sup> هم به طور گسترده‌ای در ساخت سلاح و مهمات نظامی کاربرد دارد. Th هم بعنوان ماده تقویت‌کننده آلیاژهای فلزی، ماده پوشاننده لنزهای عینک و برخی سیستم‌های فلزی و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. Th.U و K از جمله ۳ عنصر اصلی هستند که به عنوان رادیو اکتیو طبیعی و ردیاب‌های ژئوشیمیایی محیط، شناخته و نسبت داده می‌شوند. U و Th به علت حالت‌های اکسیداسیون مشترک +۴ و +۶ و تحرک نسبی تحت شرایط مختلف زمین‌شناسی بویژه نزدیک به سطح و ... دارای ژئوشیمی وابسته و نزدیک به هم هستند<sup>۶</sup>. تنوع در دما، فشار، اجزاء محلول، پتانسیل اکسیداسون- احیاء حضور لیگاندهای کمپلکس‌کننده و... از جمله عواملی هستند که در گونه‌های آبدار اکتینیدی منجر به پیچیدگی رفتار زیست‌محیطی و ژئوشیمی می‌شوند. با این حال، اکتیدها و بویژه U و Th به راحتی در معرض هوا اکسیده شده و تمایل شدیدی به ترکیب با بسیاری از عناصر و ایجاد کمپلکس‌های قوی از خود نشان می‌دهند، بعنوان مثال: با لیگاندهای اکسیژن‌دار و به خصوص غیر آلی همچون PH<sup>-</sup>، CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>، HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> پیوندهای قوی برقرار کرده و تحت شرایط متفاوت EH و PH گسترش

---

<sup>۱</sup> cheralite-ce

<sup>۲</sup> Kabata, A. & Mukherjee, A.B., 2007

<sup>۳</sup> Renmann & Gritat, 1998

<sup>۴</sup> WMSY, 2004

<sup>۵</sup> Depleted U

<sup>۶</sup> Zavodska, L. et.al., 2008



پیدا می کنند و یا یون اورانیل می تواند به راحتی با  $Cl^-$ ،  $Na^+$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $CO_3^{2-}$  ترکیب شده، تحت  $PH=7$  با کربنات و فسفات پیوند های مستحکمی را ایجاد کنند<sup>۱</sup>. اکتنیدها و بویژه U و Th میل ترکیبی یا خویشاوندی قوی با مواد آلی و تجمع توسط میکرواروگانسیمها دارند. به همین دلیل اورانیوم به راحتی توسط مواد آلی جذب سطحی شده و بویژه در زغالسنگ و پیت تجمعات بالایی را نشان می دهند<sup>۲</sup>. غلظت میانگین U و Th در زغالسنگ ۵/۶، ۶/۱  $mgkg^{-1}$  و در خاکستر آنها به  $22 mgkg^{-1}$  افزایش می یابد.<sup>۳</sup>

## - منگنز

منگنز، نام آن از کلمه ی لاتین Magnes که به خواص مغناطیسی پیرولوزیت (کانی اصلی منگنز) اشاره می کند، گرفته شده است. رنگ خاکستری متمایل به صورتی، تعلق به گروه VUB، عدد اتمی ۲۵، وزن اتمی ۵۴/۹۳۰، وزن مخصوص ۷/۴، دمای ذوب  $1245^{\circ}C$  و ... از جمله ویژگی های فیزیکی منگنز به شمار می آید. با آنکه در طبیعت به صورت خالص تشکیل نمی شود اما جزء اصلی و فرعی بسیاری از سنگ ها و هم چنین از فراوان ترین عناصر کمیاب در لیتوسفر با میانگین ۱۰۰۰ ppm به حساب می آید (جدول ۵-۹). بیشترین غلظت آن در میان سنگ ها، مرتبط با سنگ های الترامافیک و مافیکی است. از لحاظ شاخصه های ژئوشیمیایی، بیولوژیکی و فراوانی، شباهت و وابستگی های بی نظیری با آهن، بعنوان فلز واسطه ی همسایه خود نشان می دهد، بعنوان مثال: هر دو از فراوان ترین عناصر موجود در پوسته ی زمین هستند، هر دو به راحتی تحت عوامل هوازدگی، اکسید شده و در اکثر موارد اکسیدهای منگنز دارای تمرکز و آغشتگی بالایی از آهن، بویژه در رس سنگ ها می باشند (سازمان زمین شناسی و اکتشاف مواد معدنی). منگنز جزئی از خانواده آهن به شمار رفته و ارتباط نزدیکی با آن از لحاظ فرایندهای

<sup>۱</sup> McLennan Murray, 1991

<sup>۲</sup> Kovalskiy, 1978

<sup>۳</sup> Liorens, et al, 2001

ژئوشیمیایی دارد، بطوریکه سیکل‌های Mn از سیکل‌های آهن در محیط‌های مختلف ژئوشیمیایی تبعیت می‌کند<sup>۱</sup>. هر دو از عناصر ضروری و پایه‌ای در سلامتی بشر، حیوان و گیاه به شمار رفته و سمیت آنها در گزارشات بسیار محدودی آورده شده است. با این حال، تفاوت‌های اندکی هم از لحاظ الگوهای ژئوشیمیایی به علت تفاوت در الکترون‌های ظرفیت و ترتیب قرارگیری اتم‌های آنها و همچنین کاربردهای صنعتی نسبت به هم بروز می‌دهند، مثلاً بر خلاف آهن که فلزی سخت به شمار می‌آید، منگنز، شکننده و غیر قابل انعطاف است که همین امر کاربرد صنعتی آنرا متنوع و گسترده کرده است، اما در کل بعنوان عنصری آلیاژی، در فولادسازی استفاده زیادی دارد. حالت‌های اکسیداسیون آهن برخلاف منگنز محدود است. آهن دارای حالت‌های اکسایش +۲ و +۳ است، در حالیکه منگنز، پنج حالت اکسیداسیونی +۴، +۳، +۲ و +۱ دارد، که حالت +۲، متحرک‌تر و پایدارتر است.

جدول ۵-۹- فراوانی منگنز در محیط‌های مختلف اکولوژی (برگرفته از Kabata, et al., 2007)

Environmental compartment	Mn
Earth's crust (mg kg <sup>-1</sup> )	716 – 1400
Igneous rocks (mg kg <sup>-1</sup> )	
Mafic	850 – 2000
Acid	350 – 1200
Sedimentary rocks (mg kg <sup>-1</sup> )	
Argillaceous	400 – 850
Sandstones	100 – 500
Calcareous	200 – 1000
Raw energy material (mg kg <sup>-1</sup> )	
Coal, hard	50 – 100
Fly ash	325 – 360
Crude oil	0.1 – 1
Petrol	0.005 – <0.1
Soils (mg kg <sup>-1</sup> )	
Light sandy	7 – 2000
Medium loamy and silty	50 – 9200
Heavy loamy	100 – 3900
Calcareous	50 – 7750
Organic	10 – 2200
Water (µg l <sup>-1</sup> )	
Rain	–
Sea	0.2 – 04
River	0.02 – 130 <sup>d</sup>
Air (ng kg <sup>-3</sup> )	
Urban/Industrial	50 – 900
Greenland	2.8 – 4.5
South Pole	0.004 – 0.02

<sup>۱</sup> Kabata & Mukherje, A. B, 2007

### ۵-۳- شیل بعنوان منابع هیدروکربوری

از زمان پیدایش و شناخت منابع معمول انرژی بعنوان شاه‌رگ اقتصادی جوامع امروز، از روشها و شیوه‌های متفاوت اکتشافی و استخراجی استفاده شده است. لذا، با گذشت زمان و رو به اتمام نهادن این منابع و همچنین نیاز روز افزون به تأمین انرژی، استفاده از گزینه‌های اکتشافی غیر متعارفی همانند: شیل، ماسه‌های قیردار و... با استفاده از تکنیک‌های نوین ژئوشیمی آلی، میتواند اصلی بسیار ضروری و مهم تلقی شود. در این بخش به اهمیت زغالخیزی و هیدروکربورزایی شیل‌ها بویژه شیل‌های سیاه و زغالدار منطقه مورد مطالعه، می‌پردازیم.

