

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی والگوی پیدایش کانسارمنگنز فرومد، شرق شاهرود

نگارنده: سیدروح اله حسینی

استادراهنما:

دکتر فردین موسیوند

بهمن ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: پتروولوژی و زمین شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سیدروح الله حسینی

تحت عنوان:

کانی شناسی، ژئوشیمی والگوی پیدایش کانسارمگنز فرومد، شرق شاهرود

در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۲۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر فردین موسیوند
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر حبیب الله قاسمی		نام و نام خانوادگی : دکتر مسعود علی پور اصل
			نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی رضایی کهخایی

تقدیم به پدرم

کوہی استوار و حامی من در طول تمام زندگی

تقدیم به مادرم

سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

تقدیم به همسر

که در سایه همیاری و ہمدلی او به این منظور نائل شدم

تقدیم به دلبندم

امید بخش جانم کہ آسایش او آرامش من است.

## تشکر و قدردانی

یزدان پاک را سپاس که چونان گذشته بر بنده ناچیز خویش، منت نهاد تا بتواند با اندوخته اندک خود این تحقیق را به سرانجام رساند. بی‌شک با گسترش و توسعه روزافزون علوم و دانش‌ها، انجام هیچ کارتحقیقاتی، بدون کمک و همکاری دیگران ممکن نخواهد بود. در انجام این تحقیق خود را مدیون زحمات و کمک‌های گرامیان بسیاری می‌دانم که بجاست قدردان محبت‌های آنان باشم.

- استاد محترم جناب آقای دکتر موسیوند که راهنمای بنده در انجام این تحقیق بودند، علاوه بر این در طول مدت تحصیل نیز از محضر ایشان بهره‌های علمی و اخلاقی بسیار بردم.

- جناب آقای مهندس میرباقری، مسئول محترم آزمایشگاه اپتیک و آقای دکتر صادقیان، بابت وقت ارزشمندشان و مطالب ارزنده‌ای که در حین مطالعه مقاطع میکروسکوپی در اختیار بنده نهادند.

- کلیه پرسنل دانشکده علوم زمین و آقای محمدیان مسئول کارگاه تهیه مقطع، که در تهیه مقاطع نیز کمک بنده نمودند.

- سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) جهت حمایت مالی و کارشناسان محترم این سازمان بویژه خانم مهندس موسوی جهت پیگیریهای لازم در تسریع نتایج آزمایشها.

- آقای مهندس فاضلی، مسئول معدن منگنز سردار که تجربیات چندین ساله اش را در اختیار بنده گذاشت. اساتید فرهیخته دانشکده علوم زمین بویژه، آقای دکتر علیپور، فردوست، صادقیان، طاهری که با حسن خلق و سعه صدر بنده را راهنمایی کردند.

- پدر و مادر مهربان و دیگر اعضای خانواده ام، همسر دلسوز و فرزند عزیزم که همواره مشوق بنده بودند، امیدوارم که توانسته باشم گوشه‌ای از محبت‌های این عزیزان را جبران نمایم.

- در پایان قدردان زحمات دوستانم بویژه آقای عبدالهی و بازارنویی می‌باشم که در حد توان از همکاری خود در انجام این پایان نامه دریغ نکردند.

## تعهد نامه

اینجانب سیدروح الله حسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسارمنگنز فرومد، شرق شاهرود تحت راهنمایی آقای دکتر فردین موسیوند متعهد می شوم .

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

### تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

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

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

کانسار منگنز فرومد(سردار) در ۱۹۰ کیلومتری شرق شاهرود و ۸ کیلومتری جنوب روستای فرومد، درون توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن و در کمربند آتشفشانی شمال پهنه ایران مرکزی واقع شده است. عمده ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه از قدیم به جدید شامل سنگهای آندزیتی، بازالتی، توفی، مارنی و آهکی ائوسن و واحدهای تخریبی ائوسن-لیگوسن است که بصورت تاقدیسی با روند محوری شرقی- غربی گسترش دارند. کانه زایی بصورت لایه ای در یک افق چینه ای خاص در درون آهکهای نومولیتی رخ داده است. در این کانسار، دو رخساره کانه دار مشاهده می شود: ۱) رخساره پایینی (پهنه رگه-رگچه ای) در درون سنگهای آتشفشانی و آهک با ساخت و بافت رگه-رگچه ای، برشی، شکافه پرکن و دانه پراکنده بوده و ۲) رخساره بالایی (پهنه چینه سان) بصورت لایه ای و عدسی، در درون آهک نومولیتی و بصورت همروند و همخوان با آنها و در گستره طولی بیش از یک کیلومتر با ساخت و بافت عمدتاً نواری، لامینه و دانه پراکنده می باشد و تنها این پهنه قابل معدنکاری است. دگرسانی اصلی در کانسار منگنز سردار شامل دگرسانی کلریتی-کربناته در درون سنگهای آتشفشانی کمربندی بوده و دگرسانی آرژیلیتی بصورت سطحی می باشد. مطالعات سیال درگیر بر روی کلسیت در رگه سیلیسی-کربناته منگنزدار پهنه رگه-رگچه ای نشان می دهد که دمای همگن شدن و شوری سیال کانه ساز به ترتیب برابر  $233-212^{\circ}\text{C}$  و  $2/13-0/5$  درصد وزنی نمک طعام می باشد. بر اساس آنالیز SEM-EDS, XRD و مطالعات کانه نگاری، نهشته کانیایی اصلی در پهنه چینه سان شامل پیرولوویت، پسیلوملان و منگانیت و کانیهای باطله آن کلسیت، کالکوسیت، مس طبیعی و مالاکیت بوده و در پهنه رگه-رگچه ای کانیهای اصلی شامل پیرولوویت، پسیلوملان و براونیت و کانیهای باطله کلسیت، کلریت، باریت و پیریت و کانیهای رسی و کوارتز می باشد و جنس رگه- رگچه ها در این پهنه ، سیلیسی-کربناته منگنزدار است.

نسبتهای بالای U/Th, La/Ce, Mn/Fe و Si/Al و محتوای پایین فلزات کمیاب و مقادیر بالای Fe, Mn, SiO<sub>2</sub> در کانه ها، شواهد نهشت از سیالات بروندمی- رسوبی در محیطهای زیر دریایی و جدایش آهن از منگنز می باشد. آنومالی مثبت Eu در پهنه رگه-رگچه ای بیانگر نقش فعالیتهای آتشفشانی و سیالات مرتبط با آن در کانی سازی و بدنبال آن ایجاد محیط احیایی بوده و آنومالی منفی Eu در پهنه چینه سان بیانگر محیط اکسیدان نهشت منگنز می باشد. بررسی الگوی REE در مواد معدنی، خاستگاه گرمایی زیر دریایی این کانسار را نشان می دهد که در پهنه چینه سان، فرایندهای آبراد نیز نقش داشته اند. بنابراین کانسار سردار بر اساس بسیاری از ویژگیها از جمله ژئومتری سنگهای میزبان و همراه، بافت و ساخت، کانی شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی، بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع بروندمی-رسوبی درون کمانی نشان می دهد.

کلید واژه ها: منگنز، ائوسن، بروندمی-رسوبی، محیط کششی درون کمانی، فرومد

## مقالات استخراج شده از پایان نامه:

- ۱) حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴)، الگوی رخداد کانه زایی منگنز سردار در توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن در منطقه فرومد، شرق شاهرود، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان.
- ۲) حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴)، مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی و خاستگاه کانسار منگنز سردار در منطقه فرومد، شرق شاهرود، کارگاههای آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۱-۲	موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به کانسار منگنز فرومد(سردار)
۱-۳	شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه
۱-۴	زمین ریخت شناسی منطقه
۱-۵	وضعیت معیشتی
۱-۶	تاریخچه معدن کاری و مطالعاتی
۱-۷	طرح مسئله، ضرورت و هدف مطالعه
۱-۸	روش مطالعه
۱۱	فصل دوم: زمین شناسی ناحیه ای
۱-۲	مقدمه
۲-۲	چینه شناسی عمومی
۱-۲-۲	مقدمه
۲-۲-۲	مزوزوئیک
۱-۲-۲-۲	کرتاسه پیشین
۲-۲-۲-۲	کرتاسه پسین
۳-۲-۲	سنوزوئیک
۱-۳-۲-۲	ترشیری
۲-۳-۲-۲	کواترنری
۳-۲	ماگماتیسزم منطقه
۱-۳-۲	سنگهای درونی یا نفوذی (md)

- ۲-۳-۲- سنگهای بیرونی و نیمه عمیق با ساختمانهای گنبدی، دایک و سیل ..... ۱۸
- ۲-۴- زمین ساخت منطقه ..... ۱۹
- ۲-۴-۱- فازهای کوهزایی و جغرافیای دیرینه منطقه ..... ۱۹
- ۲-۴-۲- ساختارهای زمین ساختی ..... ۲۰
- ۲-۴-۲-۱- گسلها ..... ۲۱
- ۲-۴-۲-۲- چین خوردگیها ..... ۲۴
- ۲-۵- نیمرخ چینه شناسی عمومی برش عرضی تاقدیس کاهک (برش جاده کاهک- فرومد) ..... ۲۵
- ۲۷- فصل سوم: زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده معدنی ..... ۲۷
- ۳-۱- مقدمه ..... ۲۸
- ۳-۲- چینه شناسی محدوده مورد مطالعه ..... ۲۸
- ۳-۳- سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه ( $E_{II}^{12}$ ) ..... ۳۰
- ۳-۳-۱- زیر واحد گدازه های آندزی بازالت ..... ۳۱
- ۳-۳-۲- زیر واحد گدازه اسپیلیتی همراه با بازالت های بالشی ..... ۳۱
- ۳-۳-۳- زیر واحد توف تراکی آندزی بازالت ..... ۳۲
- ۳-۳-۴- زیر واحد بازالت پورفیری ..... ۳۳
- ۳-۳-۵- زیر واحد آگلومرایی ..... ۳۳
- ۳-۴- سنگهای آهکی محدوده مورد مطالعه ( $E_{II}^1$ ) ..... ۳۴
- ۳-۵- ماسه سنگهای محدوده مورد مطالعه ( $EO^{ms}$ ) ..... ۳۷
- ۳-۵-۱- ماسه سنگ توفی خاکستری ..... ۳۸
- ۳-۵-۲- لیتیک کریستال توف ..... ۳۸
- ۳-۵-۳- گلسنگ آهکی توفی (میکرایت توفی) ..... ۳۹
- ۳-۵-۴- ماسه سنگ قهوه ای ..... ۴۱
- ۳-۵-۵- ماسه سنگ مربوط به توالی  $EO^{ms}$  ..... ۴۱
- ۳-۶- زمین شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه ..... ۴۲

۴۳	۷-۳- مقایسه توالیهای چینه شناسی واقع در یال شمالی تاقدیس کاهک با یال جنوبی آن
۴۵	<b>فصل چهارم: کانه زایی و دگرسانی</b>
۴۶	۱-۴- مقدمه
۴۶	۲-۴- رخداد کانه زایی منگنز- مس در محدوده مورد مطالعه
۴۷	۳-۴- ارتباط رخساره های کانه دار و کانه زایی
۴۷	۱-۳-۴- پهنه کانه زایی رگه-رگچه ای و رخساره رگه-رگچه ای
۴۸	۲-۳-۴- پهنه کانه زایی چینه سان
۵۰	۴-۴- دگرسانی
۵۱	۱-۴-۴- دگرسانی کلریتی
۵۲	۲-۴-۴- دگرسانی کربناته
۵۳	۳-۴-۴- دگرسانی سیلیسی
۵۴	۴-۴-۴- دگرسانی آرژیلیتی
۵۷	<b>فصل پنجم: ساخت، بافت، کانی شناسی و توالی پاراژنتیک کانیها</b>
۵۸	۱-۵- مقدمه
۵۹	۲-۵- انواع ساخت و بافت کانسنگ و سنگ های دربرگیرنده
۵۹	۱-۲-۵- ساخت نواربو لامینه
۶۰	۲-۲-۵- ساخت و بافت دانه پراکنده
۶۱	۳-۲-۵- ساخت و بافت برشی
۶۲	۴-۲-۵- ساخت و بافت توده های
۶۳	۵-۲-۵- بافت جانشینی
۶۴	۶-۲-۵- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی
۶۴	۷-۲-۵- بافت کلوتیدی متحدالمرکز (بوتروئیدال)
۶۵	۸-۲-۵- ساخت رگه- رگچه ای

۶۶	..... ۳-۵-کانی شناسی و پاراژنز
۶۶	..... ۱-۳-۵-مقدمه
۶۸	..... ۲-۳-۵-کانی شناسی ماده معدنی
۶۸	..... ۱-۲-۳-۵-پسیلوملان $(Ba,K,Mn^{+2},Co)_2Mn_5O_{10} \cdot XH_2O$
۶۹	..... ۲-۲-۳-۵-پیرولوزیت $(\beta -MnO_2)$
۷۰	..... ۳-۲-۳-۵-منگانیت $(MnO(OH))$
۷۱	..... ۴-۲-۳-۵-براونیت $(Mn^{+2},Mn_6^{+3}O_8(SiO_4))$
۷۱	..... ۵-۲-۳-۵-هماتیت $(Fe_2 O_3)$
۷۲	..... ۶-۲-۳-۵-گوتیت $(FeOOH)$
۷۲	..... ۳-۳-۵-کانیهای باطله
۷۳	..... ۱-۳-۳-۵-کلسیت
۷۳	..... ۲-۳-۳-۵-کوارتز
۷۴	..... ۳-۳-۳-۵-کلریت
۷۴	..... ۴-۳-۳-۵-کانیهای رسی
۷۴	..... ۵-۳-۳-۵-کانیهای سولفیدی و سولفاتی
۷۶	..... ۶-۳-۳-۵-کانیهای کربناته
۷۸	..... ۴-۵-توالی پاراژنتیک
۸۱	..... فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی و سیالات درگیر
۸۲	..... ۱-۶-مقدمه
۸۲	..... ۲-۶-ژئوشیمی منگنز
۸۴	..... ۱-۲-۶-ژئوشیمی منگنز در شرایط ماگمایی
۸۴	..... ۲-۲-۶-ژئوشیمی منگنز در محیطهای سطحی
۸۸	..... ۳-۲-۶-ژئوشیمی منگنز در محیط های هوازدگی سوپرژن
۸۹	..... ۳-۶-روش کار

۹۱	۴-۶- ژئوشیمی سنگهای آذرین
۹۱	۴-۶-۱- مقدمه
۹۱	۴-۶-۲- تعیین ترکیب شیمیایی و محیط زمین ساختی سنگهای آذرین
۹۴	۴-۶-۵- ژئوشیمی سنگهای آهکی
۹۵	۴-۶-۶- ژئوشیمی کانسنگ
۹۵	۴-۶-۶-۱- نسبت Mn/Fe
۹۷	۴-۶-۶-۱-۱- تفسیر نمودار تغییرات آهن و منگنز در مقطع T <sub>3</sub> کانسارمنگنز سردار
۹۹	۴-۶-۶-۲-۱- تفسیر نمودار تغییرات عناصر کمیاب در مقطع T <sub>3</sub> کانسارمنگنز سردار
۹۹	۴-۶-۶-۲- نمودار عناصر اصلی
۹۹	۴-۶-۶-۱-۲- نسبت Si/Al
۱۰۰	۴-۶-۶-۲-۲- نسبت Na/Mg
۱۰۲	۴-۶-۶-۴- نمودارهای عناصر کمیاب (Trace elements)
۱۰۳	۴-۶-۶-۱-۴- نسبت Co/Zn
۱۰۴	۴-۶-۶-۲-۴- نمودارهای سه تایی Ni-Co-Cu و Co-Ni-Zn
۱۰۵	۴-۶-۶-۳-۴- نمودار Pb-Zn
۱۰۶	۴-۶-۶-۴-۴- نمودار $Fe - Mn - (Ni+Co+Cu) \times 10$
۱۰۷	۴-۶-۶-۵-۴- نمودار $(Co + Ni) - (As+Cu+Mo+Pb+V+Zn)$
۱۰۸	۴-۶-۶-۶-۴- نمودار $Co/Zn - Co+Ni+Cu$
۱۰۹	۴-۶-۶-۷-۴- نسبت U/Th
۱۱۰	۴-۶-۶-۵- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE)
۱۱۱	۴-۶-۶-۱-۵- الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار منگنز سردار
۱۱۶	۴-۶-۶-۲-۵- نسبت La/Ce
۱۱۷	۴-۶-۷- مطالعات سیالات درگیر

۱۱۷	..... مقدمه ۱-۷-۶
۱۱۸	..... روش انجام مطالعات ۲-۷-۶
۱۱۸	..... پتروگرافی میانبارهای سیال ۳-۷-۶
۱۱۹	..... شکل ظاهری و اندازه میانبارها ۴-۷-۶
۱۱۹	..... فراوانی میانبارهای سیال ۵-۷-۶
۱۱۹	..... رده بندی میانبارهای سیال ۶-۷-۶
۱۱۹	..... انواع میانبارهای سیال ۷-۷-۶
۱۲۰	..... میکروترمومتری ۸-۷-۶
۱۲۱	..... مطالعات سیالات درگیر ۹-۷-۶
۱۲۵	<b>فصل هفتم: الگوی تشکیل، نوع کانه زایی، نتیجه گیری و پیشنهادات اکتشافی</b>
۱۲۶	..... مقدمه ۱-۷
۱۲۶	..... شواهد و دلایل مربوط به چگونگی تشکیل کانسار منگنز سردار ۲-۷
۱۲۶	..... ۱-۲-۷ محیط زمین ساختی تشکیل
۱۲۶	..... ۲-۲-۷ محیط زمین شناسی ته نشست
۱۲۷	..... ۳-۲-۷ سنگ میزبان و سنگهای همراه
۱۲۸	..... ۴-۲-۷ شکل هندسی و ساخت و بافت ماده معدنی
۱۲۸	..... ۵-۲-۷ کانیشناسی
۱۲۹	..... ۶-۲-۷ دگرسانیها و منطقه بندی آنها
۱۳۰	..... ۷-۲-۷ شواهد ژئوشیمیایی
۱۳۰	..... ۸-۲-۷ شواهد حاصل از مطالعه سیالات درگیر
۱۳۱	..... ۳-۷ رده بندی کانسارهای منگنز
۱۳۲	..... ۴-۷ ارائه مدل ژنتیکی کانسار منگنز سردار
۱۳۲	..... ۱-۴-۷ منشأ عناصر کانه ساز
۱۳۳	..... ۲-۴-۷ منشأ سیال کانه ساز

۱۳۳	..... مراحل تشکیل و تکوین کانسار منگنز سردار و ارائه مدل
۱۳۴	..... مرحله رسوبگذاری و نقش محیط رسوبی
۱۳۴	..... مرحله دیاژنز و تکوین دیاژنتیکی
۱۳۷	..... مرحله تاثیر فرآیندهای زمین ساختی و تغییر شکل دهنده
۱۳۷	..... مرحله فرآیندهای هوازدگی سوپرژن
۱۳۸	..... بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی ائوسن تاقدیس کاهک و جایگاه نهشته های منگنز و مس در آن
۱۴۱	..... تیپ کانه زایی
۱۴۱	..... مقایسه کانسار منگنز سردار با کانسارهای آتشفشانی- رسوبی شاخص در ایران
۱۴۱	..... ۱-۱-۶-۷ کانسار منگنز و نارچ قم
۱۴۲	..... ۲-۱-۶-۷ کانسار منگنز شهرستانک قم
۱۴۴	..... ۳-۱-۶-۷ کانسار منگنز گراب
۱۴۷	..... ۲-۶-۷ مقایسه کانسار منگنز سردار با کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی دنیا
۱۵۰	..... ۷-۷- پیشنهادات اکتشافی
۱۵۲	..... منابع

## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱- راههای دسترسی و موقعیت کانسار منگنز سردار..... ۳
- شکل ۱-۲- نمایی از دشت، آبرفت‌های جوان و کوه زاواک (آتشفشانی) و موقعیت کانسار منگنز فرومد..... ۵
- شکل ۲-۲-  $EO^{ms}$  : تناوب مارن ،ماسه سنگ،شیل وماسه سنگ توفی مایل به قهوه ای وزردکم رنگ،  $EO^s$  ماسه سنگ نازک تا متوسط لایه با بین لایه های کنگلومرا،  $Eu^1$ : آهک توفی فسیل دار ..... ۱۷
- شکل ۲-۳- الف)- رخنمونیهایی از دایک قطع کننده ی آگلومرا (ب) دایک قطع کننده ی ماسه سنگهای ائوسن - الیگوسن ( $EO^{ms}$ )..... ۱۹
- شکل ۲-۴- نمایی از کج شدگی ماسه سنگهای توفی آهکی به رنگ خاکستری تیره ( $EO^{ss}$ )..... ۱۹
- شکل ۲-۵- نقشه مربوط به واحدهای سنگی تاقدیس کاهک ..... ۱۹
- شکل ۲-۶- نمایی از چین خوردگی ریز در ماسه سنگهای به سن ائوسن - الیگوسن (واحد  $EO^{ms}$ ) ..... ۲۴
- شکل ۲-۷- الف) رخنمونی از تناوب مارن و ماسه سنگ قرمز و ب) تناوب آهک و گدازه ، پ و ت- رخنمونی از کنگلومرا با قطعات آتشفشانی دگرسان به سن ائوسن - الیگوسن ..... ۲۵
- شکل ۲-۸- نیمرخ جاده کاهک - فرومد..... ۲۶
- شکل ۳-۱- تغییرات رخساره ای جانبی و تغییر در ستون چینه شناسی میزبان کانسارهای منگنز محل کانسار در یال شمالی تاقدیس کاهک از غرب به شرق افق کانه دار ..... ۲۶
- شکل ۳-۲- نمای کلی از واحدهای تشکیل دهنده محدوده معدنی ..... ۳۰
- شکل ۳-۳- الف) نمونه دستی از مرز بین سنگهای آتشفشانی با آهک های فسیل دار بالای خود ، ب) رخنمونی از گدازه های بازالتی بالشی با ساخت پوست پیزی ..... ۳۱
- شکل ۳-۴- الف) رخنمونی از توف تراکی آندزی بازالت با آهک نومولیت دار توفی روی آن ، ب) نمونه دستی از همان واحد توف تراکی آندزی بازالت، پ و ت) تصویر میکروسکوپی از توف تراکی آندزی بازالت با بافت تراکیتی ..... ۳۲

- شکل ۳-۵- الف) نمونه دستی از سنگ بازالت پورفیری با حفرات بادامکی (آمیگدولار) (Amig) ناشی از خروج گازها که توسط کلسیت و کوارتز پر شده، ب- تصویر میکروسکوپی از زئولیت (آنالسیم) در سنگ بازالت پورفیری ..... ۳۳
- شکل ۳-۶- الف) رخنمونی از لایه کنگلومرایبی زیر لایه آهک نومولیت دار واقع در شرق کانسار و ب) رخنمونی از همین لایه واقع در غرب کانسار ..... ۳۴
- شکل ۳-۷- تغییرات نومولیتها از پایین توالی به سمت بالا در شرقی ترین ترانسه معدن بیانگر شدگی حوضه ..... ۳۵
- شکل ۳-۸- الف) نمونه دستی از بیومیکرایت الف) ماداستون ب) و ک استون پ) پک استون ..... ۳۶
- شکل ۳-۹- الف و ب) سیمان کلسیت اسپاری پرکننده حفرات فسیلها و شکستگیها و پ) میکرایت پرکننده فضای بین دانه ها و درون فسیلها ..... ۳۶
- شکل ۳-۱۰- الف و ب- نمونه هایی از فسیلهای موجود در آهک فسیل دار میزبان منگنز، پ) آهک بیوکلسیت، ث) تماس مماسی و نقطه ای فسیلها که بیانگر تراکم مکانیکی و ج) اسیتیلولیتها که بیانگر تراکم شیمیایی است ..... ۳۷
- شکل ۳-۱۱- رخنمونی از توالی کمر بالای ماده معدنی در غرب کانسار ..... ۳۹
- شکل ۳-۱۲- تصویر میکروسکوپی از ماسه سنگ توفی خاکستری با لامینه های تشکیل دهنده آن ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۳- الف- نمونه دستی از یک گلسنگ آهکی ، ب) تصویر میکروسکوپی (ppl) از همان نمونه ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۴- الف و ب) نوارهای مگنتیت و آثار شاخ و برگ در ماسه سنگ EOMS، پ و ت) رخنمونهایی از ساختهای رسوبی ریپل و ترکهای گلی مشاهده شده در همین توالیها ..... ۴۱
- شکل ۳-۱۵- الف) رخنمون و نمونه دستی از دایک قطع کننده ماسه سنگهای قهوه بالای ماده معدنی ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۶- الف) سیستم درزه های موازی در آهک کمر پایین منگنز ب) دیواره خشن و مواج آینه غسل ج) برشهای گسلی بوجود آمده بر اثر عملکرد غسل ..... ۴۳
- شکل ۳-۱۷- مقایسه توالیهای تشکیل دهنده ی یال شمالی با یال جنوبی تاقدیس کاهک ..... ۴۴
- شکل ۴-۱- پراکندگی اندیس های منگنز و مس بر روی توالیهای تاقدیس کاهک ..... ۴۶

- شکل ۴-۲- الف)نمایی از رخساره رگه- رگچه ای در سنگ آهک میزبان منگنز و ب و ت) در سنگهای آتشفشانی کمرپایین.  
 پ) رخنمونی از رگچههای سیلیسی- کربناته در رخساره رگه- رگچه ای ..... ۴۸
- شکل ۴-۳- الف) رخنمون رخساره توده ای منگنز دربخش شرقی کانسار،ب)نمونه دستی از این رخساره ..... ۴۹
- شکل ۴-۴- الف و ب- لایه منگنزار در توالی مورد مطالعه و تغییرات آن از منگنز به سمت کمربالا ..... ۵۰
- شکل ۴-۵- الف و ب- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی (Chl) پیروکسنها (Px) و پلاژیوکلازهایی (Pl) که بشدت دگرسانی کربناته (Ca) شده است و در نقاطی که مس وجود دارد بصورت سوپرژن مالاکیت (Mal) را شکل می دهد..... ۵۲
- شکل ۴-۶- الف)پهنه دگرسانی کربناتی لایه ای شکل غنی از آهن،ب) کلسیت پرکننده شکستگیها و نومولیتها ..... ۵۳
- شکل ۴-۷- دگرسانی سیلیسی در کانسار منگنز سردار ..... ۵۴
- شکل ۴-۸- الف) رخنمونی از دگرسانی آرژیلیتی در سنگهای آتشفشانی کمر پایین ماده معدنی ب و پ)تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژیلیتی ، ت) تصویر میکروسکوپی از تاثیر محلولهای گرمابی بر پیروکسن باعث دگرسانی  $Fe^{+2}$  به  $Fe^{+3}$  در امتداد رخها و حواشی آن شده است ..... ۶۰
- شکل ۵-۱- الف تا ت) نمایی از ساخت نواری در لایه حاوی ماده معدنی و سنگهای دربرگیرنده ..... ۶۰
- شکل ۵-۲- الف) رخنمونی از ساخت دانه پراکنده ،ب) نمونه دستی از این بافت در سنگ آهک ماسه ای کمربالا شکل پ و ت) نمونه دستی از توف با بافت دانه پراکنده و تصویر میکروسکوپی آن ..... ۶۱
- شکل ۵-۳- ساخت و بافت برشی در سنگ میزبان آهک فسیل دار،الف) نمونه دستی ب) تصویر میکروسکوپی ..... ۶۲
- شکل ۵-۴- نمایی از بافت کانسنگ تودهای: الف) در مقیاس نمونه دستی ب)تصویر میکروسکوپی از این نمونه که غنی از پیرولوژیت است ..... ۶۳
- شکل ۵-۵- الف و ب) نمونه دستی از ساخت فضا پر کن منگنز و مس درون فسیلها و شکستگیها پ) تصویر میکروسکوپی از جانیشینی منگنز درون قالب فسیلها و ت) تصویر میکروسکوپی ار جانیشینی ثانویه پسیلوملان توسط پیرولوژیت ..... ۶۴
- شکل ۵-۶- بافت کلوفرمی (بوتروئیدال) پسیلوملان در رخساره رگه- رگچه ای ..... ۶۵

- شکل ۵-۷- الف) ساخت رگه-رگچه ای منگنز در اثر فرایندهای گرمایی- دیاژنتیک و ب) ساخت رگه- رگچه ای مس درون سنگ آهک نومولیت دار میزبان در اثر فرایندهای دیاژنتیک..... ۶۶
- شکل ۵-۸- الف) کانی پسیلوملان (Psy) ب وب) کانیهای پیرولوویت (Pyr) ت) پیرولوویت دندریتی در سطح ماسه سنگ ۷۰
- شکل ۵-۹- الف) کانی سبز متمایل به قهوه ای منگانیت (Mang) همراه و هم رشد با پسیلوملان، ب) کانی بلوکی براونیت (Br) مربوط به بخش رگه- رگچه ای ..... ۷۱
- شکل ۵-۱۰- الف) لایه بندی موجود در افق کانه دار حاوی هماتیت، لیمونیت، گوتیت، ب) بافت تیغه ای هماتیت ..... ۷۲
- شکل ۵-۱۱- الف وب) نمایی از رگه سیلیسی-کربناته از بخش رگه-رگچه ای کانسار..... ۷۴
- شکل ۵-۱۲- الف و ب) کانی رسی مونت موریونیت که به سنگ رنگ سفید داده است..... ۷۵
- شکل ۵-۱۳- الف) کانی باریت (Ba) درون پیرولوویت (Pyr) توده ای، ب) تصویر SEM از پیریت، پیرولوویت، براونیت، پ و ت) تصویر SEM و میکروسکوپی از پیریت (Py)..... ۷۵
- شکل ۵-۱۴- الف) نمونه دستی از کانیهای مالاکیت (Mal)، آزوریت (Az)، کریزوکلا (Chry) و کالکوزیت (Chlc) در سطح دایک، ب) تصویر میکروسکوپی کالکوزیت بصورت پراکنده در متن سنگ، پ) کانی کالکوزیت در رگه قطع کننده ماسه سنگهای کمر بالای منگنز، ت) مس طبیعی پراکنده در متن سنگ ..... ۷۶
- شکل ۵-۱۵- الف) داده های XRD نمونه منگنز رگه-رگچه ای، ب و پ) رخساره توده ای و نواری پهنه چینه سان..... ۷۷
- شکل ۵-۱۶- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه ها، کانیهها و ساخت و بافت مربوط به آندر کانسار منگنز سردار ..... ۷۹
- شکل ۶-۱- الف) مقایسه انحلالپذیری اکسیدها و کربناتهای آهن و منگنز و شکل ب) نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز، شکل پ) نمودار محدوده های پایداری ترکیبات منگنز در سیستم Mn-C-S-O-H..... ۸۸
- شکل ۶-۲- نمودار تغییرات عناصر در مقطع T<sub>3</sub> کانسار منگنز سردار براساس داده های ICP و XRF..... ۹۷
- شکل ۶-۳- نمودار Si/Al و موقعیت نمونه های کانسار منگنز مورد مطالعه در آن..... ۱۰۰
- شکل ۶-۴- نمودارهای بررسی همبستگی بین اکسیدهای اصلی در کانسار منگنز سردار ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۵- موقعیت نمونه های کانسنگ منگنز سردار در نمودار Na-Mg..... ۱۰۱

- شکل ۶-۶- نمونه های کانسنگ کانسار منگنز سردار در نمودارهای سه تایی Ni-Co-Cu و Co-Ni-Zn ..... ۱۰۵
- شکل ۶-۷- نمودار Pb/Zn ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۸- الف) موقعیت نمونه های کانسار منگنز سردار در نمودار سه تایی (Mn- Fe-10 (Cu- Ni- Co)) ب) موقعیت نمونه های کانسنگ در نمودار Ni+Co/As+Mo+V+Cu+Pb+Zn ..... ۱۰۸
- شکل ۶-۹- نمودار Co+Ni+Cu در برابر Co/Zn و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه در آن ..... ۱۰۹
- شکل ۶-۱۰- نمودار بررسی همبستگی اورانیوم و توریم با ماده معدنی کانسار سردار ..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۱- الف) الگوی REE در کانسارهای گرمایی ب) نمودار عناصر نادر خاکی در مواد معدنی منطقه مورد مطالعه پ) مقایسه الگوی REE نمونه های کانسنگ منگنز سردار با الگوی REE کانسارهای آبرزد و گرمایی (ت) لایه آهن در آهک کمر بالای ماده معدنی ..... ۱۱۵
- شکل ۶-۱۲- نمودارهای بررسی همبستگی بین عناصر نادر خاکی با اکسید منگنز و سیلیس ..... ۱۱۶
- شکل ۶-۱۳- الف) هیستوگرام شوری میانبارهای سیال، ب) هیستوگرام دمای همگن شدن میانبارهای سیال ..... ۱۲۱
- شکل ۶-۱۴- الف) نمودار شوری و دمای همگن شدن برای تعیین چگالی، ب) رسم دمای همگن شدن در نمودار هاس برای تخمین عمق سیال به دام افتاده در کانسار سردار ..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱۵- تصویری از رگه منگنز استرینگر در مقیاس (الف) رخنمون وب) نمونه دستی ..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱۶- تصویر میکروسکوپی از انواع میانبارهای سیال موجود در رگه استرینگر کربناته- سیلیسی ..... ۱۲۴
- شکل ۷-۱) (a) نقشه ساده شده از سنگهای آتشفشانی ائوسن داورزن- عباس آباد و (b) مدل تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تکامل کمر بند افیولیتی سبزوار- عباس آباد. .... ۱۲۹
- شکل ۷-۲- نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری سیالات درگیر کانسار منگنز سردار ..... ۱۳۱
- شکل ۷-۳- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی ائوسن و جایگاه کانسار منگنز سردار در آن ..... ۱۴۰
- شکل ۷-۴- مدل شماتیک از چگونگی تشکیل کانسار منگنز سردار ..... ۱۴۰
- شکل ۷-۵- نقشه پهنا ساختاری ایران و توزیع مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران ..... ۱۴۷

## فهرست جدول ها

- جدول ۶-۱ - برداشت نمونه به روش های لیتو ژئوشیمیایی و معدنی ..... ۹۰
- جدول ۶-۲ - میزان برخی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در نمونه سنگهای آتشفشانی پهنه ماگمایی داورزن-عباس آباد و نمونه ارسالی از سنگهای آتشفشانی ائوسن موجود در تاقدیس کاهک) ..... ۹۳
- جدول ۶-۳ - مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe درنهشته های مختلف منگنز ..... ۹۶
- جدول ۶-۴ - نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی XRF نمونه های مقطع (T<sub>3</sub>) کانسار ..... ۹۷
- جدول ۶-۵ - میزان منگنز ، آهن ، سلیسیوم ، آلومینیوم و تیتانیوم ..... ۱۰۱
- جدول ۶-۶ - ترکیب اکسیدهای اصلی نمونه های کانسنگ منگنز سردار (درصد وزنی) ..... ۱۰۲
- جدول ۶-۷ - ترکیب عناصر کمیاب مهم کانسنگ منگنز سردار (درصد وزنی) ..... ۱۰۴
- جدول ۶-۸ - جدول مقدار اورانیوم و توریم موجود در کانسنگ کانسار منگنز سردار ..... ۱۱۰
- جدول ۶-۹ - داده های حاصل از آنالیز سیال درگیر نمونه دوبرصیقل از رگه کلسیتی- سیلیسی رخساره رگه- رگچه ای کانسار منگنز سردار ..... ۱۲۱
- جدول ۷-۱ - رده بندی منگنز نیکلسون ..... ۱۳۲
- جدول ۷-۲ - مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران ..... ۱۴۶
- جدول ۷-۳ - مقایسه کانسار منگنز سردار با بعضی تیپهای مشابه در دنیا ..... ۱۴۹

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

کانسار منگنز فرومد با کدثبتی ۱۲۲۳۳۴۲۰ در سازمان صنایع و معادن استان سمنان با نام معدن منگنز سردار در منطقه شناخته می شود. این کانسار با گسترش طولی بیش از یک کیلومتر، میانگین ضخامت ماده معدنی یک متر و عیار میانگین منگنز ۴۳ درصدوزنی، تناژ بهره برداری سالی ۲۰۰۰ تن و ذخیره احتمالی ۲۰۰۰۰ تن بوده که از سال ۱۳۹۰ به بخش خصوصی واگذار شده و تاکنون مشغول به فعالیت است. از اهم کاربردهای منگنز در تولید فولاد، حذف ناخالصیهای گوگرد و اکسیژن و ساخت فرو منگنز و سیلیکو منگنز می باشد که در پوشش های مقاوم مانند ریل های راه آهن و تجهیزات معدنی و تخریبی بکار می رود. همچنین منگنز در صنایع الکتریکی (ساخت باتریهای خشک، الکترودهای جوشکاری، تصفیه آب و فاضلاب و...) و صنایع شیمیایی (در تهیه رنگ و رنگ آمیزی آجر، لباس، سرامیک، شیشه و سفال، تولید لعاب برای جلا دادن و سرامیک سازی، ساخت کودهای شیمیایی، تامین خوراک دام و طیور و...) استفاده می شود.

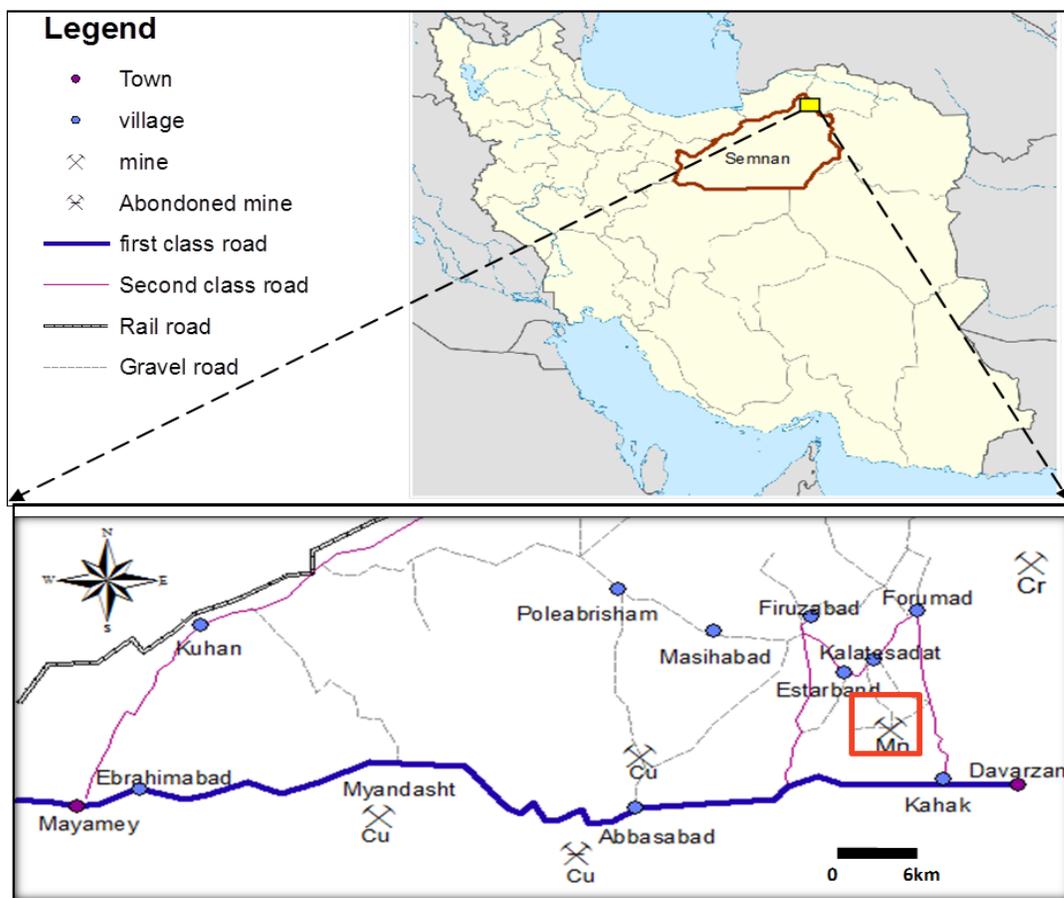
با توجه به کاربردهای ذکر شده از منگنز، کشف ذخایر جدید آن در کشور ضروری است، بنابراین مطالعه کانسار منگنز فرومد (سردار) جهت دستیابی به کلیدهای اکتشافی در راستای این هدف می باشد.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به کانسار منگنز فرومد (سردار)

کانسار منگنز فرومد با مختصات ۲۴ تا ۳۹ درجه عرض و ۴۴ تا ۶۲ درجه طول جغرافیایی بوده که در ۱۹۰ کیلومتری شرق شاهرود و ۱۰۰ کیلومتری غرب سبزوار واقع شده است.

این کانسار در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفروکهنسال، ۱۳۸۱) قرار گرفته است. ورقه داورزن بخشی از پایانه جنوبی چهارگوش زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ (اجارم) (افشاریانزاده و همکاران، ۱۳۷۰) با مختصات جغرافیایی ۵۷،۰۰-۵۶،۳۰ طولهای شرقی و ۳۶،۳۰-۳۶،۰۰ عرضهای شمالی می باشد. برای دستیابی به کانسار مورد مطالعه که در ۳ کیلومتری جنوب روستای کلاته سادات و ۸ کیلومتری دهستان فرومد واقع

است، می بایست از طریق جاده آسفالتی شاهرود- سبزوار به مسافت ۱۷۰ کیلومتر به سمت شرق تا دو راهی روستای کاهک پیش رفت، سپس از جاده آسفالتی درجه دوی کاهک- فرومد به طول ۱۲ کیلومتر به سمت شمال و سپس ۳ کیلومتر از جاده خاکی به سمت غرب حرکت کرده تا به محل کنساردست یافت. به منظور دستیابی به برونزدهای زمین شناسی منطقه می توان از جاده های فرعی کاهک- فرومد و کاهک- فیروزآباد پایین استفاده کرد. بنابراین راه اصلی مرتبط به این منطقه، جاده اصلی تهران- مشهد است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- راههای دسترسی و موقعیت کنسار منگنز سردار

### ۱-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه

از نظر آب و هوایی، تنها نواحی کوهستانی و مرتفع شمال شرق و شمال غرب ورقه یک ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن از تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد برخوردار است و جنوب آن به دلیل نزدیکی و همجواری با کویر، تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد دارد، همین امر موجب شده که میزان بارندگی سالیانه در بخش‌های مرکزی و جنوبی ورقه بسیار ناچیز و حدود ۱۰۰-۵۰ میلیمتر و در نواحی کوهستانی بویژه شمال شرق به ۲۰۰-۱۵۰ میلیمتر برسد. منابع تامین کننده آب آشامیدنی در روستاها و مناطق کشاورزی از کاریزها، سدهای محلی (سد فیروز آباد و سد فرومد)، چاه‌های عمیق و نیمه عیق و چشمه سارهاست. کال شور جاجرم، کال شور سبزوار، کال شور، کال چاهدر و کال سرنو و کال سگری و کال صبری از جمله رودهای منطقه می‌باشد. بجز کال شور جاجرم، در شمال غرب- غرب منطقه، بقیه در بیشتر طول سال بی آب و یا اندک آبی در آنها جریان دارد. به دلیل بارندگی کم، پوشش گیاهی منطقه محدود و تنها منحصر به بوته‌ها و درختچه‌هایی مانند گز، تاق و گون است.

### ۱-۴- زمین ریخت شناسی منطقه

ریخت شناسی این مناطق تحت تاثیر فعالیتهای آتش فشانی و زمین ساختی قرار دارد. آن چنان که کوه گر در شمال غرب روستای بیزه ی سبزوار، بلندترین نقطه با ارتفاع ۲۷۰۸ متر از سطح دریا و پست ترین نقطه در کال شور جاجرم از بخش‌های غربی ورقه با ارتفاع ۷۶۲ متر از سطح دریا می باشد. ناحیه به گونه ای مشخص به دو بخش کوهستانی در شمال و دشت در مرکز و جنوب، قابل تقسیم است. بخش‌های مرتفع را برونزد سنگ‌های آتش فشانی و آذرآواری، نفوذی و افیولیتی شکل می دهد در حالیکه دشتهای را آبرفتهای جوان و مارنهای نئوژن تشکیل می دهند. کوه‌های زاواک و فرومد باروند شرقی- غربی در مرکز (شکل ۱-۲)، کوه گر باروند شمال غرب- جنوب شرق در شمال شرق و کوه‌های شکست چشمه بهادر و دوشاخ باروند شمال شرق- جنوب غرب در جنوب غرب ورقه برونزد دارد. شوره زارها و باتلاقها در بخش های مرکزی و

تل ماسه ها در جنوب شرقی توسعه دارند. آبراهه ها و رودهای اصلی (کال ها) به طور عموم از روند شمال غرب- جنوب شرق پیروی کرده اند.



شکل ۱-۲- نمایی از دشت، آبرفتهای جوان و کوه زاواک (آتشفشانی) واقع در جنوب روستای کلاته سادات و موقعیت کانسار منگنز فرومد- دید به سمت جنوب

#### ۱-۵- وضعیت معیشتی

با توجه به اینکه، این منطقه از شمال به کوهستان و از جنوب به دشت ختم می شود، دامپروری نسبت به کشاورزی از رونق بیشتری برخوردار است، بطوریکه نواحی شمالی و مرکزی، پرورش بز و گوسفند و نواحی جنوبی بیشتر پرورش شتر می باشد. کشاورزی در این منطقه نیز همانند دامپروری، بیشتر در شمال و بخشهایی از نواحی مرکزی می باشد که شامل محصولات باغی، بیشتر انار، گردو، انجیر، توت و انگور و سالهای اخیر زیتون، بادام و محصولات زراعی، به مقدار خیلی زیاد فلفل قرمز، خاکشیر، کنجد، گندم و جو، چغندر و محصولات جالیزی چون هندوانه و خربزه می باشد. همچنین عده ای از مردم با جمع کردن انواع مختلف گیاهان دارویی امرار معاش می کنند.

از نظر معدنکاری، معدن کرومیت فرومد با ۷۶ سال قدمت، قدیمی ترین معدنی است که مردم در آن مشغول بوده و هستند. در قدیم معدنی چون منیزیت (گل سرشور)، گچ نیز استخراج می شده است. معادن

دیگری نیز طی چند سال اخیر شناسایی شده اند که در آنها نیز تعدادی کارگر مشغولند، مثل معدن کرومیت شمال فیروزآباد و میرمحمود، منگنز فرومد (سردار) و معادن کوچک دیگری از این نوع.

## ۱-۶- تاریخچه معدن کاری و مطالعاتی

کارهای مطالعاتی و معدن کاری انجام شده در این منطقه مربوط به کرومیت می باشد و در محدوده ی کانہ زایی مورد نظر، منگنز و مس ، هیچ کار زمین شناسی تفصیلی در قالب یک پایان نامه انجام نشده و فقط در حد تعدادی داده برای تعیین عیار می باشد که توسط صاحب معدن منگنز فرومد برای گرفتن پروانه های اکتشاف و بهره داری انجام گرفته است. البته درون ماسه سنگهای قرمز جنوب و غرب تاقدیس کاهک و ماسه سنگهای آهکی شرق و جنوب این تاقدیس، دستک ها و حفاریهایی نیز جهت اکتشاف مس صورت گرفته که دارای اندیسهایی از منگنز می باشد.

تاکنون هیچ کانسار منگنزی به غیر از کانسار منگنز فرومد، در نوار ماگمایی داورزن-عباس آباد گزارش نشده است، ولی کارهای سنگ شناسی و تعیین محیط زمین ساختی زیادی بصورت گزارش و پایان نامه انجام شده است که عبارتند از:

سال ۱۳۸۲ توسط آقای عشق آبادی، گزارش کنترل و معرفی نواحی امیدبخش معدنی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن، در نوار ماگمایی داورزن-عباس آباد و بنی آدم و فتوتی گزارش زمین شناسی اقتصادی و دور سنجی در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ فرومد (زون داورزن- میامی) در سازمان زمین شناسی نیز ثبت شده است.

سال ۱۳۸۲، آقای بادامه و همکاران با مطالعه پتروژنز سنگ های آتشفشانی منطقه میاندهشت، طیف سنگ شناسی آن را توف خاکستری، لیتیک کریستال توف، کریستال توف در واحدهای آذرآواری که عمدتاً اپی کلاستیک هستند تا اولیوین بازالت و تراکی آندزیت درگدازها بیان کرده و براساس مطالعات ژئوشیمیایی، سنگهای منطقه به نظر می رسد از پیامد فاز فشاری لارامید دریک محیط پشت قوس فوران کرده باشند.

سال ۱۳۸۹، خانم الهیاری و همکاران با مطالعه پتروژنز سنگ های آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک-عباس آباد، ماگمای سازنده ی سنگ های آتشفشانی عباس آباد را حاصل ذوب بخشی پوسته ی اقیانوسی فرورانده شده ی نئوتتیس به زیر بخش شمالی زون ایران مرکزی و گوهی گوشته ای روی آن در یک زون فرورانش قوسی می دانستند.

سال ۱۳۹۰، خانم رضوی و همکاران با مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی ائوسن ناحیه داورزن، غرب سبزوار، بیان کردند که سنگ های بازالتی الیگوسن ایران مرکزی از جمله منطقه کلاته سادات سبزوار، اگرچه در یک حوضه کششی پشت کمانی تشکیل شده اند، اما ویژگی های دوگانه سنگ های مناطق پشت کمان و فرورانش را به ارث برده اند.

سال ۱۳۹۳، آقای حاجیلو و همکاران با مطالعه شواهد ماگمایی حوضه پشت کمان الیگوسن در شمال شرقی ایران مرکزی بیان کردند که سنگ های بازالتی موجود در مارن های ژپس دار غرب و جنوب غرب سبزوار دارای ماهیت آکالن می باشند که در نمودار های سنگ زادی و تعیین محیط تکتونوماگمایی در جایگاه بازالت های محیط پشت کمان (BABB) اولیه قرار می گیرند.

سال ۱۳۹۴، آقای رستمی حصوری و همکاران با مطالعه فعالیت ماگمایی کششی پشت کمانی در حوضه الیگومیوسن لبه شمالی ایران مرکزی بیان کردند که حوضه کششی فروافتاده پشت کمانی الیگومیوسن ایران مرکزی، در بردارنده توالی های رسوبی محیط های کششی درون قاره ای به همراه سنگ های ماگمایی با ترکیب بازیک قلیایی است. این بازالت ها، ویژگی های ژئوشیمیایی ماگماهای بازالتی منشأ گرفته از منابع گوشته ای تعدیل شده گارنت لرزولیتی غنی شده، در زیر مناطق قاره ای محیط های کششی پشت کمانی را نشان می دهند.

همچنین یک مقاله به زبان انگلیسی با عنوان "سنگ شیمی و محیط زمین ساختی سنگ های آتشفشانی ائوسن داورزن-عباس آباد، شمال شرق ایران" توسط آقای قاسمی و همکاران (2015) انجام شده است،

که حدواسط تا بازیک بودن سنگهای آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک-عباس آباد در حوضه کشتی درون کمانی را بیان کردند. چون منطقه مورد مطالعه بخشی از این پهنه زمین ساختی می باشد از این مقاله ها و پایان نامه ها نیز استفاده شده است.

