

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

موضوع

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ذاکری، جنوب‌غرب

سبزوار

نگارش:

سمیه تقی زاده قورولی

استاد راهنما:

دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور:

دکتر حبیب‌الله قاسمی

تابستان ۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۱۱۹۵۵

تاریخ: ۹۳/۴/۲۹

ویرایش:

### فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه تقی زاده قورولی، رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار که در تاریخ ۹۳/۴/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> عالی (با درجه: عالی - امتیاز ۱۹.۲۶)
--------------------------------	------------------------------------	---

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- فابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	فردین موسیوند	۱- استاد راهنما
	دانشیار	حبیب الله قاسمی	۲- استاد مشاور
	استادیار	افشین قشلاقی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	فرج الله فردوست	۴- استاد ممتحن
	استادیار	مسعود غیبوری	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده: پرویز امیدی


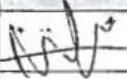
پیوست شماره ۲


دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم  
گروه : زمین شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه تقی زاده قورولی  
تحت عنوان: کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار

در تاریخ ۹۳/۴/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه .....  
مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : حبیب الله قاسمی		نام و نام خانوادگی : فردین موسیوند
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : افشین قشلاقی		نام و نام خانوادگی : فرج الله فردوست
			نام و نام خانوادگی : مسعود علیپور
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :



تقدیم بہ:

روح پاک پدرم کہ عالمانہ بہ من آموخت تا چگونہ در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم

و بہ مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و وجودش برایم ہمہ مہر

## تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش بر خدای جل و جلاله، که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، در فشان. آفریدگاری که خویش را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. سپاس بی کران پروردگاری که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش را، نمونه‌ان شده به، به‌نشیننی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌ان ساخت. خدای را شاکرم از اینکه به من توان داد تا بتوانم گامی کوچک در مسیر علم بردارم. سپاس او را که قدرت و عظمتش در ذره ذره عالم نهفته است. او که طبیعت را در کوشناخت خود برای ما خلق کرد و گفت بگردید در زمین و در آن تعقل کنید.

از استاد با کالات و شایسته، جناب آقای دکتر فریدین موسوند که در کمال سع صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راه‌نمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و باتقوا، جناب آقای دکتر حبیب الله قاسمی، که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند؛ و از استادان فرزانه و دل‌سوز دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود، به خصوص جناب آقایان دکتر علیپور، فردوست، قشلاقی، صادق‌ان، طاهرسی و بهمنین مؤلان دانشکده علوم زمین خانم مهندس فارسی و سعیدی و آقای مهندس میرباقری و بهمنین مهندس خانعلیزاده کمال مشکر و قدردانی را دارم. بهمنین از سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) که حمایت مالی این رساله را متقبل شدند سپاسگذارم.

از ماد دل‌سوز و فداکارم، خواهر مهربانم و خواهرزاده‌های عزیزم و بهمنین برادران زحمت کشم که هرچه دارم از آنهاست؛ و آنها همواره در طول تحصیل، متعل زحمت‌آم بوده و تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان همیشه مایه دلگرمی من می‌باشد و رسیدن به تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی‌م، بدون حضور سبز آنهاست مشکر ویژه می‌نمایم. در نهایت همیشه قدردان زحمت دوستانم حسن نژاد، باقرزاده، و کیلی، نصرالهی، نجفی، محمدزاده و صمدزاده می‌باشم.

سمیه تقی زاده تیرماه ۱۳۹۳

به امید آنکه توفیق یابم جز خدمت به خلق خداوند نکوشم.

# تعهد نامه

اینجانب سمیه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار. تحت راهنمایی 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 افزارها 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 فارسی

کانسار منگنز ذاکری در ۹۵ کیلومتری جنوب غرب سبزوار، در زیرپهنه زمین ساختی سبزوار قرار داشته و در بخش بالایی توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی رخ داده است. این توالی، میزبان دو افق کنه‌دار می‌باشد که افق زیرین با سنگ میزبان توف قرمز و افق بالایی با سنگ میزبان توف کربناتی و سنگ آهک است. کانسار منگنز ذاکری از جمله کانسارهای موجود در افق بالایی می‌باشد. در کانسار منگنز ذاکری بر اساس ساخت و بافت، کانی‌شناسی و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان می‌توان چهار رخساره رگه-رگچه‌ای (استرینگر)، برشی، توده‌ای و لایه‌ای را از هم تشخیص داد. رخساره‌های برشی و توده‌ای دارای بیشترین ضخامت و عیار بوده و قابلیت استخراج و بهره‌برداری دارد. این کانسار بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، پراش پرتو ایکس (XRD) و الکترون میکروپروب (EPMA)، حاوی کانی‌های معدنی پیرولوویت، پسیلوملان، هولاندیت، منگنیت، تودوروکیت، رودوکروویت و براونیت و کانی‌های باطله کلسیت، کلریت، کانیه‌های رسی و کوارتز می‌باشد. دگرسانی‌های غالب در کانسار منگنز ذاکری شامل کلریتی- کربناتی، آرژیلیتی و سیلیسی می‌باشند. دگرسانی‌های آرژیلیتی و سیلیسی بیشتر در رخساره‌های رگه-رگچه‌ای و برشی دیده می‌شود و توسط دگرسانی کلریتی- کربناتی احاطه شده‌اند. بافت‌های مواد معدنی در این کانسار بیشتر شامل توده‌ای، نواری، برشی، دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی و جانشینی می‌باشند. بررسی آثار فسیلی در مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهند که کانسار در محیط عمیق و آرام تشکیل شده است. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، سنگ‌های آذرین موجود در منطقه، بیشتر ماهیت تولییتی داشته و دارای ترکیب داسیتی، آندزیتی و آندزی بازالتی می‌باشند که در یک محیط پشت کمانی نهشته شده‌اند. بالا بودن نسبت‌های  $U/Th$ ،  $La/Ce$ ،  $Mn/Fe$  و  $Si/Al$ ، پایین بودن نسبت  $Co/Zn$  و مقادیر فلزات کمیاب بویژه فلزات  $Co$ ،  $Cu$  و  $Ni$ ، پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی (REE) (به‌ویژه  $Ce$  و  $Eu$ ) و بالا بودن مقادیر  $SiO_2$ ،  $Mn$  و  $Fe$  در کانسنگ، به عنوان شواهدی از ته‌نشست منگنز از سیالات گرمابی- برون‌دمی در یک محیط دریایی هستند. به‌عبارت دیگر نقش فرآیندهای آزاد در پیدایش این کانسار ناچیز بوده است. بررسی الگوی REE در مواد معدنی، نشانگر خاستگاه گرمابی- برون‌دمی و اکسیدان بودن محیط دریایی ته‌نشست این کانسار است. کانسار ذاکری بر اساس مقایسه آن با انواع مختلف کانسارهای آتشفشانی- رسوبی منگنز، از جهات بسیاری از ویژگی‌ها از جمله ژئومتری سنگ‌های میزبان و همراه، بافت و ساخت، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع کوبا نشان می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** منگنز، آتشفشانی- رسوبی، تیپ کوبا، کرتاسه پسین، ذاکری، جنوب غرب سبزوار

## مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- تقی‌زاده قورولی، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۱)، "کانسار منگنز ذاکری، نمونه‌ای از کانه‌زایی منگنز نوع برون‌دمی در جنوب غرب سبزوار" سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲- تقی‌زاده قورولی، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۲)، "مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی (REE) و خاستگاه کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار" سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۱-۱-۱-۱	مقدمه..... ۲
۲-۱-۱-۲	موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۲
۳-۱-۱-۳	شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه..... ۲
۴-۱-۱-۴	وضعیت معیشتی..... ۴
۵-۱-۱-۵	زمین ریخت شناسی..... ۴
۶-۱-۱-۶	مطالعات انجام شده قبلی..... ۵
۷-۱-۱-۷	طرح مسئله ، اهمیت موضوع و هدف از مطالعه..... ۵
۸-۱-۱-۸	روش مطالعه..... ۶
۱-۸-۱-۱-۸-۱	مطالعه منابع و گرد آوری اطلاعات..... ۶
۲-۸-۱-۱-۸-۲	مطالعات صحرایی..... ۶
۳-۸-۱-۱-۸-۳	مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی..... ۷
۴-۸-۱-۱-۸-۴	مطالعات دفتری و تجزیه و تحلیل دادهها و نگارش پایان نامه ..... ۷
۹-۱-۱-۸-۹	رده بندی کانسارهای منگنز ایران..... ۸
	<b>فصل دوم: زمین شناسی ناحیه ای</b>
۱-۲-۱-۱-۲	مقدمه..... ۱۲
۲-۲-۱-۲-۲	ویژگی های ساختاری- تکتونیکی پهنه سبزوار..... ۱۳
۳-۲-۱-۲-۳	زمین شناسی..... ۱۸
۱-۳-۲-۱-۳-۱	پرمین Pz..... ۱۸
۲-۳-۲-۱-۳-۲	تریاس TRS..... ۱۸
۳-۳-۲-۱-۳-۳	کرتاسه پیشین..... ۱۸
۴-۳-۲-۱-۳-۴	کرتاسه پسین..... ۲۰
۱-۴-۳-۲-۱-۳-۵	بخش افیولیتی..... ۲۱
۲-۴-۳-۲-۱-۳-۶	توالی سنگهای بخش آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین..... ۲۲
۵-۳-۲-۱-۳-۷	پالئوسن..... ۲۵
۶-۳-۲-۱-۳-۸	ائوسن..... ۲۵
۷-۳-۲-۱-۳-۹	میوسن..... ۲۵
۸-۳-۲-۱-۳-۱۰	کواترنری..... ۲۵

۲۵	۴-۲-۴-۲ ماگماتیسیم.....
۲۷	۵-۲-۵-۲ تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی.....
۲۸	۱-۵-۲-۱ سیستم گسل خوردگی‌ها و چین‌ها.....
۲۹	۶-۲-۶-۲ زمین‌شناسی اقتصادی.....
۲۹	۱-۶-۲-۱-۱ منگنز.....
۲۹	۲-۶-۲-۲ مس.....
۳۰	۳-۶-۲-۳ سولفات سدیم.....
۳۰	۴-۶-۲-۴ سنگ ساختمانی.....
۳۰	۵-۶-۲-۵ گل سرشور.....

### فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

۳۲	۱-۳-۱ مقدمه.....
۳۲	۲-۳-۲ چین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه.....
۳۲	۱-۲-۳-۱ واحد اصلی ۱.....
۳۳	۲-۲-۳-۲ واحد اصلی ۲.....
۳۴	۳-۲-۳-۳ واحد ۳.....
۳۴	۴-۲-۳-۴ واحد ۴.....
۳۴	۱-۴-۲-۳-۱ آهک نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار.....
۳۷	۲-۴-۲-۳-۲ توف، آندزیت، توف‌برش، ماسه سنگ توفی.....
۴۵	۳-۳-۳-۳ ماگماتیسیم در منطقه.....
۴۶	۱-۳-۳-۴ داسیت.....
۴۷	۲-۳-۳-۵ آندزیت.....
۴۹	۴-۳-۴-۴ زمین‌شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه.....
۴۹	۱-۴-۳-۱ چین خوردگی‌ها.....
۴۹	۲-۴-۳-۲ گسل‌ها.....

### فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۵۲	۱-۴-۱ مقدمه.....
۵۲	۲-۴-۲ رخدادهای کانه‌زایی در ناحیه جنوب‌غرب سبزوار.....
۵۴	۳-۴-۳ افق دوم کانه‌زایی منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه بالایی جنوب‌غرب سبزوار.....
۵۵	۱-۳-۴-۱ ویژگی‌های کانه‌زایی منگنز در کانسار ذاکری I و رخساره‌های کانه‌دار در آن.....
۶۰	۲-۳-۴-۲ کانه‌زایی منگنز در کانسار ذاکری II.....
۶۱	۳-۳-۴-۳ کانه‌زایی منگنز در کانسار چشمه سفید.....
۶۳	۴-۳-۴-۴ کانه‌زایی منگنز در اندیس معدنی دانایی.....

- ۶۳..... ۴-۴-۴ دگرسانی.....
- ۶۴..... ۱-۴-۴ دگرسانی کلریتی-کربناتی.....
- ۶۷..... ۲-۴-۴ دگرسانی سیلیسی.....
- ۶۹..... ۴-۴-۴ دگرسانی آرژیلیتی.....
- ۷۳..... ۵-۴-۴ دگرسانی سریسیتی.....
- ۷۳..... ۵-۴-۴ پهنه بندی دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری.....

### فصل پنجم ساخت، بافت، کانی شناسی و توالی پاراژنتیک کانی ها

- ۷۶..... ۱-۵-۱ مقدمه.....
- ۷۶..... ۲-۵-۲ بافت و ساخت کانسنگ.....
- ۷۷..... ۱-۲-۵ بافت نواری و لامینه.....
- ۷۸..... ۲-۲-۵ بافت برشی.....
- ۷۸..... ۳-۲-۵ بافت توده‌ای.....
- ۷۹..... ۴-۲-۵ بافت دانه پراکنده.....
- ۸۰..... ۵-۲-۵ بافت کلوئیدی متحدالمرکز (بوتروئیدال).....
- ۸۱..... ۶-۲-۵ بافت پرکننده فضای خالی.....
- ۸۲..... ۷-۲-۵ بافت برجای مانده.....
- ۸۲..... ۸-۲-۵ بافت جانشینی.....
- ۸۴..... ۳-۵-۳ کانی شناسی و پاراژنز.....
- ۸۴..... ۱-۳-۵-۱ کانی های منگنز.....
- ۸۶..... ۱-۱-۳-۵-۱ پیرولولوزیت  $\beta\text{-MnO}_2$ .....
- ۸۷..... ۲-۱-۳-۵-۲ پسیلوملان (رومنشیت)  $(\text{Ba,K,Mn}^{+2},\text{Co})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}\cdot\text{XH}_2\text{O}$ .....
- ۸۹..... ۳-۱-۳-۵-۳ منگانیت  $\gamma\text{-MnO(OH)}$ .....
- ۹۱..... ۴-۱-۳-۵-۴ هولاندیت  $(\text{Ba, K})_{1-2}(\text{Mn}^{+2},\text{Mn}^{+4})_8\text{O}_{16}\cdot\text{XH}_2\text{O}$ .....
- ۹۲..... ۵-۱-۳-۵-۵ تودوروکیت  $(\text{Na, Ca, K})(\text{Mn}^{+2},\text{Mg})\text{Mn}^{+4}\text{O}_{12}\cdot\text{XH}_2\text{O}$ .....
- ۹۲..... ۶-۱-۳-۵-۶ رودوکروزیت  $\text{MnCO}_3$ .....
- ۹۳..... ۷-۱-۳-۵-۷ براونیت  $\text{Mn}^{+2},\text{Mn}^{6+}_3\text{O}_8(\text{SiO}_4)$ .....
- ۹۴..... ۲-۳-۵-۲ کانی های باطله.....
- ۹۴..... ۱-۲-۳-۵-۱ کلسیت.....
- ۹۵..... ۲-۲-۳-۵-۲ کوارتز.....
- ۹۷..... ۳-۲-۳-۵-۳ کلریت.....
- ۹۷..... ۴-۲-۳-۵-۴ کانی های رسی.....
- ۹۸..... ۴-۵-۴ توالی پاراژنتیک کانی ها.....



## فصل ششم: ژئوشیمی

۱۰۲	۱-۶-۱ مقدمه.....
۱۰۲	۲-۶-۲ خصوصیات منگنز.....
۱۰۲	۱-۲-۶-۱ ویژگی های فیزیکی.....
۱۰۳	۲-۲-۶-۲ ویژگی های شیمیایی.....
۱۰۹	۳-۶-۳ روش کار.....
۱۱۱	۴-۶-۴ ژئوشیمی سنگ های آذرین.....
۱۱۲	۱-۴-۶-۱ طبقه بندی و تعیین ترکیب شیمیایی سنگ های آذرین.....
۱۱۴	۵-۶-۵ تعیین محیط تکتونیکی سنگ های آذرین.....
۱۱۷	۶-۶-۶ ژئوشیمی کانسنگ.....
۱۱۷	۱-۶-۶-۱ نسبت Mn/Fe.....
۱۲۱	۲-۶-۶-۲ نمودار Si/Al.....
۱۲۲	۳-۶-۶-۳ نمودارهای عناصر کمیاب (Trace elements).....
۱۲۲	۱-۳-۶-۶-۱ نسبت Co/Zn.....
۱۲۳	۲-۳-۶-۶-۲ نمودار Co-Ni-Zn.....
۱۲۴	۳-۳-۶-۶-۳ نمودار Co/Zn - Co+Ni+Cu.....
۱۲۵	۴-۳-۶-۶-۴ نمودار Pb/Zn.....
۱۲۶	۵-۳-۶-۶-۵ نمودار Fe- Mn- (Ni+ Co+ Cu)×10.....
۱۲۸	۶-۳-۶-۶-۶ نسبت U/Th.....
۱۲۹	۷-۶-۷ ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE).....
	۱-۷-۶-۱ الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی در کانسارهای منگنز ذاکری I، چشمه سفید، ذاکری II و اندیس معدنی دانایی.....
۱۳۱	۲-۷-۶-۲ الگوی REE و نمودارهای چند عنصری در سنگ های آذرین.....
۱۳۷	۱-۷-۶-۱ نمودار La/Ce.....
۱۳۸	۸-۶-۸ بررسی تغییرات و همبستگی عناصر.....

## فصل هفتم: الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی، نتیجه گیری و پیشنهادات اکتشافی

۱۴۶	۱-۷-۱ مقدمه.....
۱۴۶	۲-۷-۲ شواهد ژنتیکی مهم.....
۱۴۶	۱-۲-۷-۱ محیط تکتونیکی تشکیل.....
۱۴۷	۲-۲-۷-۲ محیط زمین شناسی ته نشست.....
۱۴۷	۳-۲-۷-۳ سنگ میزبان و سنگ های همراه.....
۱۴۷	۴-۲-۷-۴ شکل هندسی و ساخت و بافت ماده معدنی.....