### ۵-۳-۱- اهمیت زغالخیزی

زغالسنگ از دیرباز بعنوان یکی از منابع انرژی و ستون اصلی زندگی صنعتی به شمار می‌آمده است. از مهمترین کاربردهای انواع زغالسنگ میتوان به تأمین انرژی سوخت نیروگاه‌ها و تهیه کک جهت صنایع فولاد سازی و فرو آلیاژسازی اشاره کرد که حدود ۷۰ درصد کاربردهای آنرا به خود اختصاص می‌دهند. تولید گاز هیدروژن، تبدیل زغالسنگ به سوخت مایع، تولید کربن فعال که بویژه در تصفیه آب، سفیدسازی شکر، بی رنگ سازی محلول‌های پاک کننده و... به کار می‌روند، تولید سرامیک‌های مدرن نسوز، تولید کودهای کشاورزی بویژه نوع لیگنیتی که باعث افزایش کیفیت خاک می‌شود و تولید کربن خالص جهت تهیه گرافیت و الماس مصنوعی از جمله سایر کاربردهای نوین و قابل توجه زغالسنگ بعنوان منبعی با ارزش و استراتژیک میباشد. بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی (IEA)، کل ذخایر قطعی و احتمالی زغالسنگ دنیا (کک شو و حرارتی) تا پایان سال ۲۰۰۵ معادل ۹۸۵ میلیارد تن برآورد شده که آمریکا با ۲۶۶ میلیارد تن، بزرگترین منابع را با در دست داشتن ۲۷ درصد کل منابع زغالسنگ دنیا دارا میباشد. روسیه با ۱۷ درصد ذخایر زغالسنگ در رتبه دوم و چین با ۱۳ درصد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. ایران از نظر ذخایر زغالسنگ آنتراسیت و بیتومینه در جهان رتبه ۱۲ را دارا بوده، منتهی با تولید ۱/۹ میلیون تن زغالسنگ خام از معادن فعال خود، در رده‌بندی جهانی در

مقام چهلیم قرار گرفته است. این امر نشان‌دهنده عدم رشد سرمایه‌گذاری مناسب کشور در امور معدنکاری زغالسنگ می‌باشد، بطوریکه می‌دانیم هم‌اکنون در ایران منبع اصلی انرژی، نفت و گاز بوده و در آینده انرژی هسته‌ای و سایر انرژی‌های نو می‌باشد و احتمالاً نیاز آینده به زغالسنگ به بخش‌هایی از صنایع فولادسازی و فروآلیاژسازی محدود و محصور می‌شود. در جداول ۵-۱۱ و ۵-۱۲ مقدار مصرفی زغالسنگ در این دو صنعت نشان داده شده است. کرمان، البرز شرقی، البرز مرکزی، البرز غربی و طبس از دارندگان اصلی حوضه‌های زغالخیز ایران (جدول ۵-۱۳) بشمار رفته که بر اساس اطلاعات شرکت ملی فولاد ایران، ۱۳۷۵، منطقه زغالدار طبس، بویژه ناحیه مزینو بزرگترین منطقه‌ی دارای پتانسیل زغالسنگ حرارتی در کشور با ذخیره احتمالی ۱۴۳۰ میلیون تن به شمار می‌آید. انرژی حرارتی انواع مختلف زغالسنگ در کشور، اعم از کک شو و حرارتی بین ۶۰۰۰ تا ۸۹۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم می‌باشد و میانگین تولید زغالسنگ در کشور طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۷۶ معادل با ۲/۱ میلیون تن در سال گزارش شده است (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور)، در جدول ۵-۱۴ جایگاه مهم حوضه البرز شرقی (منطقه مورد مطالعه) را در تأمین زغالسنگ کشور نشان می‌دهد. زغالسنگ‌های منطقه مورد مطالعه نیز از جمله مناطق اصلی تأمین‌کننده نیاز کشور بویژه شرکت ذوب آهن اصفهان به شمار می‌آید، بطوریکه نوع مرغوب آن در تهیه پیلها و باطری‌های کک سازی به کار رفته و به آن دسته از زغال‌هایی که به دلیل افزایش خاکستر، کم ارزش می‌شوند، زغال مرغوب و مکمل اضافه می‌گردد که همین امر کاربرد آنها را در صنایع مختلف بالا می‌برد.<sup>۱</sup>

---

<sup>۱</sup> شرکت زغالسنگ البرز شرقی، ۱۳۶۰

جدول ۵-۱۰- واردات و صادرات زغالسنگ ایران در سال ۱۳۸۲ به تفکیک انواع زغالسنگ (ماهنامه ترازنامه انرژی، ۱۳۸۲)

شرح	وزن (تن)	ارزش ریالی (میلیون ریال)	ارزش دلاری (هزار دلار)
<b>واردات:</b>			
آنتراسیت بهم فشرده نشده	۱۷۹/۸	۵۷۷/۱	۷۲/۹
زغالسنگ قیری بهم فشرده نشده	۱۶/۰	۶۶/۹	۸/۴
سایر زغالسنگهای بهم فشرده نشده	۹۴۶۶۰۰/۸	۵۱۰۲۴۰/۲	۶۴۴۲۴/۳
زغال نارس (تورب)	۳۰۶/۵	۴۹۷/۷	۶۲/۸
زغالسنگ لینیت، زغال قرع، کک و نیمه کک	۳۳۳۰۹۳/۸	۴۴۹۷۵۸/۸	۵۶۷۸۷/۷
کل واردات	۱۲۸۰۱۹۶/۹	۹۶۱۱۴۰/۷	۱۲۱۳۵۶/۱
<b>صادرات:</b>			
زغالسنگ قیری بهم فشرده نشده	۶۹۶۱/۹	۱۱۸۹۵/۷	۱۵۰۲/۰
سایر زغالسنگهای بهم فشرده نشده	۱۲۳۷۸/۹	۲۸۲۰/۲	۳۵۶/۱
لینیت بهم فشرده	۷۸۵/۷	۱۸۱/۷	۲۲/۹
زغالسنگ لینیت، زغال قرع، کک و نیمه کک	۸۳/۸	۳۷/۸	۴/۸
کل صادرات	۲۰۲۱۰/۳	۱۴۹۳۵/۴	۱۸۸۵/۸

جدول ۵-۱۱- مقدار مصرف زغالسنگ در کارخانه ذوب آهن اصفهان طی سالهای ۸۲-۱۳۷۵ (تن)

سال	مقدار زغالسنگ وارداتی مصرفی	مقدار زغالسنگ داخلی مصرفی (کنستانتیره)	جمع زغالسنگ مصرفی
۱۳۷۵	۶۱۵۶۳۲	۷۶۶۹۵۷	۱۳۸۲۵۸۹
۱۳۷۶	۶۸۵۱۸۷	۷۹۶۳۴۰	۱۴۸۱۵۲۷
۱۳۷۷	۷۰۳۹۰۸	۸۷۴۲۵۸	۱۵۷۸۱۶۶
۱۳۷۸	۷۲۹۹۲۰	۸۵۶۷۲۳	۱۵۸۶۶۴۳
۱۳۷۹	۶۹۵۱۱۸	۸۹۷۲۴۲	۱۵۹۲۳۶۰
۱۳۸۰	۶۹۳۳۷۵	۸۸۸۵۶۲	۱۵۸۱۹۳۷
۱۳۸۱	۶۵۳۲۲۴	۸۹۹۵۵۷	۱۵۵۲۷۸۱
۱۳۸۲	۶۱۵۷۳۳	۸۸۵۹۷۱	۱۵۰۱۷۰۴

جدول ۵-۱۲- میزان مصرف زغالسنگ شسته شده و کک تعدادی از واحدهای صنایع فرو آلیاژ (هزار تن)

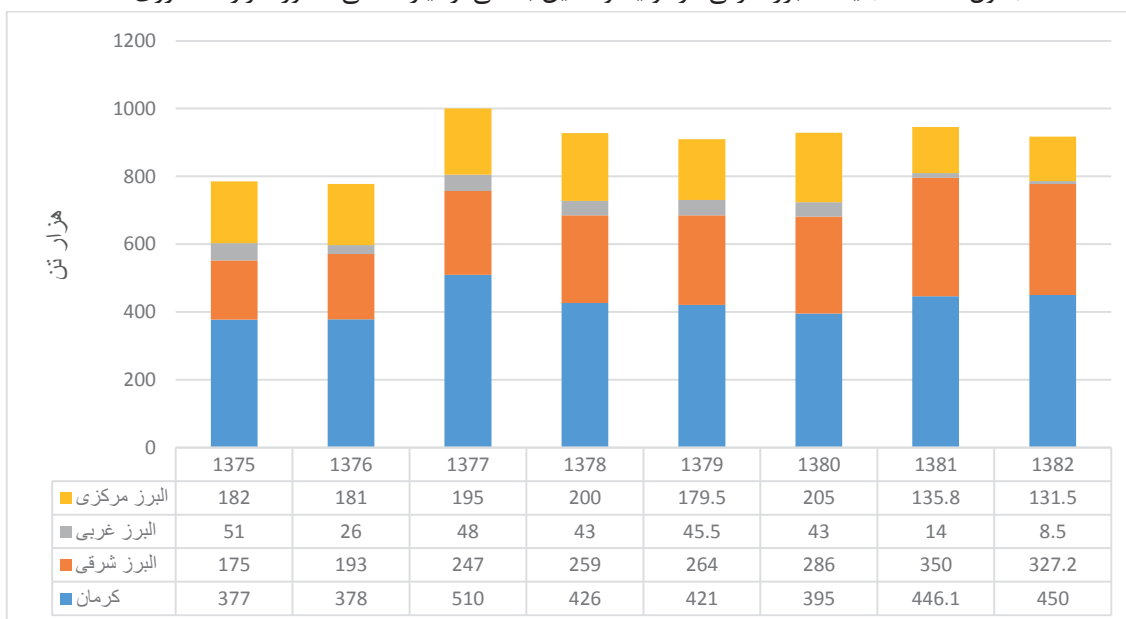
شرح	زغالسنگ شسته شده	کک	جمع
شرکت صنایع فرو آلیاژ (آزنا)	۱۵	۱۰	۲۵
فروسیلیس ایران (سمنان)	۱۵	۱۰	۲۵
طرح توسعه فرو آلیاژ ازنا	۲۳	۱۵	۳۸
طرح توسعه فرو کروم سبزوار	۱۰	۷	۱۷
فرو کروم فاریاب	۱۵	۱۰	۲۵
فرو آلیاژ بندر قشم	۲۳	۱۵	۳۸
جمع	۱۰۱	۶۷	۱۶۸