#### ۱-۷- طرح مسئله، ضرورت و هدف مطالعه

باتوجه به کاربردهای وسیع منگنز در حوزه های مختلف، اکتشاف و استخراج آن برای رونق تولید و اقتصاد کشور ضروری است. لذا در این زمینه دولت می بایست از بخش خصوصی حمایت کرده تا سرمایه گذاریهای لازم انجام پذیرد. هم اکنون استخراج کانسنگ منگنز از کانسار منگنز فرومد(سردار) در منطقه فرومد درحال انجام است که این خود مطالعات دقیق تر و وسیعتر زمین شناسی بویژه زمین شناسی اقتصادی را می طلبد. مطالعات قبلی بصورت کلی و مقدماتی، محدود به چند آنالیز جهت تعیین عیار و برآورد میزان ذخیره و اجرای عملیات معدنکاری بوده و مطالعات زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی دقیق جهت مشخص کردن الگوی پیدایش این کانسار، انجام نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش،تشخیص الگوی تشکیل کانسار منگنز فرومد(سردار) براساس مطالعات زمین شناسی شامل تفکیک واحدهای سنگ-چینه ای و مطالعه ی ساخت و گسترش آنها در منطقه، مطالعه کنترل کننده های اصلی کانه زایی، مطالعات کانی شناسی شامل مطالعه کانیها و کانه ها و بافت آنها و بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی شامل توزیع و پراکندگی عناصر در واحدهای مختلف کانسار و تعیین تیپ کانه زایی بر اساس مقایسه ویژگیهای کانسار منگنز فرومد با تیپهای مشابه در ایران و جهان می باشد. درنهایت،دستیابی به کلیدهای اکتشافی جهت پی جویی و اکتشاف کانسارهایی مشابه از این نوع در بخشهای مختلف تاقدیس کاهک، منطقه فرومد و زیر پهنه سبزوار از اهداف این تحقیق است.

## ۱-۸-۸- روش مطالعه

مطالعات انجام گرفته در این تحقیق شامل بخشهای زیر است:

۱-۸-۱- مطالعات کتابخانه ای و اینترنتی که شامل مطالعه مقالات انگلیسی و فارسی بروز دنیا، مطالعه

نقشه های زمین شناسی ناحیه ای با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰، نقشه های محلی و گزارشها و

آنالیزهای تهیه شده قبلی، تصاویر ماهواره ای و عکسهای هوایی می باشد.

۱-۸-۲- مطالعات صحرایی در ۱۰ روز انجام شد که شامل موارد زیر است:

- پیمایش و بررسی زمین شناسی ناحیه ای منطقه، اطلاع از چینه شناسی و نحوه تغییرات جانبی و قائم

واحدهای سنگی، ساختهای رسوبی و زمین ساختی طبق نقشه و در نهایت بازسازی حوضه رسوبگذاری

ناحیه ای.

- پیمایش و بررسی زمین شناسی محدوده معدنی با مطالعه کانی شناسی، ساخت و بافت سنگهای

درونگیر و ماده معدنی، شکل و موقعیت کانه زایی، برداشت ترانسه ها و انتخاب دو پروفیل سنگ چینه ای

از آنها، نمونه برداری منظم لیتوژئوشیمیایی در امتداد پروفیلها جهت آنالیز رخساره ای و تهیه ستونهای

لیتوژئوشیمیایی، مشخص کردن جایگاه افق منگنزار در ستون چینه شناسی و بررسی احتمالی وجود

منگنز در قسمت های دیگر تاقدیس کاهک، می باشد.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی شامل آماده سازی و مطالعه ۲۰ عدد مقطع نازک جهت پتروگرافی سنگهای

آتشفشانی و رسوبی، ۳ عدد مقطع صیقلی جهت تصویر برداری به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی

(SEM) و شناسایی دقیق کانیهای مشکوک، ۱۱ عدد مقطع نازک-صیقلی جهت بررسی بافتی و کانی

شناسی ماده معدنی و سنگهای درونگیر، یک عدد مقطع دوبرصیقل جهت مطالعات سیالات درگیر و

تشخیص دما و شوری دیرینه حوضه رسوبگذاری، آنالیز و مطالعه ۸ نمونه به روش طیف سنجی پراش پرتو

ایکس (XRD) جهت تعیین فازهای اصلی و فرعی کانیهای منگنز و ۱۵ نمونه به روش طیف سنجی

فلورسانس اشعه ایکس (XRF) جهت تعیین عناصر اصلی و فرعی کانسنگ و سنگهای درونگیر و ترسیم نمودارها و ستونهای لیتوژئوشیمیایی، آنالیز ۱۵ نمونه از کانسنگ و سنگ درونگیر به روش طیف سنج نوری پلاسمای جفتی القایی (ICP-OES) و ۵ نمونه به روش طیف سنج جرمی پلاسمای جفتی القایی (ICP-MS) جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی، فرعی و عناصر نادر خاکی، استفاده از نتایج آنها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی و تعیین منشاء کانسار و در نهایت تجزیه و تحلیل داده ها و نتیجه گیری نهایی و تدوین پایان نامه، می باشد.

## فصل دوم

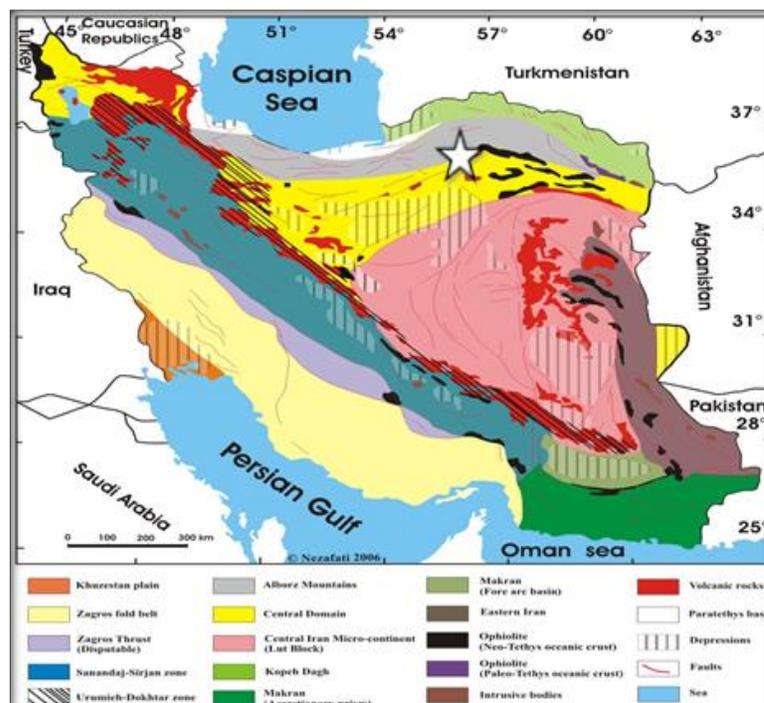
### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

## ۱-۲- مقدمه

کانسار منگنز فرومد(سردار) در ۱۹۰ کیلومتری شرق شاهرود و ۸ کیلومتری جنوب روستای فرومد از توابع شهرستان میامی ، در محدوده کمربند آتشفشانی شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیر پهنه سبزووار واقع شده است(شکل ۱-۲). پهنه ساختاری ایران مرکزی قدیمی ترین پهنه ایران است که در پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک حالت پلاتفرمی داشته ولی از اواخر مزوزوئیک و سنوزوئیک به پهنه کوهزایی بزرگ تبدیل شده است (اشتوکلین، ۱۹۶۸). در ترشیری در این پهنه فعالیت‌های ماگمایی بسیاری انجام شده است که نتیجه آن ایجاد نوار آتشفشانی آلکان عباس آباد- کاهک، در جنوب نوار افیولیتی سبزووار و در لبه ی شمال شرقی زون ساختاری ایران مرکزی می باشد. به اعتقاد

Ghasemi and Rezaei-Kahkhaei (2015) سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در نوار عباس آباد- داورزن، که

منطقه مورد مطالعه بخشی از آن محسوب می شود در یک محیط کششی درون کمائی نهشته شده اند.



شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه های زمین شناسی ساختاری ایران (☆) (آقاباتی، ۱۳۸۳)

## ۲-۲- چینه‌شناسی عمومی

### ۲-۲-۱- مقدمه

در این ناحیه واحدهای سنگی از مزوزوئیک تا کواترنر رخنمون دارند. بدین صورت که در بخشهای جنوبی‌تر سنگهای آتشفشانی- رسوبی دوران سوم بیشترین گسترش را دارند. سنگهای رسوبی دوران دوم از نظر گسترش بعد از نهشته‌های آتشفشانی- رسوبی دوران سوم قرار دارند و در شمال شرق منطقه دیده می‌شوند. شرح واحدهای سنگی دوران‌های مختلف به نقل از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن با مختصات جغرافیایی ۳۰ ۵۶- ۰۰ ۵۷ طولهای شرقی و ۳۶ ۰۰- ۳۶ ۳۶ عرضهای شمالی (رادفر و کهنسال، ۱۳۸۱) و ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (افشاریانزاده و همکاران، ۱۳۷۰) به ترتیب زیر است:

### ۲-۲-۲- مزوزوئیک

به لحاظ زمین‌شناسی شمال شرق تا غرب ورقه داورزن متعلق به ادامه زون افیولیتی شمال سبزوار می‌باشد که روند کلی آن شمالی-جنوبی است. افیولیت‌های شمال سبزوار وابسته به افیولیت‌های مزوزوئیک حاشیه خرده قاره شمال ایران مرکزی بوده و در ریفت‌های کوچک کرتاسه، ایجاد شده‌اند. در واقع کهن‌ترین واحدهای سنگی منطقه که واحدهای هارزبورژیتی سرپانتینیتی شده (hz, st) هستند، در بعضی جاها با گابرودیوریتها همراهند و متعلق به همین زون افیولیتی می‌باشند که سن آن پیش از کرتاسه پسین بوده و روند آنها همان روند مجموعه‌های افیولیتی، شرقی- غربی است.

### ۲-۲-۲-۱- کرتاسه پیشین

رخساره‌های کرتاسه پیشین، در ایران مرکزی، به سه ردیف کلی ۱- آواری زیرین ۲- کربناته میانی ۳- شیلی- مارنی بالایی، تقسیم می‌شوند. بربریان (۱۹۸۰) به نقل از اشتوکلین (۱۹۷۲) رخساره‌های کرتاسه زیرین در ایران مرکزی را شامل آهکهای تخریبی، آهک ریفی، مارن و شیل و سنگهای آتشفشانی می‌داند.

سنگهای آتشفشانی مزبور یکی از رخساره‌های مهم تشکیل دهنده کرتاسه تحتانی در اکثر زونهای ساختاری ایران است و عمدتاً حاصل تکاپوهای آتشفشانی بعد از کوهزایی بوده و بطور اساسی شامل سنگهای بازیک قلیایی می‌باشند. سنگهای بازالتی این زمان در مناطق قاین، خارتوران، تهران، قزوین، رشت، ارومیه، سنندج و... گزارش شده است. در ورقه‌های آمل و ساری، بازالت‌های کرتاسه پائین با مواد آذرآوری همراه است. جدا از بازالت گاهی گدازه‌های کرتاسه پائین از نوع آندزیتی- تراکیتی (سنندج)، بازالتی- آندزیتی (خوی)، آندزیتی همراه با توف (اقلید و نائین) است (آقانباتی، ۱۳۸۳). بربریان (۱۹۸۰) معتقد است که نبوده‌های رسوبی و ناپیوستگی‌ها، منعکس کننده محیط رسوبی ناپایدار ایران مرکزی در زمان کرتاسه پیشین می‌باشد. منطقه مورد مطالعه، بدلیل قرارگیری در زون ساختاری ایران مرکزی از قاعده فوق مستثنی نیست و شروع کرتاسه با رخساره‌های حاصل از پیشروی دریا در منطقه نمود پیدا می‌کند.

#### ۲-۲-۲-۲- کرتاسه پسین

کرتاسه پسین، که در سطح منطقه مورد بررسی به صورت پراکنده گسترش دارد، موجب برجای ماندن رسوبات آواری قاره‌ای و دریایی شده است. این رسوبات با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی نهشته‌های قدیمی‌تر از خود قرار دارد و به همین صورت در زیر رسوبات ائوسن جای گرفته است. بر اثر پیشروی دریا و تغییر رژیم رسوبگذاری، تناوبی از ماسه‌سنگها و کنگلومراهای قرمز- قهوه‌ای متوسط لایه با وجود یک وقفه زمانی رسوبگذاری، بر روی کرتاسه پیشین می‌نشیند. این واحد بخش قاعده‌ای کرتاسه پسین را تشکیل داده است.

## ۲-۲-۳- سنوزوئیک

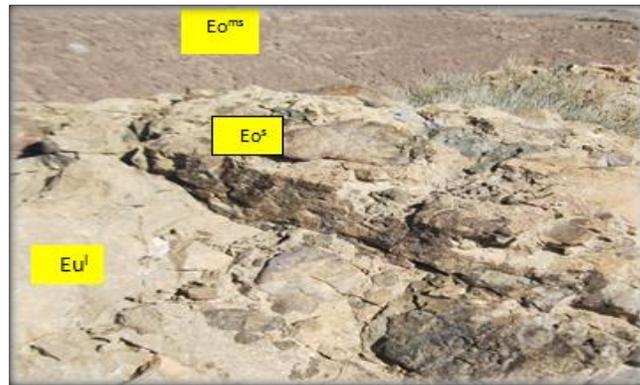
### ۲-۲-۳-۱- ترشیری

ترشیری با فعالیتهای آتشفشانی آغاز می گردد که مربوط به جنبش های کوهزایی لارامید می باشد که در ائوسن به اوج خود رسیده است. نشست کف حوضه رسوبی و پیشروی دریا در اواسط ائوسن با یک واحد کنگلومراییی آغاز می شود. سپس رسوبات بستر دریایی نومولیت دار ائوسن بالایی که معرف محیط کم عمق است در پی آن می آید. بعد از آن با بالا آمدن کف دریا یک رژیم آواری بر سراسر ناحیه حکمفرما شده و سازند قرمز الیگوسن را بجای گذاشته است. در اواخر الیگوسن با نشست دوباره کف حوضه در مدت کوتاهی باز یک رژیم دریایی مستقر می گردد وضخامت بسیار کمی از تناوب شیل و آهک را بوجود می آورد. اما پس از آن دیگر شرایط دریایی دیده نشده و یک رژیم آواری کولابی در منطقه حاکم است. بطور کلی رخساره های ترشیری منطقه به دو دسته رخساره های پالئوژن و نئوژن تقسیم می شود. پالئوژن شامل پالئوسن، ائوسن و الیگوسن بوده، به طوری که رخساره های پالئوسن از کنگلومرا و ماسه سنگ تشکیل شده که در این منطقه نداریم. در حالیکه ائوسن عمدتاً شامل رخساره های آتشفشانی - رسوبی است و حاکی از اوج فعالیتهای آتشفشانی در این زمان می باشد بطوریکه در شمال غرب منطقه مقادیر زیادی سنگهای گدازه ای و آذرآواری باروند شمال شرق - جنوب غرب دیده می شود (شکل ۲-۲). واحدهای الیگوسن در این ناحیه ، واحدهای ماسه سنگی و کنگلومراییی بوده که در شمال و جنوب تاقدیس کاهک دیده می شود. نئوژن شامل مارنهای میوسن و کنگلومرای پلیوسن است که شباهت زیادی با رخساره های قسمت فوقانی سازند قم و سری قرمز فوقانی دارد.

بطور کلی به جز شرق، شمال شرق و شمال منطقه که مربوط به واحدهای افیولیتی مزوزوئیک می باشد، بقیه واحدهای سنگ چینه ای منطقه مربوط به ائوسن است که شامل :

الف: واحدهای مربوط به ائوسن میانی که در تاقدیس بیزه رخنمون دارد و شامل کنگلومرای چند زادی با جورشدگی ضعیف و سخت شدگی خوب، توف قطعه داربلورین و لاپیلی توف قهوه ای تیره همراه با ماسه سنگ آهکی، گدازه آندزیت پورفیری خاکستری تا قهوه ای، تناوب مارن، توف بلورین شیشه ای اسیدی با ماسه سنگ آهکی نومولیت دارسبز کم رنگ مایل به زرد، مارن و ماسه سنگ مایل به زرد با بین لایه های ماسه سنگ آهکی نومولیت دار، است و همانطور که بیان شد حاصل رویداد کوهزایی لارامید می باشد.

ب: واحدهای مربوط به ائوسن بالایی که در تاقدیس کاهک رخنمون دارد و شامل توالی های آتشفشانی- رسوبی ائوسن بالایی و تخریبی های ائوسن-الیگوسن است. سنگهای آتشفشانی آن شامل آندزیت، تراکی آندزیت، آندزی بازالت و تراکی آندزی بازالت است که کانیهای آن بطور عمده شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت می باشد. پلاژیوکلازهای آن به سریسیت و کانیهای فرومنیزین به کلریت دگرسان شده است که بیانگر تشکیل سنگها در محیط زیرآبی و درون حوضه رسوبی است.



شکل ۲-۲-EO<sup>ms</sup>: تناوب مارن، ماسه سنگ، شیل و ماسه سنگ توفی مایل به قهوه ای وزرد کم رنگ، EO<sup>s</sup>: ماسه سنگ نازک تا متوسط لایه با بین لایه های کنگلومرا، Eu<sup>1</sup>: آهک توفی فسیل دار- دید به سمت شرق

### ۲-۲-۳- کواترنری

بیشترین مساحت قسمت‌های جنوبی منطقه را رخساره‌های عهد حاضر تشکیل می‌دهد. نهشته‌های کواترنری در منطقه به ترتیب سنی عبارت از پادگانه‌های قدیمی و جوان، مخروط افکنه‌ها، مخروط‌های آبرفتی، واریزه‌ها، تپه‌ها، پهنه‌های ماسه‌ای، آبرفتهای عهد حاضر و پهنه‌های رسی یا دق می‌باشد.

### ۲-۳- ماگماتیسیم منطقه

ماگماتیسیم موجود در منطقه مورد مطالعه شامل دو دسته سنگ است که عبارتند از:

### ۲-۳-۱- سنگ‌های درونی یا نفوذی (md)

سنگهای نفوذی این ناحیه، مونزودیوریت-مونزونیت است که در جنوب منطقه، در منتهی الیه شرق تاقدیس کاهک، درون سنگهای آتشفشانی تراکی آندزیت، به رنگ خاکستری روشن برونزد دارد. این توده‌ی تماماً بلورین، با بافت دانه‌ای متوسط تا درشت‌دانه، با درشت بلورهای آلکالی فلدسپات و پلاژیوکلاز همراه است. این توده نفوذی، سنگهای آتشفشانی ائوسن را بریده و در محل همبری آنها سیلیسی شده‌است. چون این سنگهای آتشفشانی، خود با دایکهای دیابازی بریده می‌شود، چنین پنداشته می‌شود که سن توده آذرین نفوذی الیگوسن باشد.

## ۲-۳-۲- سنگهای بیرونی و نیمه عمیق با ساختمانهای گنبدی، دایک و سیل

این نوع سنگها در این ناحیه عبارتند از :

### ۱-۲-۳-۲- واحد آندزیت داسیتی، تراکی آندزیت (da)

رنگ این واحدها خاکستری روشن مایل به صورتی می باشد و به بعد از پلیوسن نسبت داده می شود.

### ۲-۲-۳-۲- واحد دایک وسیل گرانیتهی (gr): این واحد، درون هارزبورژیتهای شمال شرق منطقه تزریق

شده است.

### ۳-۲-۳-۲- واحد دایکهای آندزی بازالت و پیروکسن بازالت (ab)

درون واحدهای آتشفشانی ائوسن بالایی و واحدهای تخریبی الیگوسن با روند شمال غرب-جنوب شرق و

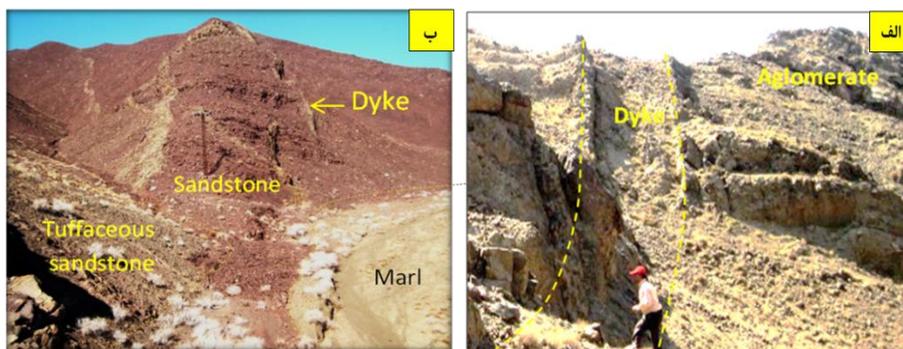
همروند گسلهای نرمال منطقه ، تزریق شده و از نظر سنی جوانتر از این واحدها می باشند. واحدهای

ائوسن بالایی شامل برش ولکانوکلاستیک آندزی بازالت و گدازه های بازالتی تا تراکی آندزیت و تناوب

گدازه های آندزی بازالت اسپیلیتهی، تراکی آندزی بازالت، تراکی آندزیت پورفیری و توف با برش آتشفشانی

بوده و واحدهای الیگوسن، تناوب مارن، ماسه سنگ، شیل و ماسه سنگ توفی مایل به قهوه ای وزردکم

رنگ، می باشد (شکل ۲-۳-الف وب).



شکل ۲-۳-الف)-رخنمونهایی از دایک قطع کننده ی آگلومرا- دید به سمت شرق وب)دایک قطع کننده ی ماسه سنگهای ائوسن- الیگوسن (EO<sup>ms</sup>)- دید به سمت غرب

## ۲-۴- زمین ساخت منطقه:

در دو بخش، فازهای کوهزایی و ساختارهای زمین ساختی مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

### ۲-۴-۱- فازهای کوهزایی و جغرافیای دیرینه منطقه

شروع رخساره‌های سنگی ائوسن، کنگلومرای قرمز رنگی است که به خاطر وقفه زمانی و رسوبگذاری، به صورت ناپیوستگی هم‌شیب بر روی آهکهای کرتاسه پسین، در ادامه رخداد لارامید و پیشروی دریا در پالئوژن گذاشته شده است. (جاده نهالدان، تاقدیس بیزه). بنابر این رخداد لارامید (کرتاسه- پالئوسن) فعالیتهای آتشفشانی و آذرآواری شدیدی را در منطقه سبب شده که تا ائوسن به اوج خود رسیده است. این آتشفشانها اکثراً در زیر آبهای کم‌عمق تشکیل شده‌اند، ترکیب اصلی آنها اساساً آندزیتی و توفهای وابسته به آن می‌باشد. به احتمال زیاد، رخداد پیرنه نیز در ظهور و شدت این آتشفشانها در منطقه مؤثر بوده است. از طرف دیگر، این رخداد، که در سر حد ائوسن- الیگوسن بوقوع پیوسته است، باعث وقفه رسوبگذاری و ته‌نشست رسوبات قاره‌ای به گونه دگرشیب، بر روی رخساره‌های سنگی ائوسن شده و ارتباط حوضه‌های رسوبی با دریای آزاد محدودتر و جدایش بین آنها بیشتر شده است. لذا رسوبگذاری در محیط‌های خشکی به ضخامت بسیار زیاد انجام گرفته است. به عبارت بهتر، می‌توان این گونه بیان کرد که حرکات خشکی زایی (اپیروژنیک) در اوائل الیگوسن با ناپیوستگی دگر شیب و بی نظمی رسوبات آواری

تبخیری در الیگوسن مشخص شده است. به طور کلی می‌توان چنین گفت که رویدادهای زمین‌ساختی در آلپ میانی باعث کج شدن و چین خوردگی ملایم سازندهای الیگومیوسن گردیده است که نتیجه این رویداد را در عبور از مسیر جاده کاهک- فرومد به وضوح می‌بینیم. (شکل ۲-۴)

حرکات آلپ پسین تأثیرات بسیار مهمی در منطقه داشته، از جمله اینکه چین خوردگی‌ها و فعالیت گسلها و در نتیجه زلزله‌های شدیدی را در منطقه بدنبال داشته است. به اعتقاد اشتوکلین (۱۹۷۲) تغییرشکل‌های آلپ پسین موجب ناپیوستگی در قاعده پلیوسن بالا و رسوبات رس، مارن و ماسه تورنین، سامارتسین در میوسن پسین گردیده است و جدیدترین حرکات چین خوردگی در پلیوسن - پلیستوسن رخ داده است. تنها این فاز چین خوردگی به نام پاسادنین است که جدیدترین فازهای چهره ساز منطقه اعم از تاقدیسها و ناودیسهای طویل و موازی را ایجاد کرده و هنوز هم این حرکات خاتمه نیافته است. فرسایش بعدی ارتفاعات، در طی پلیوسن، و ته نشست آنها در حوضه‌های جدا و کوچک باعث ایجاد کنگلومراهای پلیوسن گردیده است (نادری، ۱۳۷۱).



شکل ۲-۴- نمای از کج شدگی ماسه سنگهای توفی آهکی به رنگ خاکستری تیره (EOSS)، دید به سمت جنوب

## ۲-۴-۲- ساختارهای زمین‌ساختی

ساختارهای زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه شامل گسلها و چین خوردگی‌ها است.

## ۲-۴-۲-۱- گسلها

۲-۴-۲-۱-۱- گسلهای راندگی یا فشارشی آبرود- بیزه : این گسل با روند شمال غرب، جنوب شرق امتداد یافته و مرز بین نهشته‌های کنگومرایی و آبرفت‌های جوان با واحدهای هارزبورژیت و سرپانتینیتها در شمال شرق می باشد.

۲-۴-۲-۱-۲- گسل راندگی یا فشارشی ده نو : این گسل تقریباً هم روند با گسلهای راندگی آبرود- بیزه است و مرز بین واحدهای ائوسن میانی تاقدیس بیزه با کنگلومراها و نهشته های جوان می باشد.

۲-۴-۲-۱-۳- گسلهای امتداد لغز که بطورعموم گسلهای راندگی بزرگ منطقه را بریده و در برخی موارد جابجا کرده است.

گسل‌های مهم ورقه عبارتند از:

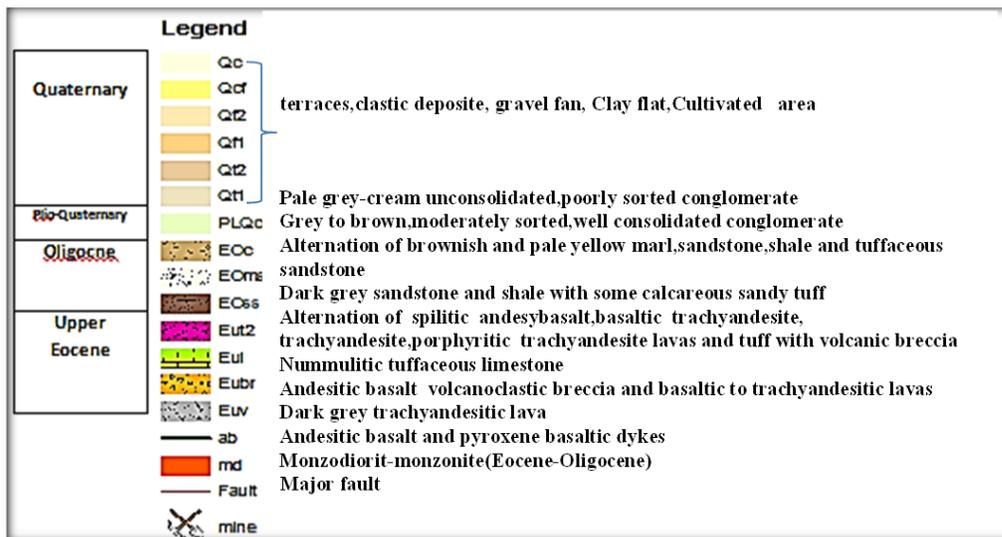
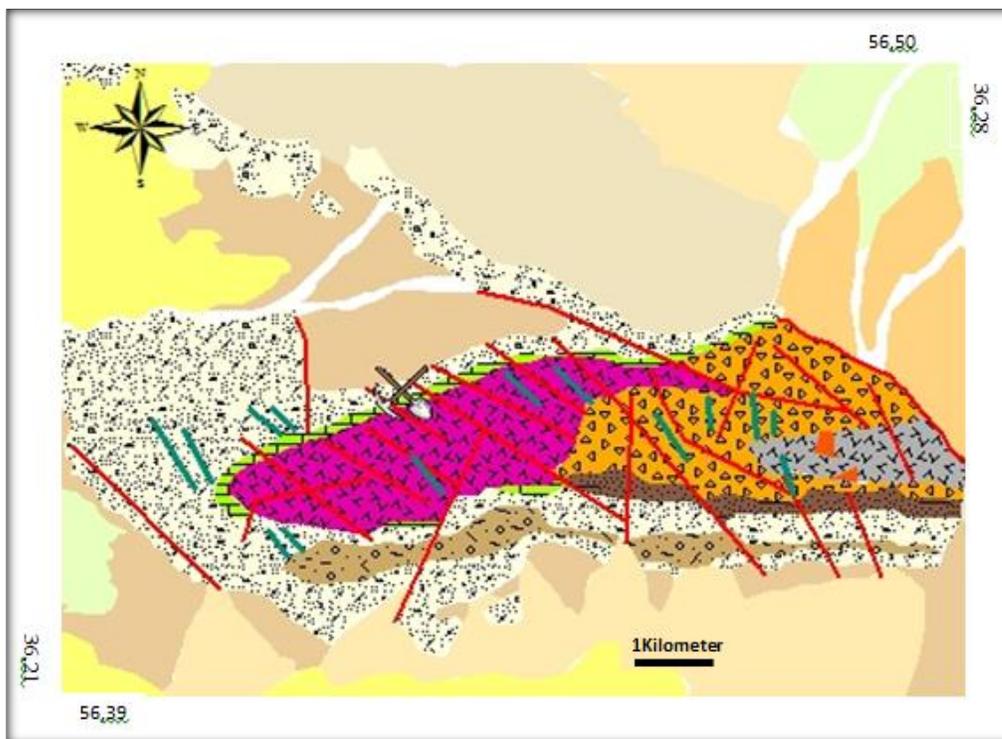
۱- گسل فرومد: این گسل در روند شمال غرب، جنوب شرق امتداد یافته و مرز بین نهشته‌های کنگومرایی  $PIQ^c$  و آبرفت‌های جوان  $Q_1^t$  و  $Q_2^t$  را در شمال روستای فرومد تشکیل می‌دهد. این گسله احتمالاً جزو جوانترین گسله‌های منطقه است.

۲- گسل روراندگی قلیچ: این گسل در شمال شرق روستای فرومد، گسترش داشته و یکی از گسله‌های اصلی ناحیه محسوب می‌شود که از گسترش طولی قابل توجهی برخوردار است. این روراندگی مرز میان سنگ‌های افیولیتی ائوسن را با نهشته‌های جوان تر کواترنری معین می‌سازد.

۳- گسل راندگی سیربابا: این گسل در شمال کوه گر (علی آباد) و گسل قلیچ جای دارد و مرز میان سنگ‌های گابرویی، در شمال و سنگ‌های سرپانتینیتی و هارزبورژیتی در جنوب را مشخص می‌کند. این گسل در ادامه به طرف غرب به گسل قلیچ متصل گردیده و ناپدید می‌شود.

۴- گسل راندگی منیدر: این گسل مرز میان واحدهای آتشفشانی - رسوبی کرتاسه (مربوط به افیولیت‌ها) در شمال و واحدهای مخلوط زمین ساختی، سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن و نهشته‌های نئوژن در جنوب را تشکیل می‌دهد.

۵- گسل راندگی دستوران: این گسل از اهمیت بسزایی برخوردار است. چرا که این گسل مرز میان مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن و بخشی از افیولیت‌ها در جنوب با نهشته‌های رسوبی ائوسن و پلیوسن - کواترنر در شمال است. این گسل گسترش مجموعه افیولیتی را به سوی شمال محدود می‌کند، به طوری که در شمال این گسل، رخنمونی از سنگ‌های افیولیتی وجود ندارد. علاوه بر سنگ‌های افیولیتی، توده‌های نیمه عمیق داسیتی (da)، که در کمربند افیولیتی سبزوار از گسترش قابل توجهی برخوردار است نیز در شمال گسل دستوران ناپدید شده و اثری از آن مشاهده نمی‌شود. این گسل بخشی از گسل طویل میامی (یا شاهرود) است که حد شرقی آن فرورفتگی ناحیه، تربت شیخ جام و حد غربی این گسل در جنوب غربی شاهرود و در زیر رسوبات عهد حاضر و کویر دامغان ناپدید می‌شود. حد شمالی گسل میامی بیشتر زمین‌های آبرفتی و کوهپایه‌ای، ولی حد جنوبی آن کوهستانی است. بخشی از گسل میامی که در میان ورقه فرومد مشاهده می‌شود امتداد شرقی - غربی دارد که حد جنوبی آن جداکننده ملانژهای افیولیتی از واحدهای دیگر است، بنابراین گسل شاهرود (میامی)، حد شمالی ریفت سبزوار - شاهرود، طی زمان کرتاسه به شمار می‌رفته است و به عقیده اشتامپلی (۱۹۷۸)، گسل شاهرود تا آخرین مراحل چین‌خوردگی آلپی در پلیوسن عملکرد راستگرد داشته است. افزون بر آنها سیستم‌های متقاطع نیز وجود دارد، که فرصتهایی مناسب را برای فوران گدازه‌های آتشفشانی ائوسن ایجاد کرده است (نقشه ۲-۵).



شکل ۲-۵- نقشه مربوط به واحدهای سنگی تاقدیس کاهک بر گرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۸۱)

## ۲-۴-۲-۲- چین خوردگیها

چین‌های موجود در منطقه بصورت دو تاقدیس بزرگ با طولهای بیش از ده کیلومتر با شیب لایه های ۴۵ تا ۶۰ درجه می باشد که دلیل آن عملکرد فاز کششی در منطقه جهت کافت زایی و تشکیل افیولیتها و به دنبال آن ایجاد گسلهای نرمال فراوان با روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق است. همچنین در رسوبات نئوژن منطقه مورد بررسی نیز چین‌هایی ملایم ایجاد شده است.

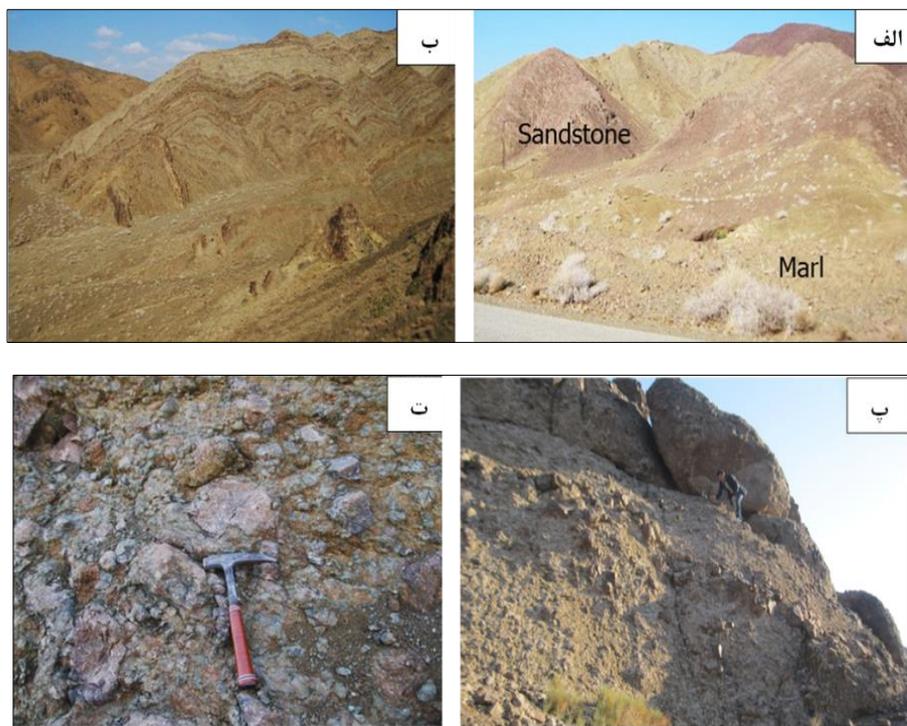
این تاقدیس ها شامل:

۱- تاقدیس نامتقارن بیزه با روند محوری شمال غرب- جنوب شرق و به سن ائوسن میانی واقع در جنوب واحدهای هارزبورژیتهی کرتاسه است که توسط دو گسل راندگی آبرود- بیزه از این واحدهای سنگی جدا شده و بطور ناپیوسته روی آنها قرار گرفته است.

۲- تاقدیس کاهک با روند محوری شرقی- غربی و به سن ائوسن بالایی در غرب تاقدیس بیزه قرار دارد. در رسوبات الیگوسن جنوب ناحیه مورد بررسی نیز چینهایی دیده می شود که محور آنها حدودا هم راستای گسله های اصلی منطقه ، همان روند شمال غرب- جنوب شرق می باشد(شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶- نمایی از چین خوردگی ریز در ماسه سنگهای به سن ائوسن- الیگوسن (واحد  $EO^{ms}$ )، دید به سمت غرب



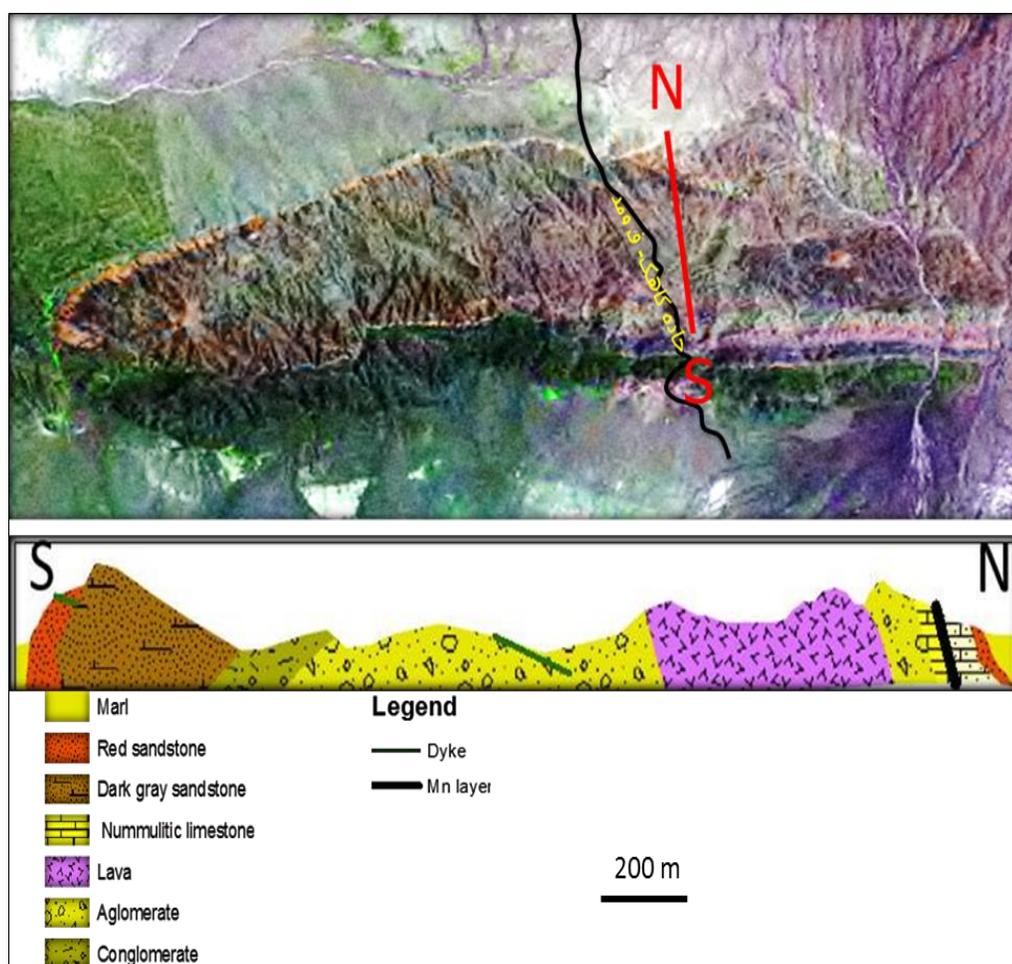
شکل ۲-۷- الف) رخنمونی از تناوب مارن و ماسه سنگ قرمز-دید به سمت شمال و ب) تناوب آهک و گدازه- دید به سمت شمال، پ-وت- رخنمونی از کنگلومرا با قطعات آتشفشانی دگرسان به سن ائوسن- الیگوسن- دیدبه سمت شرق

## ۲-۵- نیمرخ چینه شناسی عمومی برش عرضی تاقدیس کاهک(برش جاده کاهک- فرومد)

اگر عمود بر محور طولی تاقدیس یعنی برش جاده کاهک- فرومد، نیمرخ چینه شناسی ترسیم کنیم، بصورت زیر خواهد بود:

با حرکت از یال جنوبی تاقدیس کاهک به سمت یال شمالی به ترتیب واحدهای زیر را مشاهده می کنیم: ابتدا تناوب مارن سبز مایل به زرد نخودی و ماسه سنگ قرمز مرتفع با دایکهای تزریق شده فراوان در آنها، سپس ماسه سنگ و شیل خاکستری تیره با توف ماسه ای آهکی فسیل دار مرتفعتر که دارای چین خوردگیها و کج شدگیهای زیادی است که نشان دهنده زمین ساخت فعال در منطقه بوده(شکل ۲-۲ و ۲-۴-۶)، در بالای آن واحدهای کنگلومرایی با سخت شدگی خوب و جورشدگی متوسط به رنگ خاکستری تا

قهوه ای و شدیداً دگرسان شده (شکل ۲-۷ پ و ت)، در ادامه با عبور از لایه ضخیم آگلومرا و در بعضی جاها برش و گدازه های تراکی آندزیت به طول تقریباً ۱/۵ کیلومتر، به واحدهای متشکل از تناوب توف و گدازه های تراکی آندزیت پورفیری و آندزی بازالت‌های اسپیلیتی و دوباره تکرار واحد آگلومرای بر خورد می کنیم، سپس آهک توفی نومولیت دار که میزبان ماده معدنی منگنز است و در بالای آن آهک ماسه ای و ماسه سنگها، سپس تکرار تناوب واحدهای ماسه سنگ قرمز و مارنهای سبز مایل به زرد نخودی، جاده کاهک- فرومد به اتمام می رسد و بدین صورت کل واحدهای عرض تاقدیس پیمایش می شود.



شکل ۲-۸- نیمرخ جاده کاهک - فرومد که قطع کننده عرض تاقدیس کاهک است

فصل سوم

زمین‌شناسی

و

سنگ‌شناسی

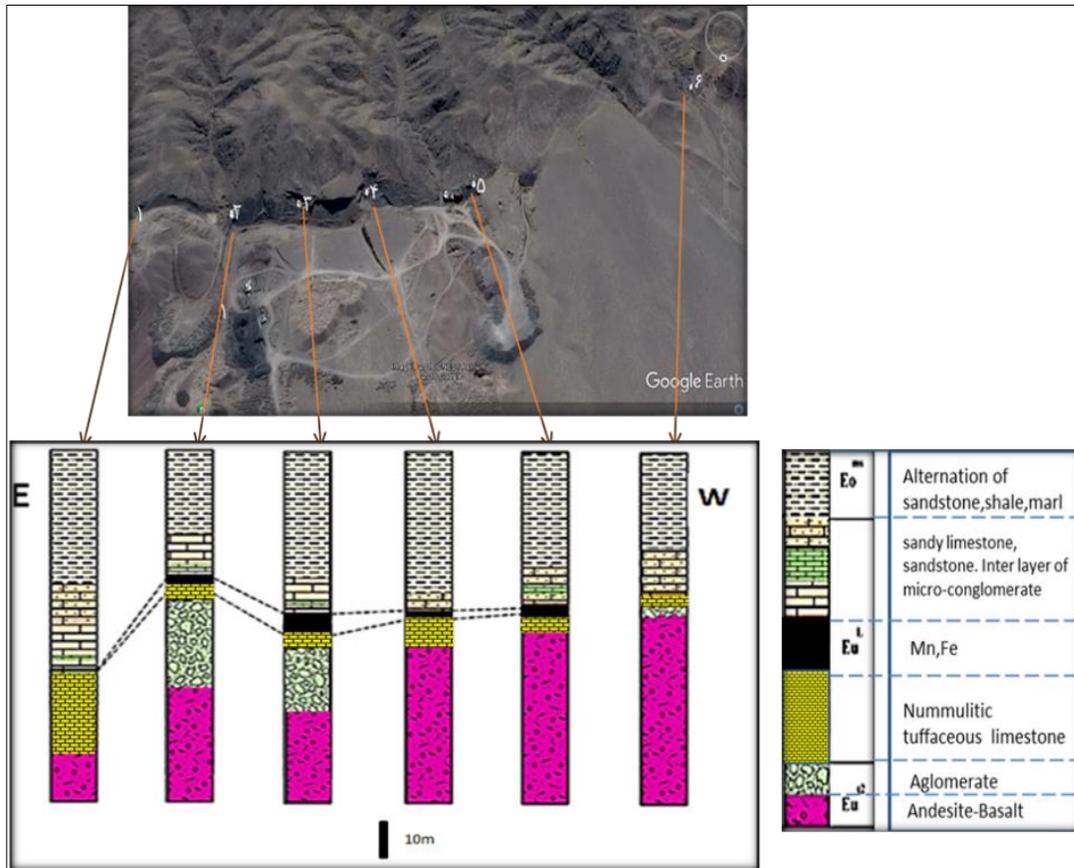
محدوده معدنی

### ۳-۱- مقدمه

با مطالعه ی ساخت و بافت واحدهای سنگی محدوده معدنی ، زمین شناسی ساختمانی حوضه تشکیل ، نوع و چگونگی کانه زایی ، بدنبال پیدا کردن روابط و در نهایت نظم موجود در بین پدیده های زمین شناسی در سطح منطقه ای و ناحیه ای می باشیم و بدین روش می توانیم مواد معدنی در دیگر نقاط را پی جویی و اکتشاف کنیم. همانطور که در فصل زمین شناسی ناحیه ای بیان شد ، منطقه مورد مطالعه ، بخشی از نوار آتشفشانی آلکالن عباس آباد- کاهک، در جنوب نوار افیولیتی سبزوار و در لبه ی شمال شرقی زون ساختاری ایران مرکزی می باشد. واحدهای سنگی ناحیه ای موجود ، طبق نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۸۱) ، سنگهای اولترابازیک پیش از کرتاسه در شمال شرق و شرق ، سنگهای آتشفشانی حدواسط تا بازیک و سنگهای آذرآواری وابسته به آنها در تناوب با سنگهای رسوبی و در نهایت آهکهای فسیل دار ائوسن بالایی در جنوب ناحیه (تاقدیس کاهک) ، توف و تخریبی های ائوسن میانی در شرق (تاقدیس بیزه) و تخریبی های الیگوسن در شمال و جنوب تاقدیس کاهک و رسوبات کواترنری می باشد. واحدهای سنگی تاقدیس کاهک، تناوبی از گدازه های آندزیتی- بازالتی و سنگهای آذرآواری با لایه های رسوبی (توف، مارن، آهکهای فسیل دار و ماسه سنگ توفی و شیل) و رسوبات کواترنری را شامل می شود. از آنجایی که میزبان کانی زایی منگنز در منطقه، توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن بالایی واقع در یال شمالی تاقدیس کاهک می باشد لذا به بررسی جزئیات زمین شناسی این قسمت از تاقدیس پرداخته می شود (شکل ۳-۱).

### ۳-۲- چینه شناسی محدوده مورد مطالعه

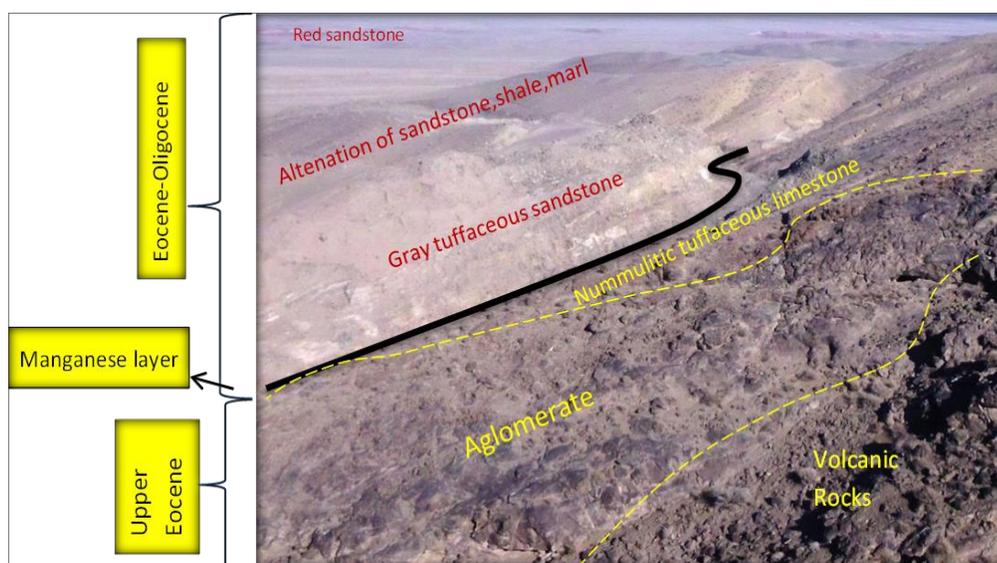
جهت بررسی جزئیات واحدهای سنگی در محدوده کانسار منگنز فرومد(سردار)، ابتدا در قالب ۶ پروفیل عمود بر روند لایه بندی، نمونه برداری شده ، سپس خصوصیات و روابط صحرائی واحدها، ثبت و در نهایت ستون چینه شناسی پروفیلهای مختلف ترسیم گردید (شکل ۳-۱ و ۳-۲).