- ۱۴۷.....۵-۲-۷-کانی شناسی.....
- ۱۴۸.....۶-۲-۷-دگرسانی ها و منطقه بندی آنها.....
- ۱۴۸.....۷-۲-۷-شواهد ژئوشیمیایی.....
- ۱۴۹.....۳-۷-رده بندی کانسارهای منگنز.....
- ۱۴۹.....۱-۳-۷-رده بندی نیکلسون (b۱۹۹۲).....
- ۱۴۹.....۴-۷-ارائه مدل ژنتیکی کانسار منگنز ذاکری I.....
- ۱۴۹.....۱-۴-۷-منشأ عناصر کانه ساز.....
- ۱۵۱.....۲-۴-۷-منشأ سیال کانه ساز.....
- ۱۵۲.....۳-۴-۷-مدل ژنتیکی و شیوه تشکیل کانسار منگنز ذاکری I.....
- ۱۵۵.....۵-۷-بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی جنوب غرب سبزوار و جایگاه نهشته های منگنز و مس در.....
- ۱۵۸.....۶-۷-تیپ کانه زایی.....
- ۱۵۸.....۱-۶-۷-مقایسه کانسار منگنز ذاکری I با کانسارهای شاخص آتشفشانی- رسوبی منگنز دنیا بر اساس تقسیم بندی موسیر و پیچ (۱۹۸۸).....
- ۱۶۱.....۱-۱-۶-۷-مقایسه کانه زایی منگنز ذاکری I با نوع کوبا.....
- ۱۶۲.....۲-۶-۷-مقایسه با کانسارهای شاخص آتشفشانی- رسوبی ایران.....
- ۱۶۲.....۱-۲-۶-۷-کانسار منگنز و نارچ قم.....
- ۱۶۳.....۲-۲-۶-۷-کانسار منگنز گراب.....
- ۱۶۵.....۷-۷-توزیع زمانی و مکانی کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران.....
- ۱۶۷.....۸-۷-پیشنهادات اکتشافی.....
- ۱۶۹.....منابع.....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت کانسار منگنز ذاکری و راه دسترسی به آن..... ۳
- شکل ۱-۲- نمایی از زمین‌ریخت‌شناسی منطقه..... ۴
- شکل ۱-۲- جایگاه پهنه سبزوار در خرده قاره ایران ..... ۱۲
- شکل ۲-۲- موقعیت کانسار منگنز ذاکری و منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری سبزوار در ایران مرکزی..... ۱۳
- شکل ۳-۲- نقشه تکتونیکی ساده شده، که مهمترین صفحات تکتونیکی ایران را نشان می‌دهد..... ۱۴
- شکل ۴-۲- مدل پالئوتکتونیکی سیر تکامل پهنه سبزوار از کرتاسه تا ائوسن (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۱۵
- شکل ۵-۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه سبزوار..... ۱۷
- شکل ۶-۲- تلفیقی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین و ششتمد ..... ۱۹
- شکل ۷-۲- ستون چینه‌شناسی ناحیه‌ای از واحدهای سنگی موجود در جنوب غرب سبزوار دارین..... ۲۱
- شکل ۸-۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین..... ۲۲
- شکل ۹-۲- تصویر ماهواره Land sat 7 از منطقه جنوب غرب سبزوار و موقعیت کانسار ذاکری I، چشمه سفید، دانایی ذاکری II در واحد آتشفشانی- رسوبی  $K_2^{VTS}$  و موقعیت برخی چین خوردگی‌ها و گسل‌های مهم در منطقه..... ۲۸
- شکل ۱-۳- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی کرتاسه..... ۳۳
- شکل ۲-۳- نمایی از آهک‌های پلاژیک که ارتفاعات منطقه جنوب غرب سبزوار را می‌سازند..... ۳۴
- شکل ۳-۳- الف) نمایی نزدیک از آهک‌های پلاژیک نازک لایه که در منطقه معدنی رخنمون دارند. ب) تصویر میکروسکوپی از حضور میکروفسیل‌های (Mf) کلسیتی در آهک‌های پلاژیک در منطقه..... ۳۵
- شکل ۴-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی و موقعیت کانسار منگنز ذاکری در آن..... ۳۷
- شکل ۵-۳- تغییرات رخساره‌ای جانبی و تغییر در ستون چینه‌شناسی میزبان کانسارهای منگنز منطقه جنوب غرب سبزوار..... ۳۸
- شکل ۶-۳- نمایی از توف‌های سبز زیتونی با میان‌لایه‌هایی از آهک پلاژیک سفید (دید به سمت شمال غرب)..... ۳۹
- شکل ۷-۳- الف: نمونه دستی از توف‌های سبز زیتونی در منطقه که از دانه‌های تقریباً هم‌اندازه تشکیل شده است، ب: مقطع میکروسکوپی از توف سبز زیتونی که از بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه توفی تشکیل شده است..... ۳۹
- شکل ۸-۳- نمایی از توف‌های کربناتی میزبان افق کانه‌دار..... ۴۰
- شکل ۹-۳- الف: نمونه دستی از توف کربناتی میزبان که منگنز به صورت پراکنده در متن سنگ حضور دارد ب: مقطع میکروسکوپی از این واحد که دارای کلسیت (Ca)، کوارتز (Qt)، قطعات لیتیک (L) و میکروفسیل (Mf) در یک زمینه شیشه‌ای می‌باشد..... ۴۱
- شکل ۱۰-۳- الف: نمونه دستی از توف سبز ب: مقطع میکروسکوپی از توف سبز که دارای بلورهای فراوان (Cty) می‌باشد و به نام توف بلور نامیده می‌شود. حالت جریانی در این توف کاملاً مشهود است..... ۴۲
- شکل ۱۱-۳- نمایی از عدسی‌های آهک پلاژیک داخل توف‌های سبز و قرمز که در کمر بالای کانسار قرار گرفته ..... ۴۲
- شکل ۱۲-۳- نقشه نمادین از معدن منگنز ذاکری که عدسی منگنز در داخل آهک‌های و توف‌های قرمز قرار دارد..... ۴۳

- شکل ۳-۱۳- الف) کمر بالا و کمر پایین افق کانه‌دار و آهک و توف قرمز که میزبان عدسی منگن‌دار در معدن ذاکری می‌باشد (ب) عدسی‌های چرتی در کمرپایین افق کانه‌دار..... ۴۴
- شکل ۳-۱۴- الف) نمایی از واحد آهک‌های پلاژیک قرمز در کمر بالای افق کانه‌دار و (ب) تصویر میکروسکوپی از آهک‌های پلاژیک قرمز که حاوی فسیل‌های (Mf) فراوان می‌باشد..... ۴۴
- شکل ۳-۱۵- الف) نمونه‌ای از قطعات ولکانیکی در داخل واحد آهک‌های پلاژیک، (ب) تصویری از عدسی‌های چرتی در داخل آهک‌های پلاژیک..... ۴۵
- شکل ۳-۱۶- عدسی‌های چرتی که رنگ قرمز آن‌ها نشان دهنده اکسیدان بودن محیط می‌باشد..... ۴۵
- شکل ۳-۱۷- نمایی از داسیت‌های نخودی رنگ (دید به سمت شرق)..... ۴۶
- شکل ۳-۱۸- مقطع میکروسکوپی از داسیت‌های منطقه..... ۴۷
- شکل ۳-۱۹- نمایی از آندزیت‌های منطقه که شیب لایه‌ها به سمت جنوب‌غرب می‌باشد..... ۴۸
- شکل ۳-۲۰- مقطع میکروسکوپی از آندزیت..... ۴۸
- شکل ۳-۲۱- الف) نمایی از آهک‌های پلاژیک چین خورده در معدن و (ب) نمایی از چین خوردگی‌های توف‌های میزبان..... ۵۰
- شکل ۴-۱- ستون چینه‌شناسی از واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه مورد مطالعه در جنوب‌غرب سبزوار..... ۵۳
- شکل ۴-۲- تصویر ماهواره‌ای از منطقه جنوب‌غرب سبزوار و موقعیت کانسارها و اندیس‌های منگن‌در آن..... ۵۴
- شکل ۴-۳- نقشه زمین‌شناسی از ناودیس ناحیه‌ای و موقعیت کانسارها و اندیس‌های منگن در آن..... ۵۵
- شکل ۴-۴- نمایی نمادین از ژئومتری عدسی شکل و رخساره‌های چهارگانه کانه‌دار در آن..... ۵۶
- شکل ۴-۵- نمایی از رخساره رگه- رگچه‌ای در سنگ‌های آتشفشانی کمرپایین. (ب، ج) نمونه دستی از رگچه‌های سیلیسی در رخساره رگه- رگچه‌ای..... ۵۷
- شکل ۴-۶- الف) نمایی از رخساره برشی در زیر کانسنگ توده‌ای. (ب، ج) نمونه دستی از رخساره برشی که در آن کانی‌های منگن (مشکی) در داخل سنگ میزبان دگرسان شده قرار گرفته‌اند..... ۵۸
- شکل ۴-۷- الف) نمایی از رخساره توده‌ای (بخش پرعیار معدن) به شکل عدسی (ب) نمونه دستی از آن..... ۵۸
- شکل ۴-۸- نمایی از رخساره لایه‌ای..... ۶۰
- شکل ۴-۹- نمایی از توالی آتشفشانی- رسوبی و واحد کانه‌دار در معدن منگن ذاکری II (دید به سمت شمال‌غرب)..... ۶۱
- شکل ۴-۱۰- مقطع عرضی از واحدهای سنگی معدن ذاکری II و موقعیت افق کانه‌دار در آن..... ۶۱
- شکل ۴-۱۱- نمایی از واحدهای آتشفشانی- رسوبی و افق..... ۶۲
- شکل ۴-۱۲- مقطع عرضی از واحدهای سنگی معدن منگن چشمه سفید و موقعیت افق کانه‌دار در آن..... ۶۲
- شکل ۴-۱۳- نمایی از واحدهای میزبان و افق کانه‌دار در اندیس معدنی دانایی (دید به سمت شمال‌غرب)..... ۶۳
- شکل ۴-۱۴- نمایی از دگرسانی کلریتی- کربناتی و آرژیلیتی در کانسار..... ۶۵
- شکل ۴-۱۵- تصاویری از دگرسانی کلریتی و کربناتی در کانسار منگن ذاکری..... ۶۶
- شکل ۴-۱۶- دگرسانی سیلیسی در کانسار منگن ذاکری..... ۶۸
- شکل ۴-۱۷- نمایی از دگرسانی آرژیلیکی و سیلیسی در کمرپایین کانسار منگن ذاکری (دید به سمت شمال‌شرق)..... ۶۹
- شکل ۴-۱۸- الف) دگرسانی آرژیلیکی در کانسار منگن ذاکری..... ۷۰

شکل ۴-۱۹- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های رسی در آن قابل مشاهده است..... ۷۱

شکل ۴-۲۰- مقطع شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری A..... ۷۴

شکل ۵-۱- نمایشی از بافت لامینه و نواری در کانسنگ منگنز ذاکری..... ۷۷

شکل ۵-۲- نمایشی از بافت لامینه..... ۷۷

شکل ۵-۳- نمایشی از بافت برشی منگنز در رخساره برشی..... ۷۸

شکل ۵-۴- نمایشی از بافت کانسنگ توده‌ای..... ۷۹

شکل ۵-۵- نمونه‌ای از بافت پراکنده..... ۷۹

شکل ۵-۶- تصویر میکروسکوپی از بافت کلونیدی..... ۸۰

شکل ۵-۷- نمونه‌ای از بافت پرکننده فضای خالی..... ۸۱

شکل ۵-۸- تصویر میکروسکوپی (BSE) از بافت بر جای مانده..... ۸۳

شکل ۵-۱۰- تصاویر میکروسکوپی (BSE) از کانی پیرولولوزیت..... ۸۸

شکل ۵-۱۱- الف) پیرولولوزیت با بافت دندریتی ب) کانی پسیلوملان با بافت سوزنی ج) بافت توده‌ای از پسیلوملان..... ۸۹

شکل ۵-۱۲- تصاویر میکروسکوپی از کانی پسیلوملان: الف و ب) با بافت بوتروئیدال (کلوفرمی) ج و د) بافت بوتروئیدال پسیلوملان همراه با هولاندیت..... ۹۰

شکل ۵-۱۳- تصاویر میکروسکوپی از پسیلوملان با بافت پرکننده فضای خالی که پسیلوملان فضاهای خالی و همچنین قالب فسیل‌ها را پر کرده است..... ۹۰

شکل ۵-۱۴- تصاویر میکروسکوپی (BSE) از هولاندیت (Hol) الف) با بافت بوتروئیدال ب) تصویر میکروسکوپی آن..... ۹۱

شکل ۵-۱۵- تصاویر میکروسکوپی (BSE) از کانی تودوروکیت (Td) با بافت جانشینی..... ۹۲

شکل ۵-۱۶- تصویر میکروسکوپی (BSE) از کانی رودوکروزیت (Rd) که از حاشیه به تودوروکیت (Td) تبدیل شده است..... ۹۳

شکل ۵-۱۷- تصویر میکروسکوپی (BSE) از کانی براونیت (Br) که دارای بافت بلوکی است..... ۹۴

شکل ۵-۱۸- کلسیت به‌عنوان کانی باطله: الف و ب) در نمونه دستی و ج) در تصویر میکروسکوپی..... ۹۵

شکل ۵-۱۹- کوارتز به‌عنوان کانه باطله: الف) رگه کوارتز همراه با کانه‌زایی در نمونه دستی و ب) رگه‌های ثانویه کوارتز در تصاویر میکروسکوپی..... ۹۶

شکل ۵-۲۰- کلریت به‌عنوان کانی باطله در بین قطعات برشی منگنز قرار گرفته است..... ۹۷

شکل ۵-۲۱- نمایشی از کانی‌های رسی..... ۹۸

شکل ۶-۱- نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز..... ۱۰۵

شکل ۶-۲- نمودار Eh-pH برای اکسیدها و کربنات‌های منگنز. سولفیدمنگنز (آلاباندیت) که در این نمودار نشان داده شده است، تنها بخش کوچکی را اشغال می‌کند (بروکینز، ۱۹۸۸)..... ۱۰۵

شکل ۶-۳- مقایسه انحلال‌پذیری اکسیدها و کربنات‌های آهن و منگنز. محدوده سایه زده شده نشانگر محدوده پایداری کانی‌های منگنز است (مینارد، ۱۹۸۳)..... ۱۰۶

شکل ۶-۴- انتقال منگنز از رسوبات آواری محیط کم عمق و بازالت های پشته های میان اقیانوسی به بخش های عمیق دریا، بدون مقیاس (مینارد، ۱۹۸۳)..... ۱۰۷

شکل ۵-۶- موقعیت و شماره نمونه های برداشت شده از معدن منگنز ذاکری بر روی نقشه تهیه شده از معدن..... ۱۰۹

شکل ۶-۶- نمودار Y در برابر Zr از بارت و مکین (۱۹۹۴)..... ۱۱۲

شکل ۶-۷- نمودار Yb در برابر Th جهت تعیین ترکیب شیمیایی سنگ های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه (بارت و مکین، ۱۹۹۹)..... ۱۱۳

شکل ۶-۸- نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti ..... ۱۱۴

شکل ۶-۹- موقعیت نمونه های سنگ های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار سه تایی Zr/4-Y-2Nb (مزچد، ۱۹۸۶). راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۶ می باشد..... ۱۱۵

شکل ۶-۱۰- موقعیت نمونه های ولکانیک در منطقه مورد مطالعه در نمودار دوتایی Zr در برابر Zr/Y از پیرس و نوری (۱۹۷۹) راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۶ می باشد..... ۱۱۶

شکل ۶-۱۱- نمودار سه تایی Zr/117- Th- Nb/16، Hf/3- Th- Nb/16، Hf/3- Th- Ta (وود، ۱۹۸۰)..... ۱۱۶

شکل ۶-۱۲- موقعیت نمونه های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار دوتایی Th/Nb در برابر Ce/Nb از سایدرز و تارنی (۱۹۹۱)..... ۱۱۷

شکل ۶-۱۳- نمودار دوتایی Si به Al از چوی و هاریا (۱۹۹۲) و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه..... ۱۲۲

شکل ۶-۱۴- نمودار سه تایی Ni-Zn- Co از (چوی و هاریا، ۱۹۹۲). و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه..... ۱۲۳

شکل ۶-۱۵- نمودار Co+Ni+Cu در برابر Co/Zn از (توت، ۱۹۸۰) و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۱۳ می باشد..... ۱۲۴

شکل ۶-۱۶- نمودار Zn در برابر Pb از (نیکلسون، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۱۳ می باشد..... ۱۲۶

شکل ۶-۱۷- نمودار  $10 \times (Cu + Co + Ni) - Mn - Fe$  از (بناتی، ۱۹۷۵) و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۱۳ می باشد..... ۱۲۷

شکل ۶-۱۸- نمودار Th در برابر U از (رونا، ۱۹۸۰) و موقعیت نمونه های منطقه مورد مطالعه راهنمای نمونه ها همانند شکل ۶-۱۳ می باشد..... ۱۲۹

شکل ۶-۱۹- الگوی REE در کانسارهای گرمایی (یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷) و آبراد (وون استاکلبرگ، ۱۹۹۷)..... ۱۳۱

شکل ۶-۲۰- نمودار عناصر نادر خاکی در مواد معدنی منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده اند..... ۱۳۲

شکل ۶-۲۱- مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه با الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمایی..... ۱۳۳

شکل ۶-۲۲- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با کانسار وزیرستان در شمال غرب پاکستان و بافت در کرمان. همه کانسارها مشابهت زیادی با کانسارهای گرمایی دارند..... ۱۳۴

شکل ۶-۲۳- نمودار عناصر کمیاب و نادرخاکی در سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه، که به گوشته اولیه (سان و امسی دونوق، ۱۹۸۹) بهنجار شده‌اند. .... ۱۳۵

شکل ۶-۲۴- نمودار عناصر نادرخاکی در سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند. .... ۱۳۶

شکل ۶-۲۵- مقایسه الگوی عناصر نادرخاکی در سنگ‌های آذرین و کانسنگ‌های منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند. .... ۱۳۷

شکل ۶-۲۶- نمودار La/Ce و موقعیت کانسارهای منطقه مورد مطالعه بر روی آن. (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد). .... ۱۳۸

شکل ۶-۲۷- میزان تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در قسمت‌های مختلف کانسار. .... ۱۴۰ - ۱۴۳

شکل ۷-۱- محیط تکتونیکی تشکیل کانسار منگنز ذاکری در حوضه اقیانوسی پشت کمانی سبزوار در طی کرتاسه پسین طبق مدل روزتی (۲۰۱۰). .... ۱۴۶

شکل ۷-۲- نحوه تشکیل کانسار منگنز ذاکری I بر اساس مدل بروسنتیسین، (۲۰۰۹). .... ۱۵۴

شکل ۷-۳- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی جنوب غرب سبزوار و جایگاه کانسارهای منگنز و سولفید توده‌ای مس- روی در آن. .... ۱۵۷

شکل ۷-۴- نقشه پهنه ساختاری ایران (آقانباتی، ۱۳۸۵) و توزیع مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران. .... ۱۶۵

## فهرست جداول

جدول ۳-۱- بایوزوناسیون استاندارد فرامینیفرهای پلانکتونیک کرتاسه پسین، اقتباس از (ربازینسکی و کارن، ۱۹۷۹) سنین مرز برگرفته از (گردستین و همکاران، ۱۹۹۵). .... ۳۶

جدول ۵-۱: گروه‌های مهم کانی‌های منگنز و محیط تشکیل آنها (نیکلسون، ۱۹۹۲؛ مینارد، ۱۹۸۳؛ روی، ۱۹۸۱). .... ۸۵

جدول ۵-۲- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت مربوط به آن‌ها در کانسار منگنز ذاکری. .... ۹۹

جدول ۶-۱- خصوصیات فیزیکی منگنز (اسنل و اتر، ۱۹۷۲). .... ۱۰۳

جدول ۶-۲- توضیح شماره و موقعیت محل برداشت نمونه‌ها با توجه به نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از معدن (شکل ۶-۵). .... ۱۱۰

جدول ۶-۳- میزان برخی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در نمونه سنگ‌های آتشفشانی منطقه معدنی ذاکری (موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و در جدول ۶-۲ نشان داده شده است). .... ۱۱۱

جدول ۶-۴- نتایج تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌های منگنز ذاکری، چشمه سفید، دانایی I و ذاکری II به روش XRF (داده‌ها برحسب درصد). موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و جدول ۶-۲ نشان داده شده است. .... ۱۱۸