جدول ۵-۱۳- مناطق عمده زغالخیز ایران (حیدری، ۱۳۹۱)

نام ناحیه / منطقه	ذخایر قطعی	ذخایر احتمالی	ذخایر ممکن	کل باقیمانده ذخایر
کرمان	۲۰۶,۱	۱۰۶	۱۱۲۵	۱۴۳۷,۱
البرز مرکزی (مشمول بر طرح گلندرود)	۱۳۸,۵	۴۹۷	۱۹۴۷	۲۵۸۲,۵
البرز شرقی	۱۷,۸	۱۰۱	۱۴۵	۲۶۳,۸
طیس	۱۹۱	۴۵۹	۶۰۰	۶۶۵,۰
جمع	۵۵۵,۴	۱۱۶۶	۹۲۱۷	۱۰۹۳۸,۴

ذخایر اعلام شده بر اساس آمار سال ۱۳۸۱ می‌باشد.

جدول ۵-۱۴- جایگاه البرز شرقی در تولید و تأمین بخشی از نیاز داخلی کشور (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۲)



### ۵-۳-۲- اهمیت گاز و نفت خیزی

علاقتمندی بسیاری از زمین‌شناسان و بویژه ژئوشیمی دانان جهت بدست آوردن منابع هیدروکربنی

از حوضه و سنگهای رسوبی قدمتی طولانی دارد (سنگهای رسوبی مستعد بسیاری از فاکتورهای کنترل

کننده خصوصیات سنگ منشاء هیدروکربنی و سایر عوامل مسئول در افزایش تجمع و حفاظت مواد آلی نسبت به سایر منابع می‌باشند)<sup>۱</sup>.

در دو دهه گذشته علیرغم وجود منابع عظیم انرژی، همانند: زغالسنگ، گاز، هیدروالکتریک، انرژی هسته‌ای و ... باز هم پترولیوم بزرگترین منبع سوختی برای بشریت بوده است که متأسفانه جزء منابع هیدروکربنی محدود به شمار آمده و به سرعت در حال کم شدن می‌باشد.<sup>۲</sup> کارهای آینده به منظور اکتشاف بر پایه تلاش جهت بازیافت حدود BPL ۱۰۰۰ منابع کشف شده باقی‌مانده و تحقیقات پیشرفته در حیطه سنگهای رسوبی ریزدانه همانند شیل سیاه به عنوان یک منبع جایگزین<sup>۳</sup> برنامه‌ریزی شده است.<sup>۴</sup>

بیشتر مواد ارگانیکی درون شیل‌ها، ساپروپیل دانه‌ریز شامل بقایای فراوانی از فیتوپلانکتونیک، زئوپلانکتونیک، اسپور - پولن و ذرات ماسرالی گیاهی است که در طی تدفین و دیاژنز این مواد آلی، تغییرات پیچیده‌ای را متحمل شده و در نهایت بقایای نامحلول جامدی را به نام کروژن شکل می‌دهند. محتوای کربن آلی شیل و گلسنگ بین ۱ تا ۲/۲ درصد در تغییر است که این میزان در شیل‌های سیاه و زغالی می‌تواند به بیش از ۱۰ درصد هم برسد.<sup>۵</sup> بر طبق زمان‌های زمین‌شناسی، شیل‌های نفتی در مکان‌های متنوع رسوبی ته‌نشست کرده‌اند. تنها در ایالات متحده آمریکا، منابع شیل نفتی به بیش از BPL ۲۰۰۰ می‌رسد که حدود ۱۳۰ برابر مخازن معمول و شناخته شده نفت در آمریکا می‌باشد (دارنده بزرگترین تجمعات شیل نفتی در دنیا).<sup>۶</sup>

---

<sup>۱</sup> Wingall, 1994

<sup>۲</sup> Townes, 1993

<sup>۳</sup> Alternative

<sup>۴</sup> Posamentier & Weimer, 1993

<sup>۵</sup> Tissot & Welte, 1984

<sup>۶</sup> Russell, 1990

سازند گرین‌ریور حوضه پسینس<sup>۱</sup> شمال کلرادو و بویژه بخش های کنتاکی، تنسی، اوتا و وایومینگ<sup>۲</sup> مرتبط با آن در ایالات متحده آمریکا، ایالات سائوپائولو<sup>۳</sup> برزیل، شیل‌های ناحیه چاتانوگا<sup>۴</sup> هندوستان از جمله بزرگترین منابع شیل نفت و گاز در کل دنیا به حساب می‌آیند<sup>۵</sup>. در حال حاضر شیل‌ها فقط با حجم حدود ۲۵ تا ۶۰ گالن آنهم بصورت تجاری اکتشاف می‌شوند که با پیشرفت تکنولوژی در آینده ممکن است بهره‌برداری اقتصادی از آنها افزایش یابد<sup>۶</sup>.

در ایران نیز، مطالعات منابع هیدروکربورزایی جدید، سابقه‌ای چندان طولانی ندارد، بطوریکه مطالعات تکمیلی بر روی شیل‌های سازند شمشک حوضه البرز در سال ۱۳۸۶<sup>۷</sup> صورت پذیرفت. در حال حاضر، در بخش‌های از ایران مرکزی، دریای خزر و... این مطالعات در دست بررسی و تحقیق میباشد. بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز دستگاهی پیرولیز راک-اول که کاربرد فراوانی در مطالعات ژئوشیمی آلی دارد، اکثریت نمونه‌های شیلی سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه از لحاظ پتانسیل هیدروکربورزایی در مرحله گاززایی بویژه تولید گاز خشک قرار گرفته و دیگر نمیتوان به آنها نوعی شیل گازی اطلاق کرد (واژه شیل زغالی بهترین گزینه انتخابی است). گرچه در برخی از نمونه‌ها این پتانسیل و بلوغ حرارتی همچنان پایین و غیر قابل قبول است (شیل سبز). تعداد اندکی از نمونه‌ها (شیل سیاه) نیز دارای بلوغ حرارتی مناسب در حد ورود به پنجره نفت زایی/گاززایی بوده و احتمالاً با توجه به ماده آلی غنی و بلوغ حرارتی مناسب بتوان آنرا شیل گازی به حساب آورد.

---

<sup>۱</sup> Piceance

<sup>۲</sup> Kentucky, Tennessee, Utah, Wyoming

<sup>۳</sup> Sao Paulo

<sup>۴</sup> Chattanooga

<sup>۵</sup> Russell, 1990

<sup>۶</sup> همان

<sup>۷</sup> شکاری‌فرد و همکاران



## ۵-۴- سایر کاربردهای شیل (کاربردهای صنعتی)

استفاده از تولیدات زباله‌های خشک شیل نفتی که در طی فرآوری و استخراج آنها حاصل می‌شود، در تهیه خاکه شیل<sup>۱</sup>، تهیه سولفور عنصری اصلاح شده (کاربرد در صنعت کشاورزی)، تولید سرباره‌های بیولوژیکی، کربن‌زدایی جهت بکارگیری در تولید سیمان (جانشین سیمان درجه پایین) و کاربرد فراوان در صنایع پتروشیمی - پالایشی همانند: تولید واکس، آسفالت، روان کننده و ... (از ترکیب اجزای شیل نفتی با مولکول‌های سنگین وزن، رزین با نقطه ریزش پایین و غلظت‌های بالای گروه‌های بنیادین حاصل می‌شوند) کاربرد فراوانی دارد.