شکل ۳-۱- تغییرات رخساره‌ای جانبی و تغییر در ستون چینه‌شناسی میزبان کانسارهای منگنز محل کانسار در یال شمالی تاقدیس کاهک از غرب به شرق افق کانه دار

با مطابقت نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن با واحدهای سنگ چینه ای در صحرا، تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از قدیم به جدید به سه واحد اصلی قابل تقسیم می باشد که عبارتند از:

$E_u^{12}$ : سنگهای آتشفشانی آندزیتی- بازالتی،  $E_u^1$ : آهکهای توفی نومولیت دار و  $EO^{ms}$  تناوب ماسه سنگ قرمز و شیل خاکستری با مارن و توف ماسه ای آهکی که جهت مطالعه دقیق تر، هر یک از این واحدها به زیر واحدهایی تفکیک شده که بصورت زیر توصیف می شود:



شکل ۳-۲- نمای کلی از واحدهای تشکیل دهنده محدوده معدنی (دید به سمت شمال شرق)

### ۳-۳- سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه ( $E_{11}^{t2}$ )

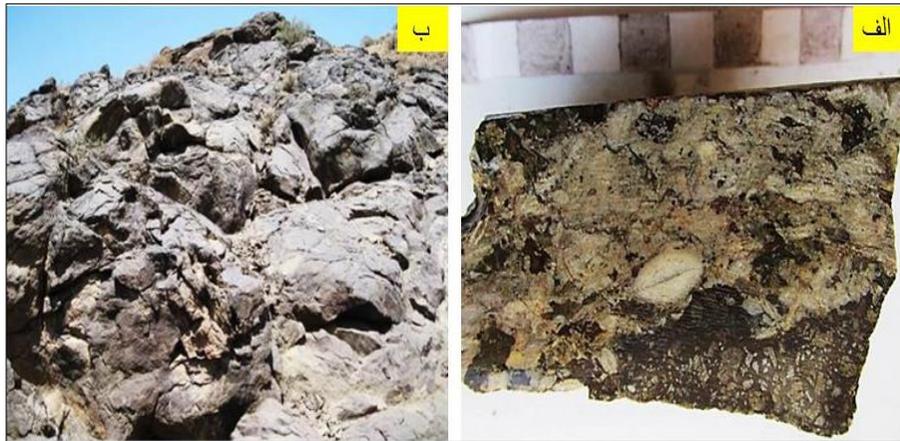
سنگهای آتشفشانی محدوده مورد مطالعه، قدیمی ترین واحد موجود در محدوده مطالعاتی بوده که بیش از سه کیلومتر ضخامت داشته و مرتفع ترین مورفولوژی منطقه را شکل می دهد. این واحد شامل تناوب گدازه های آندزیتی- بازالتی و تراکی آندزیت، توف آندزیتی تا آندزی بازالتی ، گدازه اسپیلیتی همراه با بازالت های بالشی و زیرواحد آگلومرای می باشد که به صورت عدسیها و لایه های ممتد هسته تاقدیس کاهک با روند محوری شرقی- غربی را شکل داده و شیب لایه بندی آنها بطور میانگین ۴۵ درجه به سمت شمال می باشد. بیشترین گسترش سنگهای آتشفشانی در هسته تاقدیس کاهک مربوط به همین واحدهاست.

### ۳-۳-۱- زیر واحد گدازه های آندزی بازالت

این زیر واحد در تناوب با زیر واحدهای دیگر، واحد اصلی  $E_{II}^{12}$  را تشکیل می دهد که هسته تاقدیس کاهک را شکل داده و با آهکهای نومولیت دار روی خود به صورت بین انگشتی<sup>۱</sup> قرار گرفته است (شکل ۳-۳-الف). گرمای ناشی از این سنگها، دمای لازم برای رشد و تکثیر سریع نومولیتها را فراهم آورده است. بر اساس شواهد صحرایی و میکروسکوپی هرچه از سمت شرق به غرب تاقدیس پیش رویم، این سنگها، بازالتی می شوند.

### ۳-۳-۲- زیر واحد گدازه اسپیلیتی همراه با بازالتهای بالشی

این زیر واحد بیانگر روانه های بازالتی کف دریا می باشد و قاعده توالیهای آتشفشانی منطقه را تشکیل می دهد که دچار فرسایش پوست پیازی شده است (شکل ۳-۳-ب).

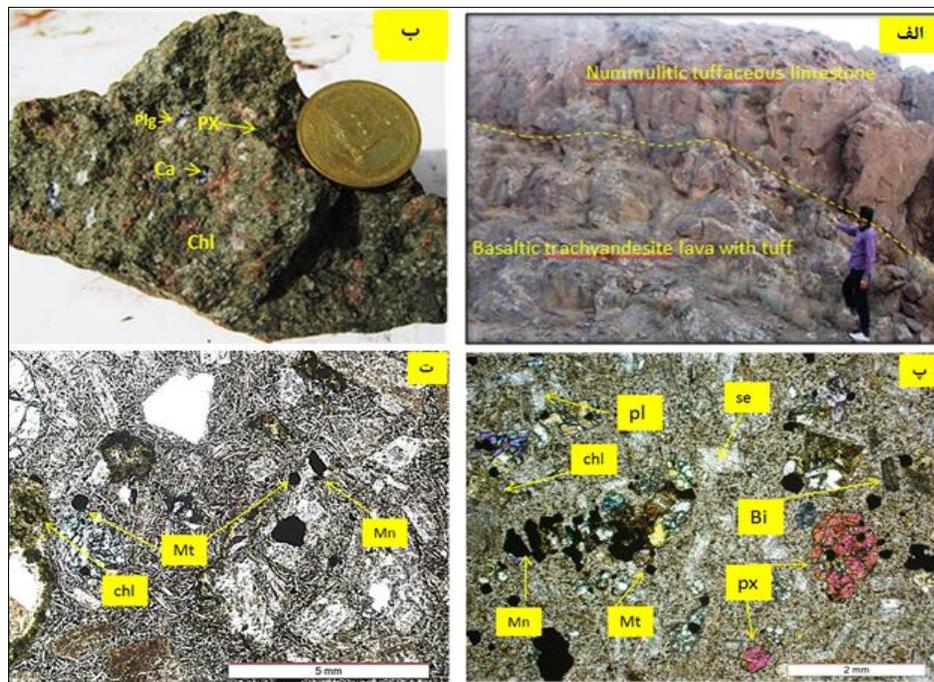


شکل ۳-۳-الف) نمونه دستی از مرز بین سنگهای آتشفشانی با آهک های فسیل دار بالای خود که نشان دهنده تداخل بین

انگشتی می باشد، ب) رخنمونی از گدازه های بازالتی بالشی با ساخت پوست پیازی- دید به سمت جنوب شرق

### ۳-۳-۳- زیر واحد توف تراکی آندزی بازالت

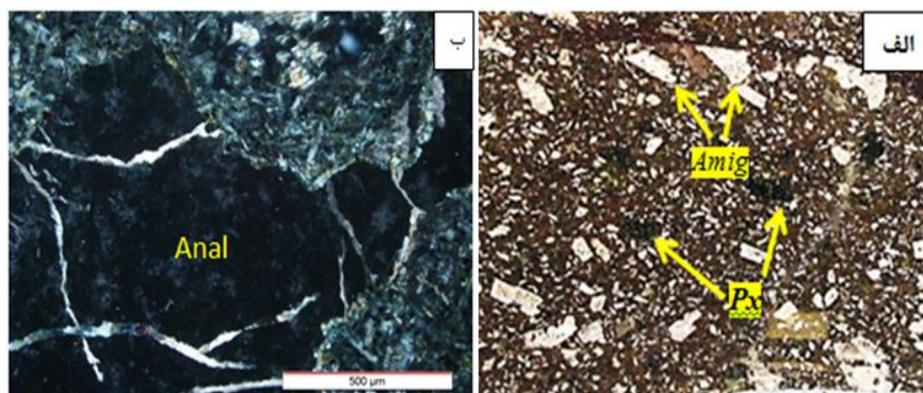
این زیر واحد شامل میکروولیت های موازی پلاژیوکلاز که در بعضی موارد سریسیتی و کلسیتی شده‌اند و وجود آنها بصورت مجتمع در نمونه های آذرآواری مثل این توفها، نشان دهنده بالا بودن درجه تبلور تاخیری ماگماست، بدین معنی که ماگما یک سردشدگی یا کاهش دمای ناگهانی را متحمل شده است (بارکر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). اجزای دیگر این سنگها قطعات سنگ، بلورهای ریز پیروکسن، کلسیت، کلریت و اکسیدهای منگنز که به صورت افشان جانشین کلسیتها شده، می باشد. بافت این نوع سنگها، تراکیتی است. این واحدها، در سطح هوازده و تازه دارای رنگ سبز تیره می باشند(شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- الف) رخنمونی از توف تراکی آندزی بازالت با آهک نومولیت دار توفی روی آن- دید به سمت غرب، ب) نمونه دستی از همان واحد توف تراکی آندزی بازالت، پ و ت) تصویر میکروسکوپی از توف تراکی آندزی بازالت با بافت تراکیتی

### ۳-۳-۴- زیر واحد بازالت پورفیری

سنگهای این زیر واحد در زیر میکروسکوپ، دارای پیروکسن های زیاد که در برخی موارد به کلریت دگرسان شده، بیوتیت و همچنین مگنتیت، مالاکیت با بافت اسفرولیتی که حاصل شسته شدگی مس تاخیری است که بعدا زئولیت درون حفرات سنگ و دور آن نشسته است و آنالسیم می باشد. وجود آنالسیم در سنگ که عضوی از خانواده زئولیتها است، بیانگر این است که سنگهای منطقه، آلكالن فقیر از سیلیس می باشد. همچنین وجود زئولیت، بیانگر حضور سیالات کمی قلیایی می باشد (ژانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). (شکل ۳-۵ب).

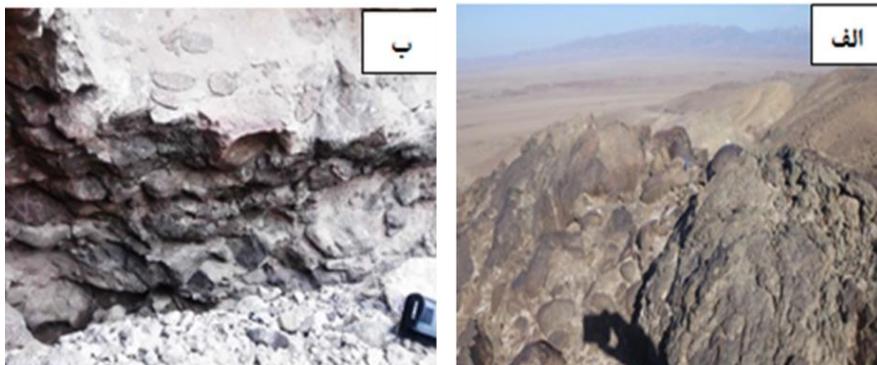


شکل ۳-۵- الف) نمونه دستی از سنگ بازالت پورفیری با حفرات بادامکی (آمیگدولار) (Amig) ناشی از خروج گازها که توسط کلسیت و کوارتز پر شده، ب- تصویر میکروسکوپی از زئولیت (آنالسیم) در سنگ بازالت پورفیری

### ۳-۳-۵- زیر واحد آگلومرای

این زیر واحد فقط در شرق و غرب کانسار و در زیر واحد آهک توفی نومولیت دار گسترش دارد که در شرق کانسار ضخامت آن بیشتر از غرب است. این زیر واحد در شرق با حدود ۲ متر ضخامت، گردشگری خوب، جورشدگی و سخت شدگی ضعیف دارد و بیانگر تلاطم بعد از انفجار در محیط زیر دریایی می باشد. اما در غرب کانسار، ضخامت این زیر واحد حدود ۳۰ سانتیمتر بوده و دارای گردشگری، جورشدگی و سخت شدگی خوبی است که بیانگر نهشت در یک محیط آرام می باشد. کنگلومراهای جورشده و

گردشده ، کرویت پایین داشته و فضای بین دانه های گراولی را ماسه های بسیار خوب جور شده و گرد شده پر نموده است که دریایی بودن این کنگلومراها را نشان می دهد(شکل های ۳-۶ الف و ب).



شکل ۳-۶- الف) رخنمونی از لایه کنگلومرایی زیر لایه آهک نومولیت دار واقع در شرق کانسار و ب) رخنمونی از همین لایه واقع در غرب کانسار- در هر دو تصویر دید به سمت شرق است

### ۳-۴- سنگهای آهکی محدوده مورد مطالعه (E<sub>II</sub><sup>1</sup>)

سنگهای آهکی محدوده مورد مطالعه، آهک های توفی نومولیت دار به ضخامت ۵ تا ۱۵ متر می باشد که در سرتاسر یال شمالی تاقدیس کاهک بر روی سنگهای آتشفشانی و در بعضی جاها بر روی آگلومراها دیده شده و حاوی فسیلهای شاخصی چون نومولیت، دیسکوسیکلینا، آسیلینا، آلوتولینا، اوربیتولیتس، جلبکهای قرمز (فقط در ضلع شرقی تاقدیس) و خار اکینیدها به همراه سیمان کلسیتی اسپارایتی، میکرایت و مقداری کوارتز ریز می باشد. براساس مجموعه های فسیلی شناسایی شده، محیط رسوبگذاری، محیط عمیق دریای باز با شوری پایین می باشد. این واحد با داشتن فسیلهای فراوان از واحد آتشفشانی زیر خود قابل تشخیص بوده و بویژه در شرق کانسار به سه رخساره قابل تفکیک است. این رخساره ها شامل رخساره آهک قهوه ای متوسط لایه نومولیت دار ، آهک نخودی رنگ نازک لایه نومولیت دار و آهک خاکستری ضخیم لایه حاوی همزیستی جلبک و نومولیت، می باشد(شکل ۳-۷ الف تا پ). سنگهای این واحد بر اساس کاهش گلهای کربناته ، به سه گروه تقسیم می شوند که به ترتیب عبارتند از: ماد استون، وک استون، پک استون که در گستره طولی کانسار دیده می شوند. ماد استون، نشان دهنده

رسوبگذاری در محیطهای آرام بوده و بیانگر کاهش وجود ارگانسیم های مولد دانه در آب، می باشد. پیک استون، بر اثر تراکم سنگهای وکستون حاصل شده و بین دانه‌ها بوسیله رسوبات گلی پر می شود (شکل ۳-۸ الف تا پ). سیمانی شدن در سنگهای کربناته به دو بصورت سیمان کلسیتی اسپاری و سیمان میکرایتی پرکننده حفرات درون دانه ای و بین دانه ای و شکستگیها می باشد (شکل ۳-۹ الف تا پ). همچنین نومولیتها شواهد تراکم مکانیکی را قبل از سیمانی شدن در خلال تدفین نشان می دهند. هم راستایی نومولیتها، تماس نقطه ای و مماسی که منجر به ایجاد تغییرشکلهای منعطفی از دانه ها می شود، در نتیجه افزایش پیش رونده فشار لایه های بالایی و تراکم مکانیکی است که زمینه را برای ایجاد تراکم شیمیایی و تشکیل استیلولیتها، فراهم می کند (شکل ۳-۱۰ ا و ج).



شکل ۳-۷- تغییرات نومولیتها از پایین توالی به سمت بالا در شرقی ترین ترانشه معدن بیانگر عمیق شدگی حوضه



شکل ۳-۸- الف) نمونه دستی از بیومیکرایت الف) ماداستون ب) وک استون پ) پک استون

براساس مطالعه مقاطع نازک، این سنگها فرایندهای دیاژنتیک وسیع اعم از اسپارایتی شدن، سیمانی شدن، تراکم و انحلال (شیمیایی و مکانیکی)، پرشدگی داخلی و استیلولیتی شدن را تحمل کرده اند. سیمانی

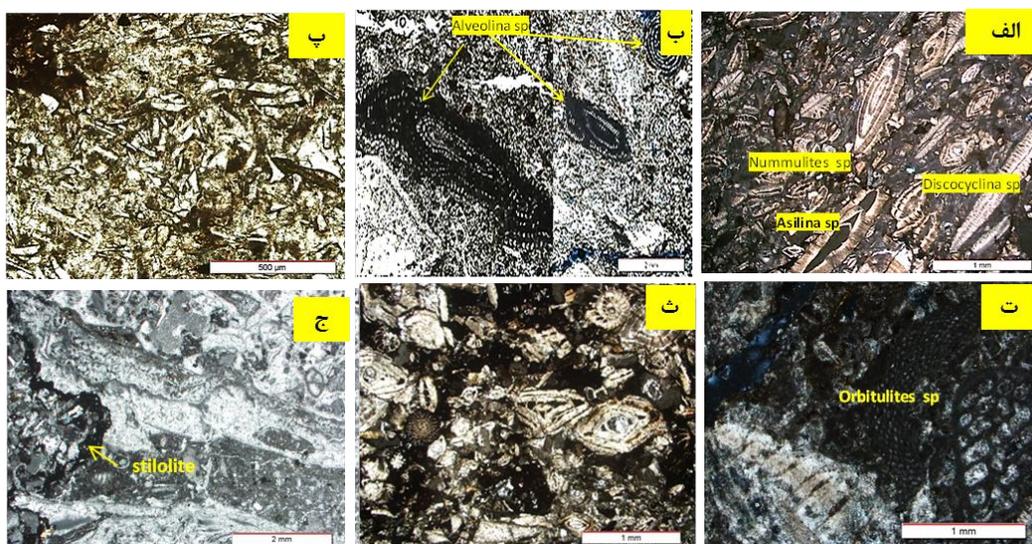


شکل ۳-۹- الف و ب) سیمان کلسیت اسپاری پرکننده حفرات فسیلها و شکستگیها و پ) میکرایت پرکننده فضای بین دانه ها و درون فسیلها

توالی دیاژنتیک: دیاژنز در سنگهای کربناته این محدوده، طی دو مرحله، دیاژنز اولیه<sup>۴</sup> و دیاژنز بعدی<sup>۵</sup> روی می دهد. در دیاژنز اولیه، تعدیل دیاژنتیک سنگ آهکها با میکرایتی شدن شروع می شود. ته نشست سیمان کلسیتی اسپاری با میکرایتی شدن میکرایت با افزایش عمق تدفین ادامه می یابد.

4 - Early diagenese

5- Late diagenese



شکل ۳-۱۰- الف و ب- نمونه هایی از فسیلهای موجود در آهک فسیل دار میزبان منگنز، پ-آهک بیوکلست، ث) تماس ماسی و نقطه ای فسیلهای که بیانگر تراکم مکانیکی و ج) استیلولیتها که بیانگر تراکم شیمیایی است.

در مرحله دیاژنتیک بعدی با افزایش دفن و تراکم، جهت یافتگی دانه ها، شکستگی و تغییر شکل بیوکلستها، رشد انحلال فشاری و گسترش استیلولیتها، نهشت مجدد انحلال فشاری و تشکیل سیمان کلسیتی اسپاری درشت دانه، رشد شکستگی با ته نشست سیمان کلسیت دروزی، بوجود می آید. هنگامیکه سنگ آهکها در منطقه وادوز جوی(بالای سفره آبدار) بالا می آید، انحلال اضافی با آب جوی تحت اشباع ممکن است در مرحله سوپرژن روی دهد که این در تشکیل سطوح و حفرات نتیجه می شود.

### ۳-۵- ماسه سنگهای محدوده مورد مطالعه (EO<sup>ms</sup>)

ماسه سنگهای محدوده مورد مطالعه از سری توالیهای تخریبی ائوسن-الیگوسن بوده که بر روی آهک های توفی نومولیت دار قرار دارد و به دو بخش قابل تفکیک است که از قاعده توالی به راس آن به ترتیب عبارتند از ماسه سنگ توفی خاکستری با لامینه هایی از میکرایت، کریستال توف، لیتیک کریستال توف و میکروکنگلوмера همراه با لایه قطع کننده ی حاوی آثار فسیلهای گیاهی و کانه زایی مس و در نهایت بالای آن، ماسه سنگهای قهوه ای ضخیم لایه می باشد.

### ۳-۵-۱- ماسه سنگ توفی خاکستری

این واحد حدود ۲ متر ضخامت دارد ، در سطح هوازده دارای رنگ خاکستری و در سطح تازه به رنگ خاکستری تیره می‌باشد. مورفولوژی سطحی آن پست تر از آهک نومولیت دار میزبان ماده معدنی در زیر خود بوده و دارای لامیناسیون است. این لامیناسیون ها در زیر میکروسکوپ به دلیل داشتن خرده های آهکی و آتشفشانی و بصورت پراکنده ذرات منگنز و اکسیدهای آهن ، بیشتر توفی بوده که نشاندهنده نزدیکی به محل فعالیت های آتشفشانی می باشد. این واحد، فاقد هر گونه فسیل جانوری می باشد ولی آثار شاخ و برگ گیاهی در آن دیده شده که کانیهای مس بصورت ملاکیت و آزوریت و کالکوسیت، در بالای این واحد بصورت بین لایه و در قاعده آن بصورت رگه قطع کننده می باشد (شکل ۳-۱۱ ب). اما گسترش جانبی همین لایه در شرق معدن ، بیشتر آهکی می باشد که بیانگر تشکیل در فاصله بیشتری از فعالیت های آتشفشانی و تغییر رژیم رسوب گذاری در این حوضه کششی از حالت آتشفشانی-رسوبی به حالت رسوبی است که این موضوع حکایت از کم شدن فعالیت زمین ساختی و مخصوصاً فعالیت گسلها در این منطقه و ایجاد یک آرامش نسبی در حوضه، را دارد. در تغییرات قائم، به سمت بالای توالی از ضخامت آهک کاسته شده و بر مقدار لایه های ماسه سنگی افزوده می شود که بیانگر فرونشینی و ورود مواد تخریبی به حوضه، طی رسوبگذاری می باشد.

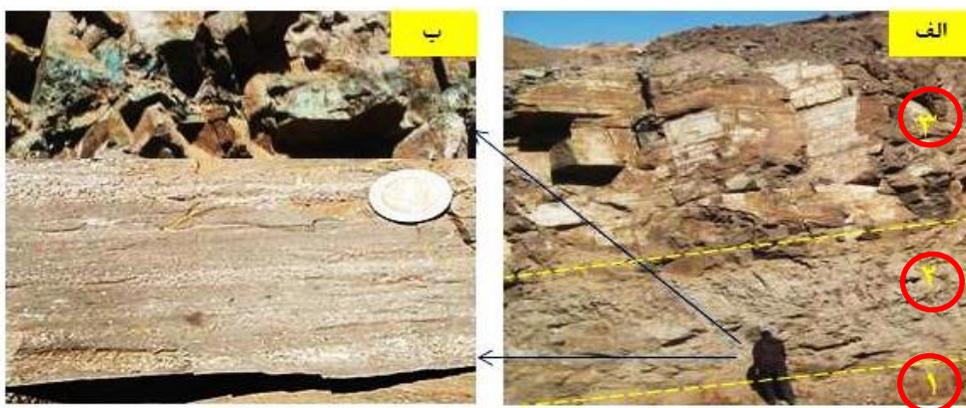
### ۳-۵-۲- لیتیک کریستال توف

این واحد در مقاطع میکروسکوپی بیشتر از قطعات خرد شده ی پلاژیوکلاز تشکیل شده که در متن سنگ پراکنده اند، زمینه خاکستری شیشه ای که فضای بین ذرات و گاهی فسیلها را پر کرده ، بلورهای کوارتز در اندازه های بسیار ریز، کلسیت به صورت بلورهای خوش وجه و در بعضی قسمت های مقطع ، کانه های منگنز به صورت پراکنده همراه با این ذرات تخریبی ته نشست یافته و گاهی پرکننده کلسیت های اولیه می

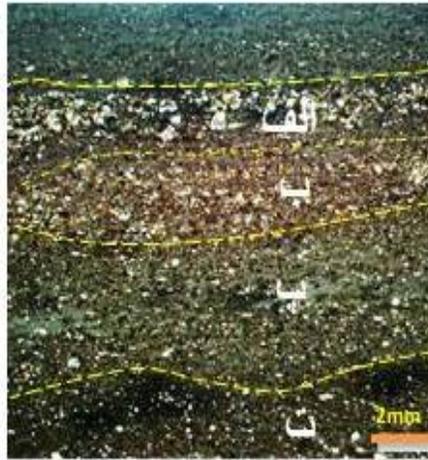
باشند و همچنین فسیل‌هایی که با میکرایت پر شده و شکل خود را حفظ کرده ولی ساختار درونی خود را از دست داده‌اند و غیر قابل نامگذاری می‌باشند (شکل ۳-۱۲ پ).

### ۳-۵-۳- گلسنگ آهکی توفی (میکرایت توفی)

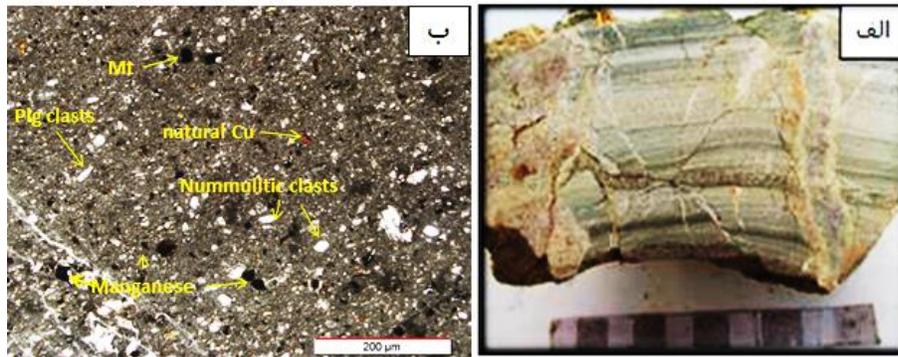
میکرایتی شدن، از فرایندهای دیاژنتیک غالب در این کانسار است، که بصورت یک لایه نازک با لامیناسیون در زیر آهکهای میزبان منگنز و نزدیک گسل نرمال منطقه و در آهکهای میزبان بصورت پرکننده فضاهای فسیلها و یا بین آنها و در ماسه سنگهای بالایی بصورت لامینه ای دیده می‌شود. این واحد سنگی، قبل از گسل و محل تزریق ماده معدنی، جایی که ماسه سنگ کمر بالا در مقابل واحد آهکی میزبان منگنز، قرار می‌گیرد، به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، در زیر واحد ماسه سنگ بالایی، بوجود می‌آید که با توجه به رنگ شاخص آن در سطح هوازده که قهوه‌ای متمایل به زرد و در سطح تازه، رنگ خاکستری دارند، کاملاً متراکم‌اند و به سختی می‌شکنند. در این واحد، ساخت لامینه‌ای با آثار ناشی از عملکرد گسله‌های نرمال دیده می‌شود که بعضی از لامینه‌ها نسبت به دیگر قسمت‌ها روشن‌تر و درشت‌دانه‌تر بوده و از مواد تخریبی تشکیل شده‌اند. یک رگه کلسیت اسپاری نیز قطع‌کننده‌ی این واحد می‌باشد (شکل ۳-۱۳ الف و ب).



شکل ۳-۱۱- رخنمونی از توالی کمر بالای ماده معدنی در غرب کانسار- دید به سمت شمال: الف) ۱- لایه منگنز با میزبانی آهک بیومیکرایت ۲- ماسه سنگ توفی خاکستری با لامینه‌های میکرایت و میکروکنگلومر ۳- ماسه سنگ قهوه‌ای ضخیم لایه و ب) آثاری از مس بصورت مالاکیت



شکل ۳-۱۲- تصویر میکروسکوپی از ماسه سنگ توفی خاکستری با لامینه های تشکیل دهنده آن: الف) میکروکنگلومرا، ب) توف آندزیتی، پ) لیتیک کریستال توف، ت) گلسنگ آهکی توفی



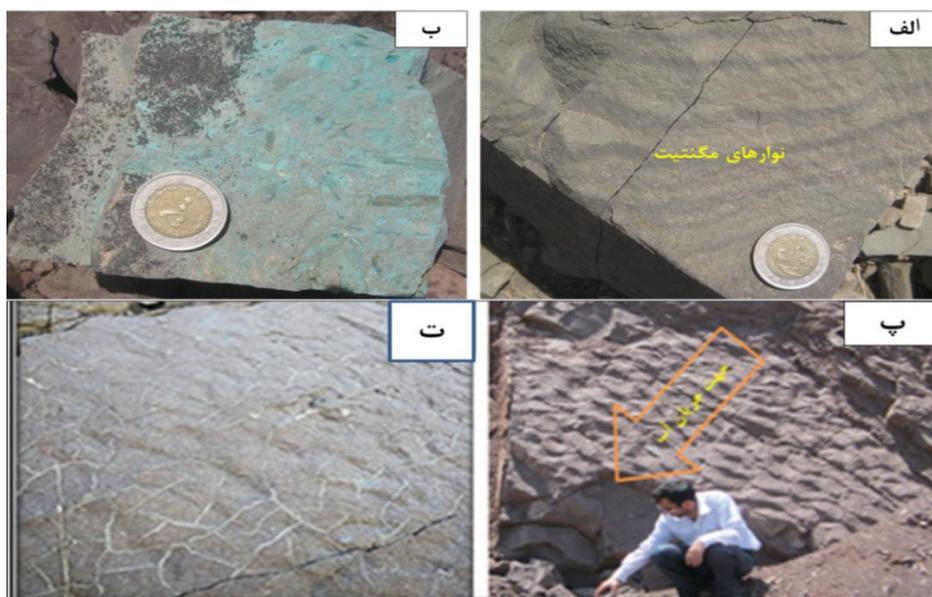
شکل ۳-۱۳- الف- نمونه دستی از یک گلسنگ آهکی ، ب) تصویر میکروسکوپی (ppl) از همان نمونه

### ۳-۵-۴- ماسه سنگ قهوه ای

این واحد ضخیم لایه، کمربالای ماده معدنی را شکل داده است که به سمت شرق به آهکهای میکرایتی ائوسن و به سمت غرب به ماسه سنگهای قرمز ائوسن-الیگوسن تبدیل می شود. چین خوردگی این واحد به سمت غرب کانسار، بیشتر می شود (شکل ۳-۱۱ الف بخش شماره ۳).

### ۳-۵-۵- ماسه سنگ مربوط به توالی $EO^{ms}$

در امتداد مسیر خط لوله گاز، در لایه ماسه سنگ مربوط به توالی  $EO^{ms}$ ، شاهد دیگری از احیا بودن محیط به غیر از آثار شاخ و برگ گیاهان وجود دارد و آن نوارهای مگنتیت می باشد که با جذب توسط آهن ربا قابل شناسایی است. در این لایه مس طبیعی و کربناتهای مس نیز دیده می شود. (۳-۱۴-الف و ب) همچنین دایکهای منشوری تزریق شده در داخل ماسه سنگهای قرمز توالیهای بالاتر و از سری توالیهای  $EO^{ms}$  با ساختهای رسوبی ریپل و ترکهای گلی، بیانگر خشکی و ساحلی بودن حوضه تشکیل می باشد (شکل ۳-۱۴ پ و ت).



شکل ۳-۱۴- الف و ب) نوارهای مگنتیت و آثار شاخ و برگ در ماسه سنگ  $EO^{ms}$ ، پ و ت) رخنمونهایی از ساختهای رسوبی

ریپل و ترکهای گلی مشاهده شده در همین توالیها

### ۳-۵-۶- دایکهای آندزی بازالت و پیروکسن بازالت

در محدوده مورد مطالعه، دایکها، بیشتر پیروکسن بازالت است که علاوه بر تخریبی های ائوسن-الیگوسن، ماسه سنگهای کمر بالای ماده معدنی، لایه منگنز و سنگهای آتشفشانی کمرباین را قطع کرده است، بنابراین جوانتر از تمام واحدهاست. بر روی سطح این دایکها، آثاری از کانه زایی مس بصورت ملاکیت آزوریت و کالکوسیت دیده می شود که بیانگر تشکیل آنها توسط آبهای جوی، در مرحله سوپرژن می باشد. ضخامت این دایکها حدود ۲ متر است و در تماس آنها با توالی های رسوبی مختلف اثر حرارتی خاصی مشاهده نمی شود (شکل ۳-۱۵-الف وب).

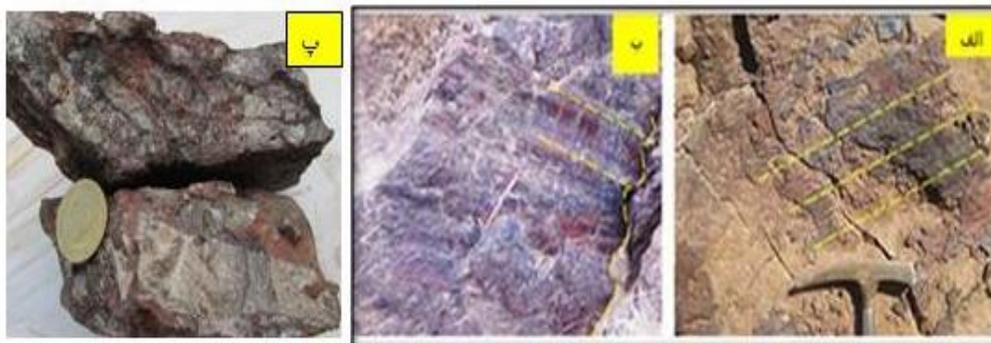


شکل ۳-۱۵-الف) رخنمون و نمونه دستی از دایک قطع کننده ماسه سنگهای قهوه بالای ماده معدنی - دید به سمت غرب

### ۳-۶- زمین شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه

مهمترین عوامل ساختاری که منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده، گسله های نرمال با سیستم درزه های مربوطه بوده که با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق، دارای نظم مشخصی می باشد. این گسله ها، موجب جابجا شدن سنگهای آتشفشانی ائوسن و به تبع آن لایه آهک نومولیت دار می شود. همچنین بر اثر عملکرد سیستم گسل های فوق، سطوح لغزشی بسیار زیادی، به صورت خش ها و برشهای گسلی در محدوده معدنی قابل مشاهده هستند. با توجه به سیستم درزه های موازی و خشهای عمود بر امتداد لایه بندی، می توان گفت که این نوع گسله ها، از نوع گسلهای شییبی و نرمال می باشند. به عبارت

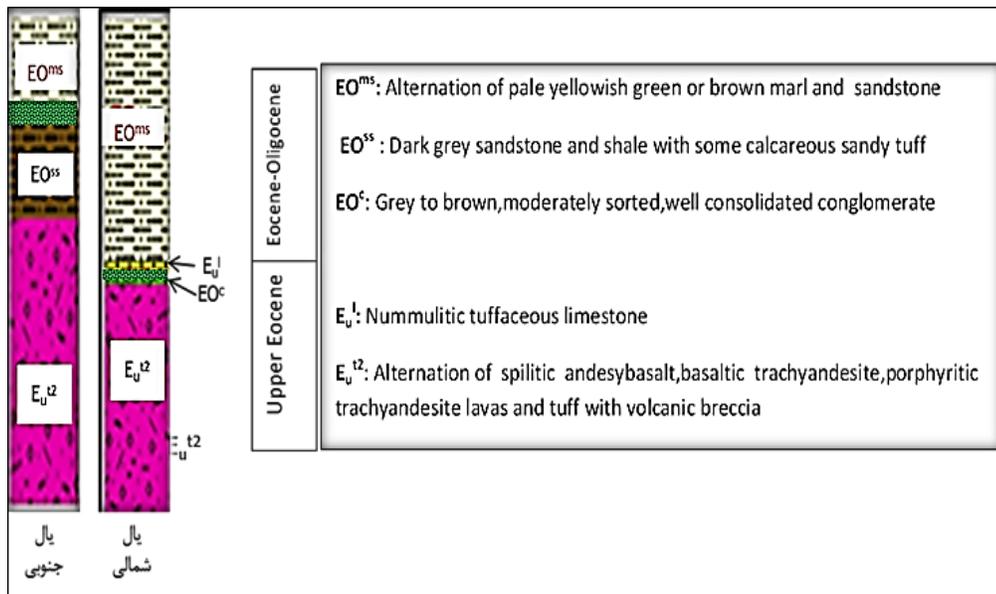
دیگر، گسله های نرمال زمانی بوجود می آیند که سنگها، تحت تاثیر کشش قرار بگیرند که عمود بر محور کشش، درز و شکستگیهایی ایجاد می شود که شواهد صحرایی برای تشخیص این شکستگیها، دیواره ی خشن است (شکل ۳-۱۶ الف تا پ).



شکل ۳-۱۶- الف) سیستم درزه های موازی در آهک کمرپایین منگنز که به موازات شیب و عمود بر امتداد لایه بندی بوده و بر خشکهای گسلی عمودند ب) دیواره خشن و مواج آینه گسل ج) برشهای گسلی بوجود آمده بر اثر عملکرد گسل

### ۳-۷- مقایسه توالیهای چینه شناسی واقع در یال شمالی تاقدیس کاهک با یال جنوبی آن

واحدهای سنگی یال شمالی تاقدیس کاهک مشابه یال جنوبی آن می باشد. فقط در یال جنوبی تاقدیس کاهک، واحد آهک فسیل دار یا وجود ندارد و یا بسیار کم ضخامت است و واحد آهک خاکستری تیره ائوسن-الیگوسن در تماس مستقیم با واحدهای آتشفشانی ائوسن بوده و سپس مانند یال شمالی بر روی این واحدها، تناوب واحدهای ماسه سنگ قرمز با دایکهای فراوان و مارن قرار می گیرد. لذا با پیمایش صحرایی به پی جویی منگنز در یال جنوبی تاقدیس کاهک اقدام نموده که در نتیجه هیچ شواهدی دال بر وجود منگنز در واحدهای یال جنوبی به غیر از چند اندیس مس نیافتیم که دلیل آن می تواند به خاطر نبودن یا نازک بودن لایه کلیدی آهک نومولیت دار و یا شرایط احیایی حاکم و عمیق بودن حوضه در این سمت یال تاقدیس کاهک باشد (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷- مقایسه توالیهای تشکیل دهنده ی یال شمالی با یال جنوبی تاقدیس کاهک

# فصل چهارم

کانه زایی

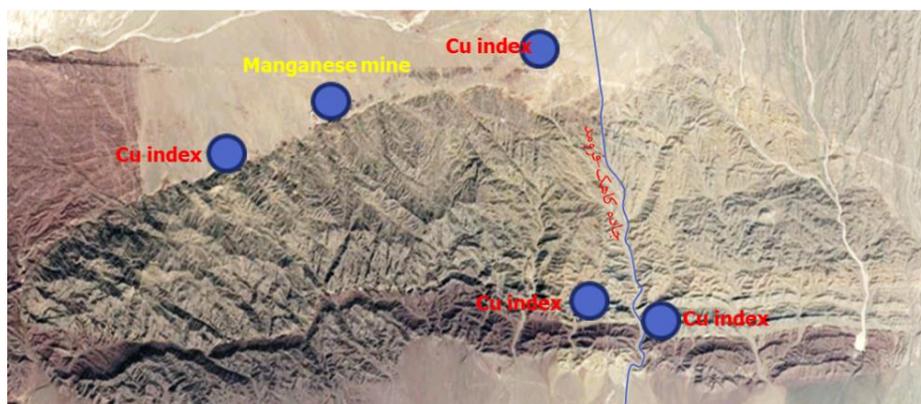
و

دگرسانی

#### ۴-۱- مقدمه

از آنجایی که تاقدیس کاهک، ادامه نوار آتشفشانی-ماگمایی داورزن-عباس آباد بوده و مرتبط با رویدادهای حاشیه شمال شرق پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار می باشد. لذا مطالعه این نوار، به ما در شناخت سنگهای منشا و میزبان ماده معدنی و محل، چگونگی و نوع کانه زایی آن، کمک زیادی می کند. علاوه بر کرومیت، کانه زایی های متعددی از منگنز و مس در منطقه وجود دارد که مختصات آنها توسط GPS برداشت و بر روی عکس هوایی مربوطه به شرح ذیل ثبت شد (شکل ۴-۱):

نقطه ۱- در کنار جاده کاهک-فرومد آثاری از منگنز- مس درون ماسه سنگهای قرمز، ۲- ترانسه هایی از مس و استخراج سطحی در یال جنوبی تاقدیس درون آهکهای ماسه ای توفی خاکستری، ۳- استخراج سطحی از مس در سمت غرب یال شمالی تاقدیس درون ماسه سنگهای قرمز، ۴- در کنار جاده فرعی انتقال گاز به فاصله ۵۰۰ متر از جاده کاهک-فرومد، آثاری از مس درون ماسه سنگهای قرمز دیده شد.



شکل ۴-۱- پراکندگی اندیس های منگنز و مس بر روی توالیهای تاقدیس کاهک

#### ۴-۲- رخداد کانه زایی منگنز- مس در محدوده مورد مطالعه

کانسار مورد مطالعه بصورت چینه سان و چینه کران با ضخامت میانگین یک متر و طول حدود یک کیلومتر، اغلب درون آهکهای نومولیت دار ائوسن بالایی و کمتر در داخل سنگهای آتشفشانی کمربین،

در یال شمالی تاقدیس کاهک با روند شرقی- غربی رخمون دارد. کمربایین ماده معدنی شامل سنگهای آتشفشانی دگرسان شده کلریتی و آهک نومولیتی و سنگ میزبان افق منگنز دار نیز آهک نومولیتی می باشد. کمربالا شامل آهک ماسه ای و ماسه سنگ توفی می باشد. شکل هندسی ماده معدنی به صورت لایه ای شکل، همروند و همخوان با لایه بندی آهکهای میزبان است(شکل ۳-۲). در بخشهای شرقی کانسار، کانه زایی منگنز و کانه زایی مس به همراه آثار شاخ و برگ گیاهی در غرب کانسار، درون ماسه سنگهای توفی خاکستری کمر بالا نیز دیده می شود.

#### ۳-۴- ارتباط رخساره های کانه دار و کانه زایی

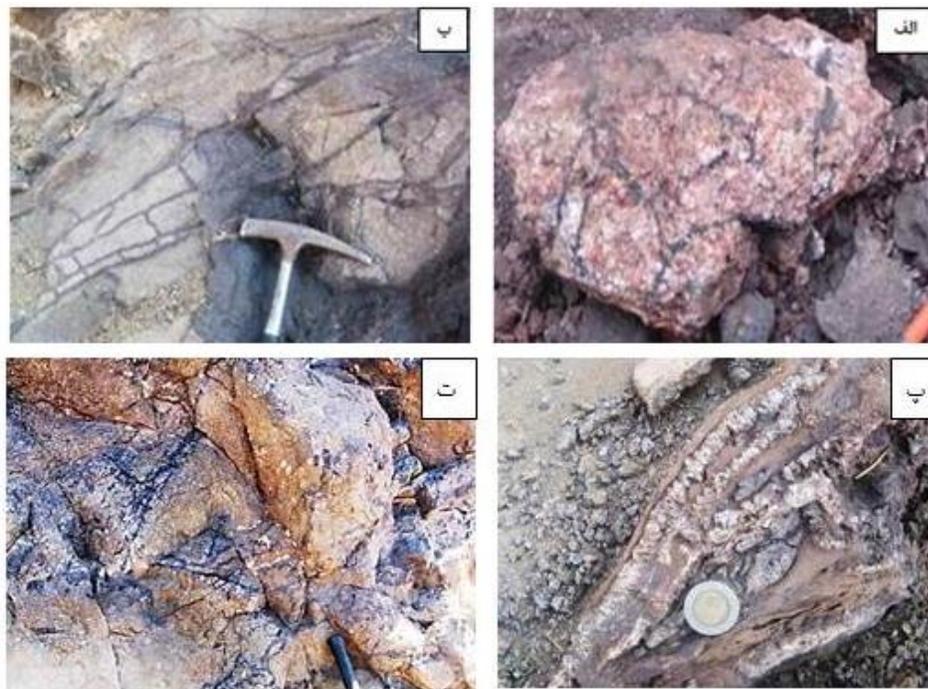
کانی سازی در کانسار منگنز سردار بر اساس شکل هندسی، کانی شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی و عیار آن به دو پهنه کانه زایی رگه- رگچه ای (استرینگر) و چینه سان(استراتیفرم) قابل تقسیم است که پهنه رگه-رگچه ای شامل رخساره رگه-رگچه ای و پهنه چینه سان از پایین به بالا شامل سه رخساره رگه-رگچه ای، توده ای و نواری است.

#### ۳-۴-۱- پهنه کانه زایی رگه-رگچه ای و رخساره رگه-رگچه ای

این رخساره در سنگهای تراکی آندزیت و آندزی بازالتیهای کمربایین در زیر پیکره معدنی چینه سان به شکل شبکه ای از رگه-رگچه های سیلیسی-کربناته دیده می شود که در اطراف آنها سنگ درونگیر نیز دگرسان شده است(شکل ۴-۲ تا ت).

کانه های اصلی این رخساره عمدتاً پیرولوویت و براونیت ، پسیلوملان و باطله های آن نیز کوارتز و کلسیت می باشد. در نمونه هایی که مقدار براونیت آن کمتر و بصورت کانی فرعی می باشد، به این دلیل است که سیلیس بصورت کانی مجزای کوارتز تشکیل می شود. داده های XRD و SEM این موضوع را تایید می کند. کانی پیرولوویت این رخساره در زیر میکروسکوپ به شکل سوزنی و رنگ سفید با ته رنگ

زرد و براونیت به شکل بلوکی با ته رنگ خاکستری متمایل به قهوه ای می باشد(شکل ۵-۸ ب و پ، شکل ۵-۹ ب).



شکل ۴-۲-الف) نمایی از رخساره رگه-رگچه‌ای در سنگ آهک میزبان منگنز و ب و ت) در سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین.

پ) رخنمونی از رگچه‌های سیلیسی-کربناته در رخساره رگه-رگچه‌ای

۴-۳-۲- پهنه کانه زایی چینه سان

این پهنه کانه زایی درون آهک‌های نومولیتی بالای سنگ‌های آتشفشانی، تشکیل می شود. رخساره های مشاهده شده در این پهنه به ترتیب شامل رخساره رگه-رگچه ای (استرینگر)، رخساره توده‌ای و لایه ای است.

۴-۳-۲-۱- رخساره رگه-رگچه ای: این رخساره علاوه بر اینکه درون سنگ‌های آتشفشانی زیرین دیده می شود، درون آهک‌های نومولیت دار نیز بوجود می آید(شکل ۴-۲ الف).

#### ۴-۳-۲-۲-رخساره توده‌ای

این رخساره با گسترش طولی کم، حدود ۵۰ متر، دارای عیار منگنز ۵۰٪، عیاری بالاتر از رخساره‌های دیگر دارد. کانی‌شناسی منگنز در این رخساره شامل پیرولوزیت، پسیلوملان و براونیت است. از جمله کانی‌های دیگر در این رخساره، پیریت و باریت می‌باشد. ویژگی‌های اساسی این رخساره، می‌توان به بالا بودن کانی‌های اکسیدی و سیلیسی منگنز اشاره کرد که در طی فرآیند گرمایی تشکیل شده‌اند و به دلیل فراوانی میزان کانی‌های منگنز، عیار منگنز در این رخساره، بیشترین میزان را دارد (شکل ۴-۳). کانسنگ منگنز در این رخساره سخت است و دست را سیاه می‌کند.



شکل ۴-۳-الف) رخنمون رخساره توده‌ای منگنز در بخش شرقی کانسار، ب) نمونه دستی از این رخساره

۴-۳-۲-۳-رخساره لایه‌ای: کل کانسار دارای رخساره کانسنگ لایه‌ای، همروند با لایه بندی بصورت چینه‌سان و چینه کران می‌باشد، و از انتهای بخش توده‌ای، به سمت شرق کانسار، دارای گسترش است و در بخش غربی بدلیل عملکرد گسل، گسترش جانبی ندارد (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴- الف و ب- لایه منگنزدار در توالی مورد مطالعه و تغییرات آن از منگنز به سمت کمربالا

#### ۴-۴- دگرسانی

دگرسانی یک فرآیند شستشوی پایه است که توسط نسبت فلزات قلیایی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می شود. اگر این نسبت در محلول پایین باشد، فلدسپاتها و سایر سیلیکاتهای سنگ درونگیر، ناپایدار شده، آبکافت روی داده و کاتیونهای قلیایی نیز خارج می شود و سیستم گرمابی به سمت تعادل پیش می رود که در پی آن بافت و ساخت سنگ و کانیها نیز تغییر می کند بطوریکه کانیهای اولیه توسط کانیهای ثانویه جانشین می شوند. این تغییرات بر اثر تغییر در شرایط موجود برای سنگ مثل دما، فشار، ترکیب شیمیایی و یا ترکیبی از آنها بوجود می آید. میزان دما در این محلولها از دمای کم تا حد جوشش نیز می رسد. همچنین از نظر ترکیب، این محلولها شامل گازهای مختلف، نمک، آب و فلزات باشد که این فلزات با کمپلکسهای متفاوتی می توانند حمل شوند. عوامل مؤثر در گسترش و شدت دگرسانیهای گرمابی، نفوذپذیری، ترکیب و حجم آب، دما، فشار و حجم محلولهای گرمابی و مدت زمان عملکرد دگرسانی است. این فاکتورها تا حد زیادی مستقل از هم هستند اما تأثیر یکی از فاکتورها به صورت محلی می تواند بیشتر از فاکتورهای دیگر باشد (لاگاست، ۲۰۰۹). شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی که می تواند همراه با کانهزایی رخ دهد، یکی از بنیانهای شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است که در اکتشاف کانسارها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. دگرسانی در توالی

آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه بسیار کم و به‌طور عمده شامل دگرسانی کلریتی- کربناتی، سیلیسی و آرژیلیتی و به مقدار کمتر سربستی است.

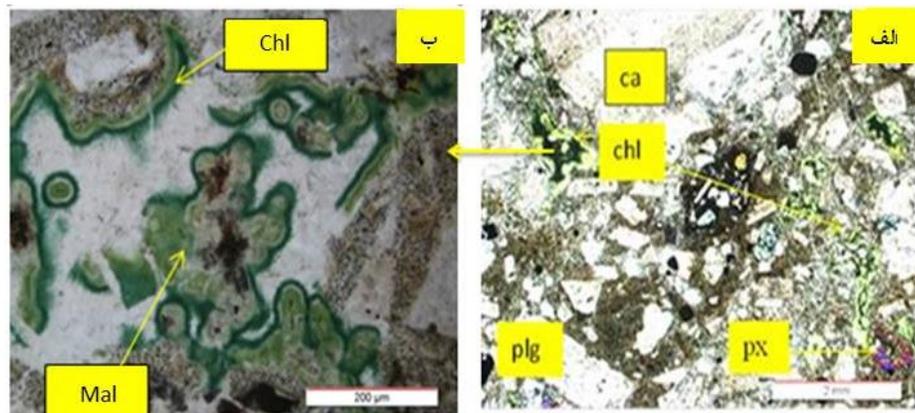
دگرسانی آرژیلیتی و سیلیسی در مرکز سیستم و محل تزریق، دگرسانی کلریتی- کربناتی در حاشیه رخ داده‌اند. حضور سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری به همراه میان لایه‌های آهکی با فسیل‌های کف‌زی، حاکی از رخداد ولکانیسم در محیط زیردریایی است. بنابراین با توجه به رویداد کانه‌زایی در محیط زیردریایی میزان دگرسانی در این کانسارها بسیار کم می‌باشد.

#### ۴-۴-۱- دگرسانی کلریتی

این دگرسانی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار منگنز سردار می‌باشد که در بیشتر موارد با دگرسانی کربناتی همراه است. کلریتی شدن حالت خاصی از دگرسانی پروپیلیتیک است که به دلیل درصد بالای کلریت، آن را به نام دگرسانی کلریتی می‌نامند. از آنجایی که پدیده دگرسانی گرمابی در دماهای کمتر ۴۰۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد، لذا کانیهای متبلور شده در دمای بالا ناپدید شده و به جای آنها کانیهای پایدار دما پایین ایجاد می‌شوند. در مراحل ابتدایی دگرسانی، کانیهای فرومنیزین سریعتر از پلاژیوکلازها تحت تاثیر سیالات قرار می‌گیرند؛ اما با پیشرفت دگرسانی در مراحل بعدی، تمام کانی‌ها تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. در منطقه مورد مطالعه تاثیر سیالات بر کانیهای فرومنیزین و تبدیل آنها به کلریت، به مراتب بیش از پلاژیوکلازها دیده می‌شود.