جدول ۶-۵- میزان عناصر اصلی و کمیاب در کانسار منگنز ذاکری I، چشمه سفید، دانایی و ذاکری II به روش ICP-MS. موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و جدول ۶-۲ نشان داده شده است. .... ۱۱۹

- جدول ۶-۶- مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز و در کانسارهای منگنز منطقه مورد مطالعه..... ۱۲۰
- جدول ۶-۷- ترکیب REE در کانسارهای ذاکری I، چشمه سفید، دانایی و ذاکری II (داده‌ها بر حسب ppm). موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و جدول ۶-۲ نشان داده شده است..... ۱۳۴
- جدول ۶-۸- میزان همبستگی عناصر اصلی و کمیاب در کانسنگ‌های مورد مطالعه..... ۱۴۶
- جدول ۷-۱- رده‌بندی انواع کانسارهای منگنز بر حسب فرآیندها و محیط تشکیل (نیکلسون، ۱۹۹۲)..... ۱۴۹
- جدول ۷-۲- مقایسه کانسار منگنز ذاکری I با ویژگی‌های شاخص انواع مختلف کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی بر اساس رده بندی موسیر و پیچ (۱۹۸۸) ..... ۱۶۰
- جدول ۷-۳- مهم‌ترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران..... ۱۶۶



# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

منگنز از نظر مقدار فراوانی، دوازدهمین عنصر موجود در پوسته زمین است و در بین فلزات مقام هشتم را دارد. منگنز یکی از فلزات مهم صنعتی است و مهمترین کاربرد آن مصرف در صنایع آهن و فولاد است. با توجه به اهمیت زیاد و مصرف روزافزون آن و نیاز شدید صنایع مختلف و از جمله صنایع فولاد کشور به این فلز ارزشمند و کافی نبودن ذخایر و منابع شناخته شده فعلی آن، نیاز به اکتشاف ذخایر جدید آن در کشور بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا مطالعه کانسار منگنز ذاکری در جنوب غرب سبزوار در استان خراسان رضوی هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ اکتشافی می‌تواند حائز اهمیت باشد. چرا که نتایج حاصل از این بررسی می‌تواند بعنوان الگو جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید منگنز در شرق و دیگر نقاط ایران مورد استفاده قرار گیرد.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه

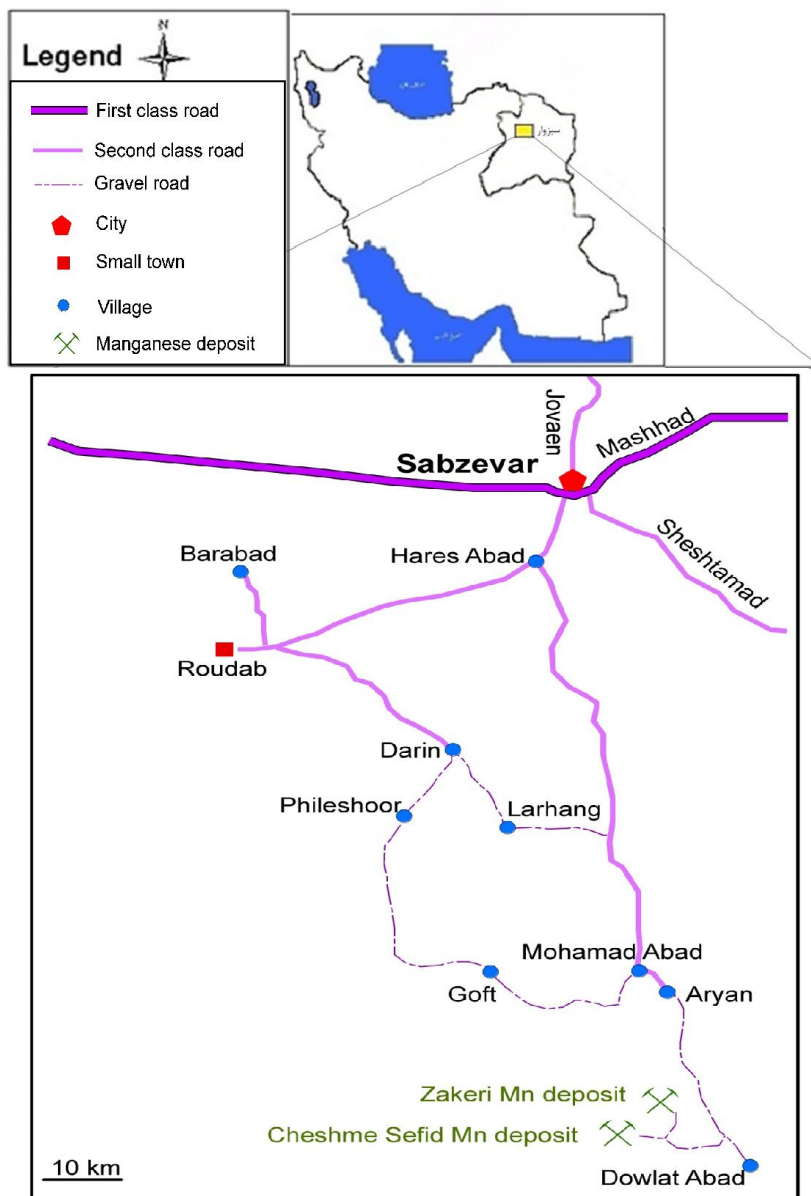
کانسار منگنز ذاکری در استان خراسان رضوی، شهرستان سبزوار و در فاصله ۹۵ کیلومتری جنوب-غرب شهرستان سبزوار و ۲۵ کیلومتری روستای محمدآباد واقع شده است (شکل ۱-۱)، و به مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 38' 45''$  شمالی و  $57^{\circ} 28' 11''$  شرقی محدود می‌گردد. به منظور دستیابی به محدوده ماده معدنی پس از طی ۷۰ کیلومتر در مسیر جاده آسفالته سبزوار به روداب به روستاهای محمدآباد و آریان رسیده و پس از طی ۲۵ کیلومتر از روستای مذکور، رخنمون‌های ماده معدنی نمایان می‌شود.

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

کانسار منگنز ذاکری به علت قرار گرفتن در حاشیه کویر دارای آب و هوایی خشک و کم باران است که دارای تابستان‌های گرم با بادهای موسمی و زمستان‌های سرد با میزان بارندگی کم، آب و هوایی غالب در منطقه می‌باشد. لیکن همراه با نزولات آسمانی در اوایل بهار، جاری شدن سیلاب‌های موقتی در منطقه اجتناب ناپذیر است. میزان بارندگی متوسط در این منطقه حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال

است (اقتباس از سایت سازمان جغرافیایی).

به دلیل شرایط خاص آب و هوایی و پایین بودن میزان بارندگی سالیانه، منطقه پوشش گیاهی بسیار کمی داشته و بصورت پراکنده در اطراف روستاها و مظهر قنات‌ها شاهد باغات و زمین‌های کشاورزی هستیم. در منطقه مورد مطالعه رودخانه‌های دائمی روان نیستند ولی در شمال غرب روستای محمدآباد در دره کال مرغ رودخانه کوچکی وجود دارد که از سمت جنوب سرچشمه می‌گیرد و به سمت شمال و بخش روداب روانه می‌گردد.



شکل ۱-۱- موقعیت کانسار منگنز ذاکری و راه دسترسی به آن

#### ۴-۱- وضعیت معیشتی

روستاهای موجود در منطقه به علت پایین بودن میزان بارندگی سالیانه و فقدان کشاورزی مناسب، گسترش و رونق زیادی ندارند. منابع درآمد مردم در این منطقه دامداری، کشاورزی، کار در معادن و پرورش شتر می باشد. بطور کلی این منطقه به علت داشتن فقر اقتصادی جزء مناطق محروم کشور محسوب می گردد.

#### ۵-۱- زمین ریخت شناسی

رخنمون های سنگی در منطقه، بیشتر آتشفشانی و رسوبی هستند که دارای سیمای تپه ماهوری با روند شمال شرق - جنوب غرب می باشند (شکل ۱-۲). ریخت شناسی اصلی منطقه را سنگهای توفی تشکیل می دهند. محدوده دارای ارتفاعات پراکنده است بطوری که حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۲۰۵۰ و حداقل ۱۷۵۰ متر است.



شکل ۱-۲- نمایی از زمین ریخت شناسی منطقه و موقعیت کانسار منگنز ذاکری که تپه ماهورها را توالی آتشفشانی- رسوبی و آهک های کرتاسه تشکیل می دهد (دید به سمت شمال شرق).

## ۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین محققین دانشگاهی در پهنه سبزوار صورت گرفته است، منجر به شناسایی رخدادهای متنوعی از کانه‌زایی منگنز در ناحیه جنوب غرب سبزوار و مشخص شدن الگوی تشکیل برخی از آن‌ها گردیده است. ولی بطور کلی مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته بر روی این ناحیه بسیار محدود است.

مهمترین مطالعات صورت گرفته در منطقه به صورت زیر می‌باشند:

- مسعودی (۱۳۸۸)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد کانسار منگنز بنسبرد را مورد مطالعه قرار داده و این کانه‌زایی را محصول فعالیت‌های برون‌دمی و آتشفشانی-رسوبی دانسته است.

- قنبری طرقيه و مقدسی (۱۳۸۹)، کانسار چشمه سفید را مورد مطالعه قرار داده و فرآیندهای گرمایی را عامل تشکیل این کانسار دانسته است.

- نصیری و همکاران (۱۳۹۰)، الگوی تشکیل برون‌دمی را برای کانسار منگنز همایی پیشنهاد نموده است.

- بدخشان ممتاز و بنی آدم (۱۳۷۷)، در طرح مطالعات اکتشافی چکشی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین از چند کانسار نمونه‌برداری کرده و به صورت مختصر آن‌ها را توصیف نموده‌اند.

- مغفوری (۱۳۹۱)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد درباره کانسارهای مس موجود در پهنه سبزوار مطالعاتی انجام داده و این کانسارها را از نوع سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی (Besshi) معرفی کرده است.

- نصرالهی (۱۳۹۳)، کانسار منگنز نوده در جنوب غرب سبزوار را بررسی کرده و فرآیند تشکیل آن‌ها را آتشفشانی-رسوبی ذکر کرده است.

## ۱-۷- طرح مسئله ، اهمیت موضوع و هدف از مطالعه

کانسار منگنز ذاکری در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سبزوار و در زیر پهنه سبزوار (SZ) از بلوک ایران مرکزی قرار دارد. این کانسار در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند،

۱۳۷۷) و در داخل واحدهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی رخ داده است. این واحد آتشفشانی- رسوبی گسترش زیادی در منطقه داشته و دربرگیرنده کانسارهای منگنز زیادی از جمله چشمه سفید، ذاکری، بنسبرد، گفیت، همایی، نوده و فریزی می‌باشد. با توجه به اینکه در رابطه با این کانسار مطالعه دقیقی به‌ویژه از نظر کانی‌شناسی، ساخت و بافت و همچنین چگونگی تشکیل و ژنز صورت نگرفته است، بنظر می‌رسد نتایج این پژوهش بتواند به عنوان راهنما و کلید اکتشافی در شناسایی و اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه و زیر پهنه سبزوار مؤثر باشد. بنابراین اهداف این پژوهش عبارتند از:

- ارائه الگوی تشکیل کانسار ذاکری بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی

- مقایسه کانسار منگنز ذاکری با موارد مشابه در منطقه، ایران و جهان

- ارائه کلید اکتشافی جهت پی جویی کانسارهای مشابه احتمالی در منطقه و زیر پهنه سبزوار

## ۱-۸-۱- روش مطالعه

مراحل مختلف انجام این تحقیق بشرح زیر است:

### ۱-۸-۱-۱- مطالعه منابع و گردآوری اطلاعات

مطالعه منابع و گردآوری اطلاعات، گام نخست در این تحقیق بوده که به‌شرح زیر انجام گردیده است:

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات در زمینه موضوع پایان نامه

- جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و بررسی مقالات و

گزارشاتی که به نحوی در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و زیرپهنه سبزوار و کانه‌زایی‌های مشابه در

جهان می‌باشند.

### ۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی در چند نوبت و بنا به اهداف متفاوتی صورت گرفته است:

- بازدید مقدماتی به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه

- شناسایی واحدهای مختلف سنگی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر
- بررسی افق‌های کانه‌زایی و ارتباط آن‌ها با سنگ‌های میزبان
- مطالعه شکل هندسی، ساخت و بافت ماده معدنی
- بررسی ارتباط کانه‌زایی با پدیده‌های مختلف ساختاری مثل گسل و چین خوردگی
- برداشت نمونه‌های لازم برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی و بررسی پهنه‌های دگرسانی

- بازدید نهایی از منطقه و کنترل یافته‌های نهایی بر اساس مدل کانه‌زایی

### ۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاہی

پس از نمونه برداری با توجه به اهداف مطالعه، بررسی‌های مختلف به شرح زیر روی نمونه‌ها صورت گرفته است:

- تهیه ۱۶ عدد مقطع نازک، از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی بر روی آنها
- تهیه ۳۸ عدد مقطع نازک- صیقلی از نمونه‌ها و مطالعه بافت و پاراژنز کانه‌ها
- تهیه ۱۹ عدد مقطع صیقلی از نمونه‌های توده‌ی معدنی بر ای مطالعات کانه‌شناسی
- تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه به روش فلئورسانس اشعه ایکس (XRF) به منظور تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی در سنگهای موجود در منطقه در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران
- مطالعه ۴ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور شناسایی کانی‌های احتمالی موجود در سنگهای منطقه در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران
- تجزیه ژئوشیمیایی ۱۸ نمونه به منظور تعیین میزان عناصر کمیاب<sup>۱</sup> و عناصر نادر خاکی (REE) به روش ICP-MS در آزمایشگاه Acme کشور کانادا

### ۱-۸-۴- مطالعات دفتری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

- مطالعه مقالات، کتب مرتبط با موضوع تحقیق، پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها

<sup>۱</sup> - Trace

- ترسیم نقشه‌ها با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS و Global Mapper
- ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی مانند GCDkit, IGPET و نرم افزارهای آماری مانند SPSS
- تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی و مطالعه مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی
- تطبیق و تلفیق داده‌های ذکر شده با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتابها برای ارائه مدل کانه‌زایی در منطقه
- دسته‌بندی، پردازش و تلفیق نتایج حاصل از مراحل قبلی و همچنین استفاده از نرم افزارهای مختلف کامپیوتری جهت تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و مطالعه کتابها و مقالات و نگارش پایان نامه

### ۹-۱- کانسارهای منگنز ایران

کانسارهای منگنز ایران عمدتاً کوچک بوده و کیفیتی پایین دارند. از نظر سنی در برخی دوره‌های زمین‌شناسی، زایش منگنز به صورت کانسار مستقل و یا همراه آهن صورت پذیرفته است. گروهی از این کانسارها در افق‌های خاص چینه‌شناسی قرار دارند و برهمین اساس می‌توان برای پی‌جویی‌های آینده خط اکتشافی مشخصی را دنبال نمود (دولت‌خواه، ۱۳۸۰).

دسته‌ای از کانسارهای آهن منگنزدار ایران در سازندهای آتشفشانی- رسوبی محیط کافتی پرکامبرین پسین قرار گرفته‌اند. از این دسته می‌توان به کانسارهای منگنز ناریگان، مورچه‌خورت و موته اشاره نمود (برنا، ۱۳۷۰).

کانه‌زایی منگنز در داخل سازندهای دگرگونی دوران اول در منطقه تروود، سرکوب و ده‌بید فارس نیز گزارش شده است. از جمله می‌توان به کانسارهای چاه‌گیری، کوه مهران، کوه شمشیر بران و هنشک اشاره کرد (برنا، ۱۳۷۰).



در دوران دوم در کرتاسه زیرین، کانه‌زایی منگنز به همراه آهن در داخل آهک‌های اربیتولین‌دار، به صورت ذخایر آهن منگنزدار و یا منگنز آهن‌دار شناسایی شده است. کانسارهای آهن منگنزدار ناحیه اراک (شمس‌آباد)، چاه باشه و ورای نائین، کافردوغ، نوق و باغ‌قره تربت‌حیدریه از این جمله‌اند. همچنین در کرتاسه بالایی در سازندهای آتشفشانی- رسوبی نیز کانسارهای متعددی از منگنز به صورت عدسی شکل گزارش شده که در حد فاصل سنگهای سیلیسی رادیولاریتی و آهک قرار دارند. آن‌ها به دو دسته افیولیتی و غیرافیولیتی قابل تقسیم هستند. کانسارهای افیولیتی شامل گوئیچ خاش، آب‌بند استهبان، زیروقت، خور، بندقرار و برداسکن کاشمر می‌باشند. همچنین کانسارهای غیرافیولیتی شامل کانسارهای ناحیه سبزوار (بنسبرد، همایی و نوده و ...) هستند (برنا، ۱۳۷۰). کانسار منگنز ذاکری نیز در این دسته قرار می‌گیرد.

در دوران سوم و خصوصاً در نوار آتشفشانی ائوسن، منگنززایی گسترده‌ای در نواحی مختلف کشور به صورت کانسارها و اندیس‌های مستقل به وقوع پیوسته است. از جمله کانسارهای این گروه می‌توان به آرات کوه (محمدآباد) و قلعه محمدعلی‌خان در جنوب تهران و بزین نائین اشاره نمود. کانسار آتشفشانی- رسوبی وناچ قم نیز مشخصاً در این دسته قرار می‌گیرد (برنا، ۱۳۷۰). و بالاخره تعدادی آثار معدنی منگنز وابسته به فعالیت‌های آتشفشانی جوان و چشمه‌های آب گرم در رسوبات عهد حاضر در نقاطی از کشور گزارش شده که از جمله می‌توان به قزلجه مراغه و آذرشهر در آذربایجان شرقی اشاره نمود (برنا، ۱۳۷۰).

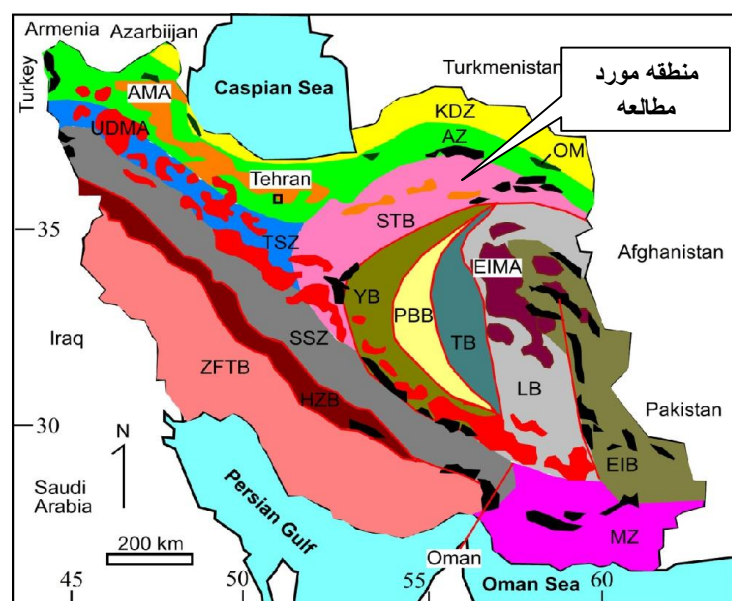


## فصل دوم

# زمین‌شناسی ناحیه‌ای

## ۱-۲- مقدمه

محدوده مورد مطالعه و کانسار منگنز ذاکری در پهنه ساختاری سبزواری قرار گرفته است (شکل ۱-۲). این پهنه یکی از پهنه‌های چندگانه خرده قاره ایران مرکزی<sup>۱</sup> است که به خاطر رخداد کمربند افیولیتی در آن مورد توجه می‌باشد (علوی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). خرده قاره ایران مرکزی از زیرپهنه‌های ساختاری یا بلوک‌های لوت، طبس، پشت‌بادام، یزد و سبزواری تشکیل شده است.