استفاده عملی این عناصر در صنایع مختلف ساختمان‌سازی - تولید سرامیک و آجرهای شیلی از جمله جنبه‌های صنعتی مطلق در انواع شیل برشمرده می‌شوند. بکارگیری از منابع عنصری شیل (بویژه نوع اندوژنیک و غیرمرتبط با کانه‌زایی و فعالیت‌های ماگمایی و ...) با وجود ذخایر عظیم همانند پورفیری، اسکارنی، هیدروترمال و ... در حال حاضر چندان اقتصادی نیست، لیکن با پیشرفت تکنولوژی و افزایش روزافزون دانش استحصال - فرآوری و کانه‌آرایی، می‌توانند از گزینه‌های اصلی ذخایر عنصری آینده به شمار آیند.

## ۵-۵- نتیجه‌گیری

اهمیت زغالخیزی شیل‌های سازند شمشک حوضه زمین‌ساختی البرز، بویژه البرز شرقی، از دیرباز مورد توجه بسیاری از کارشناسان بوده است، بطوریکه در زغالسنگ منطقه مورد مطالعه، نوع کک‌شوی آن مرغوبیت داشته و بخشی از نیاز تولیدی کشور را برآورده می‌سازد. نتایج آنالیزهای عنصری و ژئوشیمی آلی، ICP, ICP-MS و پیرولیز راک-اول شیل‌های منطقه مورد مطالعه و همچنین بهنجارسازی آنها توسط موارد مرجع، به اهمیت مطالعاتی شیل‌های سیاه و زغالی اشاره دارند. برهمین اساس، در زمینه

<sup>۱</sup> Fines Shale

ذخیره عنصری، آنومالی عناصر جزئی همانند آرسنیک و منگنز، عناصر پرتوزاء (اورانیوم و توریوم) و بویژه عناصر نادرخاکی سبک (لانتانیوم و سریوم) در شیل‌های سیاه و زغالی سازند شمشک منطقه مورد مطالعه، نسبت به موارد مرجع، قابل توجه است. از بُعد ذخایر هیدروکربورزایی نیز، نمونه‌های شیلی مطالعه شده، قابلیت سنگ منشاء مناسب را داشته و اکثر آنها به نوع IV و III تعلق داشته و در مرحله ورود به مرحله انتهایی کاتاژنز / گاز خشک هستند. شیل‌های سبز نیز، بلوغ حرارتی و مقدار ماده آلی کمتری را نشان داده و هیچ گونه آنومالی خاص عنصری را از خود بروز ندادند.

## نتیجه گیری و پیشنهادات

---

## نتایج

بر اساس بررسی‌های صحرایی، مطالعات معدنی (پتروگرافی و ژئوشیمی معدنی) و مطالعات ژئوشیمی آلی نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان نتایج زیر را استنباط کرد:

۱- کانی‌شناسی تیپیک شیل‌های منطقه مورد مطالعه، اشاره به حضور شاخص کانی‌های کوارتز، ایلیت و فلدسپار به عنوان فاز اصلی و همچنین اکسید و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، لیمونیت و ... در هر سه نوع شیل سیاه، سبز و زغالی سازند شمشک دارد. زیرکن، دولومیت، کانی‌های سولفیدی (پیریت)، مسکوویت و کلریت از جمله عناصر فرعی سازنده شیل‌های سیاه و زغالی در منطقه به شمار می‌آیند. ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک به نوع آرکوزی (احتمالاً ساب‌آرکوز) تعلق داشته که به سمت بالای توالی، بصورت نازک و ریزشو دیده می‌شوند. ترکیب ماسرالی زغالسنگ‌های منطقه مورد مطالعه نیز به حضور بالای ویتترینیت (بین ۷۰ تا ۹۰ درصد)، اینترنینیت و لیپتینیت (کمتر از ۷ درصد) اشاره می‌کنند.

۲- بهنجارسازی شیل‌های سیاه و زغالی منطقه مورد مطالعه نسبت به موارد مرجع UC، UCC، میانگین جهانی شیل و ... آنومالی عنصری Mn، U، Th، As، عناصر نادرخاکی بویژه Ce و La را در آنها نشان داده که علاوه بر اهمیت مطالعات اقتصادی و ژئوشیمیایی، ملاحظات زیست محیطی را نیز می‌طلبند. شیل‌های سبز نیز هیچگونه آنومالی خاص را نشان ندادند.

۳- مطالعات صحرایی، پتروگرافی و دیاگرام‌های ژئوشیمیایی حاکی از منشاء گرفتن شیل‌های منطقه مورد مطالعه از منابع فلسیک با منشاء گرانودیوریت داشته که متحمل هوازدگی شدید در ناحیه منشاء گشته‌اند (CIA = 79/37%).

۴- در بخش ژئوشیمی آلی، نتایج زیر قابل پیگیری است:

از لحاظ بلوغ، مواد آلی در سازند مورد مطالعه طیفی از بالغ تا فوق بالغ را در برمیگیرند که نمونه‌های تیره‌تر (شیل سیاه و زغالی) از بلوغ بالاتری برخوردار هستند.

موقعیت نمونه‌ها در نمودار ون کرولن بیشتر به کروژن تیپ III و IV اشاره داشته و اکثر نمونه‌های شیلی از لحاظ پتانسیل تولید در زون گازی / گاز خشک قرار گرفته‌اند، گرچه موارد اندکی نیز شامل ورود به مرحله نفت / گاز (شیل سیاه - دارای توان مناسب هیدروکربن‌زایی) می‌شوند.

محیط قاره‌ای اکسیدان، نشانگر رخساره آلی در بیشتر نمونه‌های منطقه مورد مطالعه است و در نهایت، این سازند پتانسیل مناسب جهت مطالعات سنگ منشأ هیدروکربنی را دارا می‌باشد.

۵- بسیاری از کانسارهای بزرگ ذخایر عنصری دنیا همانند: Cu, Pb, Zn کوپرشیفر آلمان، کانسارهای سدکس Zn-Pb پالئوزوئیک کانادا، کمربند Co-Cu زامبیا آفریقا و ... با میزبان سنگ‌های رسوبی بویژه شیل‌ها هستند، اگر چه شیل‌های منطقه مورد مطالعه قابل مقایسه با بسیاری از کانسارهای بزرگ نیستند اما مطالعات بیشتر بویژه در زمینه‌ی آنومالی عناصر نادرخاکی سبک و عناصر جزئی می‌تواند از اهمیت بالای اقتصادی برخوردار باشد.

۶- معدنکاری زغالسنگ در منطقه از جمله علل اصلی و مهمی است که علاوه بر افزایش حساسیت شیل‌های منطقه در برابر عوامل فرسایش و هوازدگی، منجر به تخریب ساختار آنها، بویژه تخریب مواد آلی، ایجاد کانی‌های ثانویه همانند ژیپس و همچنین آزادسازی بسیاری از فلزات و عناصر سنگین به محیط‌زیست می‌گردد.

با توجه به آنومالی بسیاری از عناصر با ارزش همانند اورانیوم، زیرکن و ...، اهمیت مطالعات اقتصادی و به تبع آن زیست محیطی و ژئوشیمی در حیطه‌ی شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه، محسوس و با ارزش است. شیل‌های سیاه و زغالی علاوه بر آنکه پتانسیل گاززایی مناسب را داشته، از لحاظ غنی‌سازی عنصری نیز حائز اهمیت می‌باشند، لذا پیشنهاد می‌گردد که از آنجائیکه هیچ‌گونه پژوهشی تکمیلی و اولیه آلی و معدنی بر روی شیل‌های سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته، به صورت اختصاصی به آنها پرداخته شود



## منابع

---

## منابع فارسی

- ۱- آقاباتى س.ع. (۱۳۷۳) "چینه شناسی ژوراسیک ایران" جلد اول، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۳۵۵ صفحه
- ۲- آقا نباتی س.ع. (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۴۵۵ صفحه
- ۳- آقاباتى س.ع.، سیدامامی (۱۳۷۱) "معرفی رویداد زمین ساختی سمیرین میانی (ژوراسیک میانی)" فصلنامه علوم زمین، شماره ۶.
- ۴- اثنی عشری ا.، اسماعیلی د.، رحیم پوربناب ح. (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی ژئوشیمیایی کانسار بوکسیت جاجرم با نگرشی ویژه به ژئوشیمی عناصر کمیاب".
- ۵- تاکر ا.م. (۲۰۰۲)، "سنگ شناسی رسوبی" مترجم: حرمی س.ر و محبوبی ا.ا، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۹۳ص.
- ۶- حیدری ح. (۱۳۹۱) "تکتونیک زغالسنگ ایران" اولین کنگره ملی زغالسنگ.
- ۷- خبازیان ا. و مرادیان ع. (۱۳۸۹)، "بررسی اثرات زیست محیطی عناصر نادر خاکی در معدن سنگ آهن چغارت، بافق" چهارمین همایش تخصصی مهندسی زیست محیط.
- ۸- ربانی ط.، تقی پور ن. و اهری پور ر. (۱۳۹۱) "بررسی شرایط محیط دیرینه لایه های زغالسنگی ناحیه زغالدار قشلاق، البرز شرقی"
- ۹- ربانی م.ر. (۱۳۹۲) "زمین شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج فارس" انتشارات دانشگاه تفرش، ۵۸۴ص.
- ۱۰- رحیمی ب. (۳۸۱) پایان نامه دکتری: "دانشگاه شهید بهشتی"، مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، ۲۰۸ صفحه.
- ۱۱- رحیمی ب.، شهریاری س. و موسوی هرمی ر. (۱۳۸۲) "ساختار و تکامل ساختاری البرز در راستای مقطع دامغان، گرگان" مجله علوم دانشگاه تهران، جلد بیست و نهم، شماره ۱ (۵۲-۲۳)
- ۱۲- رحیمی م.، دهرآزما ب.، خدادی ا.، فردوست ف. (۱۳۸۷) "بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی و تغییرات عناصر در منابع آبی مجموعه معدنی طزره".
- ۱۳- رضایی م. ر. (۱۳۸۷) "زمین شناسی نفت".
- ۱۴- رقیمی م. (۱۳۸۶) "مقدمه ای بر کانی های رسی" انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.