سنگ‌های کم‌پایین ماده معدنی در اثر محلول‌های گرمابی غنی از آهن و منیزیم، دچار دگرسانی کلریتی شده و به‌صورت سبز- قهوه‌ای در می‌آیند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، وجود بخشی از دگرسانی کلریتی مربوط به حضور کانی‌های مافیک مثل پیروکسن می‌باشد که در اثر برخورد محلول گرمابی به سطوح رخ و شکستگی‌های موجود بر روی کانی پیروکسن، آن را دگرسان و به کلریت تبدیل کرده است و گاهی حفره‌های موجود در متن سنگ را به‌صورت پراکنده پر کرده است. با توجه به مطالعات

پتروگرافی، عمدتاً در حاشیه حفرات کلریت و در مرکز آنها کربنات ها ته نشست یافته اند؛ لذا این مسئله می تواند بیانگر نفوذ محلول غنی از منیزیم جهت به وجود آمدن کلریت و در ادامه نفوذ سیالی باشد که از نظر بی کربنات غنی بوده و باعث تشکیل کربنات در مرکز شود. البته با توجه به اینکه کلریت در شرایط pH اسیدی و کربناتها در شرایط خنثی تا قلیایی تشکیل می گردند؛ لذا این مسئله را این گونه نیز می توان توجیه کرد که در ابتدا محلول گرمابی دارای شرایط اسیدی و مهیا جهت تشکیل کلریت بوده و به تدریج محیط خنثی و تا حدودی قلیایی شده و مناسب جهت تشکیل کربنات گردیده است (شکل ۴-۵الف و ب).



شکل ۴-۵-الف و ب- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی (Chl) پیروکسنها (Px) که حفره های سنگ بازالت پورفیری را پر کرده و پلاژیوکلازهایی (Pl) که بشدت دگرسانی کربناته (Ca) شده است و در نقاطی که مس وجود دارد بصورت سوپرژن ملاکیت (Mal) را شکل می دهد.

#### ۴-۴-۲- دگرسانی کربناته

کربناتی شدن یک دگرسانی رایج برای تشکیل انواع کانی های کربناته است که معمول ترین آنها کلسیت، به همراه کانی های دیگر مثل کلریت، سریسیت می باشد. دگرسانی کربناتی باعث ایجاد پهنه بندی در اطراف کانسارها می شود که در کانسنگ های نزدیک به منشأ این پهنه غنی از آهن است (لاگاست، ۲۰۰۹) (شکل ۴-۶الف). کربناتی شدن در کانسار منگنز سردار عمدتاً به صورت اضافه شدن کلسیم به سنگ

است که منشأ کلسیم می‌تواند هم از سیالات گرمابی و هم از تجزیه پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسنی باشد که در متن سنگ هستند. عنصر کلسیم بصورت کلسیت گاهی در امتداد شکستگی‌ها، به صورت رگه و رگچه و گاهی به صورت پرکننده درزها و حفرات فسیلها نمود دارد (شکل ۴-۶-ب). کلسیت‌ها گاهی رنگ قهوه‌ای روشن به خود گرفته‌اند که حاکی از آغشتگی آن‌ها با آهن است. در طی مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که پلاژیوکلازها بویژه پلاژیوکلازهای کلسیک درشت که مربوط مراحل اولیه تبلور ماگما هستند، مهم‌ترین کانی‌هایی اند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. با ورود محلولهای غنی از بی کربنات به سنگ، به پلاژیوکلازهایی که ترکیب کلسیک تری دارند، وارد شده و شدت کربناته شدن افزایش می‌یابد.

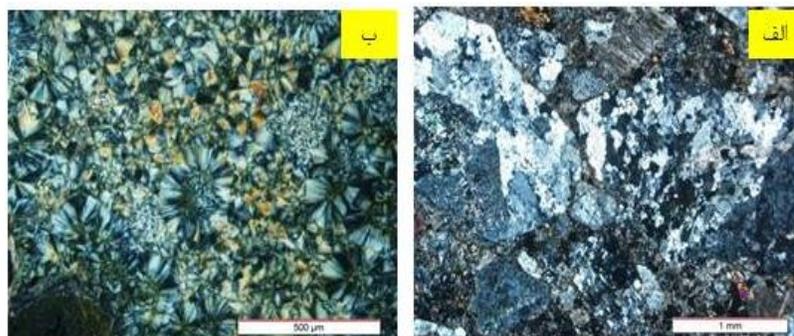


شکل ۴-۶-الف) پهنه دگرسانی کربناتی لایه ای شکل غنی از آهن، ب) کلسیت پرکننده شکستگیها و نومولیتها

#### ۴-۳-۴- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی گرمابی است که با افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال، کلسدون) در سنگ همراه می‌باشد. وجود فضای خالی و شکستگی در محیط، فرآیند سیلیسی شدن را آسان کرده است. این دگرسانی در گستره وسیعی از دما رخ می‌دهد (لاگاست، ۲۰۰۹). در محدوده کانسار منگنز سردار این دگرسانی در سنگهای آتشفشانی کمر پایین ماده معدنی رخ داده است. سیلیسی شدن در محدوده کانسار یا به صورت کوارتز رشته‌ای (کلسدون) در رگه‌ها و رگچه‌ها و

یا به صورت اضافه شدن سیلیس بلورین به سنگ نمود دارد. در طی مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که گاهی توف‌های شیشه‌ای موجود در کمرپایین کانسنگ، طی دگرسانی سیلیسی، از حالت شیشه‌ای خارج شده و تشکیل اسفرولیت‌هایی از جنس کوارتز داده‌اند که این اسفرولیت‌ها آغشتگی زیادی با اکسید آهن دارند و به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۴-۷ ب). البته کوارتزهای آواری نیز در نمونه‌های کانسار منگنز سردار مشاهده می‌شود که اغلب دارای حاشیه انحنا دار و گرد شده هستند و حتی گاهی بافت خلیج خوردگی و غربالی در آن‌ها دیده می‌شود که این امر می‌تواند حاکی از آواری بودن بلورهای کوارتز و شرایط عدم تعادل به همراه کاهش سریع دما باشد. بعضی از کوارتزهای آواری در توف‌های بلوری به شدت خرد و متلاشی شده و تجمع خوشه‌ای پیدا کرده‌اند که نشان‌دهنده انفجاری بودن آتشفشان در مراحل اولیه فوران بوده است. در حاشیه کوارتزهای آواری گاهی حاشیه برهم رشدی سیلیس مشاهده می‌شود که این حاشیه‌ها حالت شیشه‌ای دارند و به صورت شیمیایی از سیالات گرمابی در طی دگرسانی سیلیسی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۷ الف).



شکل ۴-۷ الف) متلاشی شدن کوارتز اولیه و تشکیل بافت خوشه‌ای و بافت خلیج خوردگی در داخل سنگ‌های آتشفشانی کمر پایین ب) تشکیل اسفرولیت‌هایی از جنس کوارتز (کلسدون) در توف‌های شیشه‌ای ۴-۴-۴- دگرسانی آرژیلیتی

ضمن تشکیل این نوع دگرسانی در شرایط اسیدی، تمامی کاتیون‌های قلیایی به طور کامل و وسیع از سنگ بیرون کشیده می‌شوند و چنانچه مقادیر محدودی پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سنگ باقی بماند

صرف تشکیل مونت موریلونیت (اسمکتیت)، ایلیت، هیدرومیکا (ورمیکولیت) و کلریت می شود. این کانی‌ها همراه با کائولینیت یا بدون کائولینیت به دگرسانی رسی حد واسط موسوم است (گیلبرت و پارک<sup>۷</sup>، ۱۹۸۶). در این کانسار سنگهای آتشفشانی کمرپایین دچار این دگرسانی شده و به سنگ، رنگ کاملاً سفید داده است. این نوع دگرسانی، گسترش چندانی ندارد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، در سنگهای آتشفشانی کمر پایین، پلاژیوکلازها دچار دگرسانی آرژیلیتی شده و کانی‌های رسی جانشین آن‌ها شده‌اند. (شکل ۴-۸ الف تا پ). طبق نظر بارنز<sup>۸</sup> (۱۹۷۹) دگرسانی آرژیلیتی در نسبت بالای آب به سنگ رخ می‌دهد. بنابراین در مرکز سیستم قرار می‌گیرد و در کانسار سردار نیز این دگرسانی در کمر پایین کانسار و در واقع در مرکز سیستم سیالات گرمابی دیده می‌شود. با توجه به مطالعات میکروسکوپی تاثیر عملکرد دگرسانی بر کانیهای تشکیل دهنده سنگهای موجود در منطقه مورد مطالعه به صورت ذیل می باشد:

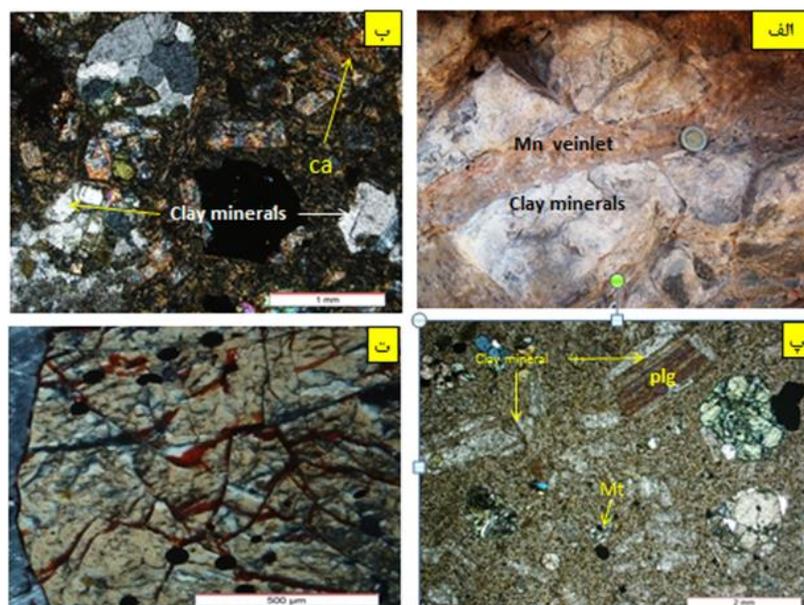
- عدم مشاهده منطقه بندی و ماکل کامل در پلاژیوکلازها: در حالت طبیعی در ماگمای داغ، پلاژیوکلازها (به ویژه در آندزیت ها) به گونه ای متبلور می شوند که قسمت مرکزی کلسیک تر و حاشیه سدیک تر هستند؛ در نتیجه منطقه بندی نرمال را از خود نشان می دهند، ولی در طی فرآیند دگرسانی منطقه بندی در پلاژیوکلازها از بین می رود. با ادامه فرآیند دگرسانی ماکل نیز در پلاژیوکلازها از بین خواهد رفت؛ زیرا به علت از دست دادن کلسیم در طی دگرسانی فضاهای خالی در شبکه بلورین ایجاد می شوند که با ورود یونهای بی کربنات و یونهای دیگر، پلاژیوکلازها به کربنات و کانیهای رسی تبدیل می شوند. در منطقه مورد مطالعه با توجه به مطالعات میکروسکوپی، منطقه بندی در پلاژیوکلازها نسبتاً از بین رفته است؛ اما در بعضی از نمونه ها ماکل پلاژیوکلازها به طور کامل از بین نرفته است که این مسئله بیانگر دگرسانی خفیف در آن مناطق می باشد (شکل ۴-۸ ب و پ).

---

7 - Guilbert and Park

8 - Barnes

- اکسید های آهن بر اثر محلولهای گرمابی: اکسیدهای آهن مشاهده شده در مقاطع ناشی از تاثیر محلولهای گرمابی بر آمفیبول، پیروکسن و پلاژیوکلازهای کلسیک می باشند که در امتداد رخ ها و حواشی بلورها تشکیل شده اند؛ زیرا که در نتیجه تاثیر محلولهای گرمابی،  $Fe^{+2}$  موجود در کانیها به  $Fe^{+3}$  تبدیل می گردد. اما وجود اکسیدهای آهن به صورت آغشتگی در سطح سنگها در واقع بیان کننده شرایط اکسیداسیون حاکم بر منطقه است که باعث تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای ثانویه آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) می گردد که بر اثر فرآیند های سطحی به وجود آمده اند. وجود کانیهای ثانویه با شرایط تشکیل و ترکیب کانی شناسی متفاوت (برای مثل کوارتز، کلریت و کربنات) در مجاورت یکدیگر بیانگر فعالیت های گرمابی تاخیری در زمان مختلف و وجود تغییرات شرایط pH و Eh در زمان تشکیل آنها می باشد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸- الف تا پ) دگرسانی آرژیلیتی در سنگهای آتشفشانی کمر پایین ماده معدنی که بلورهای پلاژیوکلاز به کانیهای رسی تبدیل شده اند. (ت) تصویر میکروسکوپی از تاثیر محلولهای گرمابی بر پیروکسن باعث دگرسانی  $Fe^{+2}$  به  $Fe^{+3}$  در امتداد رخها و حواشی آن شده است.

## فصل پنجم

ساخت، بافت،

کانی‌شناسی

و

توالی پارازنتیک کانی‌ها

مطالعه و بررسی بافت و ساخت کانیها و کانه‌ها، مجموعه اطلاعات ارزشمندی از داده‌های ژنتیکی می‌دهد که می‌توان با توجه به این داده‌ها به شرایط و نحوه تشکیل ماده معدنی پی‌برد. علاوه بر آن آگاهی در مورد بافتهای ماده معدنی، اندازه ذرات و نحوه قرار گیری ماده معدنی در ارتباط با سنگ درونگیر، از مسائلی است که به فرآوری و کانه‌آرایی کانسار کمک می‌کند. همخوانی بافتهای ماده معدنی با ساخت‌های رسوبی و لایه‌بندی و یا بالعکس ناهمخوانی این دو در فهم و درک زایشی کانسارهای همزمان با زایش<sup>۹</sup> و پس از زایش<sup>۱۰</sup> بسیار مؤثر است و حتی در تصمیم‌گیری و طراحی استخراج نقش اصلی و اساسی دارد. بدین منظور در منطقه معدنی مورد مطالعه از قسمت‌های مختلف کانسار و سنگهای دربرگیرنده، تعداد ۱۱ عدد مقطع نازک از سنگهای آذرین، آهکی و تخریبی توالی مورد مطالعه و ۱۱ عدد مقطع نازک- صیقلی و ۴ عدد مقطع صیقلی از ماده معدنی منگنز- مس، تهیه و مطالعه گردید. از آنجا که تشخیص میکروسکوپی کانه‌های منگنز به دلیل فراوانی و تشابه زیاد، تبلور ضعیف، ریز دانه بودن و رشد تداخلی<sup>۱۱</sup> آن‌ها، به سختی صورت می‌پذیرد. (مینارد<sup>۱۲</sup>، ۱۹۸۳). به همین دلیل برای شناسایی این ترکیبات، علاوه بر استفاده از مطالعات میکروسکوپی، هشت تا نمونه هم به‌وسیله نتایج حاصل از XRD مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای تشخیص دانه‌های ریز زرد رنگ که زیر میکروسکوپ قابل شناسایی نبود، سه نمونه به روش SEM آنالیز گردید. در این فصل ابتدا به انواع بافتهای کانه و ارتباط آن با کانه‌های تشکیل دهنده سنگ درونگیر اشاره داشته و سپس به بررسی کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها خواهیم پرداخت.

---

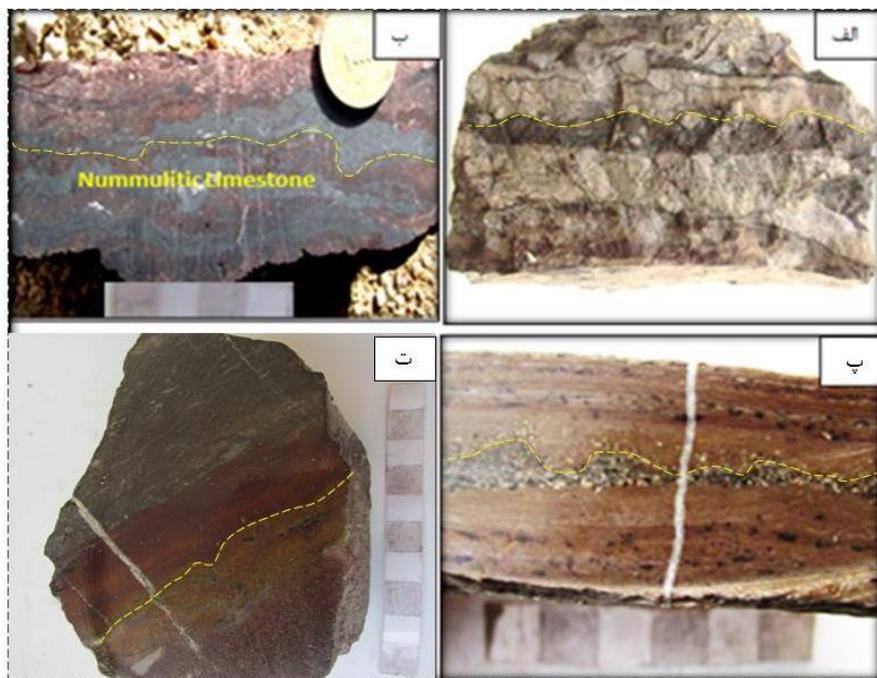
9-syngenetic  
10-epigenetic  
11-intergrowth  
12- Maynard

## ۵-۲- انواع ساخت و بافت کانسنگ و سنگ های دربرگیرنده

کانه‌زایی در کانسار مورد مطالعه، بیشتر به صورت لایه ای و همروند با لایه‌بندی و کمتر بصورت توده ای و رگه-رگچه ای در داخل آهکهای نومولیت دار سنگ میزبان رخ داده است. این کانسنگ از بافت‌های گوناگون تشکیل شده است که مهم‌ترین آنها به شرح ذیل است:

### ۵-۲-۱- ساخت نواری<sup>۱۳</sup> و لامینه

این ساخت، شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد و در رخساره لایه‌ای کانسار بصورت نوارها و لامینه‌هایی از کانی‌های اکسیدی منگنز و آهن همروند با لایه‌بندی دیده می‌شوند. و نشان دهنده همزمانی تشکیل این لامینه‌ها با رسوب‌گذاری است. این بافت در کل پهنه چینه سان، هم در ماده معدنی و هم در آهک کمر بالا دیده می‌شود. دلیل تشکیل این بافت ناشی از ورود سیالات کانه‌دار از طریق گسل‌های همزمان با رسوب‌گذاری به حوضه رسوبی و سپس انتقال آنها توسط جریانهای کف حوضه و نهشت آنها در مسافت‌های دورتر می‌باشد. کانه‌های منگنز در این بخش، به طور عمده از پیرولولوزیت و منگانیت تشکیل شده است. ضخامت لامینه‌ها متغیر بوده و از میلی‌متر تا سانتی‌متر تغییر می‌نماید. در بعضی نمونه‌ها تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی بصورت چین‌خوردگی در لامینه‌ها مشاهده می‌شود. همچنین در آنها، به دلیل جریان‌ات رفت و برگشتی آرام امواج در کف دریاها ریبله‌های جریانی بوجود آمده است (شکل ۵-۱۱ الف تا ت). سنگ آهک میزبان شامل، گوتیت حاوی منگنز (بخشهای قهوه‌ای تیره و سیاه) و لیمونیت (بخشهای زرد رنگ) و هماتیت (بخشهای قرمز رنگ)، می‌باشد (شکل ۵-۱۱ ا). همچنین، علاوه بر کانیهای اکسیدی و هیدروکسیدی آهن و منگنز، رگه کلسیتی قطع کننده نیز در کل بخش چینه سان کانسار، دیده می‌شود. (شکل ۵-۱۱ پ و ت).



شکل ۵-۱- الف تا ت) نمایی از ساخت نواری در لایه حاوی ماده معدنی و سنگهای دربرگیرنده در مقیاس نمونه دستی با ساخت ریپل بیانگر کاهش مقاومت جریان و شرایط رسوبگذاری کف دریا می باشد.

#### ۵-۲-۲- ساخت و بافت دانه پراکنده<sup>۱۴</sup>

ساخت و بافت دانه پراکنده، گسترده ترین ساخت و بافت مشاهده شده در این کانسار می باشد که بیانگر نهشت اولیه ماده معدنی در حین رسوبگذاری و همراه با دیگر ذرات تشکیل دهنده سنگ و حضور مواد فرار و آب در بین دانه ها می باشد. این بافت بصورت دانه های پراکنده اکسیدهای منگنز و آهن در متن تمام واحد های سنگی ائوسن اعم از سنگهای آتشفشانی و توفهای آندزیتی - بازالتی، آهک های توفی فسیل دار، آهک های میکرایتی، آهک های ماسه ای کمر بالا به همراه کانیهها و اجزای دیگر این سنگها دیده می شود. این بافت در شرق کانسار، تا قبل از تزریق ماده معدنی در امتداد گسل اصلی، دیده می شود. در نمونه های مطالعه شده بین بافت دانه پراکنده با تخلخلهای ناشی از فسیلها، ارتباط محسوسی وجود دارد، چنانکه هر طور فسیلها در لایه ها قرار بگیرند، مواد معدنی درون آنها جای می گیرند (شکل ۵-۲- الف تا ت)

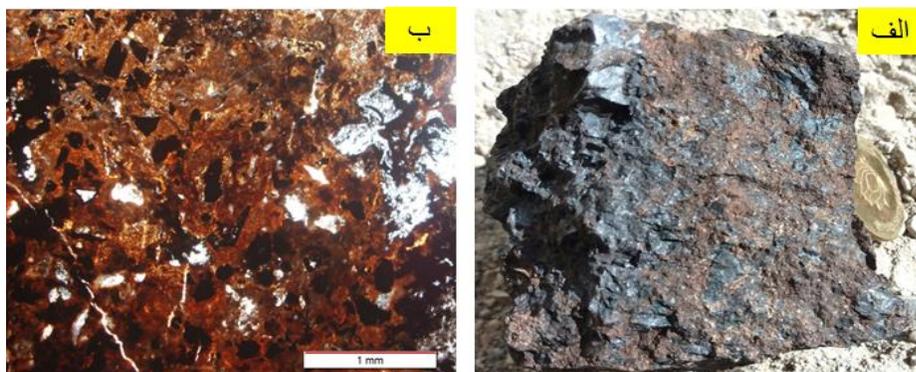
<sup>۱۴</sup>-Dissiminated



شکل ۵-۲-الف) رخنمونی از ساخت دانه پراکنده که اکسیدهای منگنز در داخل سنگ میزبان آهکی به صورت پراکنده و جانشین فسیلها شده است. ب) نمونه دستی از این بافت در سنگ آهک ماسه ای کمربالا شکل پ و ت) نمونه دستی از توف با بافت دانه پراکنده و تصویر میکروسکوپی آن

### ۵-۲-۳- ساخت و بافت برشی<sup>۱۵</sup>

این ساخت و بافت در رخساره برشی کانسار یعنی نزدیک گسل نرمال منطقه دیده می شود که بیانگر حالت انفجاری خروج ماده معدنی به داخل حوضه می باشد. کانه های منگنز ، تخلخل بین حفره ای ایجاد شده توسط فسیلهای سنگ میزبان را به صورت قطعات ریز و درشت پر کرده است. شکل دانه ها نیز نیمه گرد شده و زاویه دار می باشد. این بافت و ساخت در دو طرف شرق و غرب گسل به طول ۵۰ متر دیده شده و وسعت زیادی در طول کانسار ندارد (شکل ۵-۳الف و ب).



شکل ۵-۳- ساخت و بافت برشی در سنگ میزبان آهک فسیل دار، الف) نمونه دستی ب) تصویر میکروسکوپی

#### ۵-۲-۴- ساخت و بافت توده‌ای<sup>۱۶</sup>

این ساخت و بافت، در شرق کانسار و قبل از رخساره رگه-رگچه ای دیده می‌شود. ماده معدنی با این بافت، ماهیت سخت و فشرده دارد و مجموعه‌ای از بافت‌های جانشینی و پرکننده فضای خالی است که از سیال گرمابی کانه‌دار تشکیل شده است. به عبارت دیگر سیالات گرمابی غنی از منگنز، هنگام فراهم بودن شرایط ته‌نشست به صورت اکسید منگنز جانشین ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شده و یا در فضای خالی موجود در آن قرار گرفته‌اند. کانی‌های پیرولولوزیت که بیشتر دارای این بافت هستند و با منگانیت و پسیلوملان هم‌رشدی دارند، از تبدیل نهایی آنها بوجود می‌آید (شکل (۵-۴)).



شکل ۴-۵- نمایی از بافت کانسنگ توده‌ای: الف) در مقیاس نمونه دستی ب) تصویر میکروسکوپی از این نمونه که غنی از

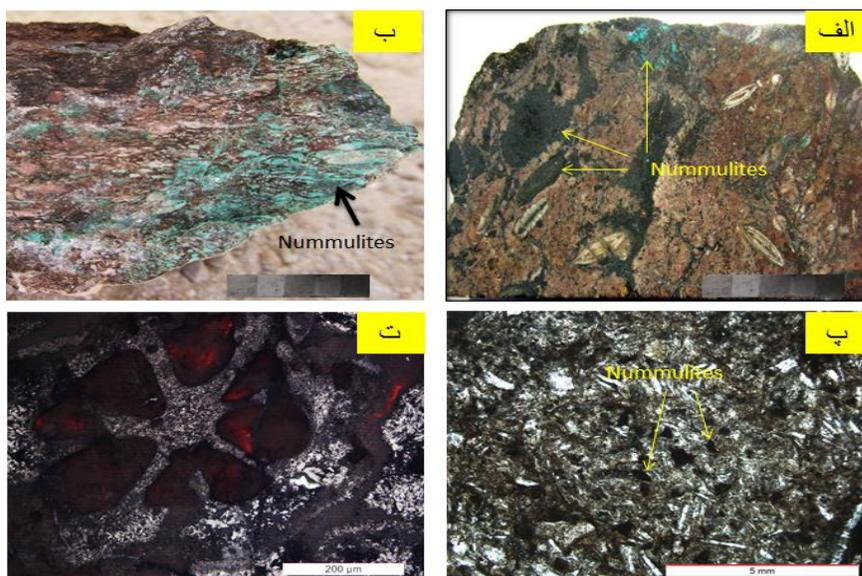
پیرولوویت است

#### ۵-۲-۵- بافت جانشینی<sup>۱۷</sup>

این بافت که از جمله بافت‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه می‌باشد به صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شود. به صورت اولیه در قالب فسیل‌های موجود در سنگ میزبان دیده می‌شود، به طوری که سیال گرمایی حاوی منگنز در سنگ میزبان، در قالب فسیل‌ها، منگنز خود را به جا گذاشته و بافت جانشینی اولیه را ایجاد کرده است. کانی‌های این مرحله اغلب پیرولوویت می‌باشند (شکل ۵-۵ الف و ب). جانشینی پسیلوملان توسط پیرولوویت در طول کانسار به وفور دیده می‌شود و به عنوان بافت جانشینی ثانویه محسوب می‌شود. جانشینی ثانویه ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی است که دیاژنز موجب از دست دادن آب و تبدیل پسیلوملان به پیرولوویت شده است. همچنین با از دست دادن آب، فضای بین دانه‌ای اجزای سازنده سنگ درونگیر پرمی شود (شکل ۵-۵ ب و ت). نهشت مواد معدنی در قالب بعضی از فسیل‌ها به علت تاثیر دیاژنز بعدی است، در این شرایط شکستگیها نیز پر می‌شود.

### ۵-۲-۶- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی<sup>۱۸</sup>

یکی از بافت‌های رایج در کانسار منگنز سردار ، بافت پرکننده فضای خالی می‌باشد. در این بافت سیال گرمابی کانه‌دار در طی عبور از سنگ میزبان، کانه‌های خود را در شرایط مناسب، در فضاهای خالی به جا می‌گذارد. این فضاهای خالی گاهی اولیه بوده ولی بیشتر اوقات ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی می‌باشند. این بافت در مقیاس میکروسکوپی گاهی در داخل رگچه‌ها و گاهی در فضاهای خالی ثانویه دیده می‌شود. کانی‌های تشکیل دهنده این بافت، بیشتر پیرولولزیت‌های نسل اول می‌باشد که از سیالات گرمابی کانه‌دار تشکیل شده‌اند (شکل ۵-۵ الف و ب).



شکل ۵-۵ الف و ب) نمونه دستی از ساخت فضا پر کن منگنز و مس درون فسیلها و شکستگیها (پ) تصویر میکروسکوپی از جانشینی منگنز درون قالب فسیلها و ت) تصویر میکروسکوپی از جانشینی ثانویه پسیلوملان توسط پیرولولزیت

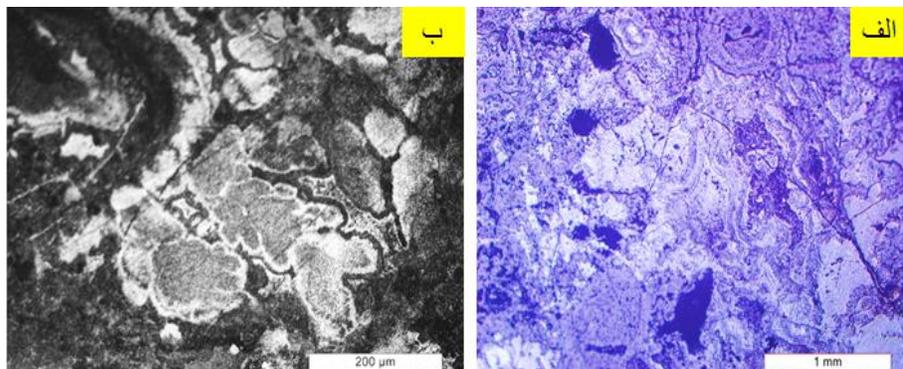
### ۵-۲-۷- بافت کلوئیدی متحدالمرکز<sup>۱۹</sup> (بوتروئیدال)

بر اثر انحلال فسیلها در طی دیاژنز، حفراتی ایجاد شده که ابعاد متغیری دارند که در داخل این حفرات بافت‌های کلوئیدی از منگنز با عیار بسیار بالا تشکیل گردیده است. وجود این بافت در منطقه مورد

18 - Open space filling

19-Botroidal

مطالعه، نشان دهنده آرام بودن محیط تشکیل و همچنین دمای پایین محلول‌های گرمایی است. این بافت مربوط به نمونه‌های برداشت شده از رخساره رگه- رگچه ای می باشد. عیار منگنز در این کلوئیدها، بالا می‌باشد. کانی‌های تشکیل دهنده این بافت بیشتر پسیلوملان هست که به صورت لایه‌های گل کلمی متناوب کنار هم قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۶).

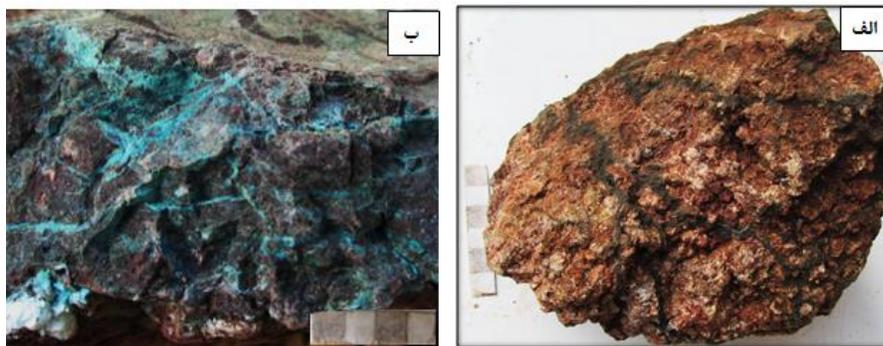


شکل ۵-۶- بافت کلوفرمی (بوتروئیدال) پسیلوملان در رخساره رگه- رگچه ای

#### ۵-۲-۸- ساخت رگه- رگچه ای<sup>۲۰</sup>

این ساخت منگنز درون سنگهای آتشفشانی کم‌پایین ماده معدنی و سنگهای آهک نومولیت دار میزبان دیده شده که بیانگر تزریق ماده معدنی عمود بر امتداد لایه بندی می باشد. گاهی بر اثر فرایندهای دیاژنتیک وسیع اعم از تراکم و انحلال (شیمیایی و مکانیکی)، پرشدگی داخلی و استیلولیتی شدن، اسپارایتی شدن، سیمانی شدن، لامینه‌ها و یا نوارهای کانه، کاملاً پیوسته نبوده و حالت عدسی شکل دارند. انجام فرایندهای دیاژنز (سنگ شدگی) با انقطاع طولانی مدت آب، جریانات ضعیف جزر و مدی و افزایش نسبت گل به ماسه، استمرار می یابد. قبل از سیمانی شدن، در نتیجه افزایش پیش رونده فشار لایه های بالایی، در خلال تدفین، آیزدایی، کاهش تخلخل و کاهش ضخامت اصلی رسوبات، باعث هم راستایی نومولیتها و ایجاد تماسهای نقطه ای و مماسی آنها شده که در نهایت تغییرشکلهای منعطفی از دانه ها را ایجاد کرده است. (فصل سوم). سپس این فرایند با تراکم شیمیایی یا انحلال فشاری که شامل

انحلال کربنات کلسیم و تشکیل استیلولیتها است، پیش می رود که در نتیجه آن دانه ها و ماتریکس حل شده و یک منبع مهم سیمان کلسیتی تدفینی بوجود آورده است. در مرحله دیاژنتیک بعدی با افزایش دفن و تراکم، جهت یافتگی دانه، شکستگی و تغییر شکل بیوکلست، رشد انحلال فشاری و استیلولیتها، تشکیل سیمان کلسیتی اسپاری درشت دانه در نتیجه نهشت مجدد انحلال فشاری، رشد شکستگی با ته نشست سیمان کلسیت دروزی، بوجود می آید. هنگامیکه سنگ آهکها درون زون وادوز جوی بالا می آیند، انحلال اضافی با آب جوی تحت اشباع ممکن است در مرحله سوپرژن روی دهد که این در تشکیل سطوح و حفرات نتیجه می شود (شکل ۵-۷)



شکل ۵-۷- الف) ساخت رگه-رگچه ای منگنز در اثر فرایندهای گرمایی- دیاژنتیک و ب) ساخت رگه- رگچه ای مس درون سنگ آهک نومولیت دار میزبان در اثر فرایندهای دیاژنتیک

### ۵-۳- کانی شناسی و پاراژنز

۵-۳-۱- مقدمه

کانی شناسی فازهایی که در آنها منگنز به عنوان جزء اصلی یا مهم تلقی می شود قبلاً کمتر مورد توجه بوده است و حتی امروزه نیز مسائل زیادی در مورد کانی شناسی منگنز باقی است. مطالعات سنتز آزمایشگاهی فازهای منگنزدار و تعادلات فازی در سیستم های مختلف می تواند به حل مسائل متعدد کانی شناسی منگنز کمک کند. کانی های منگنزدار در چند گروه مهم طبقه بندی شده اند. این گروه ها شامل اکسیدها، هیدروکسیدها، کربنات ها، سیلیکات ها، سولفیدها و گروه های نادر آرسنات ها، آرسنیت ها،

فسفات‌ها و غیره می‌باشند. به عنوان یک فرض اولیه، معمولاً اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز، کانسنگ را تشکیل می‌دهند، در حالی که کربنات‌های منگنز غالباً به عنوان سنگ مادر محسوب می‌شوند. سایر ترکیبات منگنز معمولاً به عنوان کانسنگ قلمداد نمی‌شوند (روی<sup>۲۱</sup>، ۱۹۸۱).

تاکنون بیش از ۱۵۰ کانی دارای منگنز شناخته شده است که از آن میان، کانیهای دارای ارزش اقتصادی شامل پیرولولزیت، براونیت، هوسمانیت، منگانیت، ورنادیت، پسیلوملان، رودوکروزیت و منگانوسیدریت می‌باشد. کانه های اولیه ی منگنز در سنگهای آذرین قلیایی تا نیمه قلیایی و به مقدار کم در محلولهای گرمایی باقی مانده ی مذاب تشکیل می شود، اما جدا شدن نهایی آن از آهن در ضمن تجزیه ی سنگها و در مرحله ته نشست بعدی انجام می گیرد زیرا منگنز به وسیله ی آبهای دی اکسیدکربن دار، بهتر از آهن حل میشود ولی دیرتر از آهن در محلولها ته نشست می کند.

به منظور مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز، از ترانشه های مختلف که عمود بر گسترش طولی کانسار حفر شده است ، نمونه برداری گردید و ۸ نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD)، ۱۱ مقطع نازک- صیقلی و ۳ مقطع صیقلی با میکروسکوپ پلاریزان و نور انعکاسی و ۳ نمونه به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت و کانه های پیرولولزیت و منگانیت در بافتهای دانه پراکنده ، جانشینی و برشی و فضاپرکن پهنه چینه سان و کانه های پیرولولزیت و براونیت در بافتهای رگه - رگچه ای، توده ای ، جانشینی و برشی پهنه رگه-رگچه ای شناسایی گردید که در ادامه به شرح هر یک از آنها پرداخته خواهد شد. داده های میکروسکوپی، SEM, XRD از کانسنگ های منگنز نشانگر کانی شناسی ساده ترکیبات منگنز در هر یک از انواع کانه زایی است. نتایج و نمودارهای مربوط به روش XRD در زیر آورده شده است. باطله اصلی این کانسارها در درجه اول کلسیت سپس اورتوز و آنالسیم می باشد.

جدول ۵-۱- داده های حاصل از آنالیز XRD

فاز اصلی	فاز فرعی	فاز جزئی	فاز اصلی	فاز فرعی	فاز جزئی
پیرولوزیت، منگانیت، آلیت، آنالسیم	اورتوز		پیرولوزیت، براونیت، کلسیت، پیریت	کوارتز، باریت	
پیرولوزیت، منگانیت، آلیت، آنالسیم مونت موریلونیت	اورتوز		پیرولوزیت	کوارتز	پیریت
پیرولوزیت، منگانیت، آلیت، مونت موریلونیت	آنالسیم، اورتوز		براونیت، پیرولوزیت	کلسیت	
پیرولوزیت، منگانیت، آنالسیم، اورتوز		کلسیت	پیرولوزیت، براونیت	کلسیت	

۵-۳-۲- کانی شناسی ماده معدنی

کانی شناسی ماده معدنی در امتداد گسترش طولی کانسار به دو صورت متفاوت می باشد، یک نوع کانی ها مربوط به شرق کانسار و تا قبل از گسل و تزریق ماده معدنی است که شامل پیرولوزیت و منگانیت می باشد و بدلیل عملکرد فرایندهای سوپرژن، هرچه از گسل به سمت غرب کانسار دور شویم، عیار ماده معدنی بیشتر می شود. نوع دیگر کانیها مربوط به محل تزریق ماده معدنی که رخساره رگه-رگچه ای را شکل می دهد، می باشد و کانی شناسی آنها پیرولوزیت و براونیت و مقداری پیریت و باریت است که در ذیل به شرح هر کدام می پردازیم.

۵-۳-۲-۱- پسیلوملان  $(Ba, K, Mn^{+2}, Co)_2Mn_5O_{10} \cdot XH_2O$

پسیلوملان با داشتن ۱۶/۵ درصد BaO در ترکیب شیمیایی خود به اکسیدهای سخت و توده ای منگنز با بافت بوتروئیدال اتلاق می شود (روی، ۱۹۸۱). نسبت  $Mn^{+4}/Mn^{+2}$  در این کانی به مراتب پایین تر از کریپتوملان و هولاندیت است. رنگ سفید، پلوکروئیسیم و آنیزوتروپی قوی از ویژگیهای میکروسکوپی شاخص این کانی است ولی به هر حال تشخیص این کانی از هولاندیت و تودوروکیت مشکل است.

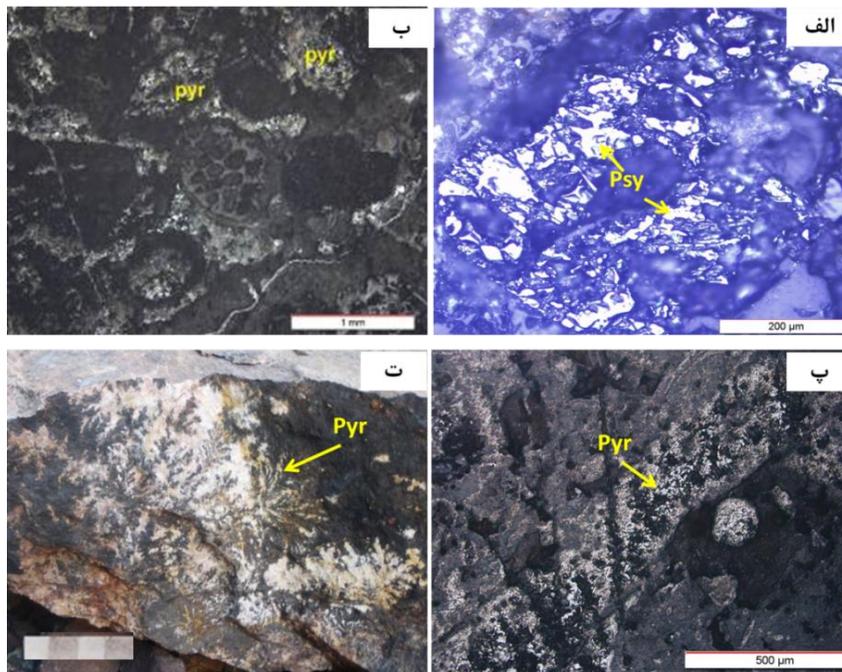
پسیلوملان جزو اولین کانی‌های تشکیل شده در این کانسار می‌باشد. که به صورت لکه‌ها و جزیره‌های پراکنده نامنظم و پرکننده فضاهای خالی بوده و تنها پیرولولوزیت و منگانیت از این کانی فراوان‌تر هستند. کانی مذکور بافت و ساخت بوتروئیدال، توده‌ای و گرانولار و پرکننده فضای خالی نشان می‌دهد. در برخی از نمونه‌های مطالعه شده پسیلوملان بر اثر عوامل سطحی و سوپرژن به صورت لکه‌ای و پراکنده و در راستای شکستگیها به پیرولولوزیت تبدیل شده است و گاهی تجمعات سوزنی نیز در آن دیده می‌شود. این کانی بعد از پیرولولوزیت، فراوان‌ترین کانه منگنز در پهنه رگه-رگچه ای، چینه سان، واحد آندزیت تا آندزی بازالت و توفها می‌باشد. (شکل ۵-۸ الف).

#### ۵-۳-۲- پیرولولوزیت ( $\beta$ -MnO<sub>2</sub>)

کانیهای اکسیدی منگنز با فرمول شیمیایی بالا را تحت عنوان اکسیدهای منگنز خالص نیز می‌شناسند که شامل دیامورفهای مختلفی می‌باشند که در این بین، پیرولولوزیت از نظر ترمودینامیکی پایدارترین فاز آن می‌باشد و اغلب عاری از دیگر کاتیونهاست. این کانی به مقدار فراوان در کانسارهای منگنز دما پائین، خصوصا کانسارهای رسوبی یافت می‌شود.

این کانی با رنگ زرد متمایل به خاکستری تا زرد متمایل به قهوه‌ای، داشتن کلیواژهای نامنظم تا منظم، پلی کروئیسیم ضعیف و انیزوتروپی بسیار قوی در مقاطع میکروسکوپی صیقلی از سایر کانی‌های منگنز به راحتی تشخیص داده می‌شود. در کانسار مورد مطالعه، پیرولولوزیت فراوان‌ترین کانی منگنز می‌باشد و دارای بافت‌هایی مانند بافت موزائیکی، سوزنی، کلوفرمی و حتی بی‌شکل نیز هست. پیرولولوزیت در این کانسارها دارای دو نسل متفاوت می‌باشد. نسل اول از ژل‌های منگن‌دار حاصل از سیالات گرمابی، در اثر از دست دادن آب به وجود آمده‌اند که بیشتر در قالب فسیل‌ها و در فضاهای خالی و یا درون شکستگیهای کانیهای قدیمی‌تر از جمله منگانیت به صورت بی‌شکل تا سوزنی ته‌نشست شده‌اند (شکل ۵-۸ ب و پ). نسل دوم

پیرولولوزیت حاصل فرآیندهای سوپرژن هست که بصورت دندریتی در سطح سنگها تشکیل شده است (شکل ۵-۸-ت).



شکل ۵-۸-الف) کانی پسیلوملان (Psy) بصورت لکه ای و پرکننده شکستگیها، ب) کانیهای پیرولولوزیت (Pyr) پرکننده قالب فسیلها، شکستگیها و فضای بین آنها و پ) آگرگاتهای سوزنی (شعاعی) پیرولولوزیت با ساختمان لایه ای، ت) پیرولولوزیت دندریتی در سطح ماسه سنگ کمر بالای ماده معدنی در اثر سوپرژن

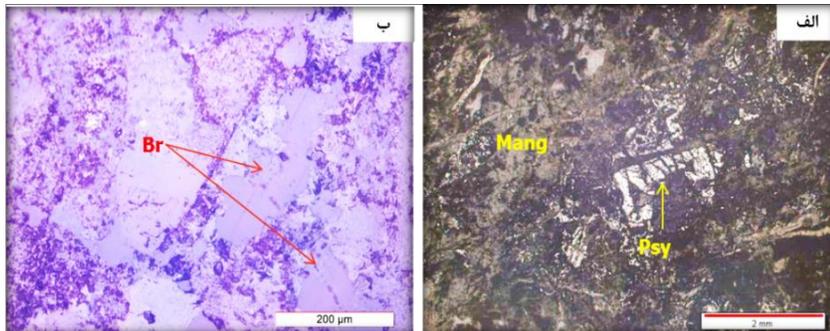
#### ۵-۳-۲-۳- منگانیت (MnO(OH))

اگرچه منگانیت یک کانی ناپایدار منگنز است اما پایدارترین اکسی هیدروکسی منگنز+۳ در محیطهای سطحی است چنانکه با اکسیدهای دیگر منگنز در همه جا حاضراست و بصورت محصول هوازدگی از سنگهای والد با منشا و کانی شناسی مختلف بوده یا به احتمال زیاد بصورت یک کانی اوتیژنیک شکل گرفته و در طی مراحل اولیه اکسیداسیون منگنز+۲، محلول می باشد. همچنین، نهشت منگانیت به محلولی احيایی تر از پیرولولوزیت نیاز دارد (روی<sup>۲۲</sup>، ۲۰۰۶). منگانیت از کانههای آبدار منگنز است که به فراوانی در کانسارهای رسوبی دما پائین و

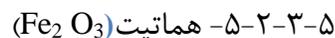
کانسارهای سوپرژن یافت می‌شود. در کانسار مورد مطالعه کانی منگانیت جزو اولین کانیهای تشکیل شده است و به صورت هم‌رشد با پسیلوملان دیده می‌شود. این کانی از حواشی و در راستای شکستگیها در حال تبدیل شدن به پیرولولوزیت است و در زیر میکروسکوپ به رنگ خاکستری متمایل به سبز تا قهوه‌ای با شفافیت کمتر نسبت به پسیلوملان دیده می‌شود. این کانی ریز بلور تا بلوری، نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار بوده و بافت توده‌ای نشان می‌دهد (شکل ۵-۹ الف).



براونیت یکی دیگر از کانی‌های اکسیدی منگنز است که با توجه به فرمول آن، میزان سیلیس در آن بالا می‌باشد. در مطالعات میکروسکوپی براونیت با داشتن رنگ خاکستری روشن و متمایل به قهوه‌ای و اینزوتروپی ضعیف قابل تشخیص بوده و معمولاً شکل آن به صورت بلوکی است. فراوانی آن در منطقه کم و فقط در بخش رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۵-۹ ب).



شکل ۵-۹ الف) کانی سبز متمایل به قهوه‌ای منگانیت (Mang) همراه و هم‌رشد با پسیلوملان، ب) کانی بلوکی براونیت (Br) با ته رنگ خاکستری متمایل به کرم مربوط به بخش رگه-رگچه‌ای

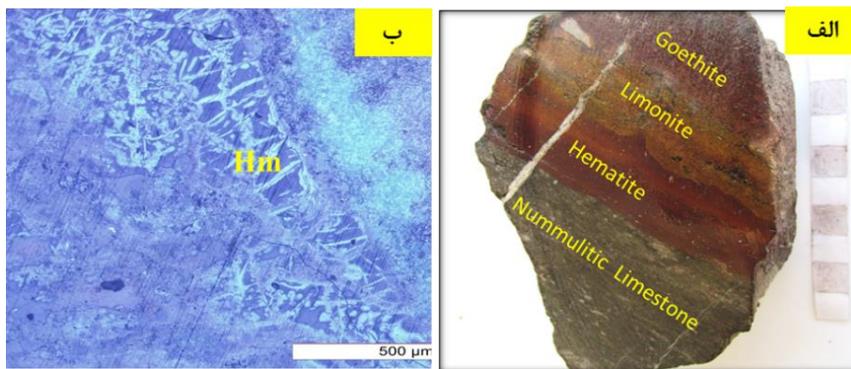


در سرتاسر گسترش طولی کانسار، زیر ماده معدنی لایه‌های چند سانتی هماتیت، لیمونیت و گوتیت دیده می‌شود (شکل ۵-۱۰ الف). این کانی فراوانترین کانی اکسیدی آهن در کانسار مورد مطالعه است که در زیر میکروسکوپ خاکستری مایل به آبی و یا کرم قهوه‌ای می‌باشد. در بسیاری از موارد تیغه‌های هماتیت به

گوتیت تبدیل شده بطوریکه قالب تیغهای هماتیت کاملاً تبدیل به گوتیت شده است و تولید پزودومورفهای گوتیت را نموده است. این کانی در مقاطع میکروسکوپی بافتهای متنوعی نشان می‌دهد که شامل آگرگاتهای شعاعی (دسته علفی) و بافتهای کلوفرمی و Box work می‌باشد (شکل ۵-۱۰ ب).

۵-۳-۲-۶-گوتیت (FeOOH)

از جمله کانیهای هیدروکسیدی آهن که به فراوانی در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید، گوتیت است. این کانی به همراه هماتیت و اکسیدهای منگنز در اکثر نمونه‌ها وجود دارد و بافتهای کلوئیدی متحدالمرکز (بوتروئیدال) و بافت تیغهای دروغین که حاصل جانشینی این کانی بجای هماتیت است، تشکیل می‌شود. ضمناً علاوه بر گوتیت، هیدروکسیدهای دیگر آهن همچون لیمونیت نیز به مقدار کمتر در بخشهای متأثر از فرآیندهای سوپرژن دیده می‌شود. (شکل ۵-۱۰ الف)



شکل ۵-۱۰- الف) لایه بندی موجود در افق کانه دار حاوی هماتیت، لیمونیت، گوتیت، ب) بافت تیغهای هماتیت

۵-۳-۳- کانی‌های باطله

مهم‌ترین کانی‌های باطله مرتبط با کانی‌زایی شامل کلسیت، کوارتز، کلریت، پیریت، باریت و کانی‌های رسی می‌باشند.