- Alborz belt
- Folded Zagros zone
- Sea
- East Iran belt
- Trust Zagros zone
- Kopeh Dagh
- Lut block
- Makran
- Posht- Badam block
- Sanandaj- Sirjan zone
- Sabzevar block
- Tabas block
- Tabriz- Qom belt
- Yazd block
- Alborz magmatic assemblage
- East Iran magmatic assemblage
- Uromieh-Dokhtar magmatic assemblage

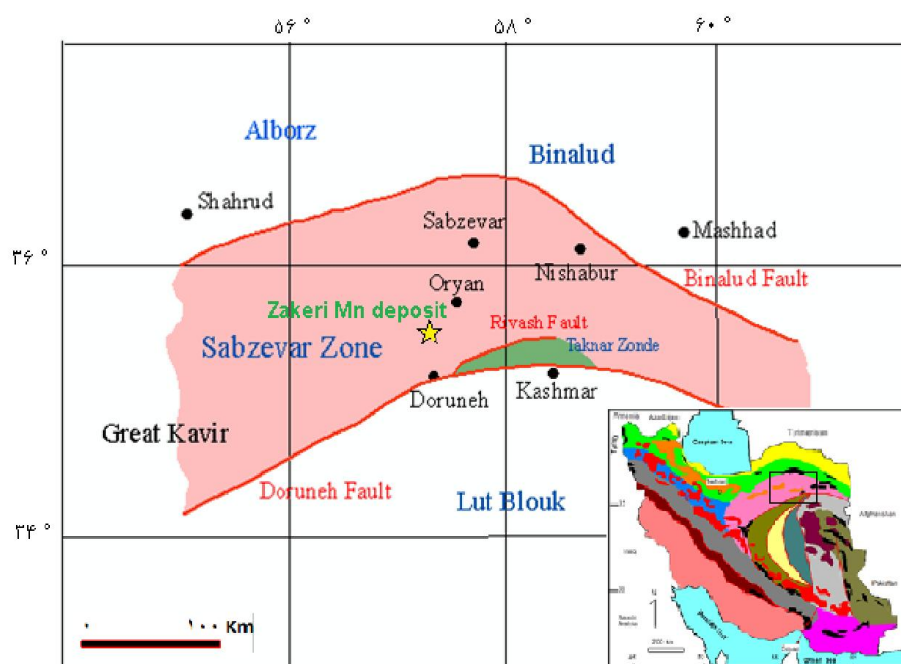
شکل ۱-۲: جایگاه پهنه سبزواری در خرده قاره ایران مرکزی (علوی، ۱۹۹۱؛ آقانی، ۱۳۸۵) و موقعیت منطقه مورد مطالعه

<sup>۱</sup>- Central East Iranian Microcontine

<sup>۲</sup>-Alavi

## ۲-۲- ویژگی‌های ساختاری - تکتونیکی پهنه سبزواری

ایالت شمال شرقی ایران (پهنه سبزواری) به صورت بلوک دوزنقه‌ای شکل، در بین پهنه‌های بینالود، البرز و لوت واقع شده است. مرز جنوبی آن، گسل بزرگ کویر (گسل درونه) و مرز شمالی آن گسل‌های میامی، نیشابور- تربت جام و بینالود می‌باشد. این ناحیه را از دیدگاه زمین‌شناسی و فلزایی می‌توان به دو کمربند کویرسبزواری و تکنار تقسیم کرد (شکل ۲-۲). پهنه سبزواری یا همان کمربند کویر-سبزواری از سر کویر سمنان تا شرق نیشابور را دربرمی‌گیرد (لیندنبگ<sup>۱</sup>، ۱۹۸۳).



شکل ۲-۲: موقعیت کانسار منگنز ذاکری و منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری سبزواری در ایران مرکزی

(با تغییرات از لیندنبگ، ۱۹۸۳)

اکثر زمین‌شناسان، پهنه سبزواری را با افیولیت‌های نائین- بافت و سیستان مرتبط می‌دانند (شکل ۲-۳)

(استامفلی و بورل<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴؛ باقری و استامفلی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸؛ آگارد<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱)

این افیولیتها نشان دهنده پوسته اقیانوسی ناپیوسته‌ای هستند که اطراف ایران مرکزی را احاطه

می‌کنند و به تبع آن نشان دهنده اقیانوس‌های کوچکی در اطراف خرده قاره‌های ایران مرکزی

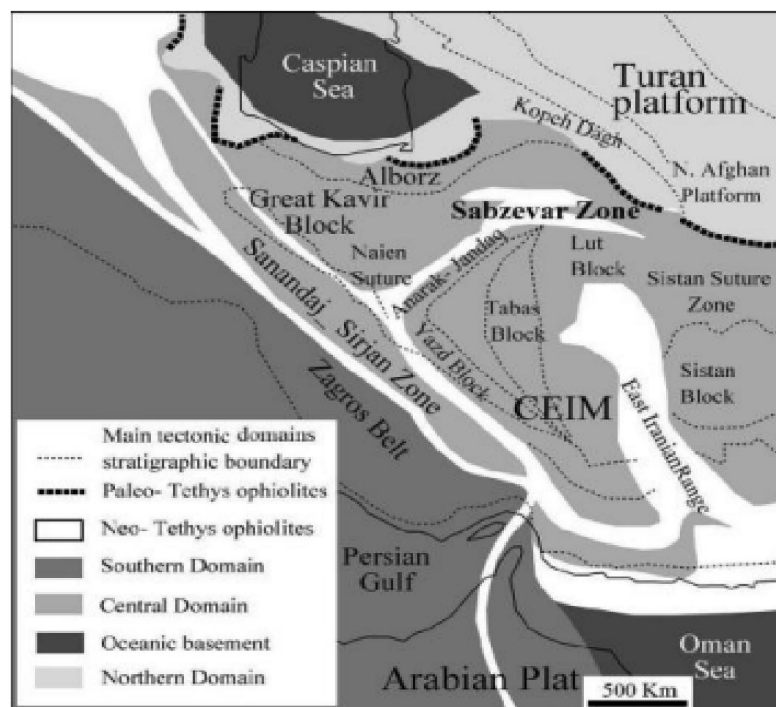
<sup>۱</sup>- Lindenberg

<sup>۲</sup>- Stampfli and Borel

<sup>۳</sup>- Bagheri and Stampfli

<sup>۴</sup>- Agard

می‌باشند (باروز<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۴؛ آروین و روبینسون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱)

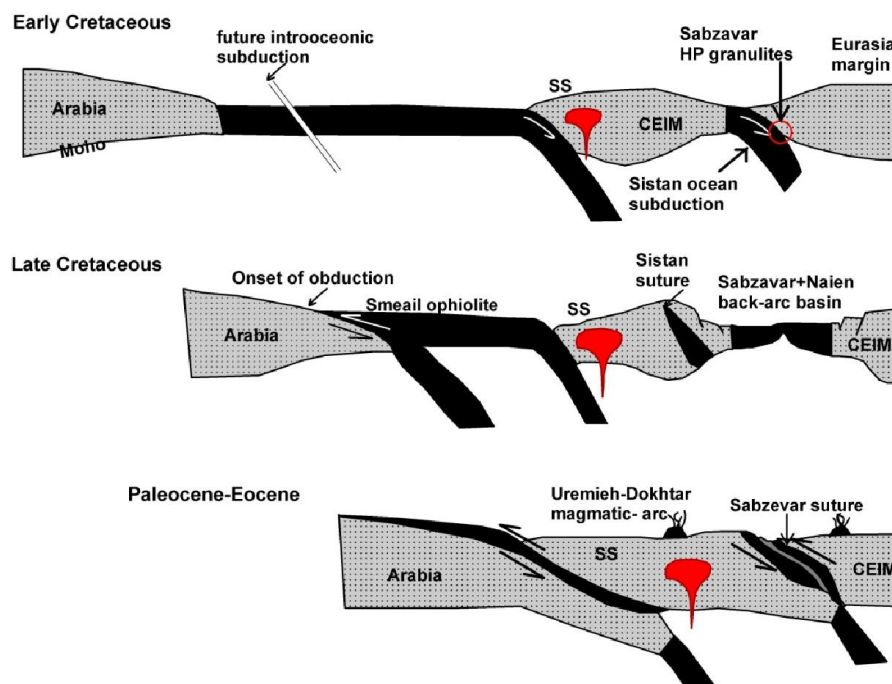


شکل ۲-۳- نقشه تکتونیکی ساده شده، که مهمترین صفحات تکتونیکی ایران را نشان می‌دهد (روزتی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). کمربندهای افیولیتی مهم بارنگ سفید روی نقشه مشخص می‌باشد.

افیولیت‌های سبزوار، نائین-بافت و سیستان در یک محیط کششی از نوع حوضه‌های پشت کمانی<sup>۴</sup> در طی عبور از زمان کرتاسه میانی به کرتاسه فوقانی تشکیل شده‌اند؛ که این کشش در اثر فرورانش نئوتتیس به زیر زون سنندج- سیرجان اتفاق افتاده است (شکل ۲-۴). این محیط‌های کششی پشت کمانی در زمان آغاز پالئوسن شروع به بسته شدن کرده و در زمان ائوسن (شکل ۲-۴) به طور کامل بسته شده‌اند (داودزاده<sup>۵</sup>، ۱۹۷۲؛ گردس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹؛ باروز و همکاران، ۱۹۸۴؛ سنگور<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۸۸؛ مک کال<sup>۸</sup>، ۱۹۹۷؛ استامفلی و بورل، ۲۰۰۴؛ شجاعت<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۳؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۱).

1 - Baroz  
2 - Arvin and Robinsone  
3 - Rossetti  
4 - Back- arc  
5 - Davoudzadeh  
6 - Gerdes  
7 - Sengor  
8 - Maccall  
9 - Shojaat

نظریه عمومی در مورد ماگماتیسم و رسوبگذاری پهنه سبزوار، ایجاد محیط کششی و تشکیل یک کافت پشت کمانی در طی کرتاسه پسین می‌باشد (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰). به عقیده این محققین با آغاز بسته شدن (شروع فرورانش) نئوتتیس در زمان تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین حواشی فعال<sup>۱</sup> در حاشیه اوراسیا شروع به تشکیل شدن می‌کنند (بربریان و کینگ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۱؛ بس<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۸؛ همکاران، ۱۹۹۸؛ استامفلی و بول، ۲۰۰۴؛ آروین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۰). این فرورانش اقیانوسی باعث تشکیل کمان ماگمایی نوع کردیلرایی<sup>۵</sup> در طول پهنه سنندج- سیرجان در زمان ژوراسیک-کرتاسه شده (بربریان و بربریان، ۱۹۸۱؛ قاسمی و تالبوت<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۰) و به تبع آن در پشت این کمان ماگمایی، حوضه‌های اقیانوسی پشت کمانی تشکیل شده است (شکل ۲-۴) (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰؛ مک کال، ۱۹۹۷).



شکل ۲-۴: مدل پالئوتکتونیک سیر تکامل پهنه سبزوار از کرتاسه تا ائوسن (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰)

- 
- <sup>1</sup> - active marginine
  - <sup>2</sup> - Berberian and King
  - <sup>3</sup> - Besse
  - <sup>4</sup> - Arvin
  - <sup>5</sup> - Cordilleran-type marginine
  - <sup>6</sup> - Ghasemi and Talbot

در عین حال مطالعات سنسنجی بر روی نمونه‌های افیولیت‌های خرده قاره‌های شرق ایران مرکزی، تشکیل این حوضه‌های اقیانوسی پشت کمانی را در دو زمان اصلی بحث می‌کند: ۱- در طول ژوراسیک فوقانی-کرتاسه زیرین (افیولیت‌های سیستان فنوج (فتوحی‌راد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). ۲- در طول کرتاسه پسین (افیولیت‌های سبزوار-نائین بافت (شجاعت و همکاران، ۲۰۰۳؛ مقدم<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۲-۴).

روزتی و همکاران (۲۰۱۰) سیر تکاملی زون سبزوار را از زمان کرتاسه زیرین تا ائوسن بصورت زیر بیان کرده است:

**۱) کرتاسه زیرین:** شرایط تکتونیکی زون سبزوار را می‌توان با شروع فرورانش اقیانوس نئوتتیس، در طول زون سنندج-سیرجان در زمان کرتاسه زیرین بازسازی کرد (قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶؛ آگارد و همکاران، ۲۰۰۷؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۰). به طرف شمال شرق، این زون فرورانشی به اقیانوس سیستان وصل می‌شود و همین عامل باعث شکل‌گیری یک زون فرورانشی مرکب ( اقیانوس نئوتتیس و اقیانوس سیستان) در طول حاشیه اوراسیا می‌شود (شکل ۲-۴). مطالعات اورانیوم-سرب بر روی نمونه‌های سنگی مربوط به مذاب فلسیک در گرانولیت‌های سبزوار، زمان اوج دگرگونی را کرتاسه زیرین نشان می‌دهد که حدود ۲۰-۲۵ میلیون سال، قبل از بازشدگی حوضه پشت کمانی سبزوار-نائین است. روزتی و همکاران (۲۰۱۰) معتقد هستند که گرانولیت‌های سبزوار در اثر فرورانش حوضه اقیانوسی پشت کمانی سیستان، در زمان ژوراسیک فوقانی- کرتاسه زیرین به زیر صفحه اوراسیا تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۴).

**۲) کرتاسه پسین:** در زمان کرتاسه پسین، فرورانش درون اقیانوسی<sup>۳</sup> در نئوتتیس توسعه یافته که با شکل‌گیری زمین درز جزیره کمانی<sup>۴</sup> و رورانگی افیولیت در طول حاشیه عربی (افیولیت‌های عمان) دنبال شده است. در ادامه فرورانش، حوضه کششی پشت کمانی سبزوار- نائین در بخش بالایی ورقه

<sup>1</sup> - Fotoohi Rad

<sup>2</sup> - Moghadam

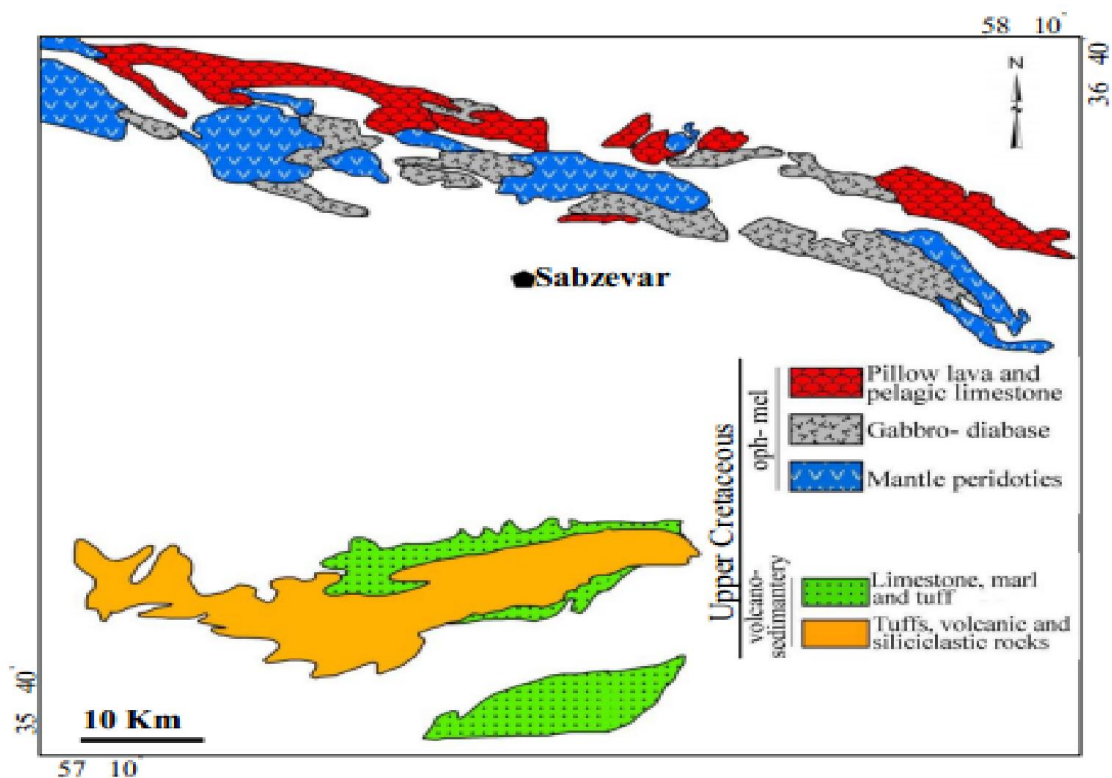
<sup>3</sup> - intera oceanic

<sup>4</sup> - island arc-continent suturing



فرو رونده نئوتتیس تشکیل شده که با فاز اصلی ماگماتیسم در زون سنندج- سیرجان همزمان بوده است (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰؛ آگارد و همکاران، ۲۰۰۷؛ عمرانی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

۳) پالتوسن - ائوسن: در این زمان، زمین درزی بین ورقه‌های ایران و عربی تشکیل می‌شود که حاصل بسته شدن اقیانوس پشت کمانی سبزواری، بین خرده قاره ایران مرکزی و حاشیه اوراسیا می‌باشد (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰؛ عمرانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بربریان و بربریان، ۱۹۸۱؛ آروین و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۲-۴). بنابراین بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷) و سبزواری (طاطاوسیان و همکاران، ۱۳۷۸) مجموعه واحدهای سنگی کرتاسه پسین زون سبزواری را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه سبزواری برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سبزواری و ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷، طاطاوسیان و همکاران، ۱۳۷۸). بخش شمالی سبزواری دربرگیرنده مجموعه افیولیت ملانژ و بخش جنوبی آن متشکل از واحدهای آتشفشانی- رسوبی بخش بالایی کرتاسه پسین می‌باشد (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱).

<sup>۱</sup> - Omrani

## ۲-۳- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷) و ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد (جعفریان و جلالی، ۱۳۷۷) قرار دارد (شکل ۲-۶). واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین و ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد (شکل ۲-۶) و گزارش‌های مربوطه و ستون چینه‌شناسی عمومی منطقه (شکل ۲-۷) از قدیم به جدید به اختصار در زیر آورده شده است.