- ۱۵- زمانی ز ، کمانی م.ر. و رحیم پور ح ، (۱۳۷۸) " ارزیابی سازند شمشک ( البرز مرکزی ) بعنوان سنگ منشأ احتمالی نفت و گاز دریای خزر " سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ، صفحات ۳۲۴ - ۳۲۸."
- ۱۶- سازمان نقشه‌برداری کشور، وزارت راه و ترابری، (۱۳۹۱) "نقشه راه‌های کشور".
- ۱۷- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "نقشه گسل‌های فعال ایران".
- ۱۸- سام م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در رسوبات دریاچه مهارلو از دیدگاه زیست‌محیطی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.
- ۱۹- سپه‌وند س. (۱۳۸۹) "مطالعه ژئوشیمیایی شیل‌های سیلورین و ذخایر گازی گروه دهرم" اکتشاف و تحلیل، شماره ۷۰.
- ۲۰- سبحانی ف. (۱۳۹۰) "زمین‌شناسی نفت".
- ۲۱- سویزی م.ر. و باکویی م، (۱۳۸۷) "تهیه اکسید لانتانیم از منابع معدنی ایران" همایش ملی مواد نو.
- ۲۲- سید امامی ک ، شفیع‌زاده، م، (۱۳۷۶)، "سنگ چینه‌شناسی و زیست چینه‌شناسی سازند دلیچای در باختر شاهرود" پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، شماره ۵۷.
- ۲۳- شرکت زغالسنگ البرز شرقی (۱۳۶۰) "اکتشاف نیمه تفضیلی منطقه دهمل" آرشیو بخش اکتشاف.
- ۲۴- شکاری فرد ع. ، سید امامی ک.، بدن ف، (۱۳۸۶) "ژئوشیمی و پتروگرافی آلی سازند شمشک در البرز شرقی، شمال ایران".
- ۲۵- عابدی آ ، دهرآزما ب، (۱۳۸۷) " منشأ و توزیع آلودگی آرسنیک در محیط زیست و روش های جدید پاکسازی آن " دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
- ۲۶- قربانی ب. و کمالی م. ر ، (۱۳۸۵) " ژئوشیمی آلی، از فیتوپلانکتون تا تولید نفت".
- ۲۷- کاووسی م ع ، دریابنده م. ، جمالی ا.م. ، بافری تیر تاشی ر. و عبادیان، ح. (۱۳۹۰) " پی جویی مقدماتی منابع هیدروکربوری غیر متعارف ایران " مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، گزارش شماره TR ۱۹۱۴.
- ۲۸- کشانی ف. ، کیهانی ع. ، گیاهی یزدی ح. و اشکان ف ، (۱۳۸۲) "نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور".

- ۲۹- گیاهی یزدی ح.ر.، (۱۳۷۸) "سنگ‌شناسی و محیط‌رسوبی سازندهای دلیچای و لار در کوه شرق سمنان (البرز شرقی)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران-شمال، ۶۸ صفحه.
- ۳۰- شرکت زغال سنگ البرز شرقی (۱۳۵۹) "مجموعه اطلاعات و گزارشات اکتشاف نیمه تفصیلی زغال سنگ در ناحیه دهملا".
- ۳۱- سازمان بهره‌وری انرژی ایران (۱۳۹۲) "مجله تراز نامه انرژی"، بخش پنجم، سوخت‌های جامد.
- ۳۲- میر باقری ر، امینی ع.ح.، طاهری ع.ا. و مبشری ع.، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مشخصات سنگ شناسی، محیط رسوبی و سکانی استرتی گرافی سازند شمشک در ناحیه خوش بیلاق شمال شرق شاهرود".
- ۳۳- نجفی م.، محبوبی ا.، ابوطالبی ر و یازرلو م.، (۱۳۸۲) "مطالعه فسیل های گیاهی رسوبات سیلیس آواری ژوراسیک زیرین - میانی شمالشرق نیشابور" نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صفحات ۴۹۴ - ۵۰۴.
- ۳۴- وزیری ح. و مجیدی فرد. م.، (۲۰۰۱) "نقشه ی ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود".
- ۳۵- ولد ب.، (۱۳۸۶) "مقدمه‌ای بر کانی های رسی، شیمی، منشأ، کاربرد و اهمیت زیست‌محیطی" مترجم: دکتر رقیمی م.
- ۳۶- هز آوه‌ای ه.، جلالی پور ع.، طاووسی س.، (۱۳۸۷) "بررسی اقتصاد و زیست‌محیط روش-های تولید نفت از سنگ‌های نفتی" سمینار تخصصی نفت، گاز و محیط‌زیست.
- ۳۷- یزدانی ر.، (۱۳۹۱) "مخازن نفت شیل و منبعی عظیم در تأمین انرژی آینده".
- ۳۸- یعقوب پور ع.م.، (۱۳۸۳) "اصول زمین‌شناسی ذخایر معدنی" چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ص ۴۵۱.

## Reference

- 1- Abdula R.(2010) “**Petroleum Source rock analysis of the Jurassic sargelu formation, Northern Iraq**”.
- 2- Akande W.G.N., (2012) “Evaluation of Hydrocarbon Generation Potential Of the Mesozoic organic-Rich Rocks using Toc content and Rock-Eval pyrolysis Techniques” **Geosciences**, 2(6), pp 164-169.
- 3- Alavi M., (1996) “**Tectono stratigraphic synthsis anol structural style of The Alborz Mountain system in The Northern Iran .journal of Geodynamics**” , 21 : 1 , pp.33.
- 4- AllenBach f. (1966) “Geologie and petrography des Damavand und seiner umgebarg (zentral Elburz)” iran , Mitteilang Nr , 63 , **Geologisches Institut** , ETH – Zurich , 114 pp
- 5- Amidi A. , MagidiJ. (1977) “geological map of hamedan”. Scale:1/250,000.**geological and mineral survey of iran**,one sheet.
- 6- Anke M., GeA C.K., Gmbh N., (2004), “Elements and their compounds in the environment”. V. V, PP. 886-875.
- 7- Arthur J.D.,Bruce .E.,Langhus P.G.,(2008) “An overview of modern shale gas development in the united states”. **A consulting**, 21 pp.
- 8- Assereto R. “(1966\_ Geological Map of upper Djadjerud and lar valleys (central Elburz , Iran ) with explanatort Notes”. **Institute of Geology** . university of Milan , 86 pp.
- 9- Assereto R. (1983) “The paleozoic formation in central elburz (Iran)” (preliminary Nate), **Riv . paleotology and stratigraphy** 69 : pp 503 . 545 .
- 10- AYLMOORE L. A. G. , QUIRK J. P. (1960) “Domain or Turbostratic Structure of Clays” **Nature** 187, pp 1046 - 1048.
- 11- Barker C.,(1974) “pyrolysis techniques for source rock evaluation” **the AAPG Bulletin**. 58, pp 2349-2361
- 12- Barnard P.D.W. (1967) “Flora of the Shemshak Formation. Part 2. Liassic plants form shemshak and Ashtar” **Riv. Ital. Paleont.** Start., 73(2), pp 539-589, Milano.
- 13- Barnes, C.E., Cochran, J.K., (1990), “Uranium removal in oceanic sediments and the oceanic U balance”, **Earth and Planetary Science Letters**, Volume 97, Issues 1–2, February 1990, pp 94–101.
- 14- Bhatia M. R. (1983) “Plate Tectonics and geochemical Composition of Sandstones”. **Journal of Geology**. 91, pp 611-627.
- 15- Bhattacharya p. , Smith E. , et al. (2002) “Arsenic in the environment: A Global perspective”
- 16- Bhattacharya p. , jacks G. , et al. (2002) “Arsenic in Ground water of the Bengal Delta plain aguifers in Bangladesh”
- 17- Birdwell j. E (2012) “Review of rare earth element concentrations in oil shale of the Eocene- Green River formation” **USGS**.
- 18- Boggs S. (2001) “Principles of Sedimentology and Stratigraphy (third edition): Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall”, pp321-447.
- 19- Boggs, S. Jr., (2009), “**Petrology of sedimentary Rocks**”
- 20- Bostrom K,(1973), “The origin and fate of ferromangan on active ridge sediments” **Stockholm Contrib Geol** 27, pp 149-243
- 21- Bradl H. (2005) “**Heavy metal in the environment**” Vo. 1.