#### ۵-۳-۱- کلسیت

کلسیت به عنوان باطله اصلی در کانسار مورد مطالعه وجود دارد و از سازندگان فسیلهای نومولیت می باشد. همچنین کلسیت به صورت سیمان میکرایتی، شکافه پرکن و رگه قطع کننده در پهنه چینه سان دیده می شود. کلسیت موجود در کانسارهای منطقه مورد مطالعه را می توان از دو نسل مختلف دانست. نسل اول این کانی که عمدتاً در واحد کانه دار قابل مشاهده است و به صورت دانه پراکنده با بلورهای خودشکل که در بعضی موارد توسط منگنز جانشین شده و همچنین فسیل نومولیتها است که همراه با تشکیل واحد کانه دار به وجود آمده است. نسل دوم کلسیت مربوط به تأثیر فرآیندهای گرمایی و سوپرژن است و در محل رگه ها یافت می شود (شکل ۵-۱۱ الف).

#### ۵-۳-۲- کوارتز

کوارتز در این کانسار بصورت بلورهای بسیار ریز و پراکنده وجود دارد و از آنجایی که در این کانسار ماده معدنی در کنار سنگ های آتشفشانی و در ارتباط با آنها تشکیل شده است، ماده معدنی نیز در ترکیب خود سیلیس دارد. همان طور که قبلاً هم در این فصل اشاره گردید، در این کانسار، کانه سیلیکاته منگنز (براونیت) نیز وجود دارد. حضور این کانی به همراه سایر کانی های سیلیکاته نیز می تواند میزان بالای سیلیس را در کانسار نمایان سازد. بنابراین سیلیس علاوه بر اینکه در کانسار به شکل آزاد آن یعنی کوارتز وجود دارد، می تواند سازنده سایر کانی های سیلیکاته نیز باشد که جدایش و کاهش میزان آن در کنسانتره به کمک روش های کانه آرای می مقدور نیست. بنابراین سیلیس را می توان به عنوان یک باطله مضر قلمداد نمود. اما کلسیت موجود در کانسنگ به دلیل داشتن خاصیت زودگذاری می تواند به عنوان کمک ذوب عمل نموده و یا قادر است سیلیس و سایر عناصر مضر را وارد سرباره نماید. بنابراین سبب افزایش ارزش کانسنگ می شود (شکل ۵-۱۱ ب).



شکل ۵-۱۱-الف وب) نمایی از رگه سیلیسی-کربناته از بخش رگه-رگچه ای کانسار در مقیاس رخنمون و نمونه دستی

۵-۳-۳-۳- کلریت

کلریت به عنوان یکی از باطله‌های اصلی در این کانسار بشمار می‌رود که این کانی در رخساره رگه-رگچه-ای و به مقدار کمتر در رخساره توده‌ای کانسنگ و سنگ میزبان را همراهی می‌کند. کلریت، مربوط به تأثیر فرآیندهای گرمایی و دگرسانی کلریتی می‌باشد این کلریت‌ها ظاهری سبز رنگ به سنگ می‌دهند.

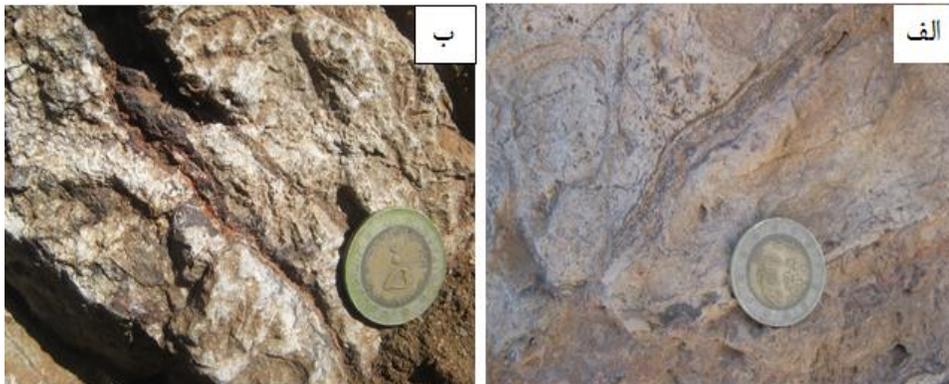
۵-۳-۳-۴- کانیهای رسی

کانیهای رسی به عنوان یکی از باطله‌های معدن به شمار می‌آیند. این کانی‌ها در اثر دگرسانی آرژیلیتی به وجود آمده‌اند. کانیهای رسی حاصل از دگرسانی آرژیلیتی، محل عبور سیال گرمایی را به خوبی نمایش می‌دهند. از کانیهای رسی عمده در منطقه با توجه به نتایج آنالیز XRD، مونتموریونیت می‌باشد. این کانیها در سطح سنگهای آتشفشانی و آهک میزبان در رخساره رگه-رگچه ای، به سنگ رنگ سفید می‌دهد (شکل ۵-۱۳ الف و ب).

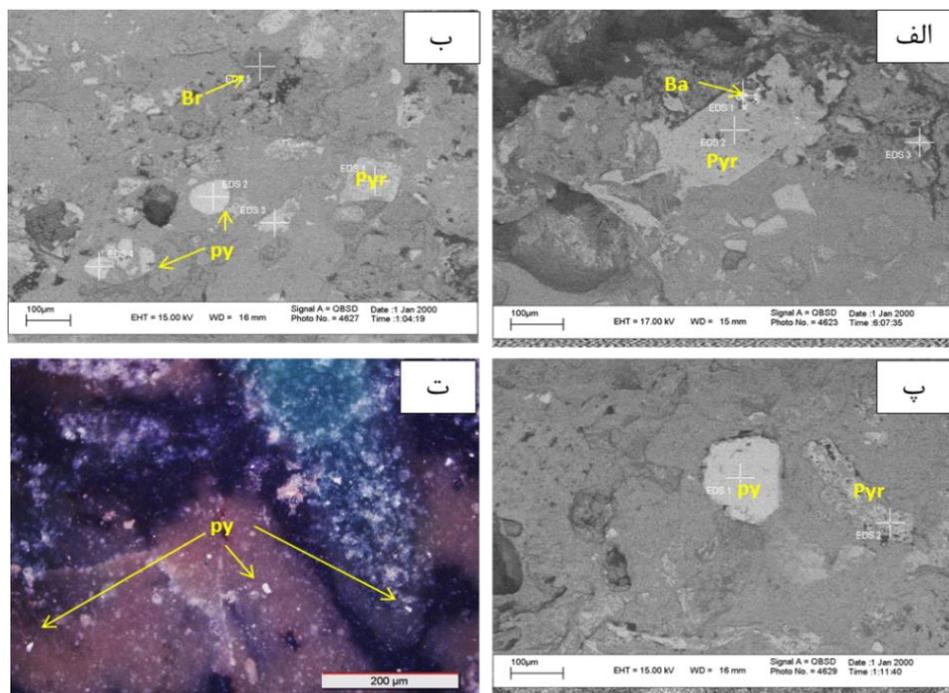
۵-۳-۳-۵- کانیهای سولفیدی و سولفاتی

کانیهای سولفیدی در این کانسار بسیار اندک بوده و شامل پیریت با فرمول  $Fe_2S$  با بافت دانه‌پراکنده، به همراه براونیت و پیرولولوزیت با ساخت توده‌ای، در نزدیک محل تزریق و گسل نرمال منطقه و کالکوسیت با فرمول  $Cu_2S$  بصورت اپی ژنتیک و رگه ای تقریباً ۱۰ سانتیمتری در ماسه سنگهای خاکستری کمر بالای ماده معدنی در اثر عملکرد آبهای جوی و فرایند سوپرژن شکل گرفته و پر عیار شده است (شکل ۵-۱۶)

تا ت). همچنین باریت تنها با آنالیز SEM و آنهم بصورت بلوری در حفرات درون پیرولولوزیت توده ای مشخص شد (شکل ۵-۱۴ الف).



شکل ۵-۱۲ الف و ب) کانی رسی مونت مورینیت که به سنگ رنگ سفید داده است.

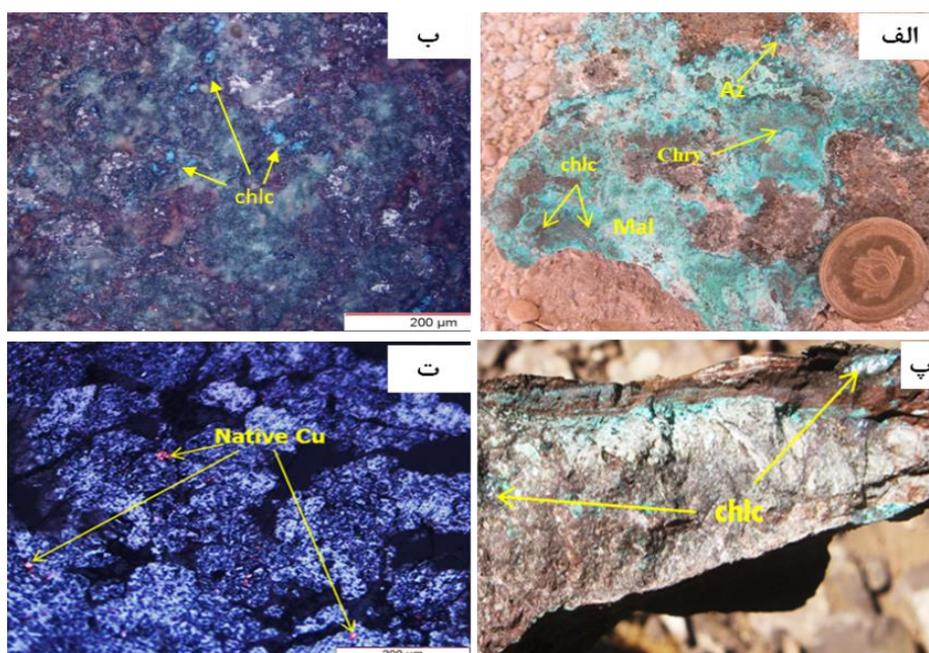


شکل ۵-۱۳ الف) کانی باریت (Ba) درون پیرولولوزیت (Pyr) توده ای، ب) تصویر SEM از پیریت، پیرولولوزیت، براونیت، پ و ت)

تصویر SEM و میکروسکوپی از پیریت (Py)

### ۵-۳-۳-۶-کانیهای کربناته

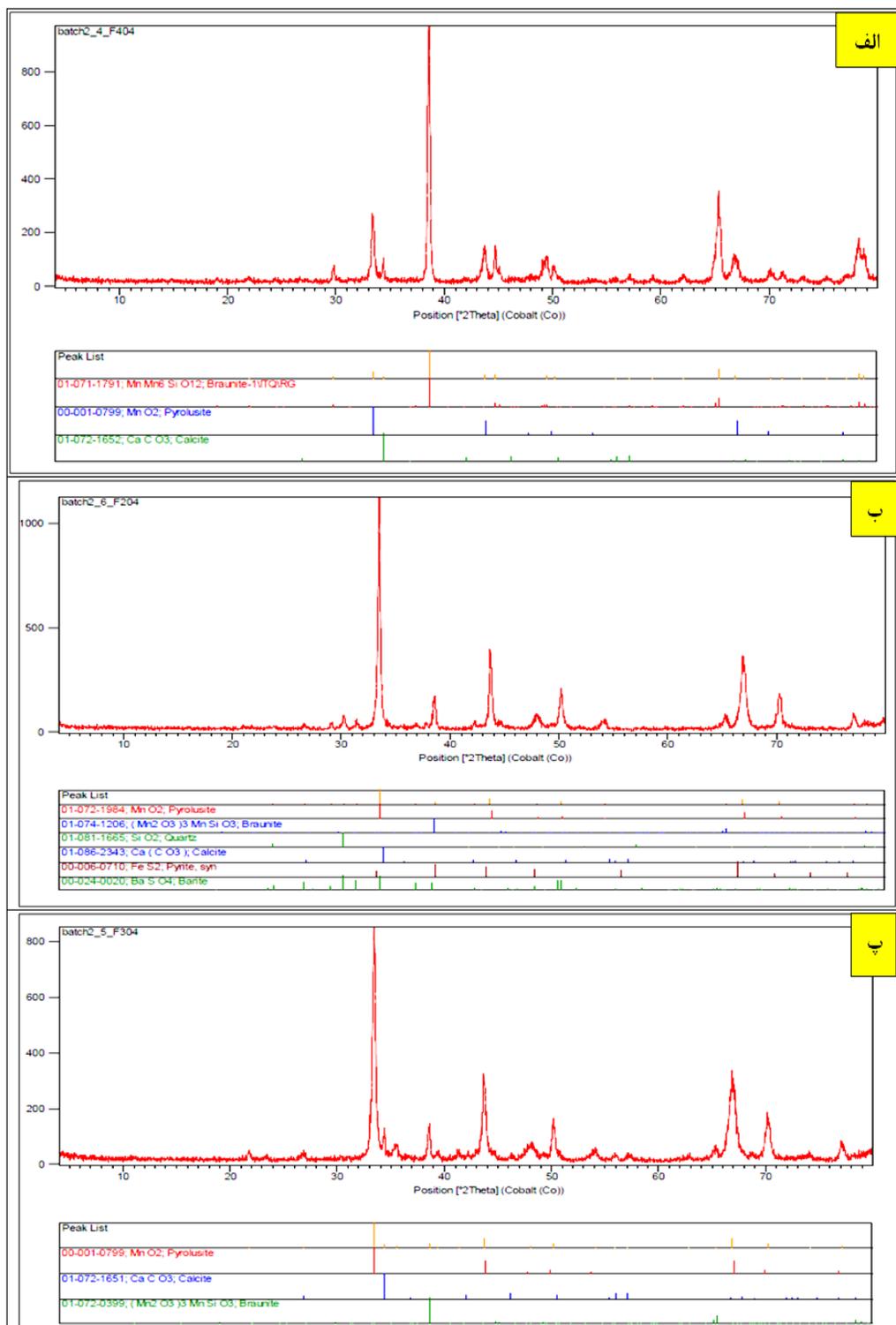
کانی های کربناته در این کانسار مالاکیت، آزوریت، کلسیت می باشد همچنین بر اثر فرایندهای سوپرژن، سیلیکاتهای دیگری چون کریزوکولا به همراه مالاکیت، آزوریت و کالکوسیت در رگه قطع کننده کمر بالای منگنز و یا در سطح دایک قطع کننده توالیهای آتشفشانی، آهک میزبان و کمر بالا، تشکیل شده است (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۴- الف) نمونه دستی از کانیهای مالاکیت (Mal)، آزوریت (Az)، کریزوکولا (Chry) و کالکوسیت (Chlc) در سطح

دایک، ب) تصویر میکروسکوپی کالکوسیت بصورت پراکنده در متن سنگ، پ) کانی کالکوسیت در رگه قطع کننده ماسه

سنگهای کمر بالای منگنز، ت) مس طبیعی پراکنده در متن سنگ



شکل ۵-۱۵- الف) داده های XRD نمونه منگنز رگه-رگچه ای (ب) رخساره توده ای پهنه چینه سان (پ) رخساره نواری پهنه چینه سان

## ۵-۴- توالی پاراژنتیک

توالی پاراژنتیک یک کانسار، ترتیب تشکیل کانی‌هاست به گونه‌ای که تقدم و تأخر زمانی پیشامدهایی که اتفاق افتاده و کانسار یا منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، را ارائه می‌دهد. توالی پاراژنتی در هر کانسار بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعات بافتی و کانی‌شناسی، مشخص می‌شود در این کانسار، این توالی سه مرحله عمده را شامل می‌شود که مرحله اول مربوط به تنه‌نشست اولیه آتشفشانی- برون‌دومی و مرحله دوم مربوط به فرآیندهای دیاژنز و مرحله سوم مربوط به آبهای جوی (سوپرژن) می‌شود که در زیر هر سه مرحله به صورت مختصر توضیح داده شده است.

(۱) در مرحله تنه‌نشست اولیه و فعالیت آتشفشانی- برون‌دومی از یک طرف اجزای آذرآواری وارد حوضه شده‌اند و از طرف دیگر سیالات گرمابی زیردریایی، اجزای معدنی را وارد حوضه کرده و درون فضاهای خالی مفید آهکها که همان قالب فسیلهاست، تنه‌نشست نموده است که بعداً با فرایندهای دیاژنتیک، کانه‌های منگنز پرعیار و پرتناژ شده است. در این مرحله ابتدا نسل اول کانی‌های اکسیدی منگنز مثل پیرولولزیت، پسیلوملان، منگانیت به ترتیب خاص در پهنه چینه سان ته‌نشین شده‌اند. ته‌نشست مواد معدنی در این مرحله بیشتر به صورت بافت رگه- رگچه‌ای، توده‌ای، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، بوتروئیدال، نواری بوده است.

(۲) سپس با ادامه فعالیت سیالات گرمابی، نسل دوم کانی‌های منگنز مثل پیرولولزیت، پسیلوملان، براونیت ته‌نشین شده که از کانی‌های منگنز نسل اول در اثر فرآیند دیاژنز به وجود آمده‌اند. فرآیند دیاژنز باعث از دست دادن آب در کانی‌های آب‌دار منگنز مثل پسیلوملان و هولاندیت شده و کانی‌های بی‌آب مثل پیرولولزیت را تشکیل داده است. بافت‌های این مرحله بیشتر دانه پراکنده، جانشینی، فضاپرکن و برشی می‌باشد.

۳) نهایتاً بعد از بالآمدگی منطقه در مرحله پایانی، مجموعه کانی‌های معدنی و سنگ میزبان تحت تأثیر فرآیندهای جوی و سوپرژن قرار گرفته‌اند. در این مرحله کانی‌های کلسیت و کانی‌های رسی تشکیل می‌شوند که فراوانی کمی دارند (شکل ۵-۱۷).

Mineral/ Texture		Volcanic-exhalative	Diagenetic		Supergen
			early	late	
Mineral	Pyrolusite				
	Psylomelan				
	Manganite				
	Braunite				
	Hematite				
	Pyrite				
	Goethite				
	Calchocite				
	Limonite				
	Malachite				
	Azurite				
	Cherysocola				
	Calcite				
	Quartz				
	Barite				
Clay minerals					
Texture	Disseminated				
	Replacement				
	Vein-Veinlets				
	Open space filling				
	Colloform				
	Massived				
	Brecciated				

شکل ۵-۱۶- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت مربوط به آن در کانسار منگنز سردار



## فصل ششم

### مطالعات ژئوشیمیایی

و

### سیالات درگیر

## ۶-۱- مقدمه

با درک صحیح از زمین شناسی منطقه و یافتن رابطه آن با کانی‌شناسی، می‌توان مدل یا فرضیه ای ارائه داد که برای اثبات آن، می‌بایست مورد آزمایش قرار گیرد که این امر با مطالعات ژئوشیمیایی انجام می‌شود. ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگها همواره تحت تأثیر فرآیندهای حاکم بر آنها متغیر است و از زمان تشکیل، دیاژنز و نهایتاً رخنمون آنها در سطح و فرسایش، دائماً از شکلی به شکل دیگر درمی‌آید.

لذا تمرکز و پراکندگی عناصر و ایزوتوپهای آنها و نسبتهای تفکیک هر یک در هر زمان، تابع شرایط خاص محیطی مثل pH, Eh, درجه حرارت، فشار هیدرواستاتیک، فشار لیتواستاتیک و خصوصیات عناصر مثل پتانسیل یونی، تمایل و ویژگیهای ذاتی هر عنصر و یا مجموعه های عناصر بوده و آگاهی از این موارد بیش از هر چیز دیگر می‌تواند راهگشای ما در درک حقیقی خصوصیات ژئوشیمیایی سنگها و روشهای تجزیه‌ای آنها گردد. توزیع و پراکندگی عناصر در واحدهای سنگی هر منطقه، ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، مهمترین مواردی هستند که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مدنظر می‌باشد. چرا که با استفاده از این ارتباط تا حدودی می‌توان به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد. در این بخش برای بررسی روابط بین عناصر مختلف (ضریب همبستگی عناصر و توزیع و پراکندگی آنها در واحدهای سنگی موجود)، همچنین اطلاع از تمرکز عناصر گوناگون در کانسنگ منگنز، به دو روش لیتوژئوشیمیایی (عمود بر امتداد لایه بندی) و معدنی (در امتداد گسترش طولی کانسار) نمونه‌گیری شده است. سپس نمونه‌ها به روشهای ICP-OES و ICP-MS, XRF و SEM آنالیز گردید و نتایج داده‌های آنها برای مطالعه تغییرات عناصر در ستونهای لیتوژئوشیمیایی و شیمی کانسنگ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۶-۱).

## ۶-۲- ژئوشیمی منگنز

منگنز اولین عنصر گروه هفتم عناصر واسطه در جدول تناوبی عنصرهاست و مانند آهن و مس از فلزات

انتقالی محسوب می شود و از نظر فراوانی دوازدهمین عنصر در پوسته زمین و بعد از آهن مقام دوم را در بین فلزات سنگین دارد (پست<sup>۲۳</sup>، ۱۹۹۸) این عنصر دارای یک ایزوتوپ پایدار  $^{55}_{25}\text{Mn}$  با عدد اتمی ۲۵ و جرم اتمی ۵۴/۹۳۸ و شعاع اتمی ۱۳۷ آنگستروم است و از نظر گرایش ژئوشیمیایی در گروه عناصر لیتوفیل شدید بوده و البته تمایلات کالکوفیلی نیز دارد زیرا اگر مقدار منگنز در فاز فلزی، در شهاب-سنگها برابر ۱ فرض شود، این مقدار در فاز سولفیدی برابر ۱۰ و در فاز سیلیکاته برابر ۲۶ می باشد همچنین این عنصر در پوسته فوقانی خاصیت اکسی فیلی نیز دارد. منگنز با ظرفیت های پیوندی مختلف از ۳- تا ۷+ (و صفر) وجود دارد، اما در طبیعت معمولاً با ظرفیت های ۲+ و ۳+ و ۴+ دیده می شود. منگنز دو ظرفیتی  $\text{Mn}^{+2}$  معمولاً در ترکیبات ساده آبدار شرکت می کند، در صورتی که منگنز سه ظرفیتی  $\text{Mn}^{+3}$  معمولاً در کمپلکسها وارد می شود.

#### ۶-۲-۱- ژئوشیمی منگنز در شرایط ماگمایی

رفتار Mn در ماگما بسیار شبیه Fe است بنابراین مقادیر آن در سنگهای بازیک بیشتر از سنگهای اسیدی است ولی نسبت Mn/Fe تقریباً در تمام سنگهای آذرین ثابت است (مینارد، ۱۹۸۳). منگنز از نظر ژئوشیمیایی شبیه به Mg، Fe، Co، Ni عمل می کند و تمایل دارد که در مراحل اولیه تبلور ماگما وارد ترکیب کانی ها شود. اما به سبب شعاع یونی بزرگی که در حالت دو ظرفیتی دارد، مقادیر قابل توجهی منگنز در مذاب باقی می ماند که می تواند طی آخرین مراحل تبلور ماگما در پگماتیت ها متمرکز شده و کانی های غنی از منگنز را تشکیل دهد و یا در نهشته های پنوماتولیتی و گرمابی شرکت کند و گاهی نیز به صورت بروندمی به بستر حوضه رسوبی راه یابد. بنابراین تشکیل کانسارهای گرمابی منگنز تابع ترکیب شیمیایی اولیه ماگما و درجه حرارت و فشار محلول کانه ساز در یک محیط ژئوشیمیایی اولیه

است. با توجه به توضیحات بالا فرآیندهای ماگمایی نقش بسزایی در تشکیل کانسارهای منگنز ندارند چرا که این فرآیندها قادر به جداسازی منگنز از آهن نیستند (مینارد، ۱۹۸۳).

#### ۶-۲-۲- ژئوشیمی منگنز در محیطهای سطحی

حالت اکسیداسیون و ظرفیت منگنز به Eh و pH محیط رسوبی بستگی دارد. در محیطهای سوپرژن سطحی تر که ویژگی اکسیدکنندگی شدیدتری دارند، منگنز دارای ظرفیت +۴ می باشد، در حالی که در محیطهای احیایی تر ظرفیت آن +۲ است. با این حال اغلب اوقات هر دو حالت منگنز +۴ و +۲ در محیط-های سوپرژن یافت می شوند.

منگنز به آسانی و تحت شرایط جوی و زیرزمینی از ترکیب سنگهای آذرین خارج می شود (پست، ۱۹۹۸). منگنز به صورت  $Mn^{3+}$  در سیالهای اسیدی بسیار متحرک است و در محیطهای نزدیک به سطح زمین به راحتی اکسید می شود و می تواند در ساختار بیش از ۳۰ کانی اکسید و هیدروکسید شرکت کند. این اکسیدها مهمترین کانی های منگنز را در پوسته تشکیل می دهند و از نظر اقتصادی نیز بسیار مهم اند. در محیط های سطحی طی فرایندهای فرسایش و حمل نوعی تفریق یا جدایش در عناصر رخ می دهد. در اولین مرحله رسوبگذاری، مجموعه های کنگلومرایی، ماسه سنگی وسیلتی حاصل از فرسایش با حداقل متوسط منگنز نهشته می شوند اما منگنز حاصل از تخریب شیمیایی سنگ ها به همراه آهن به صورت یون محلول یا هیدروکسید و اکسیدهای کلوئیدی همچنان حمل می گردد و بر خلاف محیط ماگمایی نسبت Mn/Fe در سنگ های رسوبی بسیار متغیر است.

مرحله دوم رسوبگذاری شامل نهشت شیل ها و کربنات ها است، در این مرحله منگنز بر حسب وضعیت شیمیایی محیط ( Eh، pH و تمرکز یونهای مختلف) رسوب می کنند (مینارد، ۱۹۸۳). بنابراین تشکیل کانسارهای رسوبی و آتش فشانی-رسوبی منگنز بشدت تابع شیمی محیط رسوبی می باشد. از طرفی Eh و pH دو عامل کنترل کننده شیمی محلول های آبی هستند. منگنز حلالیت بسیار بالایی در آب های

احیایی واسیدی دارد. به طوری که شیل‌های غنی از مواد آلی دارای مقدار بسیار ناچیزی منگنز بوده و نسبت Mn/Fe در آن‌ها بسیار پایین است. اما در عوض از فلزات دیگر غنی‌شدگی نشان می‌دهند. در pH طبیعی (pH=7) و محیط اکسیدان منگنز به صورت اکسید رسوب خواهد کرد، اما در pH طبیعی و محیط احیایی منگنز به صورت یون دو ظرفیتی محلول است. پس مقدار آن در آب‌های احیایی بسیار بیشتر از آب‌های اکسیدان خواهد بود.

در pH قلیایی و محیط احیا منگنز بصورت کربنات نهشته می‌شود. در آب‌های سطحی معمولاً pH پایین‌تر از آن است که رود و کروزیت ( $MnCO_3$ ) تشکیل شود، اما در آب دریا، افزایش مقدار ناچیزی یون کربنات ( $CO_3^{2-}$ ) به محیط سبب تشکیل رود و کروزیت می‌گردد (به شرط آن‌که منگنز در محیط موجود باشد). این کانی در واقع در شرایط Eh پایین دریایی و نرخ رسوب‌گذاری متفاوت در اعماق مختلف تشکیل می‌شود (پدرسن و پرایس، سوز، ۱۹۷۹، ۱۹۸۲<sup>۲۴</sup>).

محدوده پایداری فازهای جامد آهن بیش از منگنز است (شکل ۶-۱) همین امر سبب می‌شود تا در شرایط احیایی این دو عنصر از یکدیگر جدا شوند. به دلیل اینکه در فاصله چند سانتی‌متری زیر سطح تماس آب-رسوب شرایط احیا حاکم می‌شود، منگنز بوسیله آب‌های منفذی متحرک می‌شود، درحالی که آهن به صورت اکسید یا هیدرواکسید تثبیت می‌شود. این پدیده نیز یکی دیگر از فرآیندهای جداکننده آهن و منگنز است و خود به شرایط Eh-pH محیط بستگی دارد.

در شرایط Eh پایین و میزان گوگرد بالا (مثلاً در شرایط احیایی رسوبات دریایی) آهن به صورت سولفید تثبیت می‌شود و منگنز محلول به سمت بالا نفوذ می‌کند. این منگنز ممکن است در منطقه اکسیژن‌دار سطح تماس آب-رسوب در کف دریا ته‌نشین شود و یا تا فواصل دورتر و به سمت مناطق عمیق‌تر مهاجرت نماید. این عمل بستگی زیادی به میزان اکسیژن موجود در محیط دارد (یتس<sup>۲۵</sup> و همکاران، ۱۹۷۹). طی

---

26- Pedersen and Price, Suess  
25 - Yeats

این فرآیند رسهای پلاژیک کف دریا از منگنز غنی می‌شوند. راه دیگر غنی شدن این رسها، دگرسانی بازالت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی است. همچنین سیالات گرمایی در حین چرخش در پوسته اقیانوسی قادرند مقادیر قابل توجهی آهن و منگنز را وارد آب دریا نمایند.

پس از ورود این فلزات به بستر دریا، بخش اعظم آهن (گاهی به همراه مس) در نزدیکی محل خروج این سیالات ته‌نشین می‌شوند، درحالی‌که منگنز به میزان قابل توجهی انتشار می‌یابد و می‌تواند به عنوان ردیاب انواع کانسارهای فلزی بکار رود (مینارد، ۱۹۸۳؛ کرونان<sup>۲۶</sup>، ۱۹۸۰). دیاگرام‌های Eh-pH، همچنین قادر به توصیف غنی‌شدگی سوپرژن کانه‌های آهن و منگنز می‌باشند. تحرک ژئوشیمیایی بیشتر منگنز سبب می‌شود تا این عنصر تمایل شدیدی برای حرکت به سمت پایین داشته باشد. این مهاجرت سبب تشکیل پوسته‌های غنی از آهن می‌شود. در صورتی‌که منگنز در حین حرکت به سمت پایین از پروفیل خاک خارج نشود، می‌تواند تمرکزهای مهمی را در خاک تشکیل دهد (روی، ۱۹۸۱).

ظرفیت بالای اکسیدهای منگنز برای جذب کاتیون‌ها، سبب غنی‌شدگی اقتصادی این اکسیدها از بعضی عناصر، خصوصاً مس، نیکل و کبالت می‌شود. روی (۱۹۸۱) جانشینی این فلزات در شبکه کانی‌های منگنز را دلیل این همراهی می‌داند. غنی‌شدگی ندول‌های مناطق پلاژیک نسبت به ندول‌های مناطق کم‌عمق و دریاچه‌ها، احتمالاً به دلیل سرعت کمتر نهشته شدن این ندول‌ها است.

مواد آلی از جمله عوامل کنترل‌کننده تحرک ژئوشیمیایی منگنز در محیط‌های سطحی هستند. تجمع و پوسیدگی مواد گیاهی بر روی سنگها، عاملی برای جدایش منگنز است. در خاکهای نواحی سرد و مرطوب (در افق A و B خاک نواحی تندرا) دلیل وجود مقدار زیادی اسیدهای آلی، pH اسیدی است و منگنز را حل می‌کنند. این محلولها به سمت پائین حرکت کرده و روی افق C جاری می‌شوند. در این شرایط منگنز بیشترین تحرک را دارد و به صورت ترکیبات آلی غنی از فلز از سنگ بستر جدا و حمل می‌گردد. اما در

آب و هوای گرم و مرطوب با pH خنثی (خاکهای نواحی استوایی) ترکیبات آلی منگن‌دار به صورت درجا ایجاد می‌شوند و قدرت حمل مواد ناچیز است. لذا تحرک منگنز کمتر از نواحی تندرست. اکسیداسیون منطقه هوازده در آب و هوای گرم و خشک باعث تشکیل اکسیدهای منگنز می‌گردد، اما محیط غالباً قلیایی است و جدایش منگنز از سنگها فقط در سطح سنگ رخ می‌دهد. به علت تحرک بسیار ناچیز منگنز در این محیطها، پوششی از اکسیدهای منگنز و آهن ایجاد می‌گردد که به ورنی صحرا<sup>۲۷</sup> معروف است.

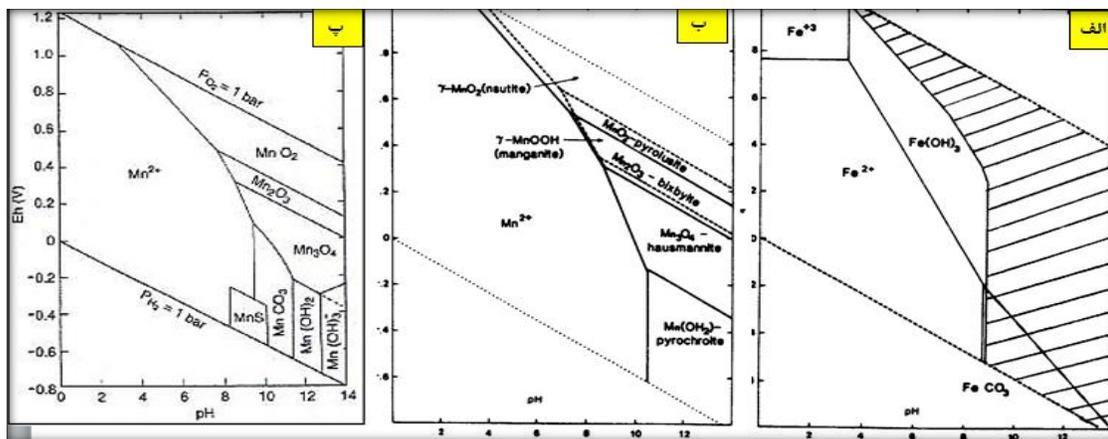
مواد آلی در محیط های خشکی به صورت جذب سطحی یا تبادل یونی منگنز را جذب می کنند و گاهی نیز یک یون منگنز ( $Mn^{+2}$ ) توسط دو اتم از یک مولکول ماده آلی جذب می شود و ترکیب حاصل معمولاً محلول بوده و توسط آب حمل می شود (روی، ۱۹۸۱).

ترکیبات نامحلول نیز به صورت کلوئیدی یا معلق حمل می شوند و گاهی تمرکزهایی از منگنز را در محیط های باتلاقی ایجاد می کنند. اکسیدها و هیدروکسیدهای کلوئیدی منگنز، قابلیت جذب کاتیونی بسیار بالایی دارند و چنانچه در محلی متمرکز شوند آنومالی های ژئوشیمیایی دروغین از کاتیون جذب شده تشکیل خواهند داد.

یکی دیگر از مسائل ژئوشیمی منگنز، نقش میکروارگانیزمها در تشکیل ذخایر آن است. باکتریها اکسیداسیون  $Fe^{+2}$  را تشدید می‌نمایند. بقایای میکروبی همانند دانه های تسبیح، ساختارهای کرمی شکل، سریهای زیست توده ای غنی از آهن، آثار مواد آلی جاسازی شده بعلاوه فلزات ردیاب و کمیاب متمرکز در کانه های منگنز به نقش میکروارگانیزمها در نهشت منگنز و آهن تاکید می کند (رجب زاده و همکاران<sup>۲۸</sup>، ۲۰۱۷).

برخلاف آبهای اکسیژن‌دار، آبهای کف دریا و آبهای ساکن بیشترین مقدار منگنز محلول را دارا می‌باشند. دریای سیاه با اینکه حاوی بیش از ۴۵۰ ppm منگنز محلول می‌باشد (ودپول، ۱۹۸۰) ولی به دلیل

نبودن اکسیژن در محیط، هیچ فاز غنی از منگنزی در آن نهشته نمی‌شود. آبهای فاقد اکسیژن بستر دریاچه‌ها و تالاب‌هایی که مقادیر بالایی مواد آلی دارند و یا دارای منطقه‌بندی حرارتی می‌باشند، حاوی بیش از ۱ ppm منگنز دو ظرفیتی هستند. غلظت منگنز در سه اقیانوس بزرگ جهان، بین ۱/۴-۳/۷ ppb تخمین زده شده است (ودپول<sup>۲۹</sup>، ۱۹۸۰).



شکل ۱-۶ الف) مقایسه انحلال پذیری اکسیدها و کربنات‌های آهن و منگنز. محدوده سایه زده شده نشانگر محدوده پایداری کانی‌های منگنز است و شکل ب) نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز که نشانگر محدوده وسیع انحلال پذیری منگنز در محیط های احیایی است (مینارد، ۱۹۸۳). شکل پ) نمودار محدوده‌های پایداری ترکیبات منگنز در سیستم Mn-C-S-O-H فشار یک بار و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (بروکینز<sup>۳۰</sup>، ۲۰۱۲)

### ۳-۲-۶- ژئوشیمی منگنز در محیط های هوازدگی سوپرژن

محیط های هوازدگی سوپرژن، توسط آب های زیرزمینی کنترل می شوند و ژئوشیمی محیط سوپرژن در حرارت و فشار تابع تغییرات Eh و pH آبهای فرو رو است. فرایندهای زمین شناسی عمده ای از قبیل انحلال، اکسیداسیون، انتقال، رسوبگذاری و تبلور مجدد در محیط های سوپرژن شناخته شده اند. انحلال سولفیدها و کربنات های منگنز توسط آب های فرورو، اولین مرحله برای تشکیل کانیهای سوپرژن منگنز است. اکسیدها و کربنات های دو ظرفیتی منگنز در محیط های اکسیدان سطحی ناپایدار هستند و

به سرعت به یونهای با ظرفیت های بالاتر از دو، اکسیده شده و کانی های اکسیدی درجه بالا را تشکیل می دهند. در محیط های هوازدگی سوپرژن قسمت های کم عمق معمولا اکسیدان تر از قسمت های عمیق تر هستند. گاهی محیط احیایی نیز در اعماق بیشتر منطقه سوپرژن برقرار می شود و همچنین شرایط فیزیکی و شیمیایی در نقاط مختلف محیط بشدت متغیر است. اکسیداسیون کامل منگنز به کاتیون چهار ظرفیتی بندرت اتفاق می افتد و معمولا کانیهایی از منگنز دو و چهار ظرفیتی با یکدیگر در منطقه سوپرژن یافت می شوند (روی، ۱۹۸۱). منگنز در آب های زیرزمینی منطقه سوپرژن به صورت ذرات اکسیدی کلوئیدی ( $MnO_2$ ) حضور دارد و چون این کلوئیدها دارای بار سطحی منفی هستند لذا کاتیون های محلول را جذب کرده ، خنثی شده و به طور درجا نهشته می شوند و یا پس از حمل توسط آب های زیرزمینی در محلی دیگر رسوب می کنند. انحلال کربنات ها و سیلیکات های منگنز و رسوبگذاری همزمان اکسیدهای منگنز به طور درجا باعث ایجاد بافت های جانشینی با شکل دروغین<sup>۳۱</sup> خواهند شد. در این حالت منگنز اکسیدی ظرفیت بالاتری نسبت به منگنز موجود در سنگ اولیه دارد و فرایند جانشینی معمولا همراه با افزایش یا کاهش مواد در چرخه واکنشی می باشد.

رسوبگذاری اکسیدهای منگنز از محلول های کلوئیدی یا غیرکلوئیدی نیز امکان پذیر است و اشکال بلورین کانی های مختلف منگنز (از کلوفرم تا اگرگات های بلورین) بیانگر تغییرات شدید در وضعیت آب های زیرزمینی هستند. رسوبگذاری تکراری دو یا سه کانی با اشکال کلوئیدی (کلوفرم) معرف تغییرات دوره ای در شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط سوپرژن است (واسکوهن<sup>۳۲</sup>، ۱۹۸۴).

### ۶-۳- روش کار

به منظور روشن شدن چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مختلف در توالی سنگ های موجود در منطقه معدنی، چهار مقطع لیتوژئوشیمیایی به فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر عمود بر روند عمومی واحدهای سنگی

---

33- pseudomorphic replacement texture

34- Wauschkuhn

و تا حد امکان به دور از آلودگیهای معدنی از منطقه مذکور تهیه شد. نمونه برداری از واحدهای منطقه به این صورت انجام گرفت که از چهار مقطع (A,B,C,D) به تعداد ۲۲ نمونه از کانسنگ و سنگ میزبان برحسب تغییر رنگ، لیتولوژی و بافت، برداشت شد که ۱۵ تا از نمونه ها نیز جهت آماده سازی و آنالیز XRD, XRF, ICP-OES به آزمایشگاه سازمان توسعه و نوسازی معادن ایران (ایمیدرو) و ۴ نمونه نیز برای آنالیز ICP-MS به شرکت Acme کانادا، ۳ نمونه جهت آنالیز SEM و شناسایی دقیق فازهای منگنز و نقاط زرد روشن ارسال گردید (جدول ۶-۱).

جدول ۶-۱ - برداشت نمونه به روش های لیتو ژئوشیمیایی و معدنی

شماره نمونه در صحرا	محل برداشت نمونه	نام سنگ	نوع آنالیز
401	کمرپایین ماده معدنی	آندزیت	ICP- ICP- <sub>3</sub> OES MS
408	کمرپایین ماده معدنی	آندزیت	ICP-OES
400	کمرپایین ماده معدنی	آهک نومولیت دار	ICP-MS
4081	درون ولکانیک	کانسنگ استرینگر	ICP- ICP- <sub>3</sub> OES MS
4082	درون ولکانیک	کانسنگ استرینگر	ICP- XRF <sub>3</sub> OES
409	درون لایه منگنز	کانسنگ نواری	ICP- ICP- <sub>3</sub> OES XRF <sub>3</sub> MS
410	درون لایه منگنز	کانسنگ توده ای	ICP- ICP- <sub>3</sub> OES XRF <sub>3</sub> MS
412	درون آهک توفی نومولیت دار	کانسنگ استرینگر	ICP-OES
414	درون آهک توفی نومولیت دار	کانسنگ دیاژنتیک	ICP- XRF <sub>3</sub> OES
415	کمربالای ماده معدنی	آهک ماسه ای توفی	ICP-OES
416	کمربالای ماده معدنی	آهک توفی	ICP-OES
309	درون لایه منگنز	کانسنگ دیاژنتیک	ICP- XRF <sub>3</sub> OES
203	درون لایه منگنز	کانسنگ برشی	ICP- XRF <sub>3</sub> OES
106	درون لایه منگنز	کانسنگ	ICP- XRF <sub>3</sub> OES
503	درون لایه منگنز	کانسنگ	ICP-

			XRF و OES
603	درون لایه منگنز	کانسنگ	ICP- XRF و OES
28013	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF
28554	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF
MM1	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF
MM2	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF
MM3	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF
MM4	درون لایه منگنز	کانسنگ	XRF

#### ۴-۶- ژئوشیمی سنگهای آذرین

۴-۶-۱- مقدمه

در پهنه ماگمایی داورزن- عباس آباد که تاقدیس کاهک بخشی از این پهنه است، سنگهای آذرین بیشتر به صورت گدازه‌های حدواسط تا بازیک و سنگهای آذرآواری بروزند دارد. از آنجا که سنگهای آذرین، ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی دارند، بنابراین مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگها می‌تواند اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگهای منطقه در اختیار ما قرار دهد. با توجه به محدودیت در آنالیز نمونه‌ها به روش ICP-MS توسط شرکت ایمیدرو و مطالعات تفصیلی که در پهنه ماگمایی داورزن- عباس آباد راجع به سنگ شیمی و محیط زمین ساخت آن توسط دکتر قاسمی و رضایی کهنخایی (۲۰۱۴) انجام شده، لذا از این تحقیق در این بخش استفاده شده است. فقط داده‌های حاصل از تجزیه دو نمونه ارسالی به ایمیدرو، جهت مقایسه با میزان برخی از عناصر اصلی، فرعی و کمیاب حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی سنگهای آذرین این پهنه در جدول ۶-۲ آورده شده است.

#### ۴-۶-۲- تعیین ترکیب شیمیایی و محیط زمین ساختی سنگهای آذرین

برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگهای آذرین و همچنین تعیین محیط تکتونیکی پهنه ماگمایی داورزن- عباس آباد، از عناصر اصلی و کمیاب استفاده شده است. طبق نمودارهای دوتایی Zr در

برابر Y (پیرس<sup>۳۳</sup>، ۱۹۷۹؛ بارت و مکین<sup>۳۴</sup>، ۱۹۸۲) و نسبت Th/Yb (بارت و مکین، ۱۹۹۹) و نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti (پیرس و پارکینسون، ۱۹۹۶)، ترکیب شیمیایی سنگ های این منطقه و پهنه ماگمایی داورزن-عباس آباد، دارای طیفی از سنگ های آندزیتی و آندزی بازالت تا بازالت آکالان می باشد که دارای ترکیبی حدواسط تا بازیک با ویژگی کالکوالکالان هستند. همچنین نمودار سه تایی Zr/4-Y-2Nb (مزجد، ۱۹۸۶) که برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ ها استفاده شد نشان داد که سنگ های آتشفشانی ائوسن این پهنه و به تبع آن، این منطقه که بخشی از این پهنه است، در محدوده بازالت های آتشفشانی درون کمانی<sup>۳۵</sup> می باشند. (قاسمی، رضایی کهخایی<sup>۳۶</sup>، ۲۰۱۴).

در نهایت، به اعتقاد قاسمی، رضایی کهخایی (۲۰۱۴) سنگ های پهنه ماگمایی داورزن-عباس آباد (DAEV) در شمال شرق ایران بصورت جریان گدازه مافیک-حدواسط به همراه رسوبات نهشته شده در یک محیط زیر دریایی کم عمق است. سنگ های آتشفشانی شواهدی از عدم تعادل کانی-مذاب مانند منطقه بندی موجی، بافت غربالی و خوردگی در پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و درشت بلورهای الیوین را نشان می دهد که به آکالی الیوین بازالت، بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت گروه بندی می شوند و یک ماهیت کالک آکالان با محتوای پتاسیم متوسط را نشان می دهند. توزیع عناصر کمیاب<sup>۳۷</sup> شباهتهایی با ماگما های شبه کمانی تیپیک با غنی شدگی در LILE و LREE و تهی شدگی در HREE و HFSE را ارائه می دهد. میکروفسیلیها و تعیین سن ایزوتوپی نشان می دهند که این آتشفشانها متعلق به ائوسن میانی-بالایی هستند. الگوهای عناصر کمیاب نشان می دهد که آرایش ماگما با پوسته قاره ای و تفریق ماگما به روش جدایش بلوری (AFC و FC) مهم ترین فرآیندهای ماگمایی برای تکامل ماگما یا ماگما های والد هستند. تهی شدگی Nb و Ta نسبت به LILE، نسبت LREE به HREE متوسط و نسبت Th/Yb بالا، همچنین داده های

33 - Pearce

34 - Barrett and MacLean

35 - intra arc Volcanic basalts

40-Ghasemi & Rezaei Kahkhaei

37- Trace element

ایزوتوپ Sr پیشنهاد می دهد که ذوب سنگهای والد از ذوب بخشی یک منبع گوشته ای گارنت لرزولیت در یک حوضه کششی درون کمانی مشتق شده است. این منبع از قبل متاسوماتیز شده ، توسط سیالات بدست آمده از فرورانش صفحه فرورونده ی اقیانوسی در طی کرتاسه فوقانی- پالئوسن غنی شده است. در نهایت، شبیه به دیگر بخش های ایران مرکزی، سنگ ها ی ماگمایی پس از ائوسن در حوضه کششی پشت کمانی تشکیل شده اند.

جدول ۶-۲ - میزان برخی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در نمونه سنگهای آتشفشانی پهنه ماگمایی داورزن- عباس

آباد و نمونه ارسالی از سنگهای آتشفشانی ائوسن موجود در تاقدیس کاهک(قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵)

عناصر مورد تجزیه	میانگین داده های حاصل از آنالیز ME-MS81 و MEICP06 (برگرفته از قاسمی و رضایی کهخایی، ۱۳۹۴)	میانگین نمونه های آنالیز شده به روش ICP-MS (این تحقیق)
Zr	115.37	126
Y	18.9	10.3
Th	4.96	5.7
Yb	1.81	1.9
Ti	0.53	0.31
Nb	10.34	8.3
Ce	46.3	43.63
Ta	0.61	0.57
Nd	23.48	20.2
Pb	6.18	17.8
Pb/ Nd	0/26	0.88
Nb/Zr	0.09	0.06
Th/Ce	0.11	0.13
Ce/ Nb	4.47	5.25
Th/ Nb	0.48	0.68
Zr/Ti	0.021	0.004
Zr/Y	6.1	12.23
Th/ Yb	2.76	3
Ta/Yb	0.33	0.3
Nb/Y	0.54	0.8

## ۶-۵- ژئوشیمی سنگهای آهنی

تمرکز استرنسیم در رسوبات کربناته حاره ای از ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی پی ام است (میلیمن<sup>۳۸</sup>، ۱۹۷۴) در حالیکه در کربناتهای اخیر معتدله از ۱۶۴۲ تا ۵۰۰۷ پی پی ام می باشد (آدابی و راو<sup>۳۹</sup>، ۱۹۹۱) محتوای استرنسیم با کانی شناسی کربناته تغییر می کند و با افزایش محتوای آراگونیت افزایش و کاهش کلسیت، کاهش می یابد. تمرکز استرنسیم بطور مستقیم با افزایش دمای آب مربوط است. (مرس و مکنزی<sup>۴۰</sup>، ۱۹۹۰). تمرکز استرنسیم در سنگ آهنهای محدوده مورد مطالعه میانگین ۴۴۶ پی پی ام است و بیانگر این است که سنگ آهنها تحت تاثیر دیاژنز جوی قرار گرفته اند. (ویزر<sup>۴۱</sup>، ۱۹۷۷).

تمرکز سدیم در رسوبات کربناته به شوری، شکنش زیستی، سینتیک، کانی شناسی و عمق آب بستگی دارد. تمرکز سدیم در آراگونیت‌های گرمسیری میانگین ۰/۲۵ درصد می باشد که این نسبت در نمونه های مورد مطالعه میانگین ۰/۴۷ درصد است که بیانگر تشکیل در آبهای گرم می باشد.

در آراگونیت های آبهای گرم امروزی مقدار منگنز و آهن کمتر از ۲۰ پی پی ام است. تمرکز منگنز در سنگ آهنهای منطقه مورد مطالعه میانگین ۷۱۰۶ پی پی ام است. افزایش تمرکز آهن ناشی از فرایند دیاژنتیک جوی و شرایط احیایی می باشد که در محدوده مطالعه مقدار آهن میانگین ۱۳۹۵۰ پی پی ام بیانگر همین شرایط است. کربناتهای حاره ای قدیمی و امروزی از غیر حاره ای در محتوای منگنز و نسبت استرنسیم به سدیم متفاوت می شوند. رسوبات آراگونیتی حاره ای جدید شامل منگنز پایین و نسبت استرنسیم به سدیم بالا هستند در مقابل کربناتهای معتدل امروزی منگنز بالا و نسبت استرنسیم به سدیم پایین دارند (حدود ۰/۱). در سنگ آهنهای این محدوده، این نسبت میانگین ۰/۰۹ است که در مقدار شبیه کربناتهای معتدل امروزی است.