## ۲-۳-۱- پرمین

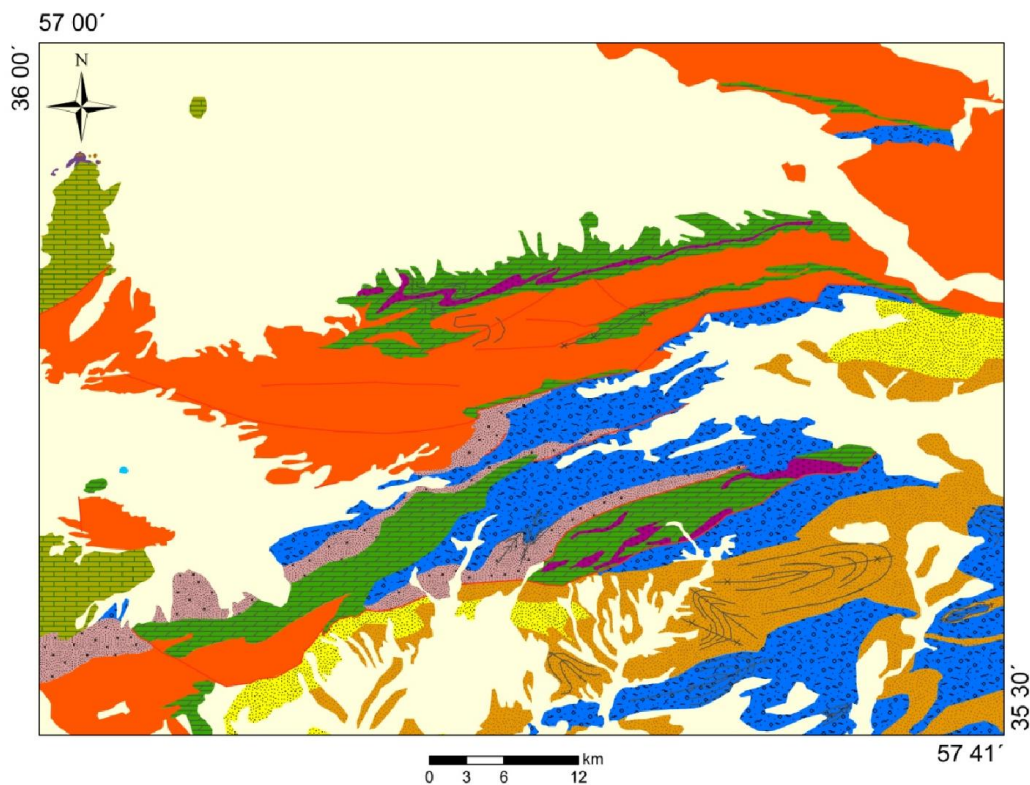
در شمال غربی منطقه مورد مطالعه، رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های مربوط به پلاتفرم پالئوزوئیک تا تریاس ایران، با ارتباطات گسله در مجاورت سنگ‌های اربیتولین‌دار کرتاسه پیشین ظاهر شده و از سنگ آهک‌ها و دولومیت‌های به رنگ خاکستری تیره تا سیاه دارای رگه‌های فراوان چرت و نیز قلوه-های چرتی تشکیل گردیده است که به بخش‌های بالایی و دولومیتی سازند جمال (شکل ۲-۶) شباهت دارند.

## ۲-۳-۲- تریاس

بر روی سازند جمال رخساره‌های مربوط به سازند سرخ شیل به ضخامت حداکثر ۲۰-۳۰ متر قرار گرفته است که از شیل‌های سیلت‌دار سیلیسی کمی آهکی به رنگ خاکستری روشن متناوب با افق‌های نازک ماسه سنگ و کوارتزیت گاهی قرمز رنگ اکسید آهن‌دار (لاتریتی) تشکیل شده است. بر روی سازند سرخ‌شیل دولومیت‌های قرمز-قهوه‌ای ضخیم لایه تا توده‌ای شکل سازند شتری قرار گرفته است که گاهی دارای رگه‌های چرت نیز می‌باشد (شکل ۲-۶).

## ۲-۳-۳- کرتاسه پیشین

واحدهای کرتاسه پیشین شامل سنگ آهک‌های کالپیونل‌دار، سنگ‌های آتشفشانی-توف-توف‌برش، سنگ آهک و مارن سیلت‌دار، مارن-سنگ آهک و شیل، سنگ آهک‌های اربیتولین‌دار، سنگ آهک



Legend	
Quaternary	Young terraces
Pliocene	Conglomerate, gravelly- pabbly sandstone
Miocene	Conglomerate, sandstone, silty marl
Eocene	Flysch type sediments, sandstone, marl
Paleocene	Sandstone, marl, conglomerate
Cretaceous	Tuff, andesitic rock
	Plagic limestone, marl
	Volcano-sedimentary sequence
	Orbitolina limestone
Triassic	Silty shale sandstone, quartzite
Permian	Limestone, dolomite
	—X— Syncline axis
	—+— Anticline axis
	— Fault

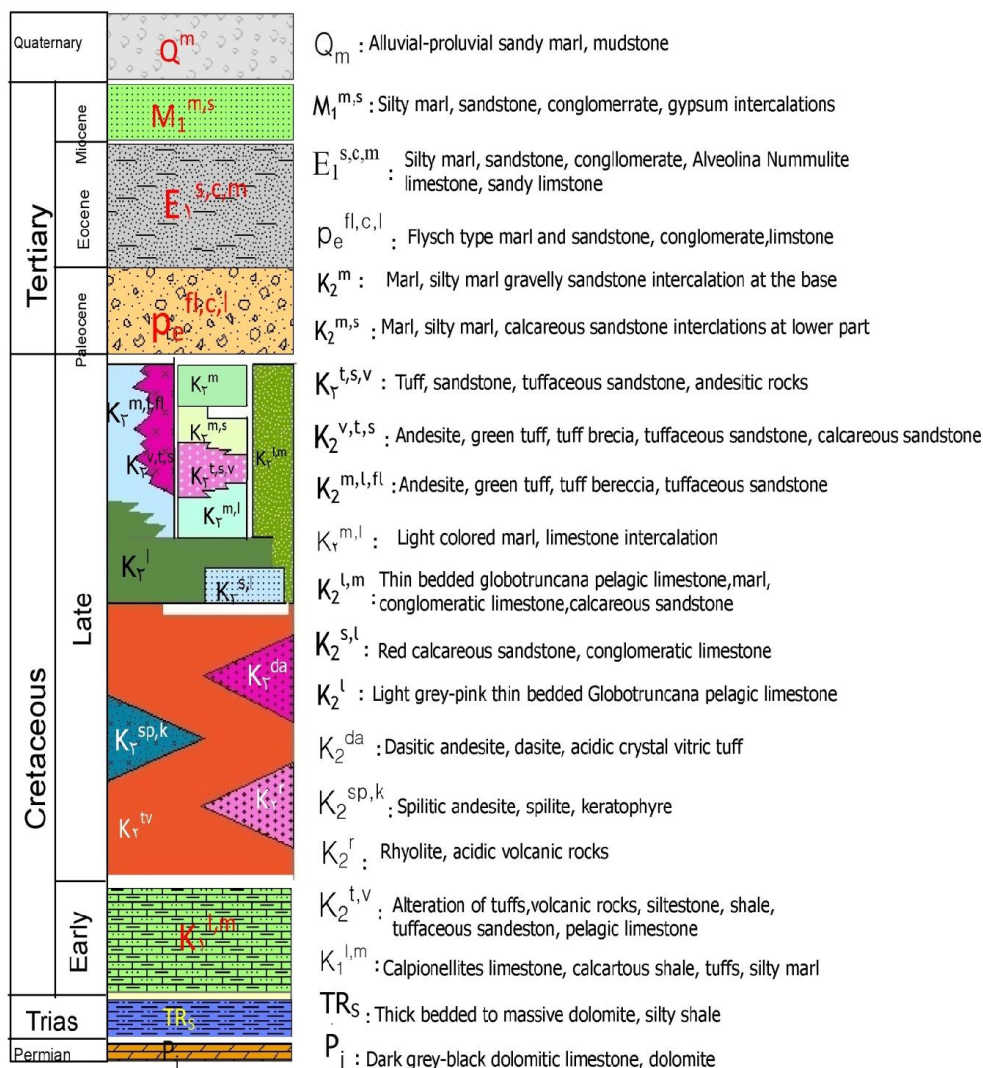
شکل ۲-۶- تلفیقی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷) و ششتمد (جعفریان و جلالی، ۱۳۷۷) که نشان دهنده واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه می‌باشد.

ماسه سنگ و واحد کنگلومرای (جوانترین واحد کرتاسه پیشین) می‌باشد (شکل ۲-۷). سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پیشین شامل آندزیت، اسپیلیت، کراتوفیر به رنگ سبز پسته‌ای، توف و توف‌برش می‌باشد. در کنگلومراهای قرمز رنگ قاعده‌ای آن، قلوه‌های فرسایش یافته توف و یا آندزیت نیز به

فراوانی دیده می‌شود. نهشته‌های بخش تحتانی کرتاسه پیشین از شرق به غرب ورقه دارین، جوان‌تر می‌شوند. در شمال محمدآباد و آریان در غرب ورقه ششتم، سن والانزینین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷) و در اواسط ورقه دارین (غرب روستای کروج) سن هوتریوین تا بارمین پیشین دارند و حال آنکه در مرز غربی ورقه دارین دارای سن بارمین تا آبسین هستند. نهشته‌های جوان‌تر کرتاسه پیشین در ناحیه مورد بررسی شامل دو ردیف رسوبی با خصوصیات متفاوت می‌باشند. این نهشته‌ها در شمال‌غرب منطقه با مقداری رسوبات نرم فرسایشی در قاعده و آهک‌های اربیتولین‌دار دیده می‌شوند که بر روی آنها، فقط واحد کنگلومرایی قرار می‌گیرد. و حال آنکه هم‌ارز آنها در جنوب‌غرب ورقه دارین شباهت‌هایی با شیل‌های آلبین (شیل‌های بیابانک) را نشان می‌دهند و بر روی آنها رسوبات جوان‌تر دیده نمی‌شوند. همچنین در واحدهای کرتاسه پیشین فسیل‌های جانوری، خرده صدف‌های ریز، اسفنج‌ها، مرجان‌ها، آثار جانوران حفار، دوکفه‌ای‌ها، بلمنیت، آمونیت و فسیل‌های آلگ دار درون لایه‌های کربناتی، مارنی کربناتهای ماسه‌ای دیده می‌شوند.

## ۲-۳-۴- کرتاسه پسین

بر اساس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزوار و دارین مجموعه واحدهای سنگی کرتاسه پسین زون سبزوار را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش اول سنگ‌هایی که تشکیل دهنده سری افیولیت ملانژ بوده و طیفی از سنگ‌های فوق بازیگ تا بازیگ را شامل می‌شوند و بخش دوم سنگ‌های غیرافیولیتی که شامل سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی بوده و ارتباط ژنتیکی با سنگ‌های افیولیتی ندارند (شکل ۲-۵) (وطن‌پور و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۷: ستون چینه‌شناسی ناحیه‌ای از واحدهای سنگی موجود در جنوب غرب سبزوار بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷)

### ۲-۳-۴-۱- بخش افیولیتی

بخش افیولیتی بر اساس ترکیب سنگ شناسی و بافتی به سه واحد قابل تقسیم است:

الف) واحد پریدوتیت‌های گوشته‌ای: شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های دونیتی و هارژبورنیتی که تحت تأثیر فرآیند سرپانتینیتی شده قرار گرفته‌اند. بافت سنگ‌های فوق، مشبک یا غربالی است و در زیر واحد گابروئی کومولایی قرار دارند (مجیدی و همکاران، ۱۳۷۷).

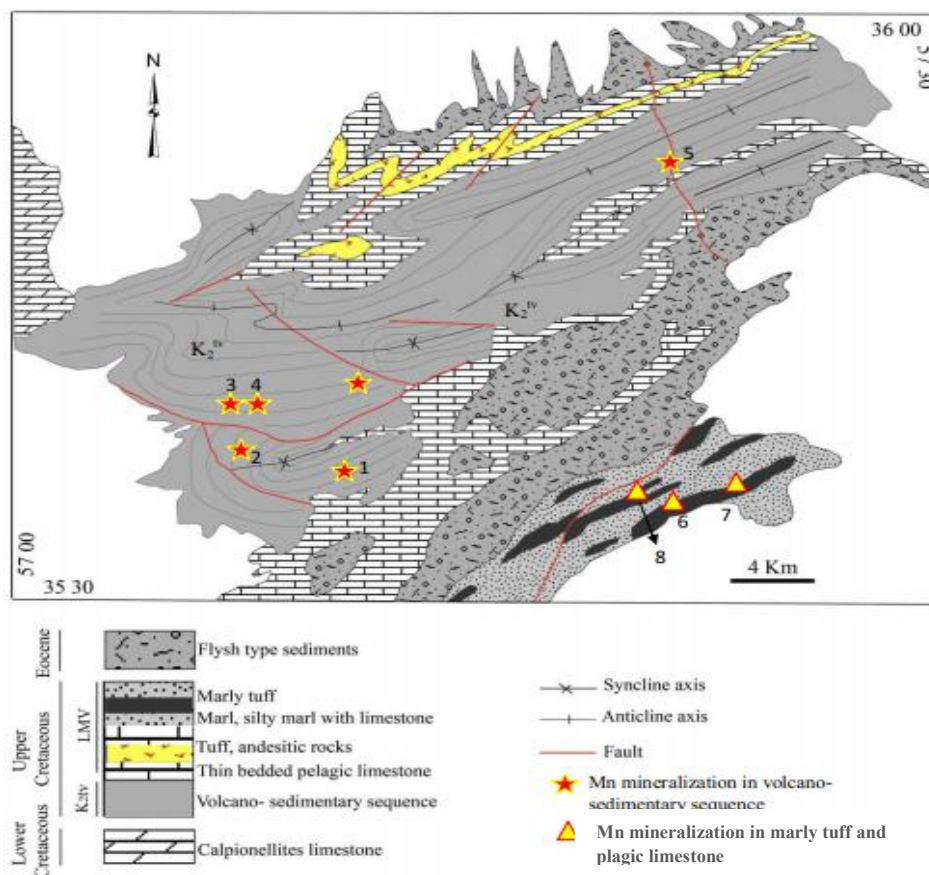
ب) واحد گابرو- دیا باز: گستره وسیعی از سنگ‌های این واحد در شمال خاوری ورقه سبزوار برونزد دارند. سنگ‌های مزبور با رنگ خاکستری و روندهای گوناگون و ضخامت‌های متغیر، سنگ‌های دونیتی

و هارزبورژیتی را قطع کرده‌اند. بافت سنگهای واحد مزبور کومولا، گرانولار و افیتیکی می‌باشد. ارتباط سنگ‌های گابروئی و دایک‌های دیابازی توسط گسل‌های تراستی بریده شده است.

ج) واحد گدازه‌های بالشی و کربنات‌های پلاژیک: این واحد دارای رخنمون‌های متعددی از گدازه‌های خاکستری تیره تا سبز رنگ و حفره‌دار با حاشیه سرد شده است که اندازه بالش‌ها از ۲۵ سانتی‌متر تا ۲ متر تغییر می‌کند. گدازه‌های مذکور توسط آهک‌های نازک لایه میکرایتی کرم تا صورتی رنگ پوشیده می‌شوند (شکل ۲-۵).

### ۲-۳-۴-۲- توالی سنگ‌های بخش آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین

توالی سنگ‌های بخش آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم کرد (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱) و گسترش توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین و موقعیت ذخایر منگنز در آن. ۱: منگنز نوده ۲: منگنز گسترخاورزمین ۳: منگنز چشمه فریزی ۴: منگنز بنسبرد ۵: منگنز گت ۶: منگنز چشمه سفید ۷: منگنز ذاکری I ۸: منگنز ذاکری II.

الف) بخش سنگهای آتشفشانی، توف و سیلیسی آواری: این بخش از واحد آتشفشانی- رسوبی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین بنام مجموعه  $K_2^{IV}$  نامیده شده است. این مجموعه شامل تناوبی از توف، سنگهای آتشفشانی، سیلتستون، شیل، ماسه سنگ توفی با میان لایه‌هایی از آهک‌های پلاژیک گلوبروترونکانادار می‌باشد که در یک محیط رسوبی کششی تشکیل شده است (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷). تخمین ضخامت این واحد آتشفشانی- رسوبی ( $K_2^{IV}$ ) به دلیل دیده نشدن قاعده آن و بهم ریختگی‌های زیاد زمین ساختی عملی نمی‌باشد ولی ضخامت بخش ظاهر شده آن بیش از ۲ کیلومتر می‌باشد. با پیمایش‌هایی که در نقاط چین نخورده و کمتر گسل خورده این واحد  $K_2^{IV}$  صورت گرفت ضخامت واقعی این واحد آتشفشانی- رسوبی ۲۳۰۰ تا ۲۷۰۰ متر برآورد گردید.

در لابلای واحدهای رسوبی- آتشفشانی مجموعه  $K_2^{IV}$  سنگ‌های آذرین زیر مشاهده می‌گردند.  
- ریولیت و سنگ‌های آتشفشانی اسیدی ( $K_2^F$ ): درابتدای دره محمدآباد به فیل شور (کال مرغ) در لابه لای سنگ‌های واحد  $K_2^{IV}$ ، واحد ریولیتی به رنگ نخودی دیده می‌شود که قابل نمایش به صورت یک واحد جدا بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ می‌باشد.

- اسپیلیت و کراتوفیر کرتاسه پسین و ( $K_2^{sp,k}$ ): حدود ۴ کیلومتری شمال شرق روستای چاه شن، افقی از سنگ‌های آتشفشانی تیره رنگ در لابلای سنگ‌های واحد  $K_2^{IV}$  دیده می‌شود که در بررسی‌های انجام شده آندزیت و آندزیت بازالتی در محدوده سنگ‌های اسپیلیتی تشخیص داده شده‌اند.

- داسیت‌های کرتاسه پسین ( $K_2^{d,a}$ ): در رودخانه کال مرغ، دو افق ممتد و مشخص از گدازه‌های آتش- فشانی با ضخامت حدود ۱۰۰ متر و قابل نمایش به صورت جداگانه دیده می‌شود که داسیت می‌باشد.  
ب) بخش سنگ‌های آهکی، مارن و آتشفشانی- آذراواری: این واحد شامل سری سنگ‌های زیر می‌باشد (شکل ۲-۷).

- ماسه سنگ با میان لایه‌هایی از میکروکنگلومر: این واحد شامل رخساره‌های ماسه‌سنگ آهکی و ماسه‌سنگ کوارتزی با سیمان آهکی و به ندرت افق‌های ماسه سنگ و میکروکنگلومرایی در بین آنها می‌باشد.



- سنگ آهک‌های پلاژیک گلوبوترونکانادار: سنگ آهک‌هایی به رنگ خاکستری روشن تا صورتی و با لایه‌بندی نازک می‌باشند که به صورت هم‌شیب بر روی واحد  $K_2^{tv}$  قرار گرفته‌اند.

-توف، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی ( $K_2^{tsv}$ ): این واحد با ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ متر در جنوب فیل‌شور رخنمون دارد و لیکن به سمت شرق نازک‌تر و به سمت غرب ضخیم‌تر می‌شود و از توف، ماسه سنگ آهکی، ماسه سنگ توفی آهکی و گاهی سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً آندزیتی تشکیل شده است.

- مارن و ماسه‌سنگ: این واحد شامل مارن و مارن سیلت‌دار گاهی متناوب با درون لایه‌های سنگ آهک مارنی و نیز درون لایه‌های ماسه آهکی و آهک ماسه ای در بخش تحتانی می‌باشد.

- سنگ‌آهک و مارن‌های تفکیک نشده ( $K_2^{ml}$ ): در برخی نقاط سنگ‌آهک‌ها و مارن‌های گلوبوترونکانادار کرتاسه پسین مرزهای مشخصی جهت تقسیم بندی نشان نمی‌دهند و لذا به صورت تفکیک نشده معرفی می‌شوند.