- 22- Brandik K. , Muller A.S. and et al. (2004) “Influence of manganese deficiency on manganese enzyme activity and gene expression in growing rates”
- 23- Bunnell J. E. (2007) “A globally emerging discipline, *geologica Acta*” ,vol .5, N.3, pp.273-281
- 24- Cassa M.R, Peters K.E, (1994) “Applied source rock Geochemistry” **The petroleum System From Source to trap: AAPG Memoir 60**
- 25- Chen T.B. , Zheng Y. M. , et al. (2005) “Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in 170ppsala” china.
- 26- Clark, A. M. (1984) “Mineralogy of The rare elements. In Rare earth element Geochemistry” **Developments in Geochemistry, Z. Elsevier. PP. 33-61.**
- 27- Cluff, R. M. , Shanley K.W. , Miller M.A. (2007) “Three things we thought we understood about shale gas, but were afraid to ask” The Discovery Group, Inc, Denver, CO (2) BP America Production Co, Houston.
- 28- Cook L.W., Breyer J.A., Kinely T.J,(2008) “Hydrocarbon potential of the Barnett shale (Mississippian), Delaware basin, west Texas and South Eastern New Mexico” **AAPG Bulletin, Vol.92, No.8, Pages 967-991**
- 29- Condie K. C. ,(1993), “Chemical Composition and evolution of The Upper Continental Crust, Contrasting Results From Surface samples and shales”. *Chem. Geol.*, 104, 1- 370.
- 30- Cullers R. L., (1994), “The Controls on the Major and Trace element Variation of shales” siltstones and Sandstones of Pennsylvanian-Permian age From uplifted Continental blocks in Colorado To Plat Form Sediment in Kansas, USA.***Geochimica et Cosmochimica Acta, 58 (22) , 4955-4972***
- 31- Curtis J.B.,(2002) “**Fractured shale gas system**” AAPG Bulletin 86(11). Pp 1921 – 1938.
- 32- Davies R.J.,Mathias S.A.,Moss J.,Hastoft S.,Newport L.,(2012) “Hydraulic fractures: how far can they go” **Marine and petroleum geology, 37(1)**, pp 1-6.
- 33- Dean, W., Arthur, M.A., Claypool, G.E., (1986), “Depletion of <sup>13</sup>C in Cretaceous marine organic matter: Source, diagenetic, or environmental sigal?” **Marine Geology**, Volume 70, Issues 1–2, February 1986, Pages 119–157.
- 34- Demaison, G., Huizinga, B.J., (1991), “Genetic Classification of Petroleum Systems (1)”, AAPG Bulletin, V. 75, Issue 10. (October), P 1626-1643.
- 35- Deru, Xu., Xuexiang, Gu., Pengchun, Li., Guanghao, C., Bin, X., Bachlinski, R., Zhuanli, H., Gonggu, F., (2007), “Mesoproterozoic–Neoproterozoic transition: Geochemistry, provenance and tectonic setting of clastic sedimentary rocks on the SE margin of the Yangtze Block, South China “ **Journal of Asian Earth Sciences**, Volume 29, Issues 5–6, 1 March 2007, Pages 637–650.
- 36- Dill H. (1986), “Metallogenesis of early Paleozoic graptolite shales From The Grae Fenthal Horst (Northern Bavaria-Federal Republic Of Germany)” **Economic Geology, 81, 889-903.**
- 37- Ding, A, cheng, L, Liu, p. teng, Y, (2001) “plant Response To metal Contamination at a oil shale Tailing site in Maoming, south, chin” **caround water menitoring & Remediation**
- 38- Dioison A., Segueria Braga M.A. (2009) “Clay minerals and iron oxides-oxy hydroxides as finger prints of firing effects in a limestone monument”
- 39- Eberl D. D., (1984), “Clay mineral formation and Transformation in Rocks and soil”
- 40- Engleman, E., Jackson, L., Norton, D.R., (1985), “Determination of carbonate carbon in geological materials by coulometric titration”, **Chemical Geology**, Volume 53, Issues 1–2, 20 December 1985, Pages 125–128

- 41- Espitalie J., Laporte J. L., Madec M., Marquis F., Le Plat P., Paulet J. and Boutefeu A. (1997) “Méthode Rapide de caractérisation des roches mères de leur potentiel pétrolier et de leur degré de dévaluation” **Français petrol 32 (1), 23-42.**
- 42- Fildani, A., Hanson, A.D., Chen, Z., Moldowan, J.M., Graham, S.A., Arriola, P.R., (2005), “Geochemical characteristics of oil and source rocks and implications for petroleum systems, Talara basin, northwest Peru” **AAPG Bulletin, V. 89, No. 11 (November 2005), P. 1519-1545.**
- 43- Finch, R., Murakami, T., (1999), “Systematics and paragenesis of uranium minerals”, **Reviews in Mineralogy and Geochemistry, January 1999, v. 38, p. 91-179.**
- 44- Force ER, Cannon WF, (1988). “Depositinal model for shallow marine manganese deposits around black shale basins”. **Econ Geol 83:93-117**
- 45- Foron R. (1941) “Géologie du plateau Iranien (Iran, Afghanistan, Balouchistan)” **Mémoires du Muséum National d'histoire Naturelle (Paris), t. 10, p. 1-100.**
- 46- Gaetani M. (1965) “The geology of the upper Djadgerud and its valleys (North Iran)”, **Journal of Paleontology, Brachiopods and Molluscs from Geirud Formation, Member Acupper Devonian and Tournaisian Riv, ital. paleont. Start., 21, 3, 679 – 771, figs. 68 – 75**
- 47- Glaeser M. (1965) “Die Geologie des Gebietes nordlich des” **Insst. E. T. H. U. Zurich, N. S., No. 48, 165 p, 35 fig, 2 pl, 1 carte.**
- 48- Gromet LP, Dymek RF, Haskin LA, Korotev RL, (1984) “The north American shale composite: its compilation, major and trace element characteristics” **Geochim Cosmochim Acta 48, 2469-2882.**
- 49- Harnois, L. (1988), “The CIW index: A new chemical index of weathering” **Sedimentary Geology, Volume 55, Issues 3–4, 28 March 1988, Pages 319–322.**
- 50- Hartwig A., Schulz H.M., (2010) “Applying classical shale gas evaluation concepts to Germany – part I: the basin and slope deposits of the Stassfurt carbonate in Brandenburg” **Chemie der Erde – Geochemistry 10, pp 77-91.**
- 51- Hallam A. (1977), “Anoxic events in the Cretaceous ocean” **Nature, pp. 15-160.**
- 52- Haxel G. B., Hedrick J. B. and Orris G. J. (2002), “Rare earth elements—Critical resources for high technology” **U.S. Geological Survey Fact sheet 087-02, 4 P.**
- 53- Hedrick J. B. (2001), “Mineral information” **Geological survey, U. S.**
- 54- Henderson P. (1984b), “General Geochemical Properties and abundances of the rare earth elements” **In rare Earth element Geochemistry, Developments in Geochemistry. 2, Elsevier, pp. 1-32.**
- 55- Hewitt M. (2007) “unconventional oil”
- 56- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., (1997), “Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada” **Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 61, Issue 19, October 1997, Pages 4115–4137.**
- 57- Hoatson D. M., Jaireth, S., Mieziotis, Y. (2011), “The major Resources element Deposits of Australia” **Geological setting, exploration, and Resources.**
- 58- Horsfield B., Schulz H.M and Wit M.D, (2009). “Shale Gasian unconventional Hydrocarbon resource in South Africa? Some preliminary observations” **11<sup>th</sup> SAGA Biennial technical meeting and exhibition Swaziland, 16-18, page 546.**
- 59- Hossainejad R.K., Pedersen R.J. and Spencer M.P.B. (2012) “Mineralogy, geochemistry and facies description of a potential Cretaceous shale gas in western Manitoba” **Manitoba geological survey, p. 151- 159.**
- 60- Hunt J.M. (1996) “petroleum geochemistry and geology” (2<sup>nd</sup> Ed) Pages 291-370