---

38 - Milliman

39 - Adabi and Rao

40 - Morse and Mackenzie

41 - Veizer

## ۶-۶- ژئوشیمی کانسنگ

ظرفیت بالای جذب کاتیونی اکسیدهای منگنز بدلیل دارا بودن بار سطحی ویژه که نقش مهمی در ژئوشیمی و کانی‌شناسی آنها بازی می‌کند، باعث شده که کاربرد تکنیک استفاده از غنی‌شدگی شیمیایی کانسنگ مثل لیتولوژیهای سیلیکاته به عنوان روشی مقبول جهت شناسایی کانسارهای مختلف منگنز نباشد. بطوریکه در pH معادل ۲، این بار سطحی صفر بوده و در چنین شرایطی، فازهای آمورف این اکسیدها تشکیل می‌شوند. در pHهای بالاتر که از خصوصیات اغلب محیطهای تشکیل اکسیدهای منگنز می‌باشد، اکسیدهای مزبور دارای بار منفی زیاد بوده که سبب جذب کاتیونهای مختلف می‌شود. (کررار و همکاران<sup>۴۲</sup>، 1982). در pH بین ۶ تا ۸ کلوئیدهای اکسید آهن ممکن است دارای بار سطحی مثبت یا منفی باشند. به همین دلیل، اکسیدهای آهن در جذب انتخابی ممکن است آنیونها و کمپلکس‌هایی مثل آرسناتها، مولیبداتها و واناداتها را نیز جذب نمایند و در نتیجه، شیمی اکسیدهای آهن و منگنز از هم متفاوت گردد (زانتپ<sup>۴۳</sup>، ۱۹۸۱). بنابراین عوامل مختلفی چون ماهیت سیال کانه‌ساز و pH محیط تشکیل، کنترل‌کننده ی ظرفیت جذب یون توسط اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد (نیکلسون<sup>۴۴</sup>، ۱۹۹۲).

### ۶-۶-۱- نسبت Mn/Fe

نسبت Mn/Fe یکی از شاخص‌هایی است که برای تشخیص نهشته‌های منگنز با خاستگاه‌های متفاوت از یکدیگر استفاده می‌شود (جدول ۶-۳). آهن و منگنز در موقع نهشت از سیالات گرمابی به شیوه خاصی از هم جدا می‌شوند که این جدایش متأثر از درجه حلالیت آنها می‌باشد تخلیه سیال گرمابی در رسوبات و تثبیت آهن در فازهای دیگر نیز می‌تواند نسبت Mn/Fe را متأثر کند، چرا که منگنز نسبت به آهن در دماهای پایین‌تر و محدوده وسیعی از Eh و pH می‌تواند محلول باشد یعنی تحرک ژئوشیمیایی منگنز در

---

45-Crerar et al

46-zantop

47-Nicholson

محیطهای رسوبی نسبت به آهن بیشتر است و تا مسافتهای دورتر حمل و نقل یافته، آنگاه رسوب می کند و نسبتهای متفاوتی

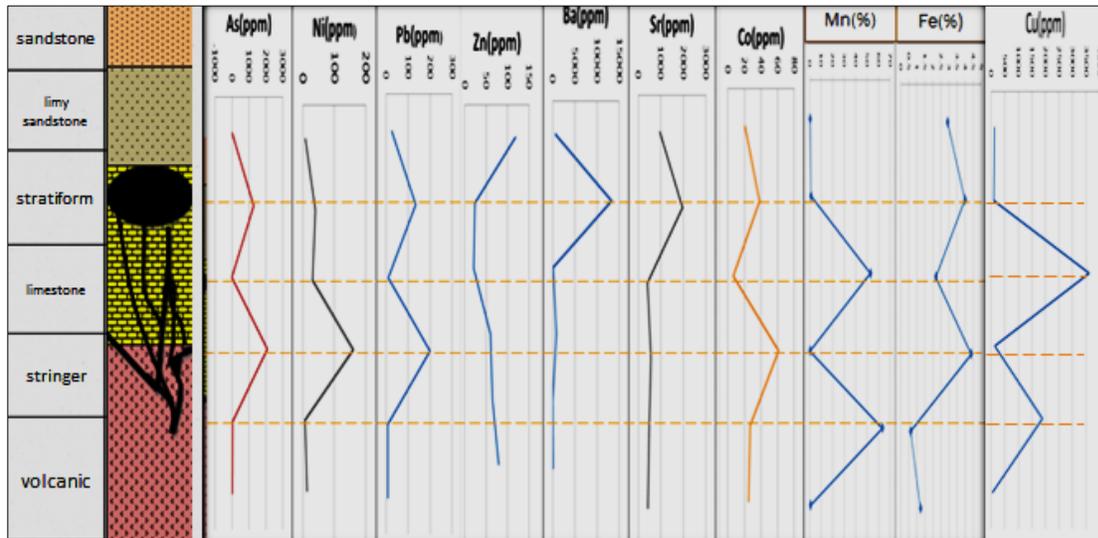
از Mn/Fe در رسوبات برون‌دمی<sup>۴۵</sup> ایجاد می‌کنند (روی<sup>۴۶</sup>، ۱۹۹۲). علت تغییر نسبت Mn/Fe در کانسارهای مختلف، با نسبت اولیه عناصر در سیال و فاصله محل نهشت کانسار از کانون فوران کنترل می‌شود (هین و همکاران<sup>۴۷</sup>، ۱۹۹۷). چنانچه نهشت در جای اکسیدها با نسبت بالای Mn/Fe نشان‌دهنده خروج سیالات کم‌دما با نرخ فوران پائین ولی ته نشست سریع می‌باشد (هین، ۱۹۹۷ و روی، ۱۹۸۳).

جدول ۶-۳- مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز

مرجع	میانگین	دامنه تغییرات Mn/Fe	ناحیه
(ناگاراگان، ۲۰۰۷؛ هین و همکاران، ۲۰۰۰)	1	0.8-2.5	آیزاد
(ناگاراگان، ۲۰۰۷)	<1	-	دریاچه‌ای
(ناگاراگان، ۲۰۰۷؛ نیکلسون و همکاران، ۱۹۹۷)		0.1-10	سدکس
(کورلیس، ۱۹۷۸؛ بولتون، ۱۹۸۸؛ هین، ۱۹۹۶؛ وسویی، ۱۹۹۷؛ گلاسی، ۲۰۰۰)		>10	گرماپی
این تحقیق	13.35	2.46-24.25	سردار (فرومد، شرق شاهرود)
	115.14	102-128.26	
(تقی زاده و همکاران، ۱۳۹۳)	21.52	0.98-53	ذاکری (جنوب غرب سبزوار)
(باقرزاده و همکاران، ۱۳۹۳)	21.52	1.29-224	بندقیچی (جنوب شاهرود)
(معانی جو و همکاران، ۱۳۹۲)	11.33	5.7-40.35	شهرستانک (جنوب استان قم)
(گلاسی، ۲۰۰۴)	0.13	0.02-0.23	وانی (یونان)
	21.73	13.12-35.94	

48-sedex  
49-Roy  
50- Hein et al

۶-۱-۱- تفسیر نمودار تغییرات آهن و منگنز در مقطع T3 کانسار منگنز سردار



شکل ۶-۲- نمودار تغییرات عناصر در مقطع T3 کانسار منگنز سردار براساس داده های ICP و XRF

جدول ۶-۴- نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی XRF نمونه های مقطع (T3) کانسار

نمونه	منگنز	آهن	نسبت منگنز به آهن	لیتولوژی	نماد
416	0.42	2.92	0.14	ماسه آهکی قهوه ای	
415	1.3	3.99	0.42	ماسه آهکی توفی خاکستری	
5301	52.87	2.18	24.21	منگنز چینه سان	
401	0.4	4.38	0.09	آهک کمر پایین	
4082	63.3	0.6	102.02	منگنز رگه-رگچه ای	
400	0.71	1.23	0.57	سنگهای آتشفشانی	

با توجه به مقطع لیتوژئوشیمیایی شکل (۶-۲) موارد زیر استنباط می شود:

- ۱- از پایین توالی به سمت بالا دو محیط متفاوت ته نشست داریم یعنی دو بار افزایش تدریجی در pH آب دریا و به تبع آن دو بار جدایش آهن از منگنز در خلال تشکیل که یکی رخساره رگه - رگچه ای و دیگری رخساره چینه سان می باشد.
- ۲- در طول این مقاطع، آنومالی منگنز در دو موقعیت چینه ای و واحد سنگی خاص، یکی سنگهای آتشفشانی کمر پایین و دیگری سنگ آهک نومولیت دار مشاهده می گردد که منطبق با لایه منگنز دار نیز می باشد و همبستگی منفی با اکسید آهن دارد. همچنین در واحد آهکی کمر پایین لایه منگنزدار، مقدار آهن چندین برابر می شود که این بیانگر ته نشین شدن عنصر آهن قبل از منگنز در حوضه رسوبی می باشد.
- ۳- واحد دربرگیرنده افق کانه دار از نسبت چند برابری در مقایسه با واحدهای بالا و پایین خود برخوردار می باشد، لذا در زمان تشکیل با وفور منگنز در حوضه رسوبی روبرو بوده است.
- ۴- نسبت Mn/Fe نمونه های بخش چینه سان نسبت به بخش رگه - رگچه ای، کمتر است. (این نسبت در کل بخش چینه سان کانسار میانگین ۱۲/۳۴ و بخش رگه-رگچه ای میانگین ۱۱۵ می باشد) که بیانگر خروج سیالات کم دما با نرخ فوران کم و ته نشست سریع می باشد.

۶-۶-۱-۲- تفسیر نمودار تغییرات عناصر کمیاب در مقطع T<sub>3</sub> کانسار منگنز سردار

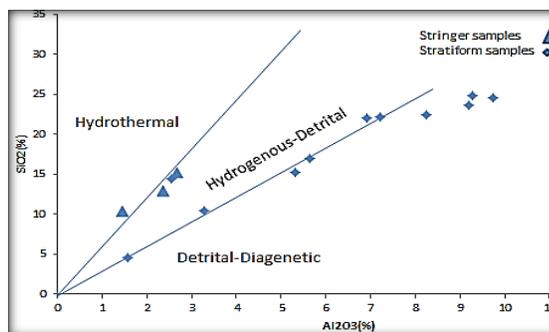
با توجه به مقطع لیتوژئوشیمیایی فوق در می یابیم که تغییرات آرسنیک، کبالت، مس، سرب و روی در واحدهای مختلف مقطع با تغییرات منگنز همخوانی دارد که گرمابی بودن سیالات در تشکیل منگنز را تایید می کند. رفتار متفاوت نیکل با منگنز نظریه تشکیل منگنز بصورت ندولی در کف اقیانوسها را رد می کند. افزایش نسبتا زیاد استرنسیم و باریوم در پهنه رگه-رگچه ای و افزایش اندک آنها در پهنه چینه سان بیانگر نقش سیالات گرمابی- آیزاد در شکل گیری منگنز می باشد.

### ۶-۶-۲- نمودار عناصر اصلی

۶-۶-۲-۱- نسبت Si/Al

از نمودار دوتایی Si در برابر Al جهت تشخیص کانسارهای با منشاءهای مختلف استفاده می شود با توجه به نسبتهای مختلف این دو عنصر، این نمودار به سه بخش تقسیم می شود (شکل ۶-۳). همانطور که در شکل مشاهده می شود، نمونه هایی که به سمت گرمابی تمایل دارند مربوط به پهنه رگه-رگچه ای (پهنه تغذیه) و یا در ساخت توده ای پهنه چینه سان هستند و نمونه هایی که به سمت دیاژنتیک تمایل دارند مربوط به قسمت های دورتر پهنه چینه سان می باشند که کانسار ساخت نواری و دانه پراکنده دارد. چون کانسارهای گرمابی عموماً در ارتباط نزدیک با ژلهای سیلیسی آهن دار<sup>۴۸</sup> بوجود می آیند که بوسیله فرآیندهای فورانی زیر دریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل شده اند (روی، ۱۹۹۲) به همین جهت درصد وزنی Si در مقابل Al قرار می گیرد که معرف درصد بالای SiO<sub>2</sub> در طی فعالیت های برون دمی است. در کانسار منگنز سردار میانگین نسبت Si/Al حدود ۳/۱۸ می باشد، که در محدوده کانسارهای با منشا گرمابی (سدکس) قرار می گیرد. مقدار Si/Al در نمونه های مربوط به رخساره چینه

سان از رخساره رگه-رگچه ای کمتر است که این بیانگر اختلاط نهشته‌های گرمابی با مواد تخریبی (کانیهای رسی) در حین ته‌نشست کربناتها می باشد (هولتستام و همکاران<sup>۴۹</sup>، ۱۹۸۱).

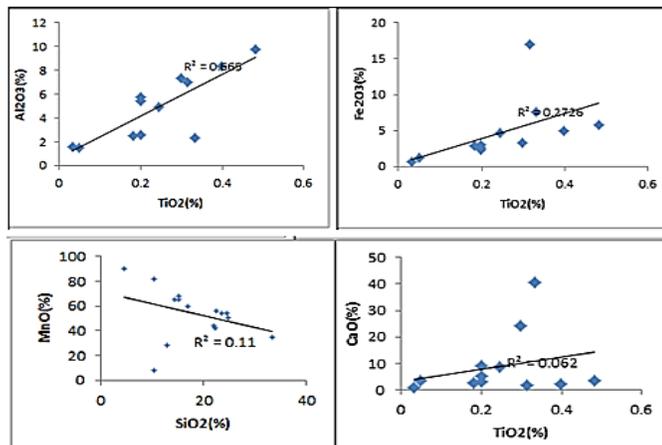


شکل ۳-۶- نمودار Si/Al برای تفکیک ساده تیپ های گرمابی-آبژاد و آواری و موقعیت نمونه های کانسار منگنز مورد

مطالعه در آن (کرار، ۱۹۸۲)

همبستگی مثبت بین اکسیدهای CaO، Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با TiO<sub>2</sub> نیز این موضوع را تأیید می

کند(شکل ۴-۶). مقادیر اکسیدهای اصلی نمونه های برداشت شده در جدول ۵-۶ و ۶-۶ آورده شده است.

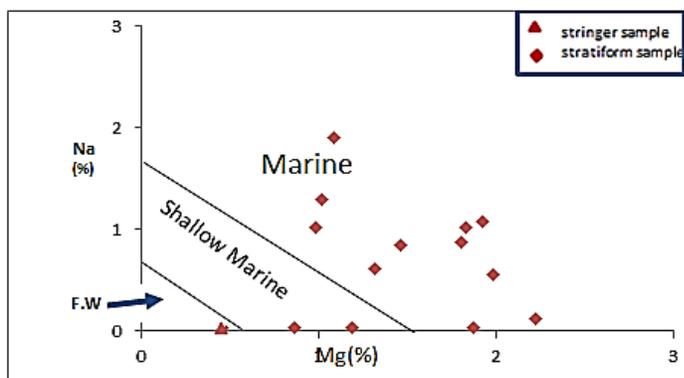


شکل ۴-۶- نمودارهای بررسی همبستگی بین اکسیدهای اصلی در کانسار منگنز سردار

۶-۶-۲- نسبت Na/Mg

جهت تشخیص کانسارهای نهشته‌شده در محیطهای آب شیرین، دریایی کم‌عمق و عمیق نموداردوتایی Na در برابر Mg توسط نیکلسون پیشنهاد گردید. کانسارهای تشکیل‌شده در محیطهای دریایی عمیق

نسبت به دو محیط دیگر در عناصر Na, K, Mg, Ca, Sr غنی‌شدگی نشان می‌دهند. نمونه‌های مربوط به این کانسار در محدوده کانسارهای تشکیل‌شده در محیط دریایی عمیق قرار می‌گیرند. در حین فرآیند سوپرژن، عناصری همچون Mn, Fe, P, Al و Ti غنی می‌شوند. اما عناصر Mg, Ca و Si از کانه‌های اولیه شسته شده<sup>۵۰</sup>، لذا مقدار آنها در ماده معدنی کاهش می‌یابد (آکاریا<sup>۵۱</sup>، ۱۹۹۷). در منطقه مورد مطالعه فرآیندهای سوپرژن کانسارها را تحت تأثیر قرارداده و در بخشهایی باعث بالا رفتن عیار ماده معدنی شده است (شکل ۶-۵).



شکل ۶-۵- موقعیت نمونه های کانسنگ منگنز سردار در نمودار Na-Mg (نیکلسون، ۱۹۹۲) همان F.W Fresh Water

جدول ۶-۵- میزان منگنز، آهن، سلیسیوم، آلومینیوم و تیتانیوم

نمونه	Al	Ti	Si/Al	Si	Mn	Fe	رخساره
4082	0.78	0.024	6.10	4.76	63.32	0.62	پهنه رگه-رگچه
28554	1.34	0.10	4.93	6.65	50.36	2.07	پهنه رگه-رگچه
603	0.85	0.022	2.43	2.07	69.93	0.54	چینه سان
5301	1.38	0.11	5.05	6/98	52.87	2.18	چینه سان
503	2.87	0.14	2.43	7	50.61	2.2	چینه سان
409	3.05	0.14	2.55	7.8	46.55	2.22	چینه سان
410	3.9	0.20	2.61	10.21	32.56	2.75	چینه سان
203	4.46	0.28	2.31	10.31	43.54	3.96	چینه سان
MM1	4.91	0.24	2.32	11.45	39.33	3.69	چینه سان
MM4	6.16	0.35	2.48	15.31	27.12	5.40	چینه سان
106	3.73	0.22	2.71	10.11	33.87	13.77	چینه سان

55- Leached

56- Acharya

جدول ۶-۶ ترکیب اکسیدهای اصلی نمونه‌های کانسنگ منگنز سردار (درصد وزنی)

نمونه/عنصر	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO
4082	10.35	0.04	1.45	3.49	0.79	0.88	0.04	0.23	0.45	0.42	81.82
603	4.52	0.04	1.58	0.67	0.74	0.78	0.04	0.06	0.43	0.75	90.35
309	10.38	0.13	3.28	39.08	1.43	37.08	0.05	0.05	0.38	0.27	7.83
28013	12.9	0.34	2.36	41.31	3.31	7.69	0.75	0.9	0.19	0.1	28.8
28554	14.46	0.19	2.54	2.78	3.05	2.97	1.38	0.42	0.19	2.16	65.07
409	16.94	0.26	5.64	10.79	1.97	3.18	0.04	0.04	0.14	0.78	60.15
410	22.18	0.36	7.22	19.69	3.11	3.94	0.04	0.043	0.35	0.95	42.07
503	15.22	0.25	5.32	5.86	3.7	3.16	0.15	0.26	0.59	0.047	65.4
203	22.42	0.5	8.25	1.97	2.19	5.67	0.83	1.21	0.61	0.043	56.26
106	21.98	0.39	6.91	1.71	3	19.7	1.18	0.55	0.49	0.26	43.77
MM1	24.89	0.43	9.29	4.07	2.43	5.28	1.13	1.08	0.16	0.36	50.81
MM2	23.58	0.46	9.19	2.41	1.69	5.38	1.75	1.19	0.19	0.3	53.81
MM3	24.57	0.43	9.73	1.62	1.63	5.06	1.38	1.29	0.17	0.22	53.8
MM4	33.3	0.64	11.65	5.3	1.8	7.73	2.57	1.44	0.19	0.28	35.06
5301	15.18	0.2	2.67	2.91	3.2	3.12	1.44	0.45	0.2	2.26	68.3

#### ۶-۶-۴- نمودارهای عناصر کمیاب (Trace elements)

هوت و فلیشر<sup>۵۲</sup> در دهه ۶۰ میلادی خاطر نشان کردند که کانسارهای گرمابی منگنز هم در خشکی<sup>۵۳</sup> و هم در دریا<sup>۵۴</sup> نشان از غنی‌شدگی در عناصر As, B, Ba, Ge, Pb, Sb, Sr, Ti, W دارند. که در نهایت بعضی از این عناصر همراه با عناصر Li, Cd, Mo, V, Zn همواره در اکسیدها غنی‌شدگی نشان می‌دهند، که این اکسیدها از سیالات گرمابی در دو محیط خشکی و دریایی مشتق شده‌اند.

نیکلسون (۱۹۹۲) معتقد است که کانسارهای گرمابی منگنز بوسیله غنی‌شدگی در عناصر As, Ba, Cu, Pb, Sb, Sr, Li, Cd, Mo, V, Zn و کانسارهای رسوبی با غنی‌شدگی در عناصر K, Ca, Mg, Sr, Co, Cu, Ni مشخص می‌شوند. علاوه بر این، او استفاده از نمودار دوتایی درصد وزنی Co, Ni

57- Fleischer & Hewett

58- terrestrial

59 -Marine

در مقابل درصد وزنی  $As+Cu+Mo+Pb+V+Zn$  را برای شناسایی اکسیدهای رسوبی دریایی از اکسیدهای گرمایی منگنز توصیه کرده است.

بوناتی و همکاران<sup>۵۵</sup> (۱۹۷۲) نسخه اولیه‌ی نمودار سه‌تایی (Co+Cu+Ni-Fe-Mn) ۱۰ را جهت تمایز کانسارهای رسوبی دریایی و گرمایی منگنز ترسیم کردند. این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهای گرمایی در عناصر Co, Cu, Ni و Zn نسبت به کانسارهای رسوبی دریایی تهی شده‌اند. از آنجایی که، اغلب این نمودارهای دوتایی و سه‌تایی، جهت تمایز کانسارهای منگنز با تیپ‌های ژنتیکی مختلف طراحی شده است. لذا کاربرد آنها در راستای شناسایی تیپ رسوبی یا گرمایی کانسار منگنز سردار سودمند خواهد بود. که به اختصار به برخی از آنها اشاره می‌گردد، همچنین مقادیر این عناصر نمونه‌های برداشت شده از کانسار در جدول ۶-۷ آورده شده است.

Co/Zn نسبت ۶-۴-۱-۶

نسبت Co به Zn بوسیله (توت<sup>۵۶</sup>، ۱۹۸۰) به عنوان متمایز کننده کانه‌زایی تیپ گرمایی (بروندمی<sup>۵۷</sup>) از آبراد مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری که این نسبت برای کانسارهای گرمایی دارای میانگینی در حدود ۰/۱۵ و برای کانه‌زایی آبراد ۲/۵ می‌باشد (شلی و دیوید<sup>۵۸</sup>، ۱۹۹۲). کبالت (Co) یک عنصر زیست پایه است و در فرایندهای سوخت و ساز میکروبی به همراه اکسیدهای منگنز غنی می‌شود و میانگین فراوانی آن از آبراد به سمت دیاژنتیک و گرمایی کاهش می‌یابد (ساباتینو<sup>۵۹</sup>، ۲۰۱۱). در کانسار مورد مطالعه، این نسبت در رخساره رگه-رگچه ای ۱/۰۹ و در رخساره چینه سان ۰/۶۵ و میانگین آن ۰/۸۷ است که تشابه بیشتری با کانسارهای گرمایی- دیاژنتیک دارد.

---

60- Bonatti et al

61- Toth

62 -exhalative

63- Shelly and David

64- Sabatino

جدول ۶-۷- ترکیب عناصر کمیاب مهم کانسنگ منگنز سردار (درصد وزنی)

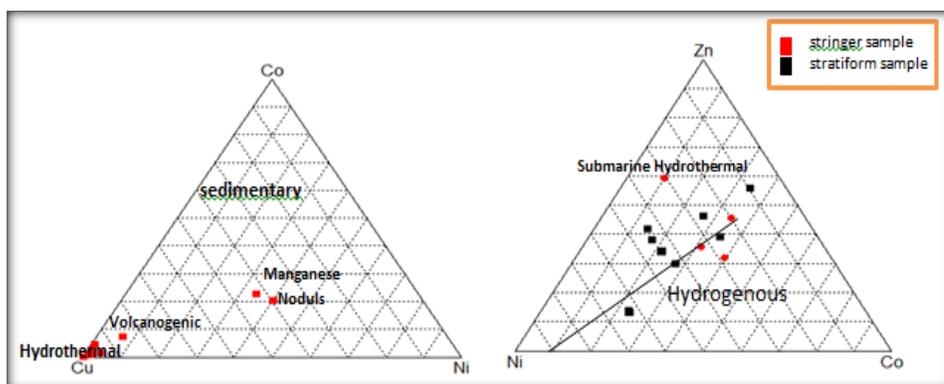
نمونه	Co	Zn	co/zn	Ni	Cu	Pb	V	رخساره
F-4081a	32	26	1.23	23	1450	189	64	پهنه رگه-رگچه
F-4082a	35	46	0.76	20	1500	225	48	پهنه رگه-رگچه
F-4081m	38.4	44	1.59	40.3	1887	134	77.7	پهنه رگه-رگچه
F-412a	35	39	0.79	26	1750	131	66	پهنه رگه-رگچه
F-410a	42	24.1	0.82	112	2630	194	139	پهنه چینه سان
F-503a	53	57	0.88	81	99.7	389	74	پهنه چینه سان
F-203a	33	51	0.46	66	65	41	133	پهنه چینه سان
F-106a	35	60	0.38	35	421	89	95	پهنه چینه سان
F-603a	12	71	0.36	37	10200	189	38	پهنه چینه سان
F-409m	31.7	91	0.49	95.6	4900	129	90.1	پهنه چینه سان
F-410m	61.1	33	1.01	161	3615	200	178	پهنه چینه سان
F-414a	40	64.3	1.02	11	864	123	42	پهنه چینه سان
F-409a	28	60.4	0.49	71	3960	159	81	پهنه چینه سان

#### ۶-۴-۲- نمودارهای سه تایی Ni-Co-Cu و Co-Ni-Zn

با بررسی روابط بین مجموعه عناصر دریایی Zn, Ni و Cu و Co می توان کانسارهای آبراد منگنز (ندولهای دریاها عمیق) را از کانسارهای گرمابی زیردریایی، مشخص و متمایز کرد. (چوی و هاریا، ۱۹۹۲). غلظت‌های پائین عناصر Ni، Zn و Co در این کانسار (جدول ۲-۶)، شاخص منشا گرمابی زیردریایی می‌باشد. کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های دریایی از طریق فرآیندهای رسوبی در عنصر Co غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در عوض، ندولهای فرومنگنز مناطق عمیق اقیانوسی از عنصر Ni غنی‌هستند. کانسارهای تشکیل شده بوسیله فرآیندهای آتشفشانی و گرمابی بوسیله غنی‌شدگی در عنصر Cu مشخص می‌شوند. بنابراین نمونه‌های منطقه مورد مطالعه از قرابت بالایی با کانسارهای آتشفشانزاد<sup>۶۱</sup> و گرمابی برخوردارند (شکل ۶-۶).

65- Choi and Hariya

66 -Volcanogenic

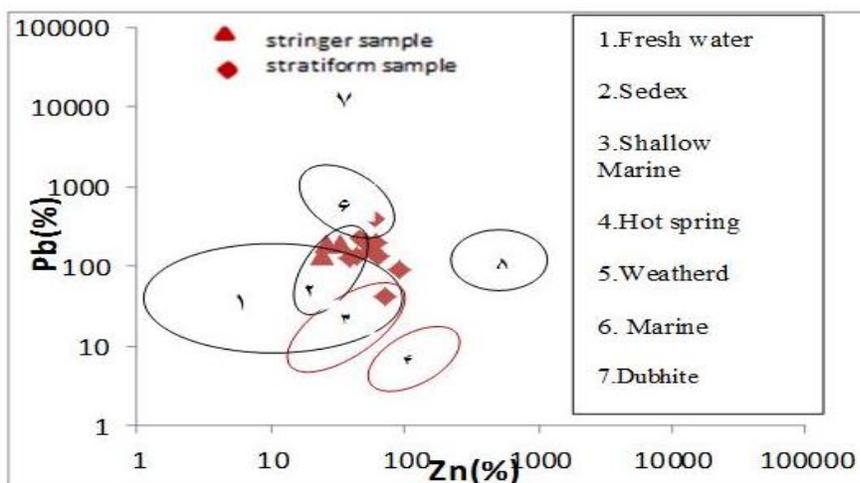


شکل ۶-۶- موقعیت نمونه های کانسنگ کانسار منگنز سردار در نمودارهای سه تایی Ni-Co-Cu و Co-Ni-Zn جهت

تفکیک تپه‌های آبراد از گرمایی (چوی و هاریا، ۱۹۹۲)

### ۶-۴-۳- نمودار Pb-Zn

برای تشخیص کانسارهای تیپ دابهیت (کانسارهای مشتق شده از توالیهای مینرالیزه قبلی) از دیگر کانسارهای اکسیدی منگنز (سوپرژن یا گرمایی) که در اکتشاف کانسارها بسیار با اهمیت می‌باشد، از نمودار دوتایی Pb در مقابل Zn استفاده می‌شود (شکل ۶-۷). همان طور که از این نمودار استنباط می‌شود، در دابهیتها نسبت Pb و Zn بالا بوده و به طور کلی در این تیپ کانسارها بیش از یک درصد Pb و Zn وجود دارد. و این مقدار تا حدود ۱۰۰۰ ppm سرب در مقابل ۱ درصد روی قابل قبول می‌باشد. در مقایسه با دابهیتها، دیگر تیپ‌های کانسارهای منگنز نظیر کانسارهای تشکیل شده در محیط دریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از فرآیندهای هوازدگی دارای نسبت پائین تری از سرب و روی می‌باشند و حتی ممکن است، هنگامی که داده‌های آنها روی نمودار تصویر می‌شود، با هم همپوشانی داشته باشند. (نیکلسون، ۱۹۹۲)



شکل ۶-۷- نمودار Pb/Zn (نیکلسون، ۱۹۹۲) که در آن نمونه‌های مربوط به کانسار مورد نظر همپوشانی خوبی با کانسارهای تیپ سدکس و محیط‌های دریایی آب شیرین نشان می‌دهند.

مطالعات آنالیز رخساره‌ای نیز تشکیل کانسار را در یک محیط کم‌عمق تأیید می‌کند. همچنین با توجه به نمودار می‌فهمیم که بین اکسید منگنز با روی همبستگی مثبت و با سرب همبستگی منفی وجود دارد.

$$Fe - Mn - (Ni+Co+Cu) \times 10 \quad \text{نمودار ۴-۴-۶-۶}$$

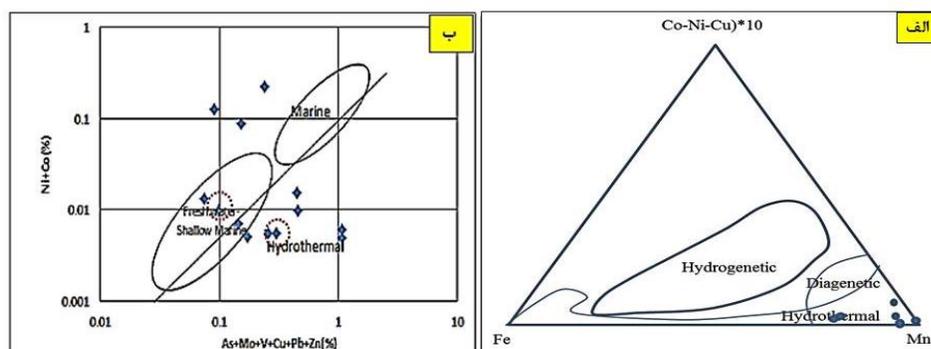
یکی از معیارهای تشخیصی در نمودار شکل ۶-۸ الف، غلظت مس، کبالت و نیکل می‌باشد. مقدار این عناصر در نهشته‌های تیپ آزاد نسبت به نهشته‌های گرمایی بیشتر است. علت این امر، رشد کند و در نتیجه، حضور طولانی‌تر آنها در آب دریا به دلیل رسوبگذاری پایین و جذب کاتیون‌ها توسط اکسیدهای آهن و منگنز آبدار می‌باشد (یوسوی و سومیا<sup>۶۲</sup>، ۱۹۹۷). البته عناصر فوق‌الذکر بجز مس، بقیه غنی‌شدگی نشان نمی‌دهند، این امر می‌تواند بخاطر نهشت سریع‌تر این عناصر بجز مس، توسط سیالات گرمایی در محیط عمیق باشد.

همانطور که در این نمودار مشاهده میشود عناصر Co و Ni و Cu هیچگونه غنی شدگی نشان نمی دهند که این موضوع میتواند به خاطر نهشت سریعتر آنها توسط سیالات گرمایی در محیط کم عمق باشد اکسیدهای منگنز و آهن در مرحله دیاژنز در اثر از دست دادن آب، فضای میان دانه ای اجزای سازنده سنگ درون گیر را پر می کنند، لذا به علت خروج آب و تغییر ماهیت سیال کانه دار، تغییر pH محیط و کاهش سطح تماس اکسیدهای منگنز و آهن، ظرفیت جذب یون هایی از قبیل Co و Ni و Cu در حین فرآیندهای دیاژنزی کاهش می یابد.

۶-۴-۵- نمودار  $(Co + Ni) - (As + Cu + Mo + Pb + V + Zn)$

این نمودار، اولین بار، توسط نیکلسون (۱۹۹۲) جهت تفکیک کانسارهای گرمایی، رسوبی - دریایی و کانسارهای حاصل از آبهای شیرین به کار برده شد (شکل ۶-۸ ب). نیکلسون (۱۹۹۲) غنی شدگی مجموعه عناصر  $As, Ba, Cu, Li, Mo, Pb, Sb, Sr, V, Zn$  مربوط به کانسارهای گرمایی دانسته و در عوض معتقد است که این کانسارها از عناصری مانند Ni و Co تهی شده اند.

نمونه های مربوط به کانسار منگنز سردار با توجه به این نمودار در عناصر  $Pb, Zn, Mo, Cu, As$  غنی شدگی نشان می دهند و مشابه با دیگر نمودارها، در عناصر  $Co, Ni$  تهی شده اند و در محدوده کانسارهای گرمایی قرار می گیرند.

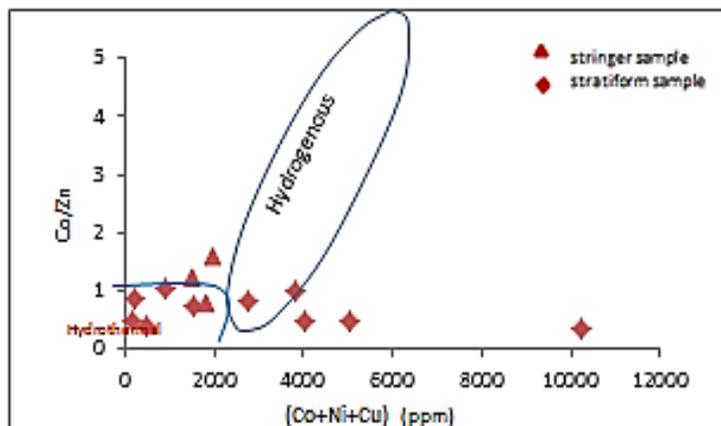


شکل ۶-۸- الف) موقعیت نمونه های کانسار منگنز سردار در نمودار سه تایی (Mn- Fe-10 (Cu- Ni- Co)) جهت تفکیک تیپهای مختلف و ب) موقعیت نمونه های کانسنگ در نمودار  $Ni+Co/As+Mo+V+Cu+Pb+Zn$  جهت تفکیک نهشته های آبراد دریایی و آب شیرین از نهشته های گرمابی (نیکلسون، ۱۹۹۲). نمونه های مشخص شده با دایره های نقطه چین مربوط به پهنه رگه-رگچه ای کانسار می باشد.

#### ۶-۴-۶-۶- نمودار $Co/Zn - Co+Ni+Cu$

این نمودار برای تفکیک کانسارهای منگنز گرمابی از آبراد مورد استفاده قرار گرفته است (توت، ۱۹۸۰). طبق این نمودار (شکل ۶-۹) کانسارهای منگنز نوع آبراد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی شدگی بالاتری در عناصری مانند  $Co$ ،  $Ni$  و  $Cu$  برخوردار می باشند.

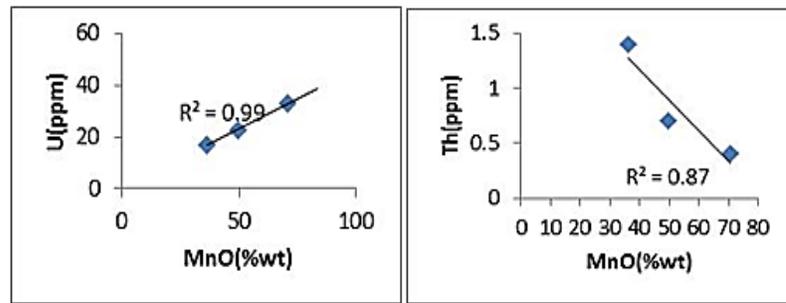
مقادیر پایین عناصر  $Co$ ،  $Ni$  و  $Cu$  حاکی از ورود این عناصر از طریق فعالیت های گرمابی و در عوض اشتقاق بالای  $Zn$  را از منبع گرمابی نشان می دهد (توت، ۱۹۸۰). طبق این نمودار نمونه های کانسارهای منگنز سردار در محدوده کانسارهای گرمابی قرار گرفته است.



شکل ۶-۹- نمودار Co+Ni+Cu در برابر Co/Zn و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه در آن (توت، ۱۹۸۰)

#### ۶-۴-۷- نسبت U/Th

نسبت U/Th نهشته‌های گرمابی بیشتر از رسوبات پلاژیک معمولی و چندین برابر نهشته‌های آزاد می‌باشد که این بدلیل نرخ رسوبگذاری سریع نهشته‌های گرمابی است که باعث عدم جذب توریم از آب دریا و در نتیجه غنی شدن این نهشته‌ها به طور نسبی از اورانیوم می‌شود. بطوریکه غلظت اورانیوم در آب دریا تقریباً ثابت و برابر با  $3.38 \times 10^{-10}$  گرم بر لیتر می‌باشد (بوناتی و همکاران<sup>۶۳</sup>، ۱۹۷۶) در حالیکه توریم به دلیل حلالیت بسیار کم و زمان اقامت بسیار کوتاه، تقریباً در آب دریا حضور ندارد. همان طور که در جدول ۶-۸ مشخص شده است، میزان توریم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه که به روش ICP MS در کشور کانادا اندازه‌گیری شده در مقایسه با نهشته‌های آزاد بسیار اندک است، که حاکی از رسوب سریع آنها بوسیله سیالات با منشأ گرمابی است. با توجه به نمودار همبستگی اورانیوم و توریم با اکسید منگنز در نمونه‌های مربوط به کانسار منگنز سردار، گرمابی بودن این کانسار ثابت می‌شود (شکل ۶-۱۰ و جدول ۶-۸).



شکل ۶-۱۰- نمودار بررسی همبستگی اورانیوم و توریم با ماده معدنی کانسار سردار

جدول ۶-۸- جدول مقدار اورانیوم و توریم موجود در کانسنگ کانسارمنگنز سردار

نمونه	U	Th	U/Th	رخساره
F-4081	33.1	0.4	82.75	پهنه رگه-رگچه ای
F-409	22.9	0.7	32.7	رخساره نواری پهنه چینه سان
F-410	17	1.4	12.1	رخساره توده ای پهنه چینه سان

#### ۶-۶-۵- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE)

بررسی ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، برای تکمیل نتایج زمین ساختی و مطالعه ژنز کانسار و پتروژنز نهشته‌ها کاربرد زیادی دارد. عناصر نادر خاکی، کم-محلول‌ترین عناصر کمیاب بوده و در طی دگرگونی درجه پایین، هوازگی و دگرسانی گرمایی، نسبتاً نامتحرک می‌باشند (رولینسون<sup>۶۴</sup>، ۱۹۹۳) بنابراین از این عناصر به علت تحرک بسیار کم در محیط‌های زمین‌شناسی، معمولاً برای تعیین منبع و منشأ سنگ‌ها و کانسارهای آذرین، دگرگونی، رسوبی و کانی‌های آن‌ها استفاده می‌شود. کاربرد فراوانی‌های REE در مسائل پتروژنتیکی بیشتر در بررسی تحول سنگ‌های آذرین در طی ذوب بخشی پوسته یا مواد گوشته‌ای، تبلور تفریقی (جزء به جزء) و یا مخلوط شدن ماگماها

می‌باشد (هندرسون<sup>۶۵</sup>، ۱۹۹۴). عناصر نادر خاکی در جدول تناوبی دارای عدد اتمی ۷۱-۵۷ یعنی از La تا Lu بوده و عنصر ایتريوم Y با عدد اتمی ۳۹ نیز در بین این عناصر قرار می‌گیرد و شامل سری 4f در جدول تناوبی هستند.

عناصر نادر خاکی به دو گروه تقسیم می‌شوند که شامل عناصر نادر خاکی سبک یا LREE و عناصر نادر خاکی سنگین یا HREE می‌باشند. این گروه از عناصر خواص فیزیکی و شیمیایی تقریباً مشابهی دارند، زیرا همگی آن‌ها دارای یون‌های +۳ پایدار می‌باشند. تفاوت‌های موجود در رفتار ژئوشیمیایی آن‌ها در نتیجه کاهش اندک، ولی یکنواخت اندازه یونی این عناصر با افزایش عدد اتمی آن‌هاست. این پدیده را انقباض لاتانیدی گویند. این تفاوت‌های جزئی در اندازه یونی آن‌ها باعث تفاوت در رفتار ژئوشیمیایی آن‌ها می‌شود که در اثر تعدادی از فرآیندهای پترولوژیکی، عناصر مزبور نسبت به یکدیگر تفریق یابند. از این پدیده برای بررسی ژنز مجموعه‌های سنگی و شرح فرآیندهای پترولوژیکی استفاده می‌گردد.

در این تحقیق داده‌ها بر حسب ترکیب کندریت و گوشته اولیه بهنجار شده‌اند (سان و مک دوناف<sup>۶۶</sup>، ۱۹۸۹).

#### ۶-۶-۵-۱-الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار منگنز سردار

اطلاعات عناصر نادر خاکی در کانسارهای منگنز نوع گرمابی و آبزاد به‌طور قابل ملاحظه‌ای از هم متفاوت‌اند. یکی از این تفاوت‌ها، در میزان غنی‌شدگی این دو گروه از کانسار، از REEها می‌باشد. غنی‌شدگی REEها در کانسارهای منگنز نوع آبزاد چندین برابر کانسارهای گرمابی است (یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷). به‌طوری که کل REEها در کانسارهای گرمابی حدود ۱۰۰ گرم در تن و این مقدار در کانسارهای آبزاد نزدیک به ۱۰۰۰ گرم در تن می‌باشد. بررسی الگوی عناصر نادر خاکی بر روی ۳ نمونه ماده معدنی و ۲

---

65 - Henderson  
72-Sun & McDonough

نمونه سنگهای آتشفشانی و آهکی کم‌پایین‌مگنز انجام گرفته است (شکل ۶-۱۱ ب). با توجه به تشابه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه‌های کانسنگی و سنگ میزبان در کانسار مگنزسردار، به منشاء مشترک آنها پی می‌بریم.

با توجه به شکل ۶-۱۱ پ الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار مورد مطالعه در دو رخساره رگه-رگچه ای و چینه سان با هم متفاوت است. بطوریکه در بخش رگه-رگچه ای آنومالی مثبت Eu و منفی Ce و بخش چینه سان کمی آنومالی منفی Eu و مثبت Ce را نشان می‌دهد آنومالی منفی سریم یعنی عدم حضور  $Ce^{+4}$  در آب دریا در نتیجه اکسیداسیون  $Ce^{+3}$  به  $Ce^{+4}$  تحت شرایط اکسیدان که پیوند قوی تری را با سطوح اکسیدی Fe-Mn دارد و از مشخصه های سیالات گرمابی اقیانوسی است. الگوی توزیع عناصر نادر خاکی پهن با یک آنومالی مثبت سریوم کوچک ناشی از مخلوط شدگی منابع آبراز و گرمابی است (پهنه چینه سان کانسار). این مدل پیشنهاد می‌کند که ۲۰ تا ۳۰ درصد مگنز آبراز مخلوط شده با یک منبع گرمابی نرمال می‌تواند چنین آنومالی را در نهشته های نئوپروتروزویک ایجاد کند. (فلیت<sup>۶۷</sup> و همکاران، ۱۹۸۴). مولفین زیادی اثبات کرده اند که یک آنومالی سریم مثبت قوی نشان دهنده یک منبع گرمابی است. برخلاف نهشته های آهن که نسبت به زمان، آنومالی Eu کاهش را نشان می‌دهد. آنومالی Eu نهشته های مگنز نسبت به زمان متغیر بوده چنانکه مخلوط Eu مثبت و منفی را به همراه آنومالی مثبت قوی Eu در نهشته های امروزی داریم. بعلاوه ندول های آبراز امروزی نیز آنومالی مثبت قوی Eu، ناسازگار با مولفه گرمابی کوچکی نشان می‌دهند. Eu مثبت در رخساره رگه-رگچه ای معرف این است که سیالات مسؤل کانه‌زایی، احیایی و از منشاء پوسته قاره‌ای تامین شده اند.

همچنین آنومالی Ce به مدت زمان اقامت یون Fe و Mn در آب و جذب یون  $Ce^{+4}$  توسط آنها بستگی دارد. هرچه اکسیدهای فرومگنز سریعتر ته نشست یابند، آنومالی سریم منفی قوی می‌شود (پهنه رگه-

رگچه ای کانسار سردار) که این از نشانه های کانسارهای منگنز گرمابی است (اوکسز<sup>۶۸</sup>، ۲۰۱۱). از آنجایی که محیط های اکسیدان، اکسیداسیون  $Ce^{+3}$  به  $Ce^{+4}$  را تسهیل می کنند یک آنومالی سریم مثبت گسترش می یابد که با درگیری آب شیرین و پیشرفت دیاژنز اکسیدی، محتوای سریم افزایش می یابد. (گلاسی و همکاران<sup>۶۹</sup>، ۱۹۸۷). علاوه بر سرعت جذب سریم توسط فعالیتهای میکروبی که ورود Ce به درون اکسیدهای منگنز دریا را کنترل می کنند، سرعت رشد اکسیدهای فرومنگنز می تواند جذب سریم بر سطح اکسیدهای فرومنگنز را کنترل کند (تاکاشی<sup>۷۰</sup>، ۲۰۰۷) و سرعت پایین جدایش سریم از آب دریا را با جذب افزایش دهد و باعث ایجاد یک آنومالی سریم مثبت شود (جک و دودک<sup>۷۱</sup>، ۲۰۰۵).

با توجه به نکات ذکر شده می توان چنین بیان کرد که آنومالی منفی Ce در رخساره رگه- رگچه ای به دلیل ته نشست سریع سیالات به هنگام ورود به دریا هستند و مثبت بودن Eu نیز می تواند به دلیل فعالیتهای آتشفشانی زیر دریایی با ترکیب حدواسط تا بازیک و سیالات گرمابی مرتبط با این فعالیتهای آذرین است. اما در بخش چینه سان کانسار، شرایط متفاوت بوده، بطوریکه بالا نبودن آنومالی مثبت Ce بیانگر کانه زایی همزمان با رسوبگذاری (سین ژنتیک) می باشد. همچنین ساباتینو و همکارانش (۲۰۱۱) معتقدند که فاصله گیری سیال گرمابی از منشأ می تواند باعث کاهش آنومالی Eu از مقادیر مثبت به مقادیر منفی شود که این موضوع به علت جدایش تدریجی منگنز از سیال و جذب Eu توسط اکسیدهای منگنز در خلال رسوب منگنز می باشد.

بطور کلی، با مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار مورد مطالعه با الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمابی، شباهت زیاد این کانسار با کانسارهای گرمابی را مشخص می کند (شکل ۶-۱۱پ).

---

74- Oksuz

75- Glasby et al

76- Takahashi

77- Jach & Dudek

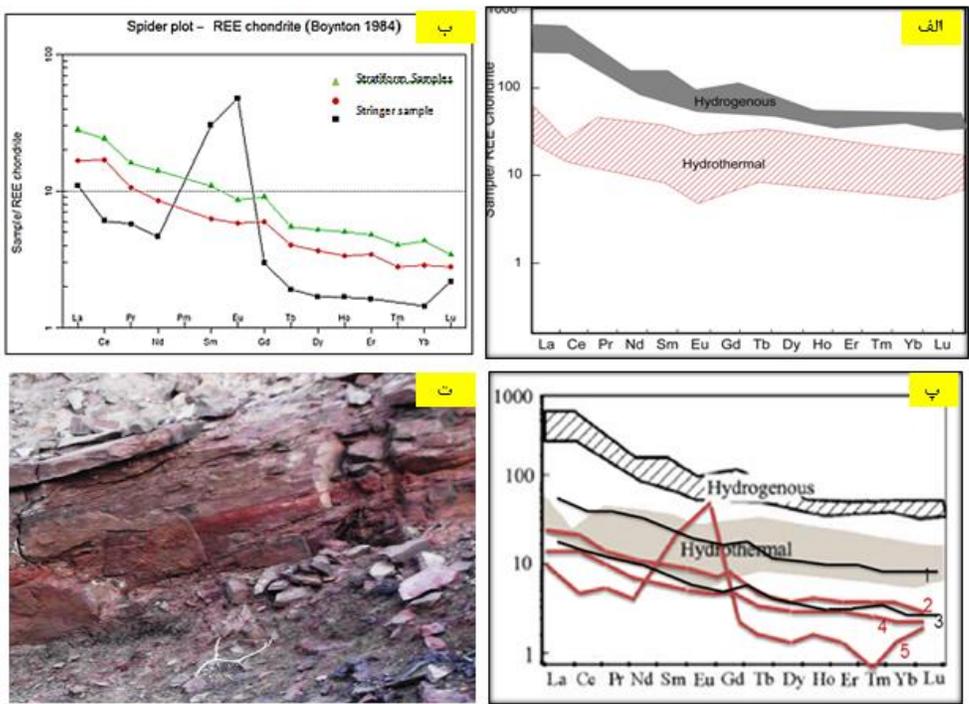
ورنتسو<sup>۷۲</sup> (۱۹۹۵) از نسبت‌های Eu /Sm برای متمایز کردن کانه های سوپرژن از کانه های اولیه و تعیین درجه دگرسانی استفاده کرد. چنانکه اگر این نسبت بالا باشد مثل رخساره رگه-رگچه ای در این کانسار، بیانگر این است که کانه های منگنز، اولیه اند و در بخش چینه سان بر اثر تحرک مجدد، کانه ها به سمت بالا رفته و با شسته شدگی آنها توسط محلول‌های اپی ژنتیک، به افق‌های پایین آمده و این نسبت را کاهش می دهند و با پیشرفت دگرسانی، Eu حذف شده و لایه های آهنی تشکیل می شود که بقایای کانه های اولیه منگنز هستند. (کومورو و همکاران<sup>۷۳</sup>، ۲۰۰۶). این لایه های آهنی را در قسمت‌های غربی بخش چینه سان کانسار می بینیم (شکل ۶-۱۱ ت).

نسبت LREE به HREE در کانسار مورد مطالعه ۴/۲۹ می باشد که مبین غنی شدگی اولیه در خلال اکسیداسیون منگنز بوده و مشخصه کانسارهای گرمابی است. با توجه به اینکه LREE از ولکانوکلاستیک اما HREE از اکسیدهای منگنز آب دریا فراهم می شود، علت منشا گرمابی کانسار را تایید می کند. پس می توان گفت که این عناصر نسبتا نامتحرک هستند بهمین دلیل در محتوای آب دریا پایین می باشد. از سوی دیگر، عدم همبستگی بین MnO با La و Yb و Eu پیشنهاد می کند که بسیاری از اجزای ریز تخریبی بدام افتاده درون کانیها اغلب عناصر REE ها را در کانیهای منگنز با منشا دریایی حاصل می کنند و ژئوشیمی REE این کانه ها توسط کانیهای فرعی متاثر می شود. رخداد کانیهای حاوی REE مثل فلدسپارها و کربناتها منجر به رقیق شدگی LREE, MREE و HREE می شود. در واقع در کانه های با میزبان رسوبی، الگوی پهن REE و همبستگی مثبت La و ΣREE در مقابل SiO<sub>2</sub> شاهدی از وابستگی محتوای REE با فازهای سیلیکاته منگنز می باشد تا اکسیدهای منگنز.