- مارن، سنگ آهک و فلیش ( $K_2^{mlf}$ ): این واحد در یک زون خرد شده در جنوب مهرکرد ظاهر شده که کم و بیش خصوصیات فلیش‌ها و فلیش-ولکانیک‌های مربوط به پوسته رسوبی سری افیولیتی را نشان می‌دهند. در این زون خرد شده و گسله، واحد سنگ آهک پلاژیک حضوری ثابت و پایدار دارد که بر روی آن مارن‌های سفید، ماسه آهکی، توف و سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شود.

- سنگ‌های آتشفشانی، توف و ماسه‌سنگ ( $K_2^{vts}$ ): در محدوده واحد  $K_2^{mlf}$  در برخی رخساره‌های آذرآواری و سنگ‌های آتشفشانی شامل آندزیت، توف سبز، توف-برش، ماسه‌سنگ توفی و ماسه‌سنگ آهکی در لابلای واحد مزبور و گاهی بر روی آن قابل مشاهده است. قاعدتاً بخش زیادی از آن هم‌مرز چینه‌شناسی واحد  $K_2^{vts}$  واقع در میان مارن‌ها و آهک‌های جنوب فیل‌شور می‌باشد.

## ۲-۳-۵- پالتوسن

در نهشته‌های پالتوسن منطقه مورد مطالعه، تنوع فراوان و تغییرات جانبی نسبتاً شدید رخساره‌ها مشاهده می‌شود که به خوبی شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه در آن زمان را که هم‌زمان با



بسته شدن کافت‌ها و حوضه رسوبی فلیش می‌باشد، منعکس می‌سازد. به همین خاطر قسمت عمده واحدهای پالئوسن را ماسه‌سنگ‌های قرمز، کنگلومرا و مارن و ماسه‌سنگ‌های شبه فلیشی تشکیل می‌دهند که دارای میان لایه‌هایی از توف و سنگ‌های آتشفشانی، سنگ‌آهک ریفی و سنگ‌آهک مارنی می‌باشند به‌صورت ناپیوسته بر روی بخش کربناتی کرتاسه پسین واقع شده‌اند (شکل ۲-۶).

### ۲-۳-۶- ائوسن

واحدهای ائوسن تغییرات رخساره جانبی زیادی از خود در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین نشان می‌دهند که از واحدهای ماسه‌سنگی، مارن‌های قرمز و زردرنگ، کنگلومرا، سنگ‌آهک‌های آلئولینا نومولیت‌دار و رسوبات شبه فلیش شامل تناوب‌های سبز-خاکستری مارن سیلت‌دار، سیلت سنگ و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند و در نهایت به کنگلومرای ضخیم لایه تا توده‌ای شکل و کنگلومرا با میان لایه‌های ماسه سنگ ائوسن پسین-الیگوسن منتهی می‌شوند (شکل ۲-۶).

### ۲-۳-۷- میوسن

آخرین پیشروی گسترده و سراسری دریا در ایران مرکزی در اوایل میوسن سبب نهشته شدن رسوبات ضخیم و با شرایط قاره‌ای-تبخیری در منطقه گردیده است. این رسوبات شامل مارن‌های سیلت‌دار، سیلت سنگ، ماسه‌سنگ با میان لایه‌هایی از کنگلومرا و گچ می‌باشد (شکل ۲-۶).

### ۲-۳-۸- کواترنری

رسوبات مخروط افکنه‌ای، تراس‌های آبرفتی و آبرفت‌های در حال تشکیل در بستر رودخانه‌ها از جمله سازندهای کواترنری می‌باشد (شکل ۲-۶).

### ۲-۴- ماگماتیسم

ماگماتیسم موجود در منطقه مورد مطالعه شامل دو دسته سنگ‌های درونی مانند سنگ‌های گرانیتی، گابرویی، مونزودیوریت و کوارتز مونزونیت و سنگ‌های بیرونی شامل داسیت و هورنبلند آندزیت بازالتی می‌باشد که اکثراً در داخل توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین ( $K_2^{IV}$ ) و در بخش‌های بالایی

کرتاسه پسین و به واحد کربناتی- مارنی محدود می‌شود که در ذیل به توصیف هر کدام از این واحدها می‌پردازیم:

**گرانیت:** در شمال و شمال شرق دارین توده‌های گرانیتی دیده می‌شوند که سنگ‌های واحد ( $K_2^{IV}$ ) را قطع نموده و بالا آمده و قطعات و بلوک‌هایی از آنها نیز در داخل گرانیت‌ها دیده می‌شود و لذا بایستی از آنها جوانتر باشند. توف‌ها و سنگ‌های آتشفشانی واحد ( $K_2^{IV}$ ) در مجاورت توده گرانیتی مختصری دگرگون شده‌اند. در کنگلومرای به سن پالتوسن ( واحد  $Pe^{C,S}$ ) واقع در چند صد متری شمال روستای سرخو (جنوب توده گرانیتی) قلوه‌های گرانیتی دیده نمی‌شود و لذا سن ترشیری و جوان‌تر از پالتوسن بودن توده‌های گرانیتی مزبور تایید می‌گردد.

**واحد گابرویی:** در نقاط متعددی از منطقه مورد مطالعه توده‌های نفوذی- نیمه آتشفشانی گابرویی دیده می‌شوند که وجه مشترک تمامی آنها در این است که فقط در سنگ‌های واحد ( $K_2^{IV}$ ) دیده می‌شوند. بنابراین نمی‌توانند جوانتر از کرتاسه باشند. رخنمونی از سیل نیمه آتشفشانی گابرویی واقع در حدود ۳ کیلومتری جنوب روستای لارهنگ در دره‌ی لارهنگ و همچنین سیل با ترکیب گابرو در جنوب معدن مس نوده دیده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد تشکیل گابروها همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی در زمان کرتاسه پسین باشد زیرا که رخساره‌های ریز بلور (شیشه‌ای) آنها نیز در لابلای سنگ‌های واحد ( $K_2^{IV}$ ) در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی- رسوبی مجموعه ( $K_2^{IV}$ ) دیده می‌شوند. بنابراین سن کرتاسه پسین را برای این سنگ‌ها می‌توان در نظر گرفت.

**مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت:** در نقاط متعددی از منطقه مورد مطالعه توده‌های نفوذی- نیمه آتشفشانی مونزودیوریتی دیده می‌شوند. وجه مشترک تمامی آنها در این است که فقط در سنگ‌های واحد ( $K_2^{IV}$ ) دیده می‌شوند. به طور کلی مونزودیوریت‌ها و داسیت‌ها بایستی مرتبط با همان فعالیت‌های آتشفشانی در زمان کرتاسه پسین باشند.

**داسیت:** در حدود ۲ کیلومتری شمال روستای گراب توده‌ای از سنگ‌های داسیتی و درون لایه‌های توفی زرد- قهوه‌ای روشن با خرد شدگی‌ها و فرسایش شدید دیده می‌شود که در قله‌های آن توده‌هایی

از سنگ‌های آندزیتی و داسیتی دیده می‌شود. سن کرتاسه پسین یا با احتمال، جوانتر از آن برای این سنگ‌ها در نظر گرفته شده است.

**واحد هورنبلند آندزیت بازالتی:** در حدود ۲ کیلومتری شمال روستای گراب و همچنین در شرق روستای نورآباد توده‌ای از سنگ‌های هورنبلند آندزیت بازالتی، با میان لایه‌های مارنی-آهکی و توفهای زرد-قهوه‌ای روشن با خرد شدگی و فرسایش شدید دیده می‌شود که باعث برشی شدن و قطع این واحدهای رسوبی شده است. احتمال دارد که این واحد هم‌ارزهای خروجی‌های توده‌های گابرویی باشد و به احتمال بیشتر می‌تواند در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی رسوبی مجموعه ( $K_2^{IV}$ ) باشند.

## ۲-۵- تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی

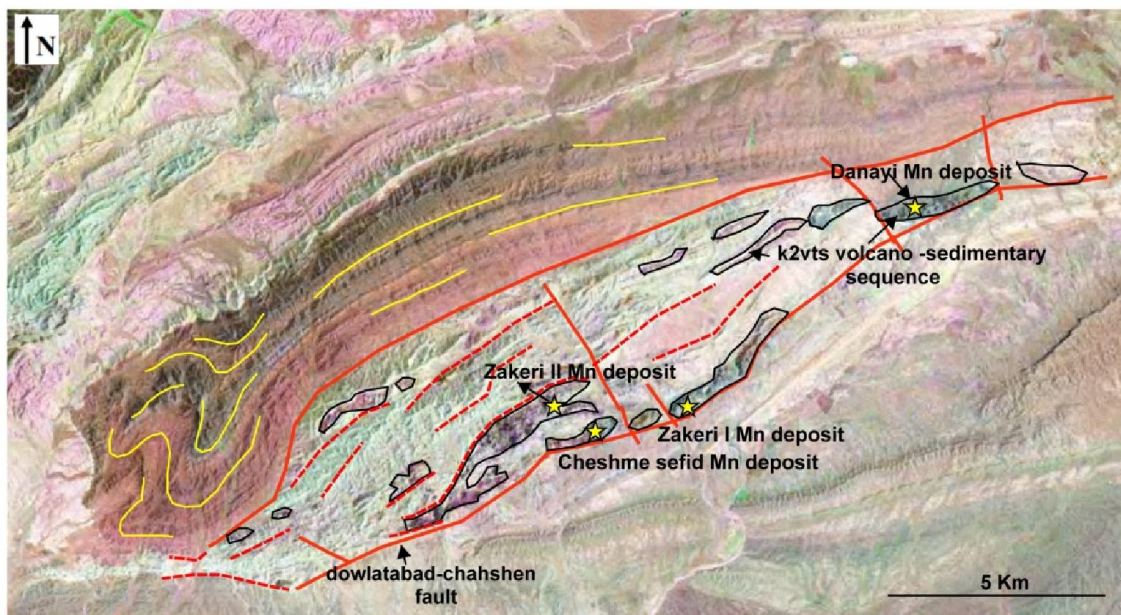
درباره تاریخچه تکتونیکی سبزوار نظرات متفاوتی ارائه شده است. بنا به نظر (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۷) با توجه به حضور حوضه کششی باریکی که در بخش شرقی ایران مرکزی و شرق ایران در طی کرتاسه پسین بوجود آمده، قسمت اعظم ایران را تحت تأثیر یک نوع نیروی کششی قرار داده و در امتداد برخی از شکستگی‌های موجود در پی سنگ، جداشدگی‌های ژرف بصورت کافت (Rift) به وجود آمده که در آن سنگ‌های آتشفشانی زیر دریایی بازیک و فلسیک به همراه رسوبات آواری به صورت آتشفشانی-رسوبی انباشته شده است.

## ۲-۵-۱- سیستم گسل خوردگی‌ها و چین‌ها

اکثر گسل‌های مهم منطقه دارای روند شمال شرق- جنوب غرب و همچنین شمال غرب- جنوب شرق هستند که کم و بیش به موازات گسل درونه واقع در حدود چهل کیلومتری جنوبی‌تر این منطقه می‌باشند.

منطقه مورد مطالعه دارای مجموعه‌ای از سیستم‌های راندگی و گسل‌های معکوس و راستالغز می‌باشد و به طور کلی حضور گسل‌های رانده با جهت شیب به سمت شمال و شمال غرب قابل توجه است. این امر بیانگر دو جهت اصلی فشارشی از سمت شمال و شمال غرب می‌باشد. گسل‌های با امتداد تقریباً

شرقی - غربی نیز فراوان هستند و یکی از گسل‌های مهم منطقه گسل گراب - مظفرآباد می‌باشد که از گراب تا شمال روستای نوده دارای امتداد شرق جنوب شرق - غرب شمال غرب است و از نوده به سمت شرق چرخیده و به گسل مظفرآباد پیوسته است. نیروهای عمل کننده در گسل‌های رانده و یا معکوس، در برخی نقاط سبب چین خوردگی، افزایش شیب لایه‌ها و یا در پاره‌ای موارد برگشتگی طبقات نیز شده‌اند. کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه در روی ناودیس ناحیه‌ای با روند شمال شرق - جنوب غرب قرار دارند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹: تصویر ماهواره Land sat 7 از منطقه جنوب غرب سبزوار و موقعیت کانسار ذاکری I، چشمه سفید، دانایی ذاکری II در واحد آتشفشانی - رسوبی  $K_2^{vts}$  و موقعیت برخی چین خوردگی‌ها و گسل‌های مهم در منطقه، بزرگترین گسل منطقه گسل دولت‌آباد - چاه‌شن می‌باشد. همچنین چین خوردگی‌های متعددی به شکل طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های کوچک و بزرگ در منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده هستند که نیروهای فشارشی بوجود آورنده گسل‌های منطقه سبب چین خوردگی آنها شده و لذا راستاهای متعددی را کم و بیش به موازات جهات محورهای تغییر شکل و گسل‌های اصلی منطقه نشان می‌دهند. در برخی نقاط نیز چین خوردگی‌های تکراری قابل مشاهده‌اند (شکل ۲-۹). چین خوردگی با درجات متفاوت از ملایم تا متوسط، شدید و خیلی شدید و در نقاط متعددی به صورت برگشته نیز در سنگ‌ها و رسوبات منظم قابل مشاهده است.

## ۲-۶- زمین‌شناسی اقتصادی

در ورقه دارین گسترده‌ترین کانی‌سازی‌ها با فعالیت‌های آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی  $K_2^{IV}$  ارتباط دارند که در زیر به مهمترین آنها اشاره شده است.

### ۲-۶-۱- منگنز

کانی‌سازی منگنز در جنوب غرب سبزوار از گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که در سه واحد چینه‌ای متفاوت تشکیل شده است. ۱) کانسارهای مرتبط با فعالیت آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین (کانسار منگنز بنسبرد، نوده، گفت ( $K_2^{IV}$ ) و ۲) کانسارهای در ارتباط با واحد  $K_2^{VTS}$  بخش کربناتی کرتاسه پسین و پیروکلاستیک‌های همراه آنها (کانسارهای چشمه‌سفید، ذاکری I، ذاکری II و دانایی) ۳) یکی سری دیگر از کانی‌زایی منگنز در داخل مجموعه‌های افیولیتی شمال سبزوار گزارش شده‌اند (مانند کانسار گود ایثاق) (روزبه کارگر و همکاران، ۱۳۷۷. عشق آبادی، ۱۳۷۷). در این تحقیق بیشتر به کانسارهای منگنز واحد دوم پرداخته شده است.

### ۲-۶-۲- مس

حجم عمده ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه مس می‌باشد که در واحدهای سنگی مختلفی با سن‌های متفاوت تشکیل شده است. مهمترین آنها شامل، کانسار پلی‌متال غنی از آهن تکنار است که در شیست‌های اردوویسین تشکیل شده است. در توالی آتشفشانی- رسوبی کمپلکس  $K_2^{IV}$  به علت وجود شرایط مناسب (سنگ میزبان، محیط تکتونیکی، ولکانیسم زیر دریایی و...) پتانسیل خوبی برای تشکیل مس بصورت همزمان با سنگ‌های آتشفشانی فراهم شده است که می‌توان کانسارها و اندیس‌های مس نوده، چون، کلاته لالا و گراب را نام برد (بداخشان ممتاز و بنی آدم، ۱۳۷۷) که از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد تیپ بشی می‌باشند (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱).

## ۲-۶-۳- سولفات سدیم

کانی تناردیت در اثر وجود یون‌های  $\text{Na}^+$  ,  $\text{So}_4$  در آبهای زیرزمینی منطقه در نقاطی مانند پشته قرمز گراب، شمال کلاته پشت آسمان و دوچاهی دولت‌آباد در زیر سطح نازکی از خاک تشکیل شده است.

## ۲-۶-۴- سنگ ساختمانی

سنگهای آهکی و مرمریت کرتاسه پسین و پالئوسن به‌رنگ‌های شیری و خاکستری برای سنگ ساختمانی مناسب می‌باشد.

## ۲-۶-۵- گل سرشوی (مونتموریونیت)

در محل توده سیاه رنگ شرقی منگنزدار معدن دوچاهی، که گسل از آن عبور می‌نماید ضخامت چندین متری از گل سرشوی قابل مشاهده است. در محل مزبور در نتیجه تأثیرات گرمایی بر روی مارن‌های لابلای فلش‌های مربوطه، آهک از ترکیب مارن‌ها حذف گردیده و رسوبات باقی مانده رسی، تبدیل به گل سرشوی شده‌اند.

## فصل سوم

# زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

## منطقه معدنی

### ۳-۱- مقدمه

هدف از بررسی زمین‌شناسی محدوده معدنی مورد نظر، مطالعه واحدهای سنگی در محدوده، روابط بین آنها، زمین‌ساخت و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانی‌سازی می‌باشد. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها، کمک بسیار زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی و پی‌جویی آن در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد. میزبان کانی‌زایی منگنز در منطقه، توالی آتشفشانی-رسوبی می‌باشد. بنابراین سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین و ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد، تصاویر ماهواره‌ای، عملیات صحرایی صورت گرفته در محدوده معدنی، ستون چینه‌شناسی عمومی (شکل ۳-۱) و نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی و ساختاری از محدوده مورد مطالعه (شکل ۳-۴) و نقشه نمادین از کانسار ذاکری تهیه گردد (شکل ۳-۱۲). بنابراین با توجه به ستون چینه‌شناسی عمومی از توالی آتشفشانی-رسوبی، هر یک از واحدهای سنگی به ترتیب سنی در زیر توضیح داده می‌شوند.

### ۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی کرتاسه پسین در محدوده مورد مطالعه بر حسب جایگاه چینه‌شناسی، تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از پایین به بالا به چهار واحد اصلی (واحد ۱، واحد ۲، واحد ۳، واحد ۴) تقسیم می‌شوند (شکل ۳-۱). واحدهای ۱، ۲، ۳ مربوط به بخش زیرین کرتاسه پسین و واحد ۴ مربوط به بخش بالایی کرتاسه پسین می‌باشد. با توجه به اینکه کانسارهای مورد مطالعه، در واحد ۴ قرار دارند، بنابراین بیشتر به توضیح این واحد پرداخته و واحدهای ۱، ۲، ۳ به اختصار توضیح داده می‌شوند.

### ۳-۲-۱- واحد اصلی ۱

زیر واحدهای سنگی این واحد شامل لیتیک توف، لیتیک کریستال توف نازک لایه، ریولیت، توف آندزیتی، گدازه آندزیتی، توف قرمز (میزبان کانسارهای منگنز افق ۱)، واحد تراکی آندزیتی بادامکی، گدازه اسپیلیتی کراتوفیری همراه با بازالت‌های بالشی و منشورهای داسیت‌پورفیر می‌باشد (شکل ۳-۱).