- 61- Ibrahim M.I.A., Hind H.A. and Al-Hitimi (2000) “Albian- cenomanian Palynology, palaeoecology and organic thermal maturity of well DK- B in the Dukhan oil field of Western Qatar ” **GeoArabian.5: 483-508**
- 62- Ji-min yi, Hyo-Taek chon, Min Park, (2003).” Migration and Enrichment of Arsenic in the Rock-soil- Crop plant system in Areas Covered with black shale”, **The scientific world journal, 194-205**, Korea.
- 63- Jen A.s., (1991). “Weathering of some Norwegian Alum shales: I, laboratory simulation to study acid generation and the release of sulphate and metal cations” **Acta Agric, scand**, vol. **41**, pp.13-35.
- 64- Jeng A.S., (1992). “Weathering of some Norwegian Alum shales: II, laboratory simulations To study The influence of Aging, Acidification and liming on heavy metal Release” **Acta Agric. Scand., sect. s, soil and plants Ci**, Vol. **42**, PP. **76-87**.
- 65- Jones J.H. (1994), “experimental Trace element Partitioning. In AGU Handbook of Geophysical Constants” **J, in press**.
- 66- Jones R.W. (1987) “organic facies, advances in petroleum geochemistry” **London Academic press. Vol.2** Pages **1-90**.
- 67- Kabata A., Arun P. and Mukharjee B., (2007) “Trace elements from soil to human”
- 68- Keller w. D. (1963) “Digenesis in clay minerals: A Review”
- 69- Kinniburgh D.G. and Smedley p. l. (2007) “A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters” **Applied geochemistry**.
- 70- Kowalski, W.R., (1978) “Critical analysis of Cambrian ichnogenus Plagiogmus Roedel” **Annales de la Societe Geologique de Pologne 48, 333-344**.
- 71- Lee j.s. and Kim k., (1998). “Migration and dispersion of trace elements in the rock-soil-plant system in areas underlain by black shale and slates of the o k chon zone, korea, journal of geochemical exploration” vol. **65**, pp. **61-78**.
- 72- Li, Y.-H., (2000), “A Compendium of Geochemistry: From Solar Nebula to Human Brain” **Princeton University Press, Princeton, New Jersey 0-691-00938-4**.
- 73- Liorens, J.F., Fernandez-Turiel, J.L., Aceñolaza, P., Medina, M.E., Sardi, F., (2001), “Assessment of a Smelter Impact Area Using Surface Soils and Plants” **Environmental Geochemistry and Health**, March 2001, Volume **23**, Issue 1, pp **65-78**.
- 74- Lissot , R.P & weite, b.H, (1984) “petroleum formation and occurrence, 2nd Ed . spriajev Berlin Heidelberg new York” **699** p.
- 75- Machemer, S.D., Reynolds, J.S., Laudon, L.S., Wildeman, T.R., (1993), “Balance of S in a constructed wetland built to treat acid mine drainage, Idaho Springs, Colorado, U.S.A.” **Applied Geochemistry**, Volume **8**, Issue **6**, November 1993, Pages **587-603**.
- 76- Mahjoor, A.S., Karimi, M., Rastegarlar, A., (2009) “Mineralogical and Geochemical Characteristics of Clay Deposits from South Abarkouh District of Clay Deposit (Central Iran) and Their Applications” **Journal of Applied Sciences, 9, 601-614**.
- 77- Marching V , Gundlach H, Moller P, (1982) “some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments” **Marine Geol 50, 241-256**
- 78- Martinelli G. “ petroleum Geochemistry” **Encyclopedia of life Supporsystems(EOLLS)**
- 79- Mc Carthy K. , Rojas K., Peters K., Niemann M., Stankiewicz A. and Palmowski D. (2011) “Basic petroleum Geochemistry for source Rock”
- 80- McLennan S. M., Taylor S. R. (1991), “Sedimentary Rocks and crustal evolution: Tectonic Setting and Secular Trends. Journal of Geology” **99, 1-21**.
- 81- Mills RA, Wells DM, Roberts S, (2001).”genesis of ferromanganese crusts from the TAG hydrothermal field” **Chem Geol 176, 283-293**

- 82- Morgan j. j., Stumm w., (1996). "Aquatic chemistry chemical Equilibria and rates in natural waters" 3d Ed. **New York, John Wiley sons, Inc.**
- 83- Mosaferi, et al., (2003) "Occurrence of arsenic in Kurdistan province of I.R.Iran"
- 84- Mukherjee A., et al., (2006) "Arsenic contamination in ground water: A global perspective with emphasis on the Asian scenario" pp.142-163.
- 85- Mukherjee, A.B., "Causes And effects of arsenic contamination Drinking water in 173ppsala173173o: A critical Review".
- 86- Muller, G., (1969) "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River" **Geojournal**.
- 87- Munn O D., et al., (1996) "Manganese and cobalt cytosine, and methy cytosine complex"
- 88- Nath B. N., Bau, M. Ramalingeswara Rao, B., Rao, Ch. M. (1997) "Trace and rare earth elemental Variation in Arabian Sea Sediments Through a Transect across The Oxygen Minimum Zone" **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 61 (12) 2265-2388.
- 89- Nesbitt H. W. and Young. G. M. (1982) "early Proterozoic Climates and Plate Motions inferred From Major element Chemistry of lutites. Nature" 299, 715-717.
- 90- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Ravenscroft, P., Burgess, W.G., Ahmed, K.M., (2000) "Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal" **Applied Geochemistry**, Volume 15, Issue 4, 1 May 2000, Pages 403–413.
- 91- Okunlola O. A., Idowu O. (2012) "The geochemistry of clay stone-shale deposits from The Maustritchian patti formation", south bida basin, Nigeria. *Earth sci-Res, Sj.* Vol. 16, No. 2, 57-67.
- 92- Pasley, M.A., Gregory, W.A., Hart, G.F., (1991), "Organic matter variations in transgressive and regressive shales", *Organic Geochemistry*, Volume 17, Issue 4, 1991, Pages 483–509.
- 93- Peters, K. E., (1986), "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis", *AAPG Bulletin*. V. 70, P. 318-329.
- 94- PettiJohn F. J. (1975), "Sedimentary Rocks". 3rd Edition, Harper and Row, Publishers, 628 P.
- 95- Posamentier, H.W., Weimer, P., (1993), "Siliciclastic Sequence Stratigraphy and Petroleum Geology--Where to From Here?: GEOHORIZONS", *AAPG Bulletin*, Vol. 77 (1993), Issue: 5. (May), P. 731-742.
- 96- Potter, P. E., Maynard, J. B., Pryor, A. W. (1980), "Sedimentology of shale"
- 97- Rad , F . K . (1986 ) "Ajurassic de Ha in The eastern Alborz ", NEiran . Jaur , petrolonm Geology , V . 9 , p . 281 – 294.
- 98- Ralph, E., Grim, (1968), "Clay mineralogy", (New York: McGraw Hill Book Co.).
- 99- Rice D. D., Claypool G. E. (1981) "Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas" **AAPG Bulletin**, Vol.55, page 5 -25
- 100- Richard H. Bennett, R.H., O'Brien, N.R., Hulbert, M.H., (1991), "Determinants of Clay and Shale Microfabric Signatures: Processes and Mechanisms", *Microstructure of Fine-Grained Sediments Frontiers in Sedimentary Geology* 1991, pp 5-32.
- 101- Rollinson, H., (1993), "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation: Longman Scientific & Technical", Harlow, 352 p.
- 102- Ronov, A.B., Migdisov, A.A., (1971), "Geochemical History Of The Crystalline Basement And The Sedimentary Cover Of The Russian And North American Platforms", *Sedimentology*, Volume 16, Issue 3-4, pages 137–185, June 1971.
- 103- Roser B. P., Korsch R. J. (1986), "Determination of Tectonic Setting of sandstone – Mudstone suites using SiO<sub>2</sub> Content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O Ratio", **Journal of Geology**, 94 (5), 635-650