---

78- varentsov

79- Komuro et al

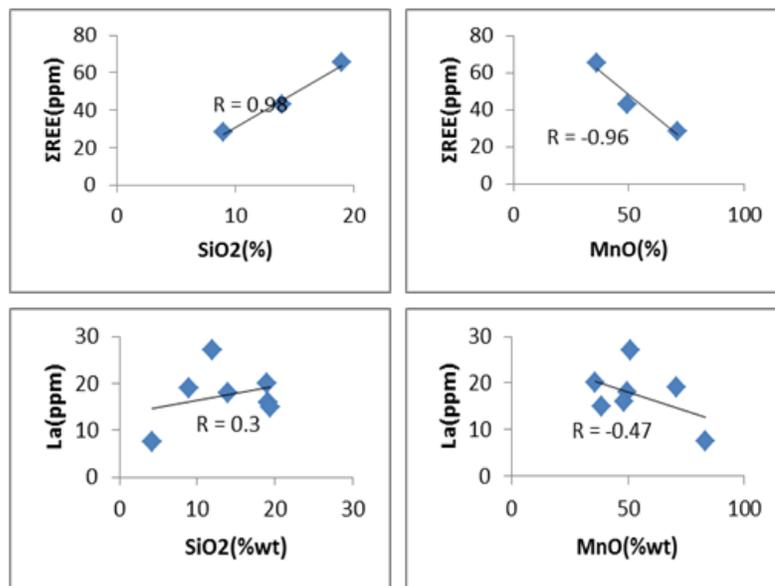


شکل ۶-۱۱- الف) الگوی REE در کانسارهای گرمابی (یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷) و آیزاد (وون استاکلبرگ<sup>۷۴</sup>، ۱۹۹۷)،  
 ب) نمودار عناصر نادر خاکی در مواد معدنی منطقه مورد مطالعه که به کندریت (بوینتون<sup>۷۵</sup>، ۱۹۸۴) بهنجار شده‌اند.  
 پ) مقایسه الگوی REE نمونه های کانسنگ منگنز سردار با الگوی REE کانسارهای آیزاد و گرمابی، شماره های ۱ و ۳ به ترتیب نمونه های آتشفشانی و آهک کمر پایین و شماره ۵ نمونه منگنز برداشت شده از بخش رگه-رگچه ای و شماره های ۲ و ۴ نمونه های منگنز برداشت شده از بخش چینه سان می باشد، ت) لایه آهن در آهک کمر بالای ماده معدنی

تمرکز بالای عناصر کمیاب بیانگر غنی بودن سیال از این عناصر از قبل است. تغییرات آنی در شرایط فیزیکوشیمیایی سیال باعث ته نشست اکسی هیدروکسیدهای  $Mn^{+4}$  و فلز پایی ذره ای شده که تفکیک عناصر بین سیال و کانی را بدنبال دارد. بنابراین ظرفیت روشنینی بالا بر روی سطوح اکسیدی منگنز و جذب بالای کاتیونها به درون ساختار بلوری در محیطهای گرمابی مانند سوپرژن نقش کلیدی دارد. از

82-Stackelberg  
 83-Boynton

روی نمودارهای La و  $\Sigma$ REE در مقابل MnO می فهمیم که اکسیدهای منگنز در جذب REE نقشی نداشته اند (شکل ۶-۱۲).



شکل ۶-۱۲- نمودارهای بررسی همبستگی بین عناصر نادر خاکی با اکسید منگنز و سیلیس

Y, Ho هر دو با شعاع یونی و ظرفیت الکتریکی مشابه، کمپلکسهای پایداری را با کربنات تشکیل می دهند ولی Y جزو عناصر با میدان پایداری بالاست (HFS) و نسبت به عناصر نادر خاکی سه ظرفیتی دیگر براحتی توسط ذرات فلزی از سیالات جدا نمی شود.

نسبت Y/Ho در این کانسار برابر ۲۴ تا ۲۸ (میانگین ۲۵/۲۷) بوده که نزدیک به سنگهای آتشفشانی منطقه است و بیانگر منشا گرفتن منگنز از آنها می باشد.

۶-۶-۵-۲- نسبت La/Ce

نسبت La به Ce در کانسارهای گرمابی مشابه آب دریا و در حدود ۲/۸ می باشد، اما در سایر کانسارها این نسبت برابر ۰/۲۵ است (توٹ، ۱۹۸۰). نسبت La/Ce در بخش رگه رگچه ای و چینه سان کانسار مورد مطالعه به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۹۷ و میانگین ۰/۸۸ می باشد که حاکی از قرارگیری این کانسارها در محدوده ی

بین کانسارهای گرمایی و آیزاد می باشد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های تجزیه شده، بیانگر میزان بالای منگنز در ساخت توده ای پهنه چینه سان واقع در غرب کانسار می باشد. بیشترین میزان آهن نیز در نمونه‌های مربوط به بخش شرقی معدن است که با توجه به حلالیت کم آهن، نسبت به منگنز، به نظر می‌رسد که این عدسی به کانون فوران نزدیک‌تر باشد. همچین نیکلسون (۱۹۹۲) مجموعه عنصری آرسنیک، باریم، مس، لیتیم، مولیبدن، سرب، آنتیموان، استرانسیم، وانادیم و روی را به‌عنوان مجموعه شاخص کانسارهای برون‌دمی - گرمایی منگنز در نظر گرفته است و معتقد است که منگنز در این نوع کانسارها، بیشترین همبستگی را با این مجموعه عنصری دارد.

با توجه به موارد فوق الذکر، می توان اینگونه بیان کرد که منگنز با مس، سرب و روی، باریم، استرانسیم، اورانیوم، آرسنیک و کبالت همبستگی مثبت و با آهن و نیکل همبستگی منفی نشان می دهد. بنابراین طبق دسته بندی نیکلسون (۱۹۹۲) کانسار منگنز سردار را جزو کانسارهای برون‌دمی - رسوبی دسته بندی می کنیم.

## ۶-۷- مطالعات سیالات درگیر

### ۶-۷-۱- مقدمه

به دلیل عدم تغییر میانبارهای سیال در طول میلیونها سال و به علت محبوس بودن در یک فضای بسیار کوچک، مطالعه آن ها می تواند شرایط دما، فشار، ترکیب شیمیایی، شوری سیالات و اختصاصات ترمودینامیکی محیط تشکیل بلور را مشخص کند. در مطالعات معدنی، میانبارهای سیال به عنوان شاهدهی از محلولهای کانه ساز به شمار می آیند که مطالعه آن ها نتایج بسیار مهمی را فراهم می آورد. میانبارهای سیال، علاوه بر کاربرد در مطالعات دماسنجی و فشارسنجی در زمین شناسی، در اکتشافات معدنی و نفتی نیز کاربرد دارند. در اکتشافات نفتی، میانبارهای سیال غنی از گاز یا هیدروکربن موجود در کانی های سنگ های رسوبی مورد بررسی قرار می گیرند.

علاوه بر مواد فوق، از میانبارهای سیال میتوان در زمینه مطالعات مربوط به منشأ محیط های رسوبی نیز بهره برد. در گوه‌شناسی برای تشخیص گوهر طبیعی و مصنوعی نیز می توان از مطالعه سیالات درگیر سود برد. در این حالت، با تهیه مقاطع میکروسکوپی و بررسی وجود یا عدم وجود سیالات درگیر میتوان به طبیعی یا مصنوعی بودن نمونه پی برد. جدیدترین کاربرد استفاده از میانبارهای سیال در تعیین سن کانسارهای گرمابی و تعیین سن رخدادهای دگرسانی گرمابی توسط روش های ایزوتوپی می باشد.

#### ۶-۷-۲- روش انجام مطالعات

با توجه به ریز بودن کانیهای سیلیس در زیر میکروسکوپ جهت مطالعه میانبارهای سیال و همچنین ریز و کمیاب بودن کانی باریت در این کانسار، مطالعات میانبارهای سیال بر روی ۲ نمونه دوبرصیقل رگه کربناته صورت پذیرفت (شکل ۶-۱۵). اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران به کمک Stage:THMS600 با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت، دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است همچنین این دستگاه مجهز به دو کنترل گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت  $\pm 0.6$  درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت  $\pm 0.2$  درجه و با ماده استاندارد ان- هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

#### ۶-۷-۳- پتروگرافی میانبارهای سیال

در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میانبارهای سیال (Shape\* Size)، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)، محتویات میانبارهای سیال (L+V+S) نسبت V/L، نوع کانی‌های دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، پدیده‌هایی مانند Leakage و Necking down

مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخی پدیده‌ها مانند Necking down و Leakage باعث می‌شوند تا داده‌ها و نتایج میانبارهای سیال قابل اعتماد نگردد لذا از مطالعه حرارت‌سنجی آن‌ها صرف‌نظر شده است. مطالعات پتروگرافی میانبارها با بزرگنمایی‌های ۵۰۰ و ۸۰۰ انجام گرفته است.

#### ۴-۷-۶- شکل ظاهری و اندازه میانبارها

میانبارهای سیال در دو نمونه کربنات، از لحاظ شکل ظاهری به اشکال چند وجهی نامنظم و بی‌شکل و اندازه ۵ تا ۱۰ میکرون می‌باشد. نبود شکل خاص در میانبارها نشان دهنده این است که فضاهای بین سطوح بلوری که باعث به تله افتادن میانبارها شده، دارای شکل خاصی نبوده‌اند.

#### ۵-۷-۶- فراوانی میانبارهای سیال

به‌طور کلی، فراوانی میانبارها در دو نمونه کم بوده و با توجه به ماهیت نمونه‌ها، پدیده نشت و باریک‌شدگی (Necking down) در میانبارها مشاهده می‌شود.

#### ۶-۷-۶- رده‌بندی میانبارهای سیال

میانبارهای سیال در مقاطع مورد مطالعه بر اساس تقسیم بندی زمانی سیالات درگیر (معیارهای روئدر<sup>۷۶</sup>، ۱۹۸۴ و شگرد<sup>۷۷</sup>، ۱۹۸۵) به اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب طبقه‌بندی شده‌اند. در اینجا مطالعه بر روی میانبارهای اولیه صورت پذیرفت.

#### ۷-۷-۶- انواع میانبارهای سیال (شکل ۶-۱۶)

میانبارهای موجود در نمونه‌ها شامل انواع:

A: دو فازی مایع-گاز L+V (Liquid rich)

B: تک فاز مایع L (Liquid)

پارامترهای دمایی بر روی میانبارهای نوع A صورت گرفت. این میانبارها به صورت دوفازی بوده یا به عبارت دیگر متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند، حباب بخار حدود ۲۵ الی ۳۵ درصد حجم میانبار را اشغال کرده است در واقع درجه پرشدگی این نوع از میانبارها در حدود ۰/۷۵ الی ۰/۶۵ است. شوری این تیپ در محدوده ۰/۶۰ الی ۲/۱۳ درصد وزنی نمک طعام است (شکل ۶-۱۳ الف). در اینجا بدلیل نبود گازهای  $H_2S$  و  $CH_4$ ،  $N_2$ ، شوری پایین است، چرا که وجود این گازها باعث افزایش شوری می شود (اندرسون و همکاران<sup>۷۸</sup>، ۲۰۰۴).

همگن شدن نیز در بازه دمایی ۲۱۲ تا ۲۳۳ درجه سانتی گراد رخ داده است (شکل ۶-۱۳ ب و جدول ۶-۹). در میانبارهای مورد مطالعه، همگن شدن فاز بخار به فاز مایع رخ داد. (L + V)، و هیچ گونه همگن شدن به فاز بخار در نمونه‌ها مشاهده نگردید یعنی فشار اعمال شده بر سیال کم نشده که پدیده جوشش رخ دهد.

۶-۷-۸- میکروترمومتری

مطالعات حرارت‌سنجی شامل:

ابتدا عملیات سرمایش<sup>۷۹</sup> و سپس گرمایش<sup>۸۰</sup> بر روی میانبارهای دوفازی است. انجماد نهایی میانبارها در محدوده‌ی دمایی ۱۰۰- تا ۱۰۵- درجه صورت گرفت، تا عمل انجماد کلیه فازها صورت گیرد. سپس دما را بالا برده تا اولین نقطه ذوب یخ ( $T_e$ ) آشکار شود که این دما نشان‌دهنده املاح موجود در نمونه است. در نمونه مورد مطالعه، نقطه اوتکتیک ( $T_e$ ) تعیین شده، مطابق با سیستم  $H_2O-NaCl$  است.

n: تعداد سیالات درگیر مورد مطالعه در نمونه، Size: اندازه سیالات درگیر مورد مطالعه به میکرون

---

86- Anderson et al

87- Freezing

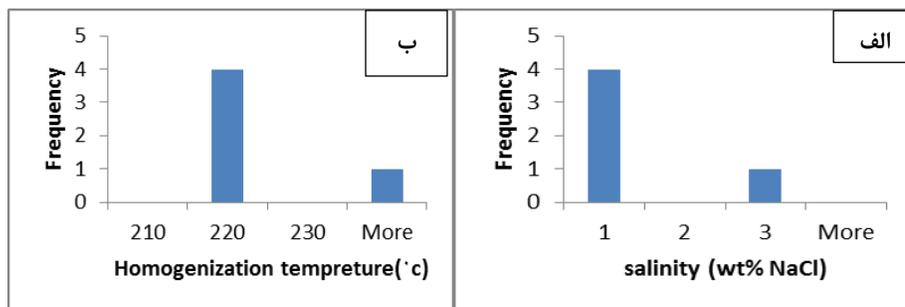
88- Heating

L:Type (مایع آبگین) ، V (حباب گاز) ،  $T_e$  : نقطه یوتکتیک (اولین نقطه ذوب یخ) ،  $T_{mice}$ : آخرین نقطه ذوب یخ ، wt%NaCl: شوری سیال درگیر بر حسب درصد وزنی نمک طعام،  $Th_{v-l}$ : دمای همگن شدن نهایی به فاز مایع

جدول ۶-۹- داده های حاصل از آنالیز سیال درگیر نمونه دوبرصیقل از رگه کلسیتی- سیلیسی رخساره رگه- رگچه ای

n	Size( $\mu$ m)	Type	$T_e$ (°C)	$T_{mice}$ (°C)	wt% NaCl	$Th_{v-l}$ (°C)
1	10	L+V	-21	-1.3	2.13	233
2	8	L+V	nv	-0.5	0.60	218
3	6	L+V	nv	-0.5	0.60	212
4	5	L+V	nv	-0.6	0.80	215
5	5	L+V	nv	-0.6	0.80	220

Steele et al.,2011



شکل ۶-۱۳- الف) هیستوگرام شوری میانبارهای سیال ، ب) هیستوگرام دمای همگن شدن میانبارهای سیال

### ۶-۷-۹- مطالعات سیالات درگیر

با ادامه افزایش دما، یخ‌های موجود در میانبار ذوب شده تا جایی که با ذوب آخرین بلور یخ ( $T_{mice}$ ) مقدار شوری بر حسب درصد وزنی NaCl به دست می‌آید.

سپس با رسیدن به دمای اتاق، عملیات گرمایش را شروع کرده و تا جایی این افزایش دما ادامه پیدا می‌کند که حباب بخار موجود در میانبار همگن شود که به آن دمای همگن شدن ( $Th_{v-l}$ ) می‌گویند که نشان‌دهنده حداقل دمای تشکیل کانی است.

در شکل ۶-۱۴ ب عمق کانی سازی در کانسار سردار با استفاده از نمودار هاس<sup>۸۱</sup> (۱۹۷۶) رسم شده است. حداقل و حداکثر دمای همگن شدن سیالات درگیر به ترتیب ۲۱۲ و ۲۳۳ درجه سانتیگراد است و چون بیشترین دامنه دمای همگن شدن سیالات درگیر ۲۱۲ تا ۲۲۰ درجه سانتیگراد است، محدوده متناظر با این بازه به عنوان فراوان ترین میزان برای عمق به دام افتادن در نظر گرفته شده و عمق تشکیل سیالات درگیر حدود ۲۱۰ تا ۲۶۰ متر به دست می آید. در این حالت، میزان فشار بخار در زمان تشکیل سیالات درگیر کمتر از ۱۰۰ اتمسفر بوده و چگالی سیالات درگیر نمونه های مورد مطالعه طبق نمودار بودنار<sup>۸۲</sup> (۱۹۸۳) بین ۰/۸ تا ۰/۹ گرم بر سانتیمترمکعب می باشد (شکل ۶-۱۴ الف). افزایش جزئی چگالی در نتیجه کاهش جزئی دمای همگن شدن می باشد که در نهایت منجر به کاهش سرعت سیال و تمرکز و رسوب مواد معدنی می گردد. پدیده افزایش شوری میانبارهای سیال با افزایش دما باز هم بصورت جزئی می باشد. از آنجایی پدیده جوشش رخ نمی دهد، دلیل کاهش دما یا کاهش فشار، برای تشکیل یک سیال چگالتر با شوری بیشتر نسبت به میانبارهای اولیه وجود ندارد. از طرفی هدنکوئیست و هنلی<sup>۸۳</sup> (۱۹۸۵) بیان کردند که افزایش شوری ناشی از جوشش، نسبتاً کوچک است، به همین دلیل جوشش ساده نمی تواند توضیحی برای روند شوری- دمای مشاهده شده باشد. بنابراین، سرد شدن ممکن است توضیح بهتری برای روند مشاهده شده باشد. با توجه به این که سنگ دربرگیرنده کانه زایی در منطقه مورد مطالعه، کلسیتی می باشد، به دلیل ترکیب کربناتی خود، با سیالات گرمابی اسیدی واکنش پذیر می باشد، این امر عاملی در جهت افزایش واکنش سیال و سنگ محسوب می گردد. از طرفی کانه زایی سنگ میزبان اکثراً از نوع دیاژنتیک است که افزایش فضاهای خالی در سنگ را در پی داشته و با پیشرفت آن، قابلیت نفوذپذیری سنگ نیزافزایش می یابد و در نتیجه سیال راحت تر به سنگ نفوذ کرده و میزان واکنش بین

---

89- Haas

90 -Bodnar

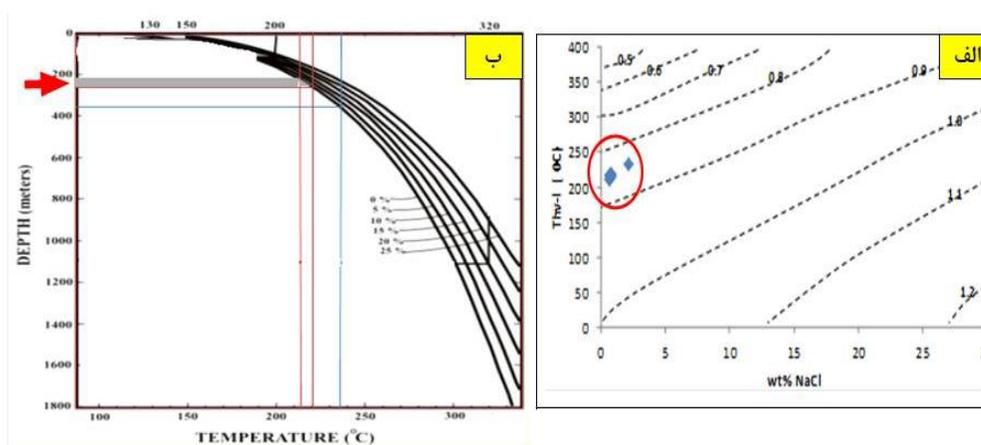
83- Hedenquist & Henely

سنگ و سیال افزایش می یابد. وجود مقدار اندک پیریت در قسمت توده ای کانسار به این دلیل است که فشار گاز گوگرد بالا بوده که توانسته پیریت و سایر فازهای سولفیدی مثل کالکوسیت را در توالی آهکی بالای خود، ته نشست کند. بدلیل حضور فسیلها در سنگ میزبان کربناته، دی اکسید کربن زیاد شده و همین عامل باعث کاهش دما می شود. نمکهای حل شده، چون غلظتی ندارند نمی توانند موثر باشند.

از آنجایی که فلزات، اغلب به وسیله سیالات مجزا حمل می شوند، تمرکزهای قابل توجه از گوگرد و فلزات در داخل یک سیال، انتقال را مشکل می کند. بنابر این، کانه زایی می بایست در اثر اختلاط دو سیال رخ دهد که در پی آن، تغییر ناگهانی در شرایط اکسیداسیون- احیا و اسیدیته سیال رخ میدهد و باعث کاهش حلالیت کمپلکسهای حاوی فلز شده و به ته نشینی منجر می شود.

کانی سازی در کانسار سردار از یک کمپلکسی از  $H_2O-NaCl$  صورت گرفته است. درجه شوری سیالات درگیر به طور متوسط از ۰/۵ تا ۲/۱۳ درصد وزنی نمک طعام متغیر است.

دمای همگن شدگی در محدوده ۲۱۲ تا ۲۳۳ درجه سانتیگراد می باشد. بر اساس نمودار تغییرات فشار و عمق در برابر دما، سیالات درگیر در عمق حدود ۲۱۰ تا ۲۵۰ متر و فشاری کمتر از ۱۰۰ اتمسفر را نشان می دهند که بیانگر نهشت کانسنگ بدلیل سردشدگی می باشد.



شکل ۶-۱۴-الف) نمودار شوری و دمای همگن شدن برای تعیین چگالی، ب) رسم دمای همگن شدن در نمودار هاس برای تخمین عمق سیال به دام افتاده در کانسار سردار



شکل ۶-۱۵- تصویری از رگه منگنز استرینگر در مقیاس (الف) رخنمون وب) نمونه دستی



شکل ۶-۱۶- تصویر میکروسکوپی از انواع میانبارهای سیال موجود در رگه استرینگر کربناته- سیلیسی

## فصل هفتم

الگوی تشکیل، نوع کانه‌زایی،

نتیجه‌گیری

و

پیشنهادات اکتشافی

## ۷-۱- مقدمه

در این فصل با استفاده از نتایج بررسی‌های صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمیایی درباره ژنز و نحوه تشکیل کانسار منگنز سردار بحث خواهد شد. برای تحقق این امر ابتدا شواهد ژنتیکی مهم مرور شده و سپس به ژنز کانسار پرداخته خواهد شد. و آنگاه با مقایسه این کانسار با تیپهای مختلف کانسارهای منگنزدار در جهان و کانسارهای مشابه در ایران به بررسی ژنز آنها خواهیم پرداخت. همچنین بطور مختصر به تقسیم بندی کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی اشاره کرده و جایگاه کانه‌زایی کانسار منگنز سردار را در این تقسیم‌بندی مشخص خواهیم نمود. سپس پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه خواهد شد.

## ۷-۲- شواهد و دلایل مربوط به چگونگی تشکیل کانسار منگنز سردار

### ۷-۲-۱- محیط زمین ساختی تشکیل

با مطالعه زمین شناسی و تلفیق آن با داده های میکروسکوپی و ژئوشیمیایی توالیهای سنگی تاقدیس کاهک و مقایسه آن با نوار ماگمایی داورزن- عباس آباد، دریافتیم که این منطقه از نظر محیط زمین ساختی تشکیل، یک حوضه اقیانوسی درون کمانی است که در طی ائوسن میانی- بالایی شکل می گیرد(قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵)(شکل ۷-۱-a,b).

### ۷-۲-۲- محیط زمین شناسی ته نشست

با بررسی های صحرایی و مطالعات انجام شده، معلوم شد که رخساره های دربرگیرنده ماده معدنی در کانسار منگنز سردار، در محیط کم عمق دریای باز با حداکثر عمق حدود ۱۰ تا ۱۵ متر بوده که توفها و مواد آذرآواری با فعالیت آتشفشانی وارد حوضه رسوبی شده‌اند (چون حداکثر تولید آهک در اعماق کمتر از ده متر می باشد). بعلاوه، وجود روزن داران کف زی چون نومولیتها در رسوبات آهکی

منطقه مورد مطالعه، بر وجود جریانهای زیردریایی دلالت می نماید که باعث تمرکز منابع غذایی پراکنده موجود در دریا و ایجاد شرایط اکسیژن دار می شود. می توان گفت که شرق تاقدیس عمق حوضه رسوبگذاری کم بوده و هر چه به سمت غرب برویم این عمق بیشتر می شود. هرچه تلاطم و عمق حوضه کمتر باشد اکسیژن محیط بیشتر است و با کم بودن شوری که باعث افزایش تولید کربن دی اکسید و کاهش یونهای مزاحم برای رسوب یون بی کربنات، سولفات و یون منیزیم می باشد، شرایط لازم برای نهشت منگنز فراهم می شود که شواهد این ادعا را تایید می کند. وجود رسوبات قاره ای و رودخانه ای ائوسن پیشین در قاعده توالیهای مورد مطالعه و همچنین قرارگیری توالی قاره ای از اواخر ائوسن تا میوسن در بالای توالی، حاکی از غالب بودن شرایط قاره ای در طی پالئوژن بوده و تنها در فاصله زمانی ائوسن میانی - بالایی حوضه رسوبی عمیق شدگی قابل توجهی پیدا کرده است. عمیق شدگی موقت در طی ائوسن میانی را می توان ناشی از تأثیر نیروهای زمین ساختی دانست و لذا تشکیل جریانهای توربیدیتی مذکور بیشتر ناشی از حرکات لرزه ای می باشند. نبود شیل و وجود مقادیر زیاد رسوبات مارنی می تواند دلیلی بر عمیق نبودن بسیار زیاد حوضه مورد مطالعه باشد. همچنین سطوح فرسایشی در سطح زیرین لایه های جوانتر میکروکنگلومرایی و سطح بالایی لایه های قدیمی تر ماسه سنگی، ریپل مارکهای ظریف در سطوح بالایی طبقات ماسه سنگی که نشان دهنده بخشهایی از توالی بوما هستند هم مؤید وقوع جریانهای توربیدیتی در توالیهای ائوسن میانی - پسین منطقه می باشند. اما بطور کلی محیط رسوبگذاری توالی ائوسن از نظر عمق، در طول کانسار تقریباً یکنواخت بوده است.

#### ۷-۲-۳- سنگ میزبان و سنگهای همراه

در توالی آتشفشانی - رسوبی منطقه فرومد، واحد در برگیرنده کانه زایی منگنز، سنگ آهک توفی نومولیت دار می باشد. این آهکها بر روی واحدهای آندزیتی - بازالتی قرار گرفته و توسط تخریبی های الیگوسن

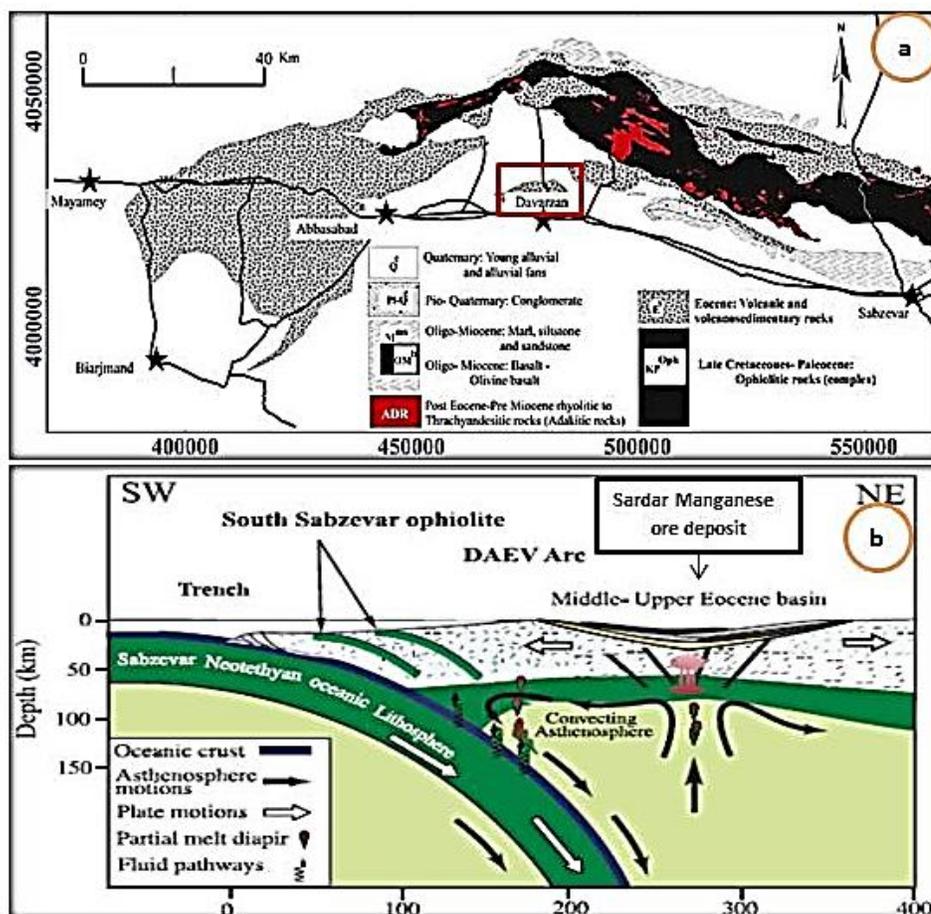
پوشیده می‌شوند. میزبان کانی‌زایی در این کانسار همانند کانسارهای منگنز کرتاسه در منطقه سبزوار می‌باشد که بیانگر اوج فعالیت‌های آتشفشانی در ائوسن مشابه با کرتاسه و حتی شدیدتر از آن بوده است.

#### ۷-۲-۴- شکل هندسی و ساخت و بافت ماده معدنی

شکل هندسی ماده معدنی بصورت چینه سان و همروند با لایه بندی است. ساخت و بافت آن اکثراً لامینه و دانه پراکنده است که بیانگر همزمانی تشکیل کانه های منگنز - مس با رسوبگذاری و تمرکز دیاژنتیک است. حضور بافت‌های پرکننده فضای خالی، استیلولیت و اسپارایتی شدن نیز، تشکیل این بافتها را به دیاژنز نسبت می‌دهد (روی و همکاران، ۱۹۹۰).

#### ۷-۲-۵- کانی‌شناسی

روی<sup>۸۴</sup> (۱۹۶۸) معتقد است که کانسارهای رسوبی منگنز چه از منبع آتشفشانی- برون‌دمی و چه از منبع غیرآتشفشانی به طور عمده به‌وسیله اکسیدهای ظرفیت بالای منگنز مثل پیرولوزیت، پسیلوملان و کریپتوملان مشخص می‌شوند. در بعضی از کانسارها، این اکسیدهای ظرفیت بالا را منگانیت و براونیت نیز همراهی می‌کند (مثل این کانسار). کانه‌های منگنز کانسار مورد مطالعه عمدتاً شامل پیرولوزیت، پسیلوملان، منگانیت، براونیت و هولاندیت است. همچنین در داخل رخساره های آتشفشانی، ماده معدنی منگنز بصورت دانه پراکنده و رگه و رگچه ای قرار دارد که می‌توانند تامین کننده احتمالی منشاء عناصر کانسار ساز به شمار آیند، لذا توجه و عنایت به آنها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.



شکل ۷- (a) نقشه ساده شده از سنگهای آتشفشانی ائوسن داورزن- عباس آباد که بخشهایی از کمربند افیولیتی سبزوار- عباس آباد است. موقعیت تاقدیس کاهک با مستطیلی در نقشه مشخص شده است و (b) مدل تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تکامل کمربند افیولیتی سبزوار- عباس آباد. همانطور که نشان داده شده، سنگهای ماگمایی ناحیه داورزن- عباس آباد در نتیجه فرورانش سنگ کره اقیانوسی نئوتتیس سبزوار به زیر البرز شرقی می باشد، همچنین موقعیت کانسار منگنز سردار نیز در این مدل مشخص شده است (قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵).

#### ۷-۲-۶- دگرسانی ها و منطقه بندی آنها

گسترش دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه بسیار کم و به طور عمده شامل دگرسانی کلریتی- کربناتی، سیلیسی و آرژیلیتی است. دگرسانی کلریتی گسترده ترین نوع دگرسانی در کانسار منگنز سردار می باشد که در بیشتر موارد با دگرسانی کربناتی همراه بوده و بیشتر در واحدهای

آشفشانی کم‌پایین ماده معدنی مشاهده می‌شود. دگرسانی سیلیسی در کم‌پایین لایه منگن‌دار رخ داده که نتیجه آن تشکیل کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال، کلسدونی) در سنگ می‌باشد. در این کانسار، سنگ‌های کم‌پایین و میزبان ماده معدنی کمتر دچار دگرسانی آرژیلیتی شده و سنگ‌ها تقریباً رنگ سفید به خود گرفته‌اند. در اثر این دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های میزبان به شدت تخریب و فرسایش یافته و به کانی‌های رسی و کربناته تبدیل شده‌اند.

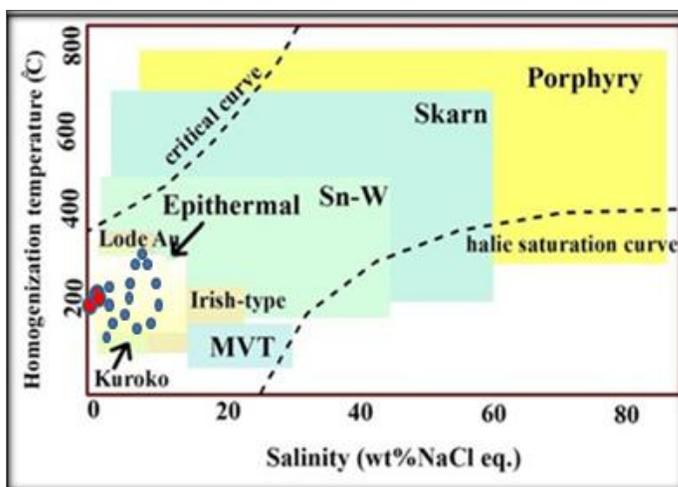
#### ۷-۲-۷- شواهد ژئوشیمیایی

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل ششم، بالا بودن نسبت‌های  $U/Th$ ،  $La/Ce$ ،  $Mn/Fe$  و  $Si/Al$ ، پایین بودن نسبت  $Co/Zn$  و مقادیر فلزات کمیاب به‌ویژه فلزات  $Cu$ ،  $Ni$ ، البته مس طی فرایندهای تاخیری (سوپرژن) غنی شده است. پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی مثل  $Ce$  و  $Eu$  در بخش چینه سان، به عنوان شواهدی از ته‌نشست منگنز از سیالات گرمابی- برون‌دمی در یک محیط دریایی اکسیدان هستند که نقش فرآیندهای دیاژنتیک در پیدایش این کانسار بسیار چشمگیر است. بنابراین با توجه به شواهد ژئوشیمیایی، می‌توان این کانسار را از نوع گرمابی زیر دریایی (آشفشانی- برون‌دمی) کم دما، با نرخ جریان پایین و نزدیک به منشأ همراه با رشد خیلی سریع اکسیدهای منگنز معرفی کرد.

#### ۷-۲-۸- شواهد حاصل از مطالعه سیالات درگیر

با آنالیز سیال درگیر نمونه انتخاب شده از بخش رگه-رگچه ای کانسار، دمای همگن شدن میانبراهای سیال آن در محدوده ۲۱۲ تا ۲۳۳ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد که مشابه دمای محلولهای گرمابی خارج شده از دهانه چشمه‌های آب گرم کف دریا می‌باشد. همچنین بر اساس نمودارهای تغییرات فشار و عمق در برابر دما، عمق تشکیل سیالات درگیر تقریباً ۲۱۰ تا ۲۵۰ متر و فشاری کمتر از ۱۰۰ اتمسفر می‌باشد.

کانسار مورد مطالعه در محیط زمین ساختی کششی درون کمانی قرار گرفته و از آنجایی که در ارتباط با فعالیتهای آتشفشانی حدواسط زیردریایی می باشد تا حدودی مشابه کانسارهای سولفید توده ای تیپ کروکو می باشد ولی کانسارهای این تیپ در محیطهای کششی پشت کمانی شکل می گیرند. در هر صورت چون منگنز در این منطقه از سنگهای آتشفشانی منشا گرفته و آتشفشانزاد (ولکانوژن) می باشد، بنابراین داده ها در نمودار شوری مقابل دمای همگن شدن، در محدوده کانسارهای تیپ کروکو قرار می گیرد نه لزوماً تیپ این کانسار کروکو باشد (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری سیالات درگیر کانسار منگنز سردار (ویلکینسون، ۲۰۰۱)، دایره های پررنگتر وضعیت قرارگیری نمونه های کانسار منگنز بند قیچی ترود می باشد که با کانسار منگنز سردار در یک محدوده قرار می گیرند.

### ۷-۳- رده بندی کانسارهای منگنز

از میان رده بندی های مختلف کانسارهای منگنز، رده بندی نیکلسون، از بقیه کاربردی تر بوده و بر اساس فرآیند تشکیل، بصورت ذیل می باشد:

جدول ۷-۱- رده بندی منگنز (نیکلسون، ۱۹۹۲)

سوپرژن		گرمابی		فرآیند تشکیل
خشکی	دریایی	خشکی	دریایی	محیط تشکیل
لجن‌ها و خاکها آب شیرین، هوازدگی و دابهیت	پوسته‌ها، پوششها گرهکها و رسوبات	چشمه‌های آب گرم رگه‌ای	بروندمی- رسوبی	انواع کانسارها

#### ۷-۴- ارائه مدل ژنتیکی کانسار منگنز سردار

##### ۷-۴-۱- منشأ عناصر کانه ساز

سه منشأ احتمالی را می‌توان برای منبع اولیه منگنز در منطقه مورد مطالعه مطرح کرد که در ذیل به آنها اشاره می‌شود:

۱- تخریب و فرسایش سازندها و کانسنگ‌های قدیمی تر ۲- توده‌های نفوذی و سیالات داغ همراه با آنها ۳- فعالیت‌های آتشفشانی- گرمابی نزدیک به محل رسوبگذاری.

با توجه به اینکه هیچ سازند و کانسنگ قدیمی تری که حاوی مقادیر بالایی از منگنز باشد در منطقه وجود ندارد، بنابراین منشأ اول پذیرفتنی نیست. همچنین نمودار Pb-Zn نیز احتمال تشکیل این کانسار از کانسارهای قدیمی تر را رد می‌کند و از طرف دیگر مقادیر Al و Ti که معمولاً از منشأ تخریبی تأمین می‌شوند، در این کانسار بسیار اندک است. فرضیه تأمین منگنز از توده های نفوذی نیز مردود است چون توده های نفوذی منطقه بصورت دایک هایی می باشد که هیچ گونه اثر حرارتی در آنها با سنگهای آتشفشانی بالا آورنده ی ماده معدنی در کمر پایین دیده نمی شود. فرضیه تأمین منگنز، مس و آهن از فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی همزمان با رسوبگذاری، محتمل ترین فرضیه برای تشکیل کانسار است. در مورد منبع

آهن و منگنز موجود در توالی‌های رسوبی نیز دو نظریه وجود دارد، یک نظریه منبع آتشفشانزاد و دیگری غیرآتشفشانزاد که در مورد این کانسار، نظریه منبع آتشفشانزاد قابل قبول است.

در مورد منبع آتشفشانزاد، روی (۱۹۹۲) معتقد است که کانسارهای نوع رسوبی- برونمی که بوسیله فوران‌های زیردریایی همزمان با رسوب‌گذاری تشکیل شده‌اند، به‌وسیله همراهی آهن و منگنز مشخص می‌شوند. البته این دو عنصر می‌توانند با تغییر شرایط فیزیکیوشیمیایی محیط مثل  $Eh$ ,  $f_{O_2}$ ,  $f_{CO_2}$ ,  $f_{H_2}$ , pH از هم جدا شوند و هر کدام تشکیل کانسارهای مخصوص به خود را بدهند. بنابر این، اولاً بدلیل وجود واحدهای آتشفشانی ضخیم لایه ائوسن در قاعده توالیها و هسته تاقدیس کاهک و توالیهای رسوبی آهک نومولیت دار و ماسه سنگهای ائوسن توفی و رابطه نزدیک آنها با لایه کانه‌دار و ثانیاً شواهد صحرایی و مطالعات ژئوشیمی از نظر محتوای عناصر فرعی، تأمین عناصر کانسار ساز از یک منشأ آتشفشانی درونزاد همزمان با رسوب‌گذاری را تأیید می‌کند.

#### ۷-۴-۲- منشأ سیال کانه ساز

منشأ سیال کانه ساز در این کانسار دو نوع است یک نوع مربوط به غرب کانسار یعنی پهنه استرینگر، که آبهای اقیانوسی فرورونده در شکاف‌های عمیق موجود در مراکز فعال گسترش بستر دریا که با فعالیت‌های آتشفشانی همراه هستند، چرخیده و گرم شده و فلزات را در خود تمرکز می‌دهند. این آبها پس از چرخش در داخل گدازه‌ها، سرانجام به بستر دریا راه پیدا می‌کنند و منگنز خود را رسوب می‌دهند. نوع دیگر سیال، آبهای جوی است که در بخش چینه سان کانسار باعث نهشت و تمرکز منگنز می‌گردد. بنابراین با توجه به وجود گدازه‌های زیاد در کمرباطین کانسار و نقش گرمایی آنها جهت ایجاد جریانهای همرفتی در آب دریا، بطور غالب منشأ سیال کانه‌ساز، آب دریا بوده است.

۷-۴-۳- مراحل تشکیل و تکوین کانسار منگنز سردار و ارائه مدل

۷-۴-۳-۱- مرحله رسوبگذاری و نقش محیط رسوبی

توالی رسوبی ائوسن بالایی در منطقه، بیانگر پیشروی و بالا بودن سطح آب دریا در آن زمان بوده است. از طرفی رسوبات احیایی زمانی تشکیل شده‌اند که سطح آب دریاها بالا بوده است چرا که در زمان بالا بودن سطح آب، مجموعه‌های زیستی نیز گسترش می‌یابند و تجمع مواد آلی منشا گرفته از آب‌های سطحی عامل اصلی احیا شدن بستر دریاها است (فورس<sup>۸۵</sup>، ۱۹۸۸). در چنین شرایطی، گلهای کربناته (میکرایت) به همراه کاتیونهای دو ظرفیتی آهن و منگنز و سیلیس از طریق ولکانیسم و اگزالاسیون وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در بخشهای احیایی حوضه، آهن توانسته با گوگرد ترکیب شده و پیریت را بسازد اما در بخشهای کم‌عمق‌تر به دلیل پائین بودن مقدار گوگرد، آهن و منگنز به صورت هیدروکسید رسوب کرده بطوریکه کانیهای هیدروکسیدی آهن و منگنز همچون گوتیت و منگانیت به صورت لامینه‌ای و متناوب با هم قرار دارند. لذا با توجه به ساخت لامینه‌ای در این کانسارها می‌توان گفت که کانیهای اولیه آهن و منگنز در کانسارهای مورد مطالعه منگانیت و گوتیت بوده است. پیریت هم به مقدار اندک توانسته است متبلور شود. در نزدیک ساحل جایی که اکسیژن کافی وجود داشته مقدار اندکی از آهن و منگنز رسیده به آن، رسوب نموده است و به همین دلیل رخساره‌های تخریبی قاعده ائوسن- الیگوسن، آنومالی نسبتاً ضعیفی از آهن و منگنز نشان می‌دهند.

۷-۴-۳-۲- مرحله دیاژنز و تکوین دیاژنتیکی

دیاژنز مجموعه فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی است که بلافاصله بعد از ته‌نشست نهایی رسوبات بر روی آنها تأثیر گذاشته و موجب تبدیل آنها به سنگ‌های سخت و طبقات مختلف رسوبی

می‌شود. این فرآیندها شامل فشردگی، سیمانی شدن، انحلال، تبلور مجدد، جانشینی و دگرسانی تا مرحله قبل از دگرگونی می‌شود. این فرآیندها و نتایج حاصل از آنها بسیار متنوع است و می‌تواند به شدت بر روی مشخصات سنگها و همچنین تجمع اقتصادی آنها و یافتن پتانسیل اقتصادی در آنها شدیداً مؤثر باشد.

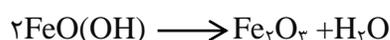
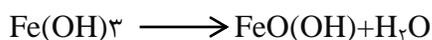
دیاژنز بلافاصله بعد از رسوبگذاری دانه‌های تخریبی از قبیل کوارتز، خرده‌سنگها، بیوتیت و اکسیدهای آهن آغاز می‌شود. اولین فرآیند دیاژنتیکی بعد از تراکم شامل رشد سیمان سیلیسی، هماتیتی و کربناتی است که در اثر آن نسل دوم اکسیدهای منگنز به صورت رگچه‌های دیاژنتیکی ظاهر می‌شوند، خاموشی موجی و حواشی مضرس در دانه‌های کوارتز در این رخساره معرف پایان مرحله دیاژنز و تأثیر فرآیندهای دگرگونی هر چند به میزان اندک و ضعیف است.

اجزای تشکیل دهنده توف آندزیتی-بازالتی شامل شیشه، قطعات لیتیک و هیدروکسیدهای آهن و منگنز است که در مرحله رسوبگذاری نهشته شده‌اند. فرایندهای دیاژنتیکی باعث تشکیل کانیه‌های پسیلوملان و هماتیت و سرانجام با تأثیر فرآیندهای سوپرژن، پیرولوژیت شکل می‌گیرد. در رخساره گل‌های کربناته، ژلهای هیدروکسیدی آهن و منگنز و بخشی از کانیه‌های گوتیت و منگانیت و بافت پراکنده و لامیناسیون در مرحله رسوبگذاری تشکیل شده‌اند. وجود بافت دانه‌پراکنده از ماده معدنی نشانگر آن است که سازنده‌های کانه‌های آهن و منگنز در محیط رسوبگذاری وجود داشته است و در مرحله دیاژنز به صورت دانه ریز متبلور شده است. بافت لامینه که هم در نمونه‌های دستی و هم در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌گردد، در واقع تناوبی از لامینه‌های غنی از آهن و منگنز می‌باشد و نشانگر آن است که شرایط Eh و pH محیط رسوبگذاری متغیر بوده است. در نمونه‌های دستی، لامینه‌ها بواسطه رنگ‌شان که بخشهای غنی از گوتیت قرمز رنگ و بخشهای غنی از منگنز سیاه رنگ و تیره است، قابل تشخیص می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی حاکی از آن است که بخش عمده کانه پیرولوژیت موجود در منطقه بر اثر تبدیل و جانشینی پسیلوملان به پیرولوژیت ایجاد گردیده است.

بنابراین، مراحل تشکیل و تمرکز دیاژنتیکی ماده معدنی به شرح ذیل است. دانه‌های کوارتز تخریبی و خرده‌سنگهای آتشفشانی، گلهای کربناته، خرده‌های فسیل‌ها به همراه ژلهای هیدروکسید آهن و منگنز و کاتیونهای مختلف از قبیل مس و بخشی از کانیهای گوتیت و منگانیت در مرحله رسوبگذاری تشکیل شده اند. در مرحله دیاژنز کانیهای از قبیل پیریت، هماتیت و پسیلوملان به همراه بافت دانه پراکنده و سیمان اسپارایتی و استیلولیت، پرکننده فضای خالی و عدسیهای چرتی شکل گرفته‌اند و سپس تحت تأثیر فرآیندهای سوپرژن کانیهای پیرولوویت و لیمونیت و بافت جانیشینی بوجود آمده است.

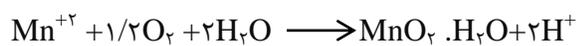
الف: اکسیدهای آهن:

آهن ابتدا به صورت کاتیون دو ظرفیتی وارد حوضه رسوبی گردیده و در حضور اکسیژن و محیط اکسیدان تولید هیدروکسیدهای سه ظرفیتی آهن<sub>۳</sub> Fe(OH)<sub>۳</sub> (ژل هیدروکسید آهن) نموده که در مراحل اولیه رسوبی نهشته می‌شوند و بر اثر تبلور ژلهای هیدروکسید آهن و خروج آب از شبکه مولکولی آن، کانی گوتیت FeO(OH) تشکیل می‌شود. به دلیل تشابه رفتار ژئوشیمیایی آهن و منگنز همواره حاوی مقادیری منگنز نیز می‌باشد، هماتیت نیز می‌تواند در دمای بالاتر از ژلهای هیدروکسید آهن مذکور متبلور شود، همچنین در طول دیاژنز و کانی‌سازی رگچه‌ای، کانی هماتیت در اثر تبلور مجدد گوتیت ایجاد می‌گردد، لذا بافت این کانی از نوع دانه پراکنده و رگچه‌ای است.



ب: اکسیدهای منگنز:

منگنز نیز مشابه آهن به صورت یونهای دو ظرفیتی بوسیله سیالات وارد حوضه رسوبی گردیده و نسبت به آهن در دمای کمتر PH اسیدی‌تر و در حضور اکسیژن و آب مطابق معادله زیر تشکیل کانی منگانیت و اکسیدهای منگنز نموده و در طی دیاژنز کانی پسیلوملان بر اثر تبلور مجدد منگانیت تشکیل می‌گردد.



پلیمریزاسیون



ج: سولفیدها:

کانیهای سولفیدی به ترتیب فراوانی شامل پیریت، کالکوسیت می‌باشند. فلزات سازنده این کانیها به شکل کاتیونهای مختلف آهن و مس و... به همراه ژل اولیه رسوبی وارد حوضه رسوبی شده و در طول دیاژنز به صورت سولفید با بافت پراکنده متبلور شده‌اند.

د: کربناتها:

کانیهای کربناته همراه ماده معدنی که دارای ژنز رسوبی - دیاژنتیک هستند، شامل کلسیت می‌باشد. کربنات کلسیم به صورت اولیه رسوب کرده است و طی دیاژنز رگچه‌ها ی کلسیت اسپاری تشکیل شده‌اند.

۷-۴-۳- مرحله تاثیر فرآیندهای زمین ساختی و تغییر شکل دهنده

سومین مرحله تکوین و تمرکز ماده معدنی در این کانسار مربوط به فعالیتهای زمین ساختی و تغییر شکل دهنده است. لایه آهک نومولیت دار میزبان منگنز- مس متأثر از سیستم گسل‌های نرمال با روند NW-SE است. در اینجا گسله ها دونقش دارند: یکی محل تزریق<sup>۸۶</sup> ماده معدنی عمود بر روند واحدهای آتشفشانی و آهکی و دیگری سبب بالا رفتن عیار ماده معدنی در نزدیک گسله ها شده‌اند.