توالی سنگ‌شناسی شبیه واحد ۱ در توالی آتشفشانی-رسوبی حوضه لانکانس<sup>۱</sup> در پرو نیز که در-  
 بردارنده ذخایر منگنز می‌باشد گزارش شده است. این ترکیب سنگ‌شناختی در پرو را مربوط به فاز  
 آغازین همزمان با کافت دانسته‌اند (وینتر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

Age	Symbols	Lithology	
Paleocene		Flysh type marl and sandstone, conglomerate	
Late Cretaceous	U.L.Cretaceous	Unit 4	K:Mn- bearing tuff, andesite, brecciated tuff and tuffaceous sandstone F:Tuffaceous sandstone, tuff and andesite M:Marl, silty marl with intercalations of limestone P:Thin bedded Globotruncana pelagic limestone
		Unit 3	Shaly tuff, tuffaceous sandstone and red tuff Gabbro sill
		Unit 2	Alkali olivine basalt flow and tuffaceous silty sandstone (host of Cu deposit) Agglomerate and lapilli tuff with intercalations of thin bedded tuff Gabbro sill
		Unit 1	Dacite porphyre S:Pillow lava and spilite keratophyre Lithic tuff and lithic crystal tuff Trachyandesite Red tuff with Mn mineralization Cu- bearing andesite Andesitic tuff Rhyolite Lithic tuff and lithic crystal tuff
	Early Cretaceous		Calpionellites limestone, calcareous shale, tuff and silty marl

شکل ۳-۱- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)

### ۳-۲-۲- واحد اصلی ۲

این واحد اصلی که میزبان کانه‌زایی مس در منطقه می‌باشد، در بردارنده زیر واحدهای آگلومرا توف و لاپیلی توف با میان لایه‌هایی از توف نازک لایه، سیل گابروی، گدازه آلکالی الیوین بازالت و ماسه سنگ سیلتی توفی می‌باشد (شکل ۳-۱).

<sup>1</sup> - Lancones  
<sup>2</sup> - Winter

### ۳-۲-۳- واحد اصلی ۳

این واحد اصلی، زیر واحدهای توف شیلی، ماسه سنگ توفی با میان لایه هایی از توف نازک لایه سبز را شامل می‌گردد (شکل ۳-۱).

### ۳-۲-۴- واحد اصلی ۴

این واحد اصلی از ۴ زیر واحد سنگی ذیل تشکیل شده است:

الف) آهک نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار

ب) توف، آندزیت، توف برش، ماسه سنگ توفی

ج) مارن، سیلت مارنی با میان لایه‌هایی از آهک

د) ماسه سنگ توفی، توف، سنگ‌های آندزیتی

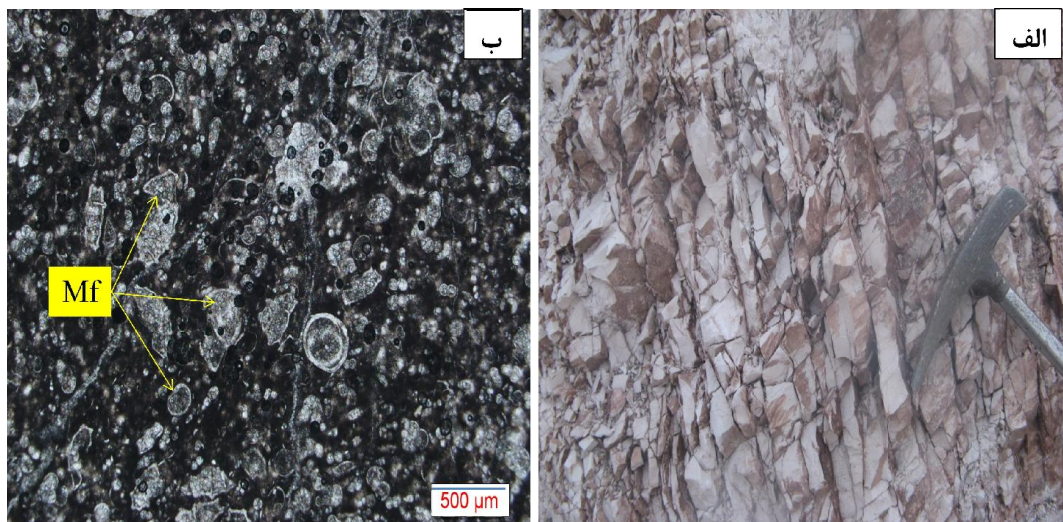
### ۳-۲-۴-۱- آهک نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار

این واحد آهکی به صورت صخره‌ساز ارتفاعات منطقه جنوب غرب سبزوار را می‌سازد (شکل ۳-۲) و در شمال منطقه معدنی ذاکری و در نزدیکی محل محور ناودیس ذاکری رخنمون دارد. این واحد در محدوده معدن ذاکری I ضخامت کمتری داشته ولی در محدوده معدن ذاکری II ضخامت آن افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳-۲- نمایی از آهک‌های پلاژیک که ارتفاعات منطقه جنوب غرب سبزوار را می‌سازند.

ضخامت این واحد به سمت شمال منطقه معدنی افزایش پیدا می‌کند، بنابراین به نظر می‌رسد که معدن ذاکری به علت ضخامت زیاد توف و ضخامت کم آهک، در نزدیکی محل فعالیت‌های ولکانیکی قرار داشته و معدن ذاکری II با فاصله بیشتری از این فعالیت‌ها تشکیل شده است این امر نشانگر تغییر رژیم رسوب‌گذاری در این حوضه کششی از حالت آتشفشانی-رسوبی به حالت رسوبی است که این موضوع حکایت از کم شدن فعالیت تکتونیکی و مخصوصاً فعالیت گسل‌ها در منطقه دارد. این واحد کربناتی که تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی ناحیه‌ای، چین خورده است، واحد آتشفشانی-رسوبی (واحد ۲) را در بر گرفته و در زیر واحدهای ماسه‌سنگی ائوسن قرار گرفته و در محدوده معدن جوان‌ترین واحد رسوبی می‌باشد. پس از نمونه‌برداری از این واحد و تهیه مقطع میکروسکوپی و مطالعات آزمایشگاهی معلوم شد که این واحد، دارای میکروفسیل‌های فراوان و متنوعی می‌باشد (شکل ۳-۳). این فسیل‌ها ساختار درونی اولیه خود را از دست داده و کلسیتی شده‌اند و مربوط به مناطق عمیق می‌باشند.



شکل ۳-۳- الف) نمایی نزدیک از آهک‌های پلاژیک نازک لایه که در منطقه معدنی رخنمون دارند. ب) تصویر میکروسکوپی از حضور میکروفسیل‌های (Mf) کلسیتی در آهک‌های پلاژیک در منطقه.

بر اساس تجمعات فسیلی، لایه فوق گویای بایوزون فرامینیفری پلانکتونیک<sup>۱</sup> می‌باشد که می‌توان سن زمین‌شناسی تورونین پایانی تا اوایل سانتونین را برای آن در نظر گرفت (جدول ۳-۱).

<sup>۱</sup> - *Dicarinella concavata* Interval Zone

برای تعیین عمق با توجه به حضور فراوان فرامینیفرهای پلانکتونیک در مقاطع میکروسکوپی و همچنین عدم حضور فرامینیفرهای بنتیک می‌توان اعماق زیاد و محیط پلاژیک دریای باز را برای نهشته شدن این لایه پیشنهاد داد. در کل فراوانی فرامینیفرهای پلانکتونیک و مخصوصاً انواع کارن‌دار در نهشته‌های کرتاسه پسین دلیل بر محیط عمیق می‌باشد که در نمونه فوق نیز فراوانی انواع کارن‌دار در شکل ۳-۳ مشهود است (ربازینسکی و کارن<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹).

جدول ۳-۱- بایوزوناسیون استاندارد فرامینیفرهای پلانکتونیک کرتاسه پسین، اقتباس از (ربازینسکی و کارن، ۱۹۷۹) سنین مرز برگرفته از (گردستین<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۵)

65.0+/-0.1 M.a.	MAASTRICHTIAN	A.mayaroensis Zone
		C.contuse. R.teucticosa Zone
71.3+/-0.5 M.a.	COMPANIAN	G.gansseri Zone
		G. aegyptiaca Zone
		G.havanensis Zone
		R.calcarata Zone
		G. ventricosa Zone
		G.elevata Zone
83.5+/-0.5 M.a.	SANTONIAN	D. asymetrico Zone
85.8+/-0.5 M.a.	CONIACIAN	D. concavata Zone
89.0+/-0.5 M.a.	TURONIAN	M.sigali-D2 primitiva Zone
		H.helvetica Zone
93.5+/-0.2 M.a.	CENOMANIAN	W.archaeocretacea Zone
		R.cushmani Zone
		R. reicheti Zone
98.9+/-0.5 M.a.		R.brotzeni Zone

<sup>1</sup> - Robaszynski and Caron

<sup>2</sup> - Gradstein

### ۳-۲-۴-۲- توف، آندزیت، توف برش، ماسه سنگ توفی

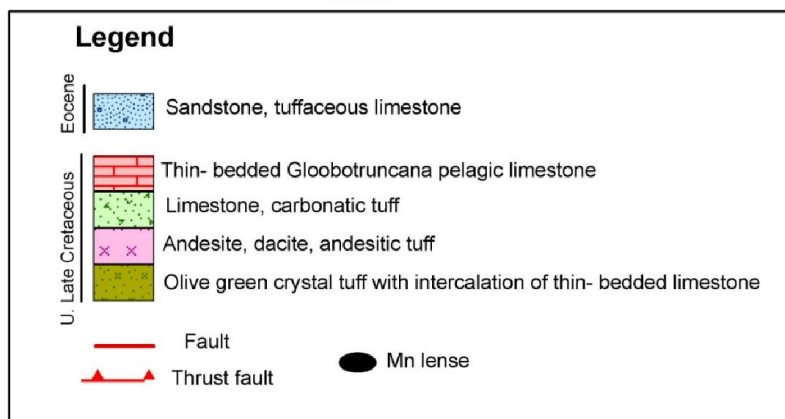
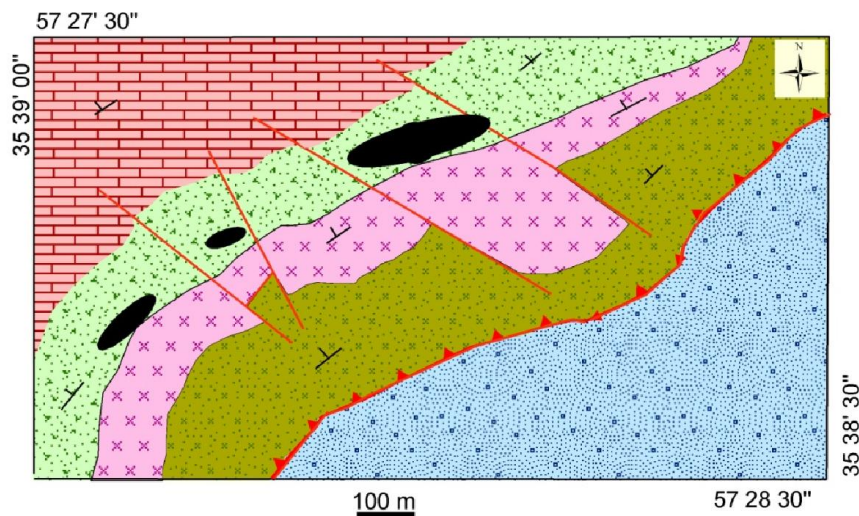
این واحد آتشفشانی- رسوبی که میزبان کانی‌زایی‌های منگنز در منطقه می‌باشد در محدوده معدنی برونزد دارد و در زیر آهک‌های نازک لایه پلاژیک گلوبوترونکانادار جای گرفته است. این زیرواحد در محدوده معدن به چهار عضو قابل تقسیم است (شکل ۳-۴) که عضو ۳ آن میزبان افق کانه‌دار منگنز در کانسار منگنز ذاکری I می‌باشد (شکل ۳-۵) این عضوها از پایین به بالا عبارتند از:

عضو ۱: توف سبز زیتونی با میان لایه‌هایی از آهک نازک لایه

عضو ۲: آندزیت، داسیت، توف آندزیتی

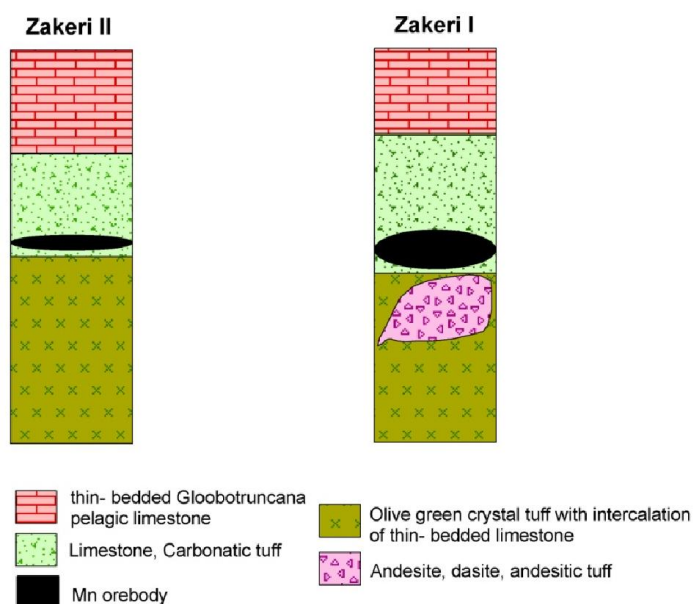
عضو ۳: آهک و توف‌های کربناتی

عضو ۴: آهک پلاژیک نازک لایه



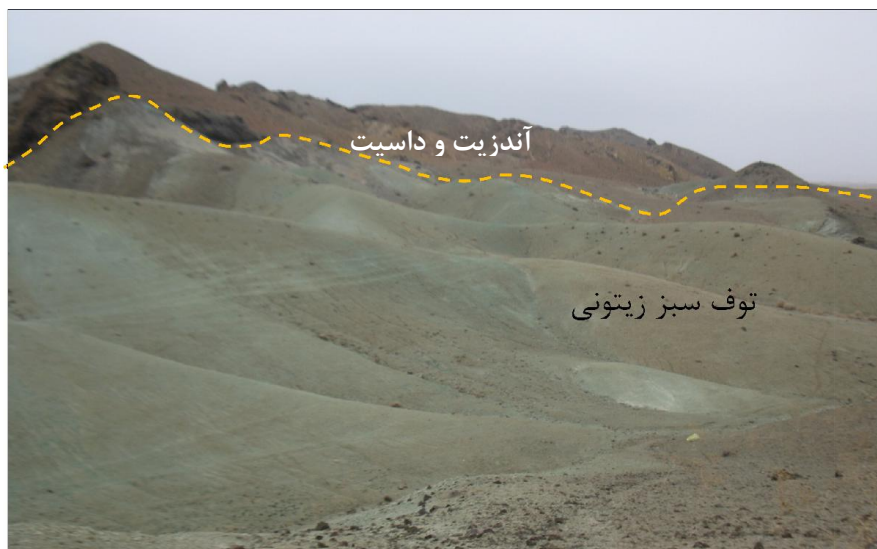
شکل ۳-۴- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی و موقعیت کانسار منگنز ذاکری I در آن



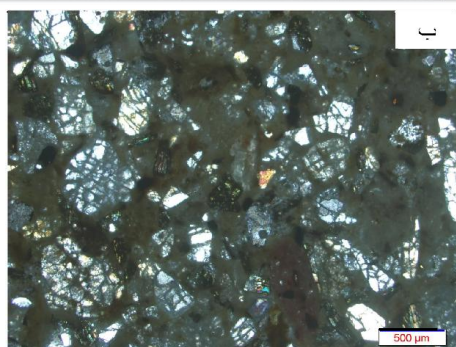


شکل ۳-۵- تغییرات رخساره‌ای جانبی و تغییر در ستون چینه‌شناسی میزبان کانسارهای منگنز منطقه جنوب‌غرب سبزوار، کانی‌زایی منگنز در داخل آهک و توف‌های کربناتی تشکیل شده است.

**توف سبز زیتونی با میان لایه‌هایی از آهک نازک لایه:** این واحد که مربوط به قدیمی‌ترین واحد از واحدهای آتشفشانی در این منطقه است در قسمت جنوبی محدوده معدن رخنمون دارد و به صورت دگرشیب در زیر واحدهای ماسه‌سنگی ائوسن قرار گرفته است. ضخامت آن متفاوت بوده، به صورتی که در بعضی مناطق ضخامت آن به ۴۰۰ متر هم می‌رسد و کمترین ضخامت آن در نزدیکی معدن می‌باشد. این عضو که رنگ سبز زیتونی دارد، در کمرباطین افق کانه‌دار قرار گرفته و گاهی در بعضی قسمت‌ها دارای میان لایه‌هایی از آهک پلاژیک است که ضخامت این آهک بسیار کم است (شکل ۳-۶). این واحد سنگی در نمونه دستی به رنگ سبز زیتونی می‌باشد و در مقاطع میکروسکوپی از بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه توفی تشکیل شده است که به نام کریستال توف نامیده می‌شود. بلورها بی‌شکل و در ابعاد ۵۰ تا ۵۰۰ میکرون هستند (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۶- نمایی از توف‌های سبز زیتونی با میان‌لایه‌هایی از آهک پلاژیک سفید (دید به سمت شمال غرب)



شکل ۳-۷- الف: نمونه دستی از توف‌های سبز زیتونی در منطقه که از دانه‌های تقریباً هم‌اندازه تشکیل شده است،  
ب: مقطع میکروسکوپی از توف سبز زیتونی که از بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه توفی تشکیل شده است.

**آندزیت، داسیت، توف آندزیتی:** این عضو بر روی توف سبز زیتونی و به صورت هم‌شیب و هم‌روند در زیر واحد توف کربناتی قرار گرفته است. آندزیت‌ها و داسیت‌ها به وسیله گسل‌های امتدادلغز در منطقه، کمی جابجا شده‌اند. این واحد که در کمر پایین افق کانه‌دار قرار گرفته است در محل معدن ضخامت زیاد داشته (حدود ۲۰۰ متر) و در اطراف معدن ضخامت آن کاهش می‌یابد (کمتر از ۱۰۰

متر)، به عبارت دیگر نسبت رسوب به سنگهای آتشفشانی از محل معدن ذاکری به اطراف افزایش می‌یابد. این گدازه‌ها محصول مراحل اول ولکانیسم در محدوده معدنی هستند و بیشتر به صورت فلسیک می‌باشند.

**آهک و توف کربناتی:** این واحد که میزبان افق کانه‌دار در محدوده معدن می‌باشد ضخامت بسیار زیادی داشته و به صورت هم‌شیب بر روی واحد آندزیت، داسیت‌های کمر پایین قرار گرفته است (شکل ۳-۸).

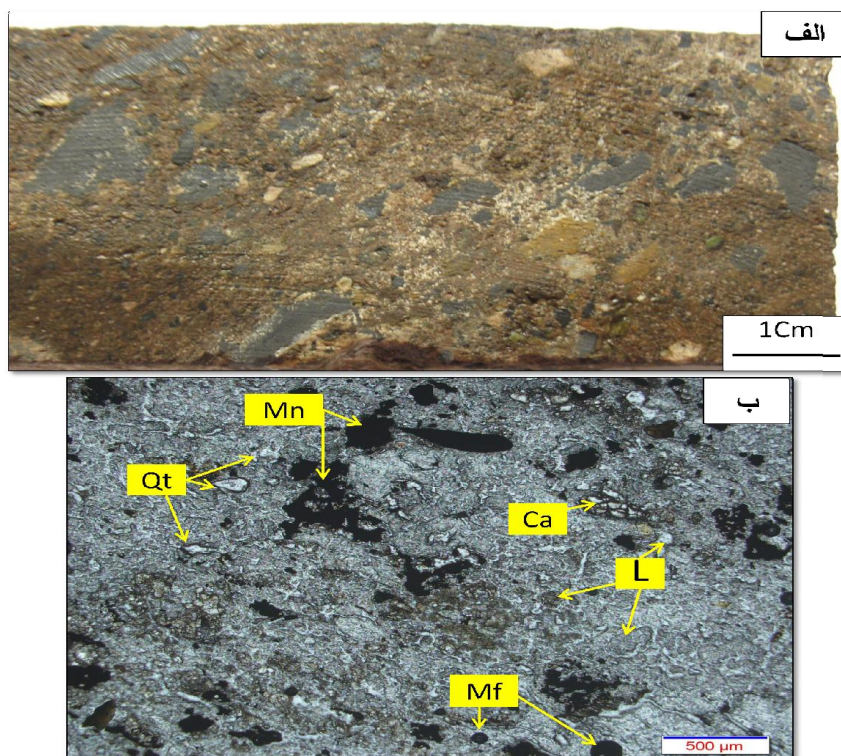


شکل ۳-۸- نمایی از توف‌های کربناتی میزبان افق کانه‌دار

توف قرمز که در داخل این واحد سنگی قرار دارد به نام لیتیک کریستال توف نامیده می‌شود و در مقاطع میکروسکوپی از قطعات لیتیک (L)، کریستال‌های کوارتز و کلسیت، کانی‌های کدر مثل منگنز و میکروفسیل‌ها در یک زمینه خاکستر شیشه‌ای تشکیل شده است (شکل ۳-۹). قطعات لیتیک به صورت کاملاً بی‌شکل و در ابعاد ۵ تا ۳۰۰ میکرون، در متن سنگ پراکنده شده‌اند و بیشترین فراوانی حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. کریستال‌های کوارتز در اندازه‌های متفاوت بوده و گاهی به صورت زاویه‌دار و گاهی کاملاً بی‌شکل می‌باشند. کلسیت به صورت بافت موزاییکی در بعضی



قسمت‌های مقطع دیده می‌شود. کانه‌های منگنز (Mn) به صورت پراکنده همراه با این ذرات تخریبی ته‌نشست یافته و همچنین آثاری از میکروفسیل‌هایی با مورفولوژی کاملاً گرد دیده می‌شوند که ساختار درونی خود را از دست داده‌اند و غیر قابل تشخیص و نامگذاری می‌باشند و توسط کانه‌های منگنز جانشین شده‌اند (شکل ۳-۹). وجود میکروفسیل‌ها و قطعات تخریبی در زمینه ریزبلور نشان از بالا بودن انرژی محیط می‌باشد (تاکر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴).

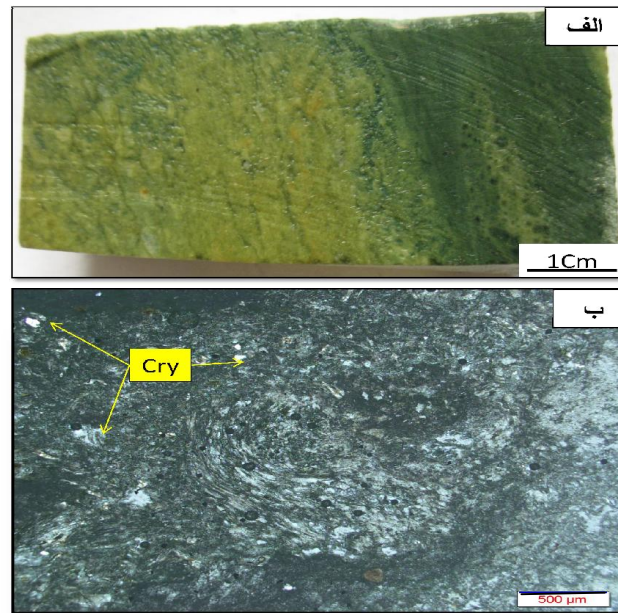


شکل ۳-۹- الف: نمونه دستی از توف کربناتی میزبان که منگنز به صورت پراکنده در متن سنگ حضور دارد ب: مقطع میکروسکوپی از این واحد که دارای کلسیت (Ca)، کوارتز (Qt)، قطعات لیتیک (L) و میکروفسیل (Mf) در یک زمینه شیشه‌ای می‌باشد.

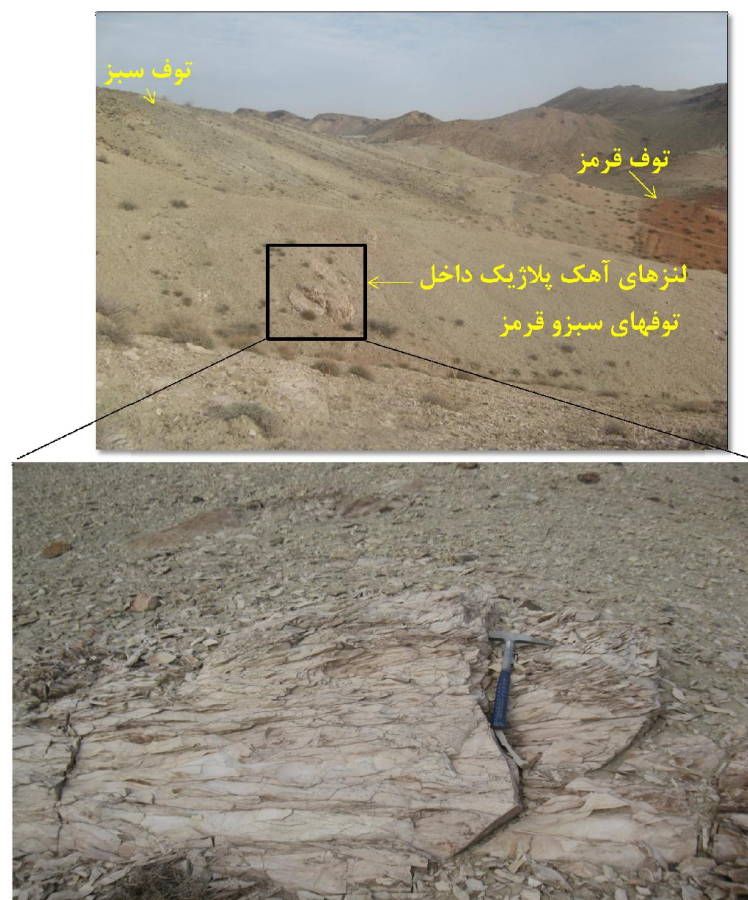
توف سبز که در داخل این واحد سنگی قرار دارد، در تقسیم‌بندی توف‌ها به نام توف بلوری نامیده می‌شود. علت این نام‌گذاری این است که در مقاطع میکروسکوپی بیش از پنجاه درصد توف از همان ماگمای عامل انفجار تشکیل شده و حاوی بلورهای زیاد می‌باشد. در این مقطع میکروسکوپی حالت جریان‌ی توف کاملاً مشخص است (شکل ۳-۱۰). این واحد که به صورت متناوب از توف‌های سبز و قرمز کربناتی و آهک تشکیل شده است به سمت سنگ‌های کمربالا میزان آهک در آن افزایش یافته

<sup>1</sup> - Tucker

و گاهی دارای عدسی‌ها و میان‌لایه‌هایی از آهک پلاژیک کرمی رنگ می‌باشد (شکل ۳-۱۱).



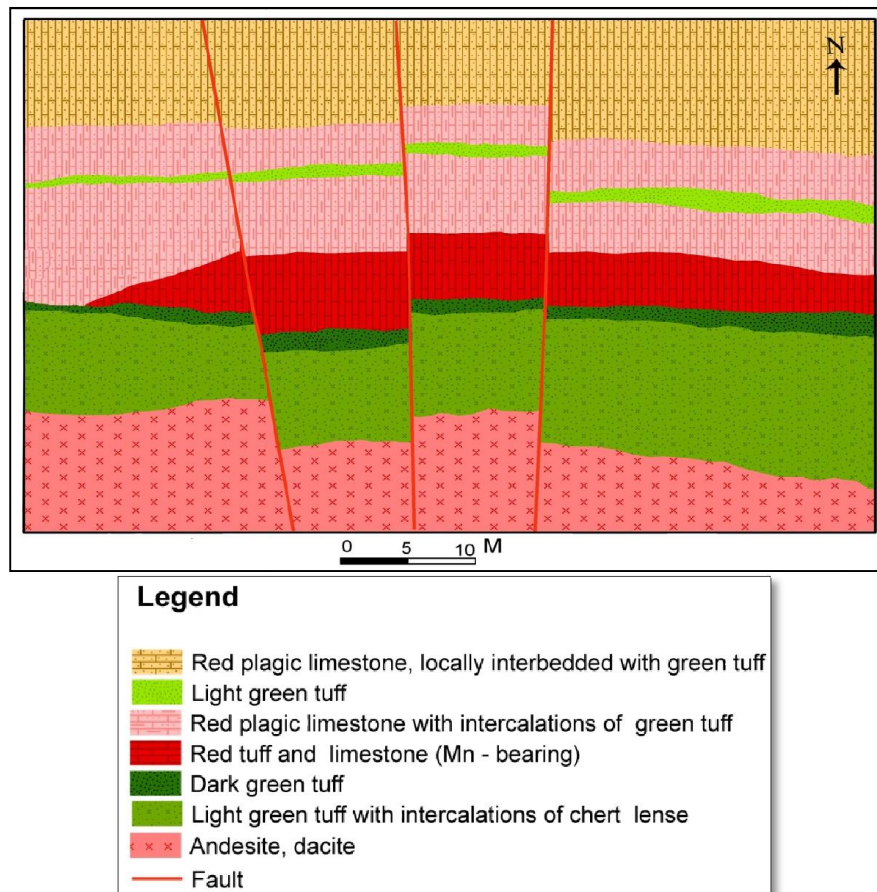
شکل ۳-۱۰- الف: نمونه دستی از توف سبز ب: مقطع میکروسکوپی از توف سبز که دارای بلورهای فراوان (Cry) می‌باشد و به نام توف بلور نامیده می‌شود. حالت جریانی در این توف کاملاً مشهود است.



شکل ۳-۱۱- نمایی از عدسی‌های آهک پلاژیک داخل توف‌های سبز و قرمز که در کمر بالای کانسار قرار گرفته است.

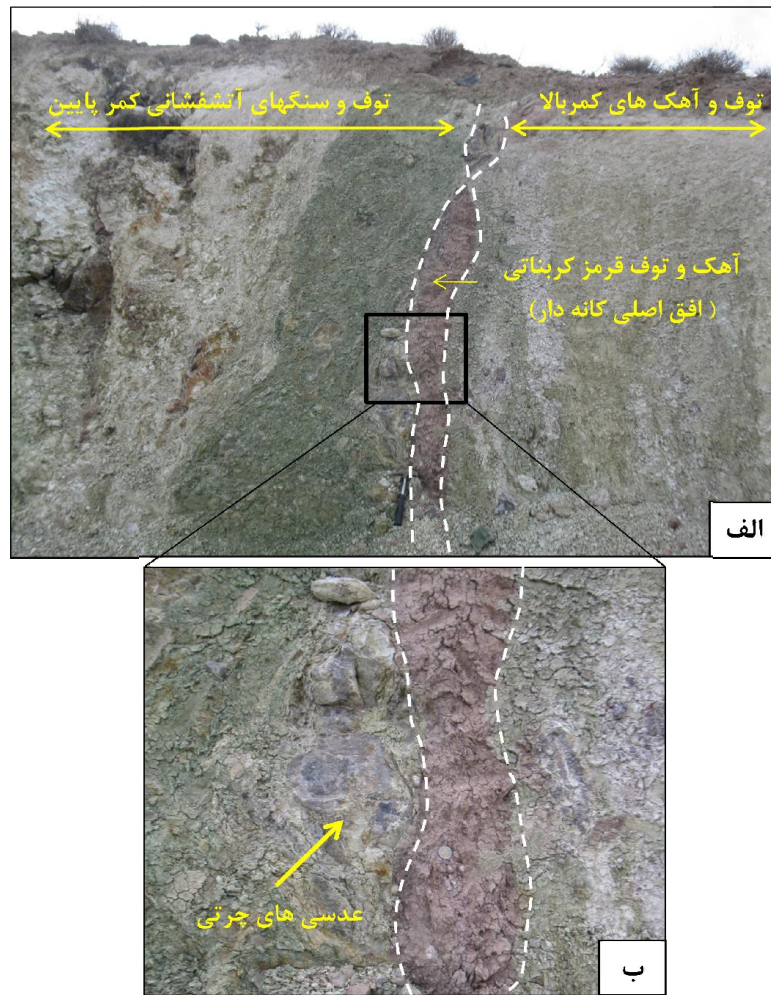


جزئیات این واحد با توجه به شکل نمادینی که از معدن تهیه شده است (شکل ۳-۱۲)، بیشتر نمایان می‌شود. عدسی‌های چرتی به صورت هم‌روند و هم‌شیب با عدسی‌های منگن‌دار، و در کمرباطین افق معدنی قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱۳).

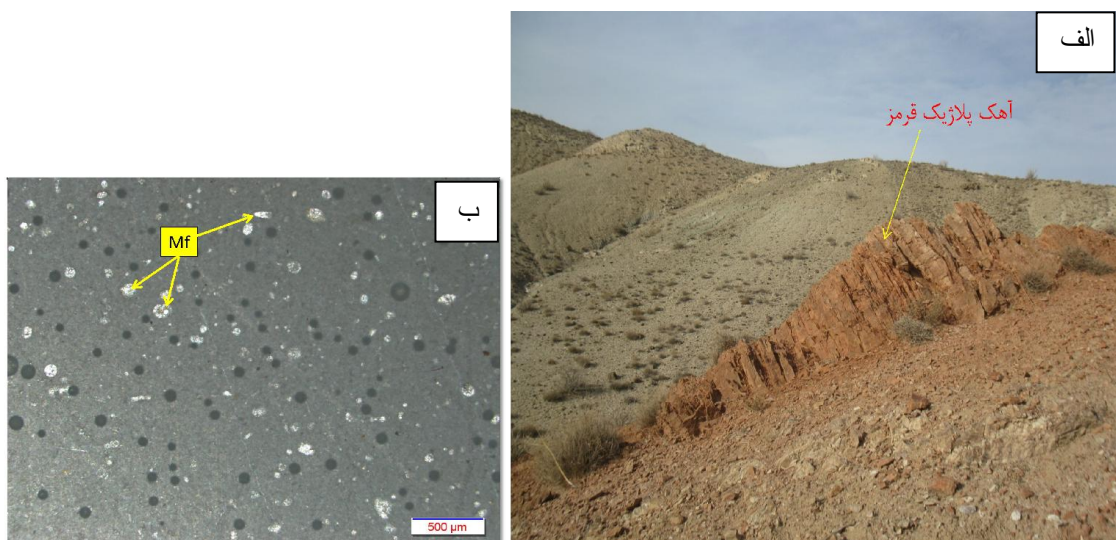


شکل ۳-۱۲ - نقشه نمادین از معدن منگنز ذاکری که عدسی منگنز در داخل آهک‌ها و توف‌های قرمز قرار دارد.

آهک پلاژیک نازک لایه: این واحد ضخامت زیادی در محدوده داشته و در کمر بالای کانسار منگنز ذاکری رخنمون دارد. این واحد به رنگ‌های قرمز و گاهی سفید دیده می‌شود. علت رنگ قرمز این واحد اکسیدان بودن محیط در هنگام تشکیل آن بوده است. این واحد دارای فسیل‌های فراوان و متنوعی می‌باشد (شکل ۳-۱۴) که اندازه آن‌ها کمتر از ۱۰۰ میکرومتر است و در بعضی قسمت‌ها دارای قطعات ولکانیکی و عدسی‌های چرتی نیز می‌باشد (شکل ۳-۱۵)، که این عدسی‌ها گاهی به رنگ قرمز بوده و این رنگ قرمز همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، نشان دهنده اکسیدان بودن محیط می‌باشد (شکل ۳-۱۶).

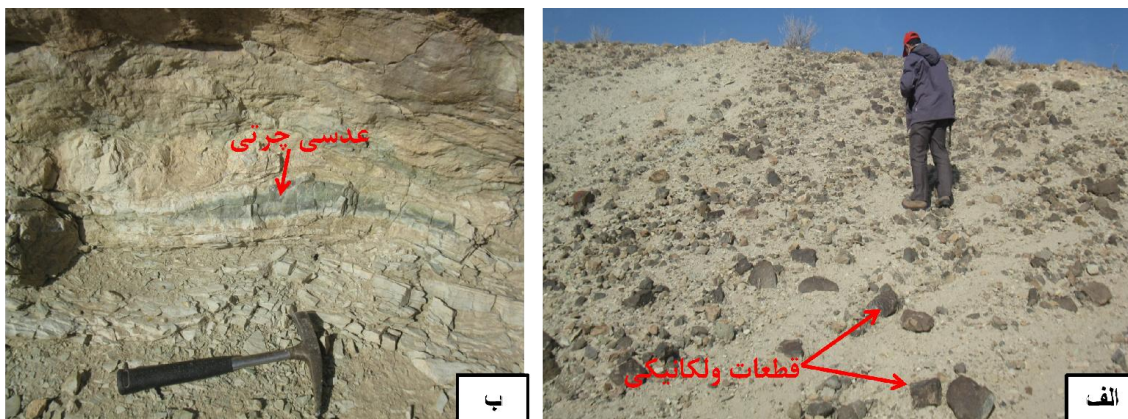


شکل ۳-۱۳- الف) کمر بالا و کمر پایین افق کانه دار و آهک و توف قرمز که میزبان عدسی منگنژدار در معدن ذاکری می باشد ب) عدسی های چرتی در کمر پایین افق کانه دار (دید به سمت جنوب غرب)



شکل ۳-۱۴- الف) نمایی از واحد آهک های پلاژیک قرمز در کمر بالای افق کانه دار و ب) تصویر میکروسکوپی از آهک های پلاژیک قرمز که حاوی فسیل های (Mf) فراوان می باشد (دید به سمت شمال غرب)





شکل ۳-۱۵- الف) نمونه‌ای از قطعات ولکانیکی در داخل آهک‌های پلاژیک، ب) تصویری از عدسی‌های چرتی در داخل آهک‌های پلاژیک



شکل ۳-۱۶- عدسی‌های چرتی که رنگ قرمز آنها نشان دهنده اکسیدان بودن محیط می‌باشد.

### ۳-۳- ماگماتیسم در منطقه

از پدیده‌های آذرین شاخص در منطقه، فعالیت ماگماتیسم به صورت گدازه‌های فلسیک و گاهی حدواسط در واحدهای آتشفشانی- رسوبی و رسوبی کرتاسه پسین می‌باشد. این گدازه‌ها ضخامت زیادی در منطقه نداشته و هم‌روند با واحدهای توفی و کربناتی محدوده، دارای امتداد شمال‌شرقی- جنوب‌غربی می‌باشند. گدازه‌ها در کمربالین افق معدنی ذاکری قرار گرفته و بیشتر به صورت داسیت و آندزیت می‌باشند. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه در واحد چهار از ستون چینه شناسی ناحیه‌ای (شکل ۳-۱) قرار دارد، بنابراین از توضیح فعالیت‌های آذرین در سایر واحدها صرف‌نظر نموده و فقط به فعالیت‌های آذرین در واحد چهار می‌پردازیم.

### ۳-۳-۱- داسیت