- 104- Rubio B., Nombela M.A. and vilas F., (2000). "Geochemistry of Major and Trace elements in Sediments of The Ria deVigo: an assessment of metal pollution", **Marine pollution bulletin**, vol, 40. No.11m pp.968-980.
- 105- Rudnick R. L. and Gae S. (1995), "Composition of The continental Crust"
- 106- Rullkotter, J., Michaelies, W. (1990) "the structure of kerogen and related materials: a review of recent progress and future needs" *organic geochemistry*, Vol.16, Page 829-852
- 107- Rundick R. L., Gao S. et al., (2004). "Petrology and geochemistry of spinel period xenoliths from Hannoba and oixia", North china craton.
- 108- Russel, p.l. 199. "oil shales of the world , Their, oriqin, occurrence, and exploitation: pergamon press, wewyork ,753p.
- 109- Salem H. M., (2000)."Uranium ores and The Environmental impact on human Health risks"
- 110- Pasley, M.A., Gregory, W.A., Hart, G.F., (1991) "Organic matter variations in transgressive and regressive shales" **Organic Geochemistry**, Volume 17, Issue 4, 1991, Pages 483–509.
- 111- Shichi, T., Takagi, K., (2000) "Clay minerals as photochemical reaction fields" **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, Volume 1, Issue 2, 29 December 2000, Pages 113–130.
- 112- Singh B. K., SagarNayak P. (2007), "instrumental characterization of clay by XRD, XRF and FTIR" **Indian academy of sciences**, Vol. 3, no. 3, pp. 235-238.
- 113- Smith K.S., et al., (1999) "Sorption of trace elements by earth materials an overview with examples relating to mineral deposits" **Review in economic geology**, 6A, pp.161-182, **MI:society of economic geology**.
- 114- Smyth M., (1983) "Nature of source materials for hydrocarbons in cooper Basin, Australia" **AAPG Bull.** 67, 1422-1426.
- 115- Sorby, H.C. (1908) "On the application of quantitative methods to the study of the structure and history of rocks" **Quarterly of the Geological Society of London**.
- 116- Stach E., Mackowsky M., Teichmuller R. and Chandra G. H. (1975) " Stachs textbook of coal petrology" 2<sup>nd</sup> Ed, Berlin, **Gebruder Borutraceger**, Page 424 26- 27.
- 117- stampfli G.M. (1978) "Erude gedogique del Elburz orientalouse de Geaobd – e Qalous Iran N – E" **These geneve**, pp 329.
- 118- Steven P. (2012) "The shale gas revolution: developments and changes" **Chatamhouse**, pp 12.
- 119- Suttner L.J., Dutta P.K. (1986) "Alluvial Sandstone Composition and palaeoclimate. Framework Mineralogy" **Journal of Sedimentary Petrology** 56, 329-345.
- 120- Suzuki Sh., Rahman jalalur M. J. (2007) "Composition of Neogene shales from the Surma Groups Bengal basin, Bangladesh: implications for provenance and The tectonic setting" **Austrian journal of earth science**, vol. 100, PP. 54-64.
- 121- Taylor S.R., McLennan S.M. (1969) "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River"
- 122- Taylor SR, McLennan SM. (1985) "the continental crust:its composition and evolution" **Blackwell scientific publications, Oxford**, pp 312.
- 123- Toth JR. (1980) "deposition of submarine crusts rich in manganese and iron" **Geol Soc Am Bull** 91, 44-54
- 124- Tourtelot H. A. (1979) "Black shale- its Deposition and diagenesis" **clay and clay minerals**, vol. 27, No-5, pp. 313-321.



- 125- Townes, H.L. (1993) "The Hydrocarbon Era, World Population Growth and Oil Use--A Continuing Geological Challenge: Presidential Address" **AAPG\_Bulletin**, Vol 77 (1993), Issue 5. (May), P 723-730.
- 126- Turekian KK, Wedepohl KH. (1961) "distribution of the elements in some major units of the earth crust" **Geol Soc Am Bull** 72, 175-192.
- 127- Tyson, R. V., Pearson, T. H. (1991) "Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview" **Geological Society, London, Special Publications** (1991), V 58, p 1-24.
- 128- VLF Lavergreen. (2005) "Black shale as a Metal contamination source".
- 129- Way, B. Eastler. (2006) "Black shales".
- 130- Weaver, BL et al. (1985) "Geochemistry at DSDP Leg 82 Holes".
- 131- Wedepohl K.H., Delevaux M.H. and Doe B.R. (1978) "the potential source of lead in the Permian Kupferschiefer bed of Europe and some selected Paleozoic Mineral deposits in the federal Republic of Germany" **Mineral petrol**, PP 273-281.
- 132- Wedepohl K.H. (1971) "Environmental influences on the chemical composition of Shales and clays" **oxford, Pergamon** 8. PP 307-333
- 133- Wakita H., Rey P. and Schmitt R. A. (1971) "Abundances of The 14 rare-elements And 12 Other Trace elements in Apollo 12 Samples: Five igneous and one breccia rocks and Four Soils" **Proc. Second Lunar Sci, Conf 2, The M. I. T. Press**, PP 1319-1329.
- 134- WHO. "guidelines for drinking – water quality 2004" **vol 1, Geneva** pp 488-496.
- 135- Wronkiewicz D.J., Condie K.C. (1990) "Geochemistry and Mineralogy of Sediments From The Venters dorp and Transvaal Super groups" **South Africa Cratonic evolution during The early Proterozoic, Geochimica et cosmochimica Acta**, 54 (2), 343-364.
- 136- Xiugen f. Wang J., Zeng Y., Tan F, chen w. and Feng X. (2010b) "Geochemistry of rare earth elements in marine oil shale- A Case study From The Bilong Co Area, Northern Tibet" **china, oil shale. V. 27**, P 194-208.
- 137- Zavodska L., Kosorinova E., Scerbakovo L. and Lensy J. (2008) "Environmental chemistry of uranium" e, Hu. ISSN1418 - V108.
- 138- Zheng, Y., Spears, DA. (1999) "Geochemistry and origin of elements in some UK coals" **International Journal of Coal Geology**.
- 139- Zi-jian W. (1999) "Major environmental and ecotoxicological processes of heavy metals in lean River polluted by discharges from mining activities" **journal of environmental science, vol.11 no 30**, pp 322-337.

## Abstract

The study area (Dehmola) at a distance of 20 km southwest of Shahrud belongs to a part of the wide eastern Zoghal dar area. Formations of Precambrian (Soltanieh formation) to upper Jurassic (Dalichai) can be observed in the stratigraphic columns of Dehmola area, thus, Shemshak formation with dominant lithology of shale (green, black and charcoal), sandstone and coal layers, that is one of the biggest and the most important formations of the area, was selected as the goal of most organic geochemistry studies examining the hydrocarbonization potential of Shemshak formations shales in Dehmola area. Because many subjects associated with shale behaviors, particularly environmental and economic geology, inorganic geochemistry and also organic geochemistry, are controlled by lithological characteristics of the source rocks and related closely together, each subject will be addressed in an individual chapter. Mineralogical composition of all study formation shales that is based on the results of XRD, XRF, ICP instrumental analysis and also the studies of SEM / EDS micrographs, points to the presence of quartz, feldspar, iron and micaceous minerals (muscovite, biotite and chlorite). Zircon, dolomite, sulfide minerals (pyrite), are among the trace elements recorded by X-ray diffraction of black and charcoal shales of the study area. The normalization of shales of the study area especially black and charcoal shales, to references including NASC, PAAS, shale global average, neogene shale of the Surma group from Bengal, Bangladesh points to the anomalies of rare soil elements especially Ce and La, trace elements U, Th, Mn, As, etc., and also demands the high importance of economic studies and specific environmental considerations. In most cases, green shales did not show any particular element anomalies, but in some cases (such as uranium and thorium) showed severe depletion. High amounts of quartz and illite in studied shales as well as the use of common ratios of trace elements such as La / Th, also referred to the derivation of the felsic sources with granodiorite composition, in addition to the dominance of detrital controllers. According to the use of diagrams associated with the determination of the history of the source rock weathering or  $A-CN-K^1$  and  $A-CN-K^0FM^2$  and high concentrations of  $Al_2O_3$  and also

---

<sup>1</sup>  $Al_2O_3-(CaO+Na_2O)-K_2O$

<sup>2</sup>  $Al_2O_3-(CaO+Na_2O+K_2O)-MgO+Fe_2O_3$

CIA > 50, Shemshak formation shales have endured severe weathering in the source area. Shemshak formation sandstones that in most areas showed the signs of varnishing and alteration, consist of quartz, feldspar, chlorite, mica, rubbles and also iron oxide, and are likely belong to arkosic sandstones. Coals of the zone also represent the dominant composition of vitrinite and inertinite

Organic geochemical studies of shale samples results based on the application of Rock-Eval pyrolysis 6 instrumental analysis are summarized as below:

1. The type of the majority of samples with a range of organic matter of TOC = 0/08-23/4 belonged to kerogen types III and IV that included mature to hypermature in terms of the spectral thermal maturity. While the darker samples show higher thermal maturity.
2. Most of the shale samples are located in gas zone, dry gas and entry to metagenesis phase in terms of the production potential.
3. Distribution of HI values in relation to OI and also the use of TOC values suggest the D facies boundaries in the majority parts of the study area indicating continental and extremely oxidant environments.
4. Organic geochemical analysis performed (Rock-Eval pyrolysis) on samples suggests the presence of a significant amount of organic material rich in oxygen (relatively high OI), poor in hydrogen (low HI) with continental or marine origin.

Keywords: Hydrocarbon, Shale, Shemshak, Dehmolla, Rock-Eval



Department of Earth Sciences

Master's Thesis

Economic Geology

**Topic:**

**Evaluating The Hydrocarbon Creating Potential of  
Shemshak's Formation Shale In Shahrod's, Dehmolla Area**

**Supervisors:**

**Dr. F. Fardoust      and      Dr. A.R Rabbani**

**Author:**

**M. Hamidi Zhale**

2014 Summer