۷-۴-۳- مرحله فرآیندهای هوازگی سوپرژن

چهارمین و آخرین مرحله تکوین و تمرکز کانسار منگنز سردار، مرحله تأثیر فرآیندهای هوازگی سوپرژن می‌باشد. تشکیل بافت‌های کلوئیدی کانیهای اکسیدی آهن و منگنز و اکسیدشدن کانیهای سولفیدی

همچون پیریت و ایجاد بافتهای برجای مانده<sup>۸۷</sup> و تشکیل کانیهای اکسیدی ظرفیت بالای منگنز مانند پیرولولوزیت و کرونادیت مربوط به این مرحله می‌باشد. در مقیاس رخنمون در نقاطی که توالی کانه‌دار تحت تاثیر فرآیندهای غنی‌شدگی بعدی قرار گرفته، عمدتاً پیرولولوزیت از تبدیل پسیلوملان و منگانیت بوجود آمده‌است و عمدتاً به صورت لکه‌ای و جزیره‌ای در داخل شکستگیها و حواشی خویش در حال تبدیل شدن به پیرولولوزیت است. بر اثر عملکرد این فرآیندها و انحلال و شستشو<sup>۸۸</sup> کانیهای سولفیدی و کربناته (که نمود آنها را امروزه به شکل حفرات انحلالی در سنگهای کربناته می‌توان مشاهده کرد) عیار کانیهای اکسیدی آهن و منگنز بالا رفته، بطوریکه عیار منگنز در بخشهای متأثر از فرآیندهای سوپرژن تا حدود ۵۰ درصد در ماده معدنی می‌رسد. و این مسئله به خاطر شسته شدن عناصر Ca, Mg, Si و غنی‌شدن عناصر Al, Fe, Mn, Ti می‌باشد.

#### ۷-۵- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی ائوسن تاقدیس کاهک و جایگاه نهشته‌های منگنز و

#### مس در آن

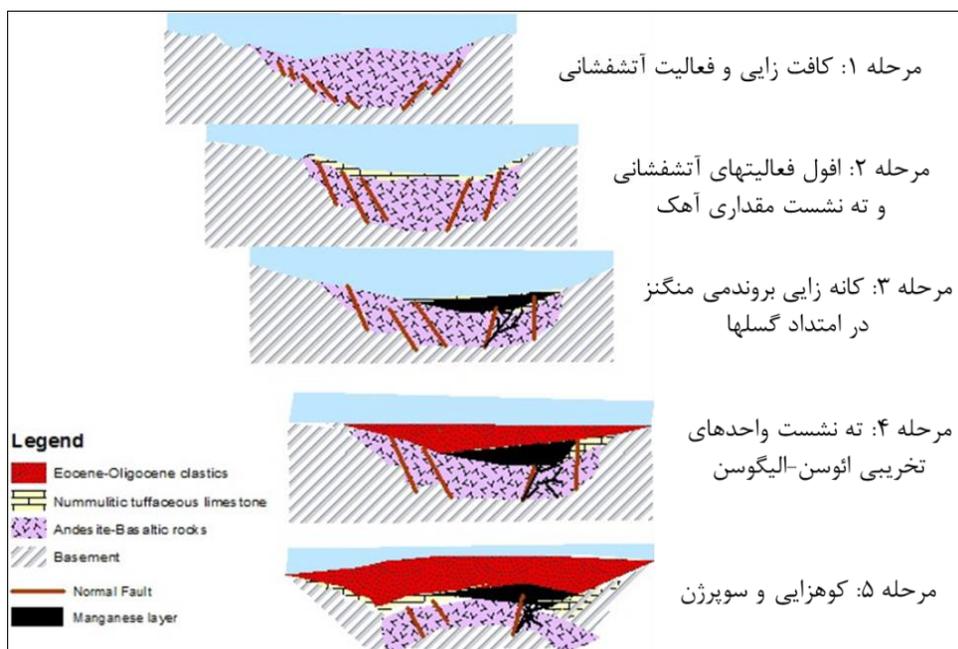
با توجه به داده های زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی می توان حوضه آتشفشانی- رسوبی ائوسن تاقدیس کاهک را مطابق مراحل ترسیم شده زیر بازسازی کرد (شکل ۷-۳) و نهایتاً مدل شکل ۷-۴ را پیشنهاد کرد. با شروع و ادامه فعالیت‌های کافت‌زایی در ائوسن بر اثر نیروهای کششی و عملکرد گسل‌های نرمال در منطقه، باعث فرونشست و تشکیل حوضه رسوبی کم عمق شده است. با شروع کافت‌زایی، خروج گسترده ماگماهای مافیک و حدواسط در قالب گدازه و آذرآواریها، دایک، و سیالات گرمایی به داخل حوضه کم عمق در حال تشکیل، صورت گرفته است. با توجه به آرام شدن حوضه در اثر خروج گدازه‌ها، طبقه‌بندی ستون آب (بخش احیایی در زیر و بخش اکسیدی در بالا) در مراحل ابتدایی تشکیل حوضه صورت گرفته و باعث اکسیدان و احیا شدن محیط در این بازه زمانی شده است. پهنه چینه سان در کانسار

---

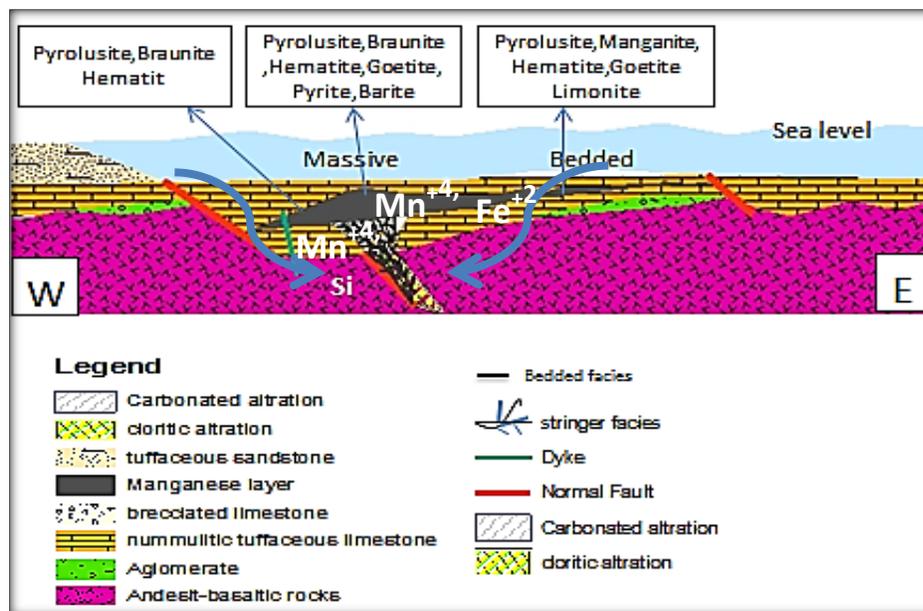
99-Residual

88 - leaching

بخش اکسیدان و پهنه رگه-رگچه ای موجود در سنگهای آتشفشانی کمر پایین و آهکهای کمر بالای ماده معدنی، بخش احیایی کانسار است. بنابراین عناصر  $Si$ ،  $Fe$ ،  $Cu$ ،  $Mn$  و سایر عناصر از طریق سیالات گرمابی با شستشوی سنگهای کمر پایین از طریق گسل‌های همزمان با فرونشست، وارد حوضه شده‌اند. عناصر منگنز و آهن به علت فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط به صورت لایه‌ای و بصورت همزمان با آهکهای توفی میزبان در کف حوضه ته‌نشین شده‌اند. البته، مس به علت پایین بودن دما و شرایط اکسیدان محیط در داخل واحدهای گدازه‌ای داغ، به صورت دانه پراکنده، ته نشست یافته است. با عمیق‌تر شدن حوضه رسوبی، شدت ماگماتیسم کمتر شده و با ادامه فرونشست حوضه، طبقه‌بندی لایه‌ای در اکسیدی و احیایی بودن آب ادامه یافته، که قسمتهای زیرین با توجه به عمیق‌تر بودن حوضه و ورود آب-های گرمابی به این لایه، گسترش بیشتری پیدا کرده‌است. در نتیجه، شرایط احیایی مناسب برای ته-نشست عنصر مس همراه با گدازه‌های مافیک و سنگ‌های تخریبی و آذرآواری در کنار گسل‌های همزمان با رسوبگذاری بوجود آمده است. حضور آهک‌های توفی نومولیت دار نیز که نشان دهنده افزایش فوگاسیته  $CO_2$  و میزان  $Ca$  محیط‌های عمیق احیایی هستند دلیلی بر ادامه فرونشست و عمیق‌تر شدن حوضه رسوبی است.



شکل ۳-۷- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی ائوسن و جایگاه کانسار منگنز سردار در آن



شکل ۴-۷- مدل شماتیک از چگونگی تشکیل کانسار منگنز سردار

## ۶-۷- تیپ کانه‌زایی

برای تعیین تیپ کانه‌زایی، کانسار منگنز سردار با کانسارهای مشابه و شاخص در ایران و دنیا مقایسه شده است. به علت تشابه خیلی زیاد کانسار منگنز سردار با کانسارهای منگنز قم مثل وناچ و شهرستانک و کانسار منگنز گراب طالقان، به توضیح ویژگی‌هایی این کانسار و شباهت‌ها و تفاوت‌های آن با کانسار مورد مطالعه می‌پردازیم.

### ۶-۷-۱- مقایسه کانسار منگنز سردار با کانسارهای آتشفشانی - رسوبی شاخص در ایران

#### ۶-۷-۱-۱- کانسار منگنز وناچ قم

این کانسار در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان قم قرار دارد. بخش اصلی ستون چینه‌شناسی این ناحیه را سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن بالایی تشکیل می‌دهند. کمر پایین افق ماده معدنی شامل توف، توف برش، آهک و مقادیر زیادی گدازه‌های آندزیتی، بازالتی و اسپیلیتی با بافت پورفیری و ساخت بالشی می‌باشد که در حدود ۱۵۰ متر ضخامت دارد.

افق ماده معدنی شامل لایه‌های منگنز به همراه اخری<sup>۸۹</sup> است که در حدود ۴۰ متر ضخامت داشته و در داخل توف‌های دانه ریز به رنگ سبز و شیل هماتیتی قرار دارد. کمر بالای ماده معدنی آهک توفی می‌باشد. سن این مجموعه‌ها را الیگومیوسن ذکر نموده‌اند.

شکل هندسی ماده معدنی در این کانسار لایه‌ای و عدسی شکل است. در داخل توف‌های همروند با ماده معدنی، بافت دانه پراکنده نیز دیده می‌شود. در مجموع ماده معدنی به افق‌های چینه‌شناسی خاصی محدود می‌شود. کانه‌های اصلی منگنز این کانسار براونیت و بیکسبیت هستند که به وسیله کانی‌های فرعی پسیلوملان، پیرولولوزیت، رودونیت، هماتیت و گوتیت همراهی می‌شوند. کانی‌های باطله شامل مقدار کمی کوارتز، کلسدونی، سیلیس آمورف (اپال)، کلسیت و آراگونیت می‌باشند (فردوست، ۱۳۷۰).

از جمله شباهت‌های موجود بین کانسار منگنز سردار و کانسار وناچ قم قرارگیری هر دو کانسار در سنگ-های آتشفشانی و شکل هندسی ماده معدنی است علیرغم این شباهتها، تفاوت‌هایی نیز بین دو کانسار مشاهده می‌شوند. پاراژنز کانه‌ها در وناچ عمدتاً شامل براونیت و بیکسبیت است که به همراه پسیلوملان، پیرولولزیت، بوستامیت، رودونیت و اکسیدهای آهن دیده می‌شوند. اما در سردار کانه‌های اصلی شامل پیرولولزیت، پسیلوملان، براونیت و منگانیت است.

وجود ساختارهایی نظیر لامیناسیون، ساخت‌های رسوبی (دانه بندی تدریجی و ساخت‌های زیر سطح طبقه) تناوب لایه‌های منگنز و توف سبز و هم‌شیب بودن آنها و دلایل دیگر همگی دلالت بر منشأ آتشفشانی- رسوبی این کانسار دارند. بنابر همین شواهد، فردوست (۱۳۷۰) این کانسار را یک کانسار لایه-ای همزاد و از نوع آتشفشانی- رسوبی دانسته است.

#### ۷-۶-۱-۲- کانسار منگنز شهرستانک قم

کانسار منگنز شهرستانک در جنوب استان قم و ۱۲ کیلومتری جنوب غربی شهرستان کهک واقع شده است. این کانسار به لحاظ سنگ شناسی و چینه شناسی دارای تنوع زیادی است؛ به طوری که واحدهای مختلف سنگی شامل (۱) سنگهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن میانی- بالایی، (۲) واحدهای کنگومرایی و ماسه سنگی قرمز زیرین به سن الیگوسن، (۳) ته نشستهای آهک و مارن (سازند قم) به سن الیگومیوسن، (۴) دایکهای حد واسط تا بازیک به سن ائوسن و میوسن پایانی در منطقه قابل مشاهده است. کانی شناسی در دو افق کانسار شهرستانک شامل براونیت، هاوسمانیت، پیرولولوسیت، مانگانیت و هماتیت است. افق معدنی یک با شکل هندسی لایه‌ای و بافت لامینه، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، دندریتی و جانشینی و سنگ درونگیر آن توف آهکی با میان لایه‌هایی از آهک میکرایتی و واحد سنگ آهک ماسه ای و افق معدنی ۲، با شکل هندسی لایه‌ای و بافت دانه پراکنده، جانشینی و پرکننده فضای خالی و سنگ درونگیر آن لیتیک توف قرمز می‌باشد. پاراژنز کانیایی آن براونیت، پیرولولوسیت، هماتیت است. سنگ

درونگیر افق فرعی ۲۰۱ به ترتیب آهک و ماسه سنگ قرمز، و پاراژنز آنها شامل هماتیت، منگانیت، پیرولوسیت و بافت آن‌ها برشی، کلوفرم و سیمان دیاژنتیکی است. و پایین بودن مقدار میانگین فلزات کمیاب بویژه  $Mn/Fe$   $Si/Al$  بالا بودن میانگین مقادیر پایین بودن مقدار میانگین آنومالی سریم و بالا بودن مقادیر  $Cu, Co, Ni, Mn$  ،  $Sr$  و  $As, Zn, Ba, Fe, Mn, SiO_2$  در کانسنگ منگنز شهرستانک به عنوان شواهدی از غنی شدگی و تخلیه منگنز از گرمایی های برون دمی هستند و نقش فرآیندهای آب زاد در پیدایش این کانسار را ناچیز می نماید.

پایین بودن مقدار فلزات کمیاب فوق الذکر به خاطر نهشت سریعتر آنها توسط سیالات گرمایی در محیط کم عمق می باشد. بعلاوه اکسیدهای منگنز و آهن در مرحله دیاژنز در اثر از دست دادن آب، فضای میان دانه ای اجزای سازنده سنگ درون گیر را پر می کنند، لذا به علت خروج آب و تغییر ماهیت سیال کانه دار ، تغییر pH محیط و کاهش سطح تماس اکسیدهای منگنز و آهن، ظرفیت جذب این یونها در حین فرآیندهای دیاژنزی کاهش می یابد.

شواهد زمین شناسی و زمین شیمیایی گویای نهشت کانه ها از گرمابیهای زیردریایی (برون دمی) در بستر حوضه اقیانوسی نئوتتیس در زمان ائوسن میانی تا پایانی در واحدهای سنگی توف آهکی با میان لایه هایی از آهک میکرایتی و واحد سنگ آهک ماسه ای می باشد. لذا در مورد شرایط تشکیل این کانسار، میتوان عنوان کرد که، فعالیتهای گرمایی شدید باعث شسته شدن گدازه های بازالتی و آندزیتی شده و عناصر  $Si, Ba, Sr$  و  $Mn, Fe$  و  $As$  توسط فعالیتهای برون دمی - آتشفشانی؛ از طریق گسلهای همزمان با رسوبگذاری واردحوضه رسوبی گردیده و با پس روی دریا و ایجاد شرایط اکسیدی کانیهای اکسی هیدروکسیدی اولیه منگنز ته نشست شده اند(معانی جو، ۱۳۹۴).

از جمله شباهت‌های موجود بین کانسارمنگنز سردار و شهرستانک موارد زیر است: نهشت سریع سیال در محیط آبی کم عمق و تاثیر چشمگیر فرایندهای دیاژنتیک ،شکل هندسی،بافت و پاراژنز کانیایی و نحوه

ژنز کانسنگ می باشد و تفاوت‌های این دو کانسار، در سنگ میزبان ماده معدنی است که در کانسار شهرستانک آهک یا ماسه توفی در مواردی با بین لایه هایی از میکرایت ولی در کانسار سردار آهک توفی نومولیت دار است که منگنز درون آنها را در صورت فراهم بودن شرایط اکسیدان پر کرده است ولی در کانسار شهرستانک منگنز و آهن فضای میان دانه ای اجزای سازنده سنگ درون گیر را پر می کند. در کانسار شهرستانک، نقش فرآیندهای آب زاد در پیدایش این کانسار ناچیز است ولی در کانسار مورد مطالعه بویژه در بخش استرینگر، فرایندهای آبراد به شکل اختلاط با محلولهای گرمایی نقش دارند.

۷-۶-۱-۳- کانسار منگنز گراب

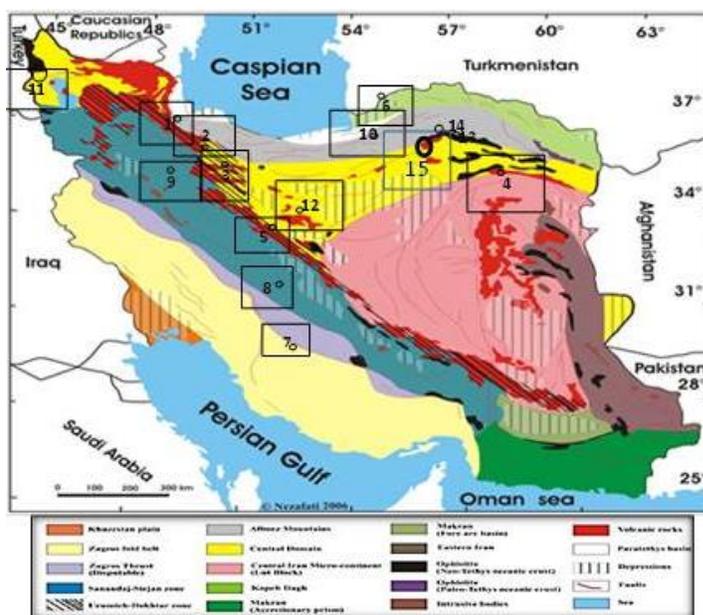
کانسار منگنز گراب در ۱۸۵ کیلومتری شمال غرب تهران و ۳۲ کیلومتری شمال شرق شهر طالقان در پهنه البرز مرکزی-غربی قرار دارد. عمده ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی و واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن می باشند. کانه زایی منگنز به صورت لایه‌ای شکل در واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن رخ داده است. بر حسب نوع سنگ درونگیر، موقعیت آن در ستون چینه‌ای و ساخت و بافت به سه گروه منگنز لایه‌ای شکل با سنگ درونگیر لیتیک توف قرمز، منگنز عدسی شکل با سنگ درونگیر آهک توفی و منگنز با بافت دانه پراکنده با سنگ درونگیر لیتیک توف قرمز متمایل به قهوه‌ای تقسیم بندی شده است. شکل هندسی کانسنگ منگنز، لایه‌ای- عدسی شکل بوده و در گستره‌ای به طول ۲۵ کیلومتر قابل ردیابی است. محیط نهشت کانه‌زایی کانسار گراب یک محیط دریایی کم عمق (کافت درون قاره‌ای) است که توف‌ها و مواد آذرآواری با فعالیت آتشفشانی وارد حوضه رسوبی شده‌اند. کانی‌های اصلی شامل پسیلوملان، پیرولوزیت، براونیت، کریپتوملان و تودوروکیت بوده و به صورت عدسی و لایه‌ای شکل با بافت‌های لامینه، افشان، توده‌ای، بوترویدال، سیمانی و برشی در درون سنگ درونگیر دیده می‌شوند. کانی‌های باطله شامل کلسیت و به مقدار کمتر سیلیس می‌باشد(دولت‌خواه و همکاران، ۱۳۸۴).

وجود شواهدی از قبیل شکل توده‌های معدنی، ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس‌های مختلف، گسترش ناحیه‌ای افق‌های کانه‌دار و پیروی آنها از لایه‌بندی، نوع محیط رسوبی، سنگ درونگیر ماده معدنی، آثار آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری و دلایل دیگر همگی دلالت بر منشأ آتشفشانی- رسوبی این کانسار دارند. بنابر همین شواهد، این کانسار را یک کانسار آتشفشانی- رسوبی (نوع کوبا) می‌باشد (دولت-خواه و همکاران، ۱۳۸۴).

از جمله شباهت‌های موجود بین کانسار منگنز سردار و گراب قرارگیری هر دو کانسار در سنگ‌های آتشفشانی، شکل هندسی عدسی شکل ماده معدنی، مشابهت پاراژنزی کانی‌های منگنز تا حدود زیاد و وجود کانی باطله کلسیت بیشتر از سیلیس است. همچنین از شباهت‌های بارز بین دو کانسار وجود آهک-های توفی در دو کانسار است. مهمترین تفاوت موجود بین دو کانسار، زمان تشکیل آنها است. با توجه به مدل شماتیک ارائه شده و مقایسه آن با کانسارهای مشابه ایران، کانسار منگنز سردار را می‌توان یک کانسار برون‌دمی- رسوبی دانست، به طوریکه همزمان با کافت درون کمانی و ورود سیالات گرمابی- برون‌دمی غنی از منگنز به داخل حوضه آتشفشانی- رسوبی، کانی‌های اکسیدی منگنز، به صورت همروند و همزمان با رسوب‌گذاری نهشته شده‌اند.

جدول ۷-۲- مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران

نام کانسار	پهنه ساختاری	سنگ میزبان	سن	نوع کانه زایی	مرجع
بزنین اردستان	ارومیه- دختر	ریولیت پورفیری	ائوسن بالایی- الیگوسن پایینی	گرمایی	سجادی آل هاشم و همکاران، ۱۳۹۲
بندقیچی تروند	ایران مرکزی	آندزیت و داسیت، برش آتشفشانی و مارن، توف برش	ائوسن میانی	آتشفشانی- رسوبی (نوع کوبا)	باقرزاده و همکاران، ۱۳۹۳
بنسبورت سبزواری	زیر پهنه سبزواری	توف	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی- رسوبی	مسعودی و همکاران، ۱۳۸۸
تربت حیدریه	ایران مرکزی	دولومیت، سنگ آهک	کرتاسه ی تحتانی	آتشفشانی- رسوبی (distal)	احمدی و همکاران، ۱۳۸۵
جلال قم	ارومیه- دختر	سنگهای بازالتی-آندزیتی	اواخر ائوسن	ابی ترمال	مهدوی و همکاران، ۱۳۹۲
ذاکری سبزواری	زیر پهنه سبزواری	توف کربناتی و آهک	بخش بالایی کرتاسه پسین	آتشفشانی- رسوبی	تقی زاده و همکاران، ۱۳۹۱
رباط کریم	ارومیه- دختر	واحد های آذرآوری، تراکیتی . ایگنمبریتی	ائوسن بالایی	ابی ترمال	مقدسی و همکاران، ۱۳۸۸
سردار فرومد	ایران مرکزی	آهک توفی نومولیت دار	ائوسن بالایی	برندمی- رسوبی	این تحقیق
شهرستانک قم	ارومیه- دختر	توف آهکی با میان لایه هایی از آهک میکرایتی و آهک ماسه ای	ائوسن میانی- بالایی	رسوبی- آتشفشانی	معانی جو و همکاران، ۱۳۹۴
صفو ماکو	پهنه افیولیتی خوی	رسوبات پلاژیک و چرت رادیولاریتی	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی- رسوبی	امامعلی پور و همکاران، ۱۳۸۴
گراب طالقان	البرز مرکزی	توف و آهک توفی	الیگومیوسن	آتشفشانی- رسوبی (نوع کوبا)	دولت خواه و همکاران ، ۱۳۸۴
نوده سبزواری	زیر پهنه سبزواری	توف قرمز	کرتاسه پسین	آتشفشانی- رسوبی	نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۱
هلان معلمان	ایران مرکزی	اسلیت، فیلیت، شیست، مرمر، آهک، دولومیت و ماسه سنگ های کمی دگرگون شده	ژوراسیک زیرین	آتشفشانی- رسوبی	مصدق و همکاران، ۱۳۹۳
ونارچ قم	ارومیه- دختر	توف و آهک	ائوسن بالایی	آتشفشانی- رسوبی	فردوست و همکاران، ۱۳۷۰



شکل ۷-۵- نقشه پهنه ساختاری ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳) و توزیع مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی - رسوبی در ایران ۱: گراب، ۲: رباط کریم، ۳: ونارچ، ۴: تربت حیدریه، ۵: بزین، ۶: بنسبورت، ۷: آب بند، ۸: هنشک، ۹: شمس آباد، ۱۰: بندقیچی، ۱۱: صفو، ۱۲: نارینگان، ۱۳: ذاکری، ۱۴: نوده و ۱۵: سردار

## ۷-۶-۲- مقایسه کانسار منگنز سردار با کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی دنیا

کانسارهای منگنز رسوبی و آتشفشانی- رسوبی دنیا با یک دید کلی عمدتاً به سه دسته اصلی ذیل تقسیم می‌شوند.

- دسته اول کانسارهای موجود بر روی دگرشیبی‌ها بوده که در آنها معمولاً ماده معدنی در افق‌های تخریبی نظیر نیکوپل در جمهوری اکراین (وارنتسو، ۱۹۸۰؛ روی، ۱۹۸۱) و یا کربناته نظیر مراکش (وارنتسو، ۱۹۶۴) متمرکز شده است. این کانسارها از نظر میزان ذخیره و عیار دارای ارزش اقتصادی فوق العاده‌ای می‌باشند.
- دسته دوم کانسارهایی می‌باشند که با سازندهای آهن نواری همراهند مانند کانسارهای ناحیه کالاهاری، آفریقای جنوبی. این کانسارها از لحاظ سنی به پرکامبرین محدود بوده و در سپرهای

قدیمی یافت می‌شوند. کانسارهای فوق از لحاظ بزرگی ذخیره، دارای اهمیت اقتصادی زیادی می‌باشند.

- دسته سوم که از نظر توزیع جغرافیایی انتشار وسیعتری از دو دسته قبل دارند، کانسارهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی می‌باشند. این کانسارها با وجود گسترش وسیع، از لحاظ بزرگی ذخیره و ارزش اقتصادی در مقایسه با دو دسته قبلی موقعیت و جایگاه مناسبی ندارند. در این دسته، دو گروه متمایز را می‌توان از هم تشخیص داد: گروه اول کانسارهای همراه با سنگ‌های آتشفشانی بازیک وابسته به توده‌های افیولیتی و گروه دوم کانسارهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی فاقد ارتباط و وابستگی با توده‌های افیولیتی می‌باشند. گروه اول از دیدگاه سنی عمدتاً متعلق به اواخر مزوزوئیک می‌باشند در حالیکه گروه دوم توزیع زمانی وسیع تری دارند.

- کانسار منگنز سردار به دلیل قرارگیری در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن میانی-بالایی به راحتی از کانسارهای موجود بر روی دگرشیبی‌ها و نهشته‌های همراه با تشکیلات آهن نواری پرکامبرین متمایز می‌شود. همچنین به دلیل عدم وجود پهنه‌های افیولیتی در ناحیه کانسار به راحتی می‌توان جایگاه این کانسار را در دسته سوم نیز مشخص نمود. بنابراین کانسار منگنز مورد مطالعه بیشترین شباهت را با کانسارهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی غیر وابسته به پهنه‌های افیولیتی دانست.

- از جمله کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی دنیا می‌توان به کانسارهای منگنز منطقه ساردینیای ایتالیا و کانسار وانی یونان و کانسارهای آهن - منگنز تیپ Longban اروپا (سوئد، سوئیس و...) اشاره کرد که جهت اجمال فقط به کانسارهای اروپا اشاره می‌شود و کانسارهای ساردینیا و وانی در جدول مقایسه شده است.

کانسار منگنز سردار با کانسارهای تیپ Longban تشابهات و اختلافاتی دارد که:

- شباهت ها عبارتند از:
- پاراژنز کانیایی، در هر دو تیپ کانسار، شامل اکسیدهای آهن و منگنز است.
- سنگ میزبان، در هر دو نوع، شامل سنگهای کربناته است.
- در توالی کانه دار، در هر دو نوع کانه زایی، آثار ولکانیسم دیده می شود.
- منبع تامین کننده عناصر کانسار ساز، در هر دو، سیالات گرمابی در ارتباط با ولکانیسم همزمان با رسوبگذاری بوده است.
- نسبت Mn/Fe در رخساره رگه-رگچه ای کانسار منگنز سردار حدود ۱۱۰ است که تا حدودی با کانسارهای تیپ Longban که ۲۰۰ است، مشابهت دارد.
- مطالعات ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی، در هر دو کانسار آنومالی مثبت Eu نشان می دهند.
- اختلافات عبارتند از:
- لیتولوژیهای کربناته میزبان کانه زایی در تیپ Longban دچار دگرگونی و تبدیل به مرمر شده اند.
- کانسارهای تیپ Longban عمدتاً در عناصر As, Ba, Sb, W, V, Be غنی شدگی نشان می دهند.
- کانسارهای تیپ Longban از نظر سنی متعلق به پالئو پروتروزوئیک است در حالیکه کانسارهای مورد مطالعه سنی معادل ائوسن بالایی دارند.
- نوع ولکانیسم کانسارهای تیپ Longban فلسیک است ولی نوع ولکانیسم در کانسار منگنز سردار مافیک تا حدواسط می باشد.

جدول ۷-۳- مقایسه کانسار منگنز سردار با بعضی تیپهای مشابه در دنیا

کانسارهای تیپ لانگین اروپا	وانی (یونان)	ساردینیا (ایتالیا)	منگنز سردار	ویژگی های شاخص	
پشت کمانی	پشت کمانی	پشت کمانی	درون کمانی	محیط نکتونیک	
مرمر دولومیتی	ماسه سنگهای آتشفشانی تخریبی	کنگومرا	توف کربناته نومولیت دار، توف ماسه ای کربناته	بخش چینه سان	سنگهای میزبان و همراه
		گدازه های لاتیت، کمندیت و ریولیت	گدازه های اندزیتی تا بازالتی	بخش رگه- رگچه ای	
براونیت، هاسمانیت	کریپتوملان پیرولوژیت، هولاندیت رامسدلیت، و کرونادیت، پسیلوملان	پیرولوژیت، هولاندیت، منگانیت، تودوروکیت،	پیرولوژیت، منگانیت، پسیلوملان	بخش چینه سان	کانیهای معدنی
		پیرولوژیت، هولاندیت، کرونادیت، کریپتوملان	پیرولوژیت، براونیت، پسیلوملان	بخش رگه- رگچه ای	
هماتیت، مگنتیت، سیلیس	باریت، هماتیت، ژاکوسیت، فرانکلینیت	کلسیت، کانیهای رسی	هماتیت، اورتوز، مونت مورینیت	بخش چینه سان	کانیهای باطله
		کوارتز، اوپال، باریت	آلبیت، آنالسیم کلسیت،	بخش رگه- رگچه ای	
As, Sb, W, Mn, Ba, Pb	As, Sb, W, Mn, Ba, Pb, Zn	Mn .Fe .Cu .Hg	Mn, Cu, Fe	عناصر فلزی غنی شده	

## ۷-۷- پیشنهادات اکتشافی

از آنجایی که کارهای تحقیقاتی و اکتشافی خوب به یک گروه متخصص در زمینه سنگ شناسی رسوبی و رسوب شناسی، چینه و فسیل شناسی، زمین ساخت، پترولوژی در کنار یک زمین شناس اقتصادی بعلاوه داشتن امکانات آزمایشگاهی مطلوب و داخلی، نداشتن محدودیت های مالی و زمانی نیازمند است، لذا با انجام یک تحقیق در قالب پایان نامه با کمبود موارد فوق، تمام اطلاعات یک کانسار به دست نمی آید و انجام کارهای تکمیلی را می طلبد که به شرح ذیل پیشنهاد می گردد:

- انجام مطالعات ایزوتوپی  $O^{18}/O^{16}$  و D/H بر روی کانسنگ در کارهای بعدی، با توجه به اینکه مطالعات ایزوتوپی اطلاعات ارزشمندی در زمینه منشاء مواد معدنی و ژنز کانسارهای منگنز ارائه می دهند.

- با توجه به تکرار واحدها در محیطهای Eh-pH متناوب، پی جوئی و مطالعه واحدهای سنگی واقع

در این محیطها و مرزهای آنها در سایر قسمت‌های تاق‌دیس کاهک، جهت اکتشاف کانسارهای منگنز، مس و آهن پیشنهاد می‌گردد.

- با توجه به پوشیده بودن بخش بالایی واحدهای ائوسن توسط ضخامت زیادی از رسوبات کواترنری و تلماسه‌های بادی انجام اکتشافات ژئوفیزیکی با روش‌های ترکیبی مغناطیس‌سنجی و ثقل-سنجی برای یافتن کانی‌زایی‌های پنهان، پیشنهاد می‌گردد.

- با توجه به این‌که، تاق‌دیس کاهک ادامه نوار ماگمایی داورزن-عباس‌آباد است، لذا پی‌جویی و مطالعه سیستماتیک در مورد کانه‌زایی مس درون واحدهای آتشفشانی این پهنه پیشنهاد می‌گردد.

- با توجه به وجود اندیس‌های مس درون تخریبی‌های الیگوسن، مطالعه واحدهای سنگی مربوط به این زمان نیز پیشنهاد می‌گردد.

- با توجه به این‌که کانه‌زایی‌های منگنز در یک محیط کشتی درون کمانی ایجاد شده است، بنابراین این نوع محیطها در سایر نقاط ایران برای پی‌جویی کانسارهای مشابه پیشنهاد می‌شود.

- انجام عملیات معدنکاری بیشتر در کانسار سردار جهت پیگیری افق کانه‌دار، شناخت بیشتر کانسار در عمق و به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر از عمق و گسترش ماده معدنی .

- وجود دگرسانی کلریتی-کربناتی و آرژیلیتی می‌تواند به‌عنوان راهنمای خوبی برای اکتشاف کانسارهای منگنز در منطقه باشد.

## منابع

- ۱) احمدی، ع.، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد: "کانی شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره ای و ژنز کانسارهای آهن منگنردار جنوب شرق تربت حیدریه"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲) امامعلی پور، ع.، (۱۳۸۴)، "بررسی ژئوشیمی، کانی شناسی و منشأ کانسار منگنز صفو (جنوب باختر ماکو)،" نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران
- ۳) آقنابتی، س.ع.، (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی تهران، ایران.
- ۴) باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صادقیان، م.، (۱۳۹۲)، "ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی (REE) و خاستگاه کانسار منگنز- سلسیت بندقیچی در جنوب شاهرود"، سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۵) باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صادقیان، م.، (۱۳۹۲)، "کانه زایی منگنز- سلسیت برونومی در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن در منطقه ترود، جنوب شاهرود"، پنجمین همایش زمین شناسی اقتصادی ایران، مشهد.
- ۶) بنی آدم، ف.، فتوتی، و.، (۱۳۹۲)، گزارش زمین شناسی اقتصادی و دور سنجی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰: ۱ فرومد (زون داورزن- میامی)، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ایران.
- ۷) تقی زاده قورولی، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۱)، "کانسار منگنز ذاکری، نمونه ای از کانه زایی منگنز نوع برونومی در جنوب غرب سبزوار"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۸) حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴)، "الگوی رخداد کانه زایی منگنز سردار در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن در منطقه فرومد، شرق شاهرود"، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه دامغان.
- ۹) حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴)، "مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی و خاستگاه کانسار منگنز سردار در منطقه فرومد، شرق شاهرود"، کارگاههای آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- ۱۰) دولت خواه، ر.، راستاد، ا.، امامی، م.، (۱۳۸۴)، "کانه زایی منگنز لایه ای شکل گراب (تیپ کوبا) در واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن در شمال خاور طالقان (البرز مرکزی)", فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۴، دوره ۵۶، ۵۶.

ص ۴۰-۵۱.

۱۱) رادفرج، کهنسال، ر.، (۱۳۸۱)، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.

۱۲) رسولی، و.، مدبری، س.، علیپور، م.، (۱۳۸۹)، "ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز و نارچ"، پنجمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

۱۳) عشق آبادی، م.، (۱۳۸۲)، گزارش کنترل و معرفی نواحی امید بخش معدنی ورقه ۱۰۰۰۰۰ : ۱ داورزن، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ایران.

۱۴) فردوست، ف.، (۱۳۷۰)، پایان نامه ارشد: "مطالعه زمین شناسی و ژنز کانسار منگنز و نارچ قم"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.

۱۵) لطفی، م.، سجادی آل هاشم، س. ف.، امامی، ه. م.، (۱۳۹۱)، "زمین شناسی، کانه شناسی، ژئوشیمی و زایش معدن منگنز بزین، اردستان (استان اصفهان)"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۲، دوره ۸۸، ص ۷۵-۸۶.

۱۶) مسعودی، م.، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز بنسبرد در جنوب غرب سبزوار"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ایران.

۱۷) معانی جو، م.، نصیری، ع.، آلیانی، ف.، مستقیمی، م.، قلی پور، م.، مقصودی، ع.، (۱۳۹۴)، "مطالعه زمین شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در کانسار منگنز شهرستانک؛ رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار"، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۷، دوره ۱، ص ۱-۲۱.

۱۸) مقدسی، س. ج.، نگهبان، ی.، (۱۳۹۱)، "مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمی کانسنگ و سنگ میزبان کانسار منگنز رباط کریم"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۳، دوره ۲۱، ص ۶۷-۷۶.

۱۹) مهدوی، م.، یزدی، م.، امامی، ه. م.، (۱۳۹۳)، "کانی شناسی و ژئوشیمی کانسنگ و سنگ میزبان کانسار منگنز جلال (جنوب غربی قم)"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، شماره ۸، دوره ۲۷، ص ۱-۱۳.

۲۰) نصرالهی، ع.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۱)، "الگوی تشکیل کانسار منگنز نوده در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی، زیرپهنه سبزوار"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲۱) مصدق، م.، فردوست، ف.، صفری، ا.، (۱۳۹۳)، "مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب و خاستگاه کانسار منگنز هلالان، جنوب دامغان"، هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

## References

- 1) - Wauschkuhn, A., Ohnsmann, M., Momenzadeh, M., "Fe, Pb, Zn, and Ba occurrences in the Paleozoic rocks of the south Binalud mountains, NE- Iran".
- 2) - Zantop, H., (1981)." Trace elements in volcanogenic manganese oxides and Iron oxides". **Econ. Geol.** **76**. pp **545-555**.
- 3) Acharya, B.C., (1997). "Mineralogy, chemistry and genesis of Nishikhal manganese ores of south Orissa, India". **Mineralium Deposita**, **32,1**,pp**79-93**.
- 4) Adabi, M.H., Rao, C.P., (1991)," Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonates (Mozduran Formation),Sarakhs area, Iran". **Sedimentary Geology** ,**72**, pp**253-267**.
- 5) Barnes, H. L. (1979), "Geochemistry of hydrothermal ore deposits. John Wiley& Sones.
- 6) Barrett, T.J., Anderson, G.M., (1982), "The solubility of sphalerite and galena in NaCl brines" ,**Econ. Geol**, **77**, pp**1923–1933**.
- 7) Bodnar, R.J., (1983). "A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P–V–T–X properties on inclusion fluids". **Econ. Geol.** **78**, pp**535–542**.
- 8) Bonatti, E. (1972). "Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits". Ferromanganese deposits on the ocean floor, 149-166.
- 9) Boynton, W.V.,(1984). "Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies". In: P. Henderson (Editor), Rare earth element geochemistry. **Elsevier, California**, pp**63-114**.
- 10) Brookins, D. G. (2012). "Eh-pH diagrams for geochemistry". Springer Science & Business Media.
- 11) Choi, J. H., & Hariya, Y. (1992). "Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, northeastern Hokkaido, Japan".**Economic Geology**, **87,5**, pp **1265-1274**.
- 12) Crerare, D.A., (1982). "Manganiferoucherts of the Franciscan assemblage: In General geology,ancient and modern analogues, and implication for hydrothermal

- convection at ocean spreading centers". **Economic Geology**, **77**,**3**,pp**519-540**.
- 13) Cronan, D. S., (1980), " Underwater minerals", London. Academic press. P362.
- 14) Fleet, A.J., (1984). "Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earths".  
In:P.Henderson (Editor) Rare Earth Element Geochemistry. **Elsevier, Amsterdam**,pp**342-373**.
- 15) Force, E. R and William F. Cannon, (1988), "Depositional model for shallow marine manganese deposits around black shale basins",**Economic Geology**, **83**, pp**93-117**.
- 16) Ghasemi, H., & Rezaei-Kahkhaei, M. (2015). "Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran".**Mineralogy and Petrology**, **109**,**2**, pp**235-252**.
- 17) Glasby, G. P., Gwozdz, R., Kunzendorf, H., Friedrich, G., & Thijssen, T. (1987). "The distribution of rare earth and minor elements in manganese nodules and sediments from the equatorial and SW Pacific". **Lithos**, **202**, pp**97-113**.
- 18) Guilbert, J. M., & Park, C. F. (1986). "The geology of ore deposits" ,WH Freeman and Company. New York, 985.
- 19) Haas, J.L.,(1976). "Physical properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the H<sub>2</sub>O component in boiling NaCl solutions". **USGS Bull. 1421-A**, **73 p**.
- 20) Hedenquist, J.W., Henley, R.W.,(1985). "The importance of CO<sub>2</sub> on freezing point measurements of fluid inclusions; evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition". **Econ. Geol.** **80**,pp**1379–1406**.
- 21) Hein, J. R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F. T., Bau, M., Kang, J. K., & Lubick, N.(1997). "Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific", **Geological Society, London, Special Publications**, **119**,**1**,pp**123-138**.
- 22) Hewett, D.E. and Fleischer, M., (1960). "Deposits of manganese oxides", **Economic Geology**,**55**,pp**1-55**.
- 23) Holtstam, D. and Mansfeld, J., (2001). " Origin of a carbonate- hosted Fe-Mn-(Ba-As-Pb-Sb-W) deposit of Langban- type in central Sweden".**Mineralium Deposita**, **367**,pp **641-657**.

- 24) Jach, R., & Dudek, T. (2005). "Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krížna unit, Tatra Mountains, Poland". **Chemical Geology**, **224**,1, pp**136-152**.
- 25) Komuro, K., Agematsu, S., & Sashida, K. (2006). "Chemistry of Late Early Triassic Siliceous Claystone ('Toishi-type' Shale) from the Oritate Area, Sambosan Belt, Kyushu, Southwest Japan". **Resource Geology**, **564**, pp **447-455**.
- 26) Lagast, J., (2009) "Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from olkaria domes geothermal field, Kenya"
- 27) Maynard, J.B., (1983). "Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits". **Springer, New York**, pp **305**.
- 28) Milliman, J.D., (1974). "Marine Carbonates". **Springer-Verlag, New York**, pp **375**.
- 29) Morse, J.W., Mackenzie, F.T., (1990). "Geochemistry of Sedimentary Carbonates". **Elsevier, New York**, pp **707**.
- 30) Mücke, A., Dzigbodi-Adjimah, K., & Annor, A. (1999). "Mineralogy, petrography, geochemistry and genesis of the Paleoproterozoic Birimian manganese-formation of Nsuta/Ghana". **Mineralium Deposita**, **343**, pp **297-311**.
- 31) Nicholson, K. (1992). "Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland; indicators of paleo-ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary". **Economic Geology**, **87**,5, pp**1301-1309**.
- 32) Oksuz, N. (2011). "Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit, Turkey". **Journal of Rare Earths**, **29**,3, pp**287-296**.
- 33) Pearce, J.A., (1979) " The role of subcontinental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins In continental basalts and mantle xenoliths", C.S. Hawsworth and M.J. Norry (Eds). pp230- 249.
- 34) Pederson, T.F., and Price, N.B., (1982). "The geochemistry of manganese carbonate in Panama Basin Sediment" , **Geochim. Acta**, **46**, pp**56-68**.
- 35) Post, J.E., (1999). "Manganese oxide minerals: crystal structures and economic and environmental significance". **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA** ,**96**, pp**3447–3454**.

- 36) Rajabzadeh, M. A., Haddad, F., Polgári, M., Fintor, K., Walter, H., Molnár, Z., & Gyollai, I. (2017). "Investigation on the role of microorganisms in manganese mineralization from Abadeh-Tashk area, Fars Province, southwestern Iran by using petrographic and geochemical data". **Ore Geology Reviews**, **80**, pp229-249.
- 37) Roedder, E., (1984). "Fluid inclusions. Mineralogical Society of America". **Reviews in Mineralogy**, vol. **12**, pp 644.
- 38) Rollinson, H. R., (1993), "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation". Longman Scientific & Technical, 351 p.
- 39) Roy, S. (1968). "Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits". **Economic Geology**, **63**, pp760-786.
- 40) Roy, S. (2006). "Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the Earth system". **Earth-Science Reviews**, **77**, pp 273-305.
- 41) Roy, S., (1981). "Manganese Deposits". Academic Press, London, 485 pp.
- 42) Roy, S., (1992). "Environments and processes of manganese deposition". **Economic Geology**, **87**, pp1218-1236.
- 43) Roy, S., Bandopadhyay, P. C., Perseil, E. A., & Fukuoka, M. (1990). "Late diagenetic changes in manganese ores of the Upper Proterozoic Penganga Group, India". **Ore Geology Reviews**, **5**, pp341-357.
- 44) Sabatino, N. A. D. I. A., Neri, R. O. D. O. L. F. O., Bellanca, A. D. R. I. A. N. A., Jenkyns, H. C., Masetti, D., & Scopelliti, G. (2011). "Petrography and high-resolution geochemical records of Lower Jurassic manganese-rich deposits from Monte Mangart, Julian Alps". **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **299**, pp97-109.
- 45) Shelly, N., David, L.(1992). "igneous and metamorphic rocks the microscope: Classification Texture, microstructures and mineral preferred orientation", **chapman and hall publication**.
- 46) Shepherd, T.J., Ranbin, A.H., Alderton, D.H.M., (1985). "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies". **Blackie, Glasgow**, pp 239.
- 47) Stackelberg, V., (1997). "Growth history of manganese nodules and crusts of the

- Peru Basin". **Geological Society Publications, London**, pp119-153.
- 48) Sun SS, McDonough WF (1989). "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) Magmatism in the ocean basins", **Geological Society of London** **42**, pp313–345
- 49) Takahashi, Y., Manceau, A., Geoffroy, N., Marcus, M. A., & Usui, A. (2007). "Chemical and structural control of the partitioning of Co, Ce, and Pb in marine ferromanganese oxides". **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **714**, pp984-1008.
- 50) Toth. J. R. (1980). "Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron, Geol. Soc", **Am. Bull., Pt. I**, **91**, pp 44-54
- 51) Usui, A., & Someya, M. (1997). "Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific". **Geological Society, London, Special Publications**, **119,1**, pp177-198.
- 52) Varentsov, I. M., Veinmarn, A. B., & Rozhnov, A. A. (1993). "Geochemical Model of the Formation of Manganese Ores in the Famennian Rift Basin of Kazakhstan (Main Components, Rare Earths, and Trace Elements)", **Litol.Polezn. Iskop**, **28,3**, pp56-79.
- 53) Veizer, J., (1977). "Diagenesis of pre-Quaternary carbonates as indicated by tracer studies". **Journal of Sedimentary Petrology** **46**, pp565-581.
- 54) Wedepohl. K. H. (1980). "Geochemical behavior of manganese. in Varentsov. I. M. and Grassley. G. eds. Geology and geochemistry of manganese" **Stuttgart, Germany, Schweizerbart'sche Verlag**, **1**, pp335–351.
- 55) Wilkinson, J.J. (2001). "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits". **Lithos**, **55,1**, pp229-272.
- 56) Yeats, P. A., Sundby, B., & Bowers, J. M. (1979). "Manganese recycling in coastal waters". **Marine Chemistry**, **8,1**, pp43-55.
- 57) Zhang, H., Ding, L., Wang, X., Wang, L., Wang, Q., Xia, G., (2006). "Carbonate diagenesis controlled by glacioeustatic sea-level changes: a case study from the Carboniferous Permian boundary section at Xikou, China". **Journal of China Universal Geoscience**, **17,2**, pp103-114.

## Abstract:

The Foroumad(Sardar) manganese deposit is located in 190 km east of Shahrood and 8 km south of Foroumad village, within the Eocene volcano-sedimentary sequence and in the volcanic belt of north of the Central Iran zone. The major rock units exposed in the area include Eocene andesite, basalt, tuff, marl and limestone, and Oligo-Miocene clastic units, that extends as an E-W trending anticline. The mineralization occurred in a specific ore horizon within the Upper Eocene Nummulitic tuffaceous Limestone. Two ore facies are observed in the deposit: (1) The lower facies (stringer zone) within volcanic rocks and limestone as veins-veinlets, brecciated, open-space fillings, and disseminated that ore minerals include pyrolusite, psylomelane, braunite, pyrite, barite and (2) the upper facies (stratiform zone) as layered and lenticular, within Nummulitic limestones and parallel and concordant with them and extends through more than 1 km as banded, laminated and disseminated that ore minerals include pyrolusite, psylomelane, manganite. Secondary mineral includes chalcocite, native Copper, malachite, some of Mn and Fe Oxides. The stratiform zone is minable. Major alteration at Sardar manganese ore deposit include chloritic-carbonate within footwall volcanic rocks and argillic alteration is surface. Fluid inclusion studies on calcite in silicic-carbonate vein within stringer zone show that homogenization temperature and salinity of ore-forming fluids are 212-233<sup>0</sup>C, 0.5-2.13% wt NaCl respectively. Based on SEM-EDS, XRD and mineralogical studies, the ore deposit contains pyrolusite, psylomelane, manganite in stratiform zone and pyrolusite, psylomelane, braunite in stringer zone and gangue minerals include calcite, chlorite, barite, pyrite, clay minerals and quartz. High ratios of Mn/Fe, La/Ce, U/Th, and Si/Al and low content of trace metals, except of Cu; and high values of SiO<sub>2</sub>, Mn and Fe in the ores, are evidences of manganese deposition from hydrothermal-exhalative fluids in submarine environment and are separation of Fe from Mn. Positive Eu anomaly in the stringer zone indicates high concentration of Mn primarily in reduced environment and negative Eu anomaly in the stratiform zone indicates deposition Manganese in oxides environment. The role of diagenetic process in formation of this deposit has been significant. The REE pattern of the studied ores shows a hydrothermal-exhalative origin and oxidized depositional marine environment for the stratiform deposit. The Sardar deposit, based on many characteristics such as geometry, host and associated rock, textures and structures, mineralogy, alteration and geochemistry, shows the most similarities to the Intra-arc sedimentary-Exhalative deposits.

Key words: Manganese, Eocene, sedimentary-Exhalative, intra-arc extensional basin, Foroumad.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth sciences

M.Sc. Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Foroumad manganese  
deposit, east of Shahrood**

**Seyed Ruhollah Hoseini**

Supervisor

**Dr. Fardin Mousivand**

**February 2017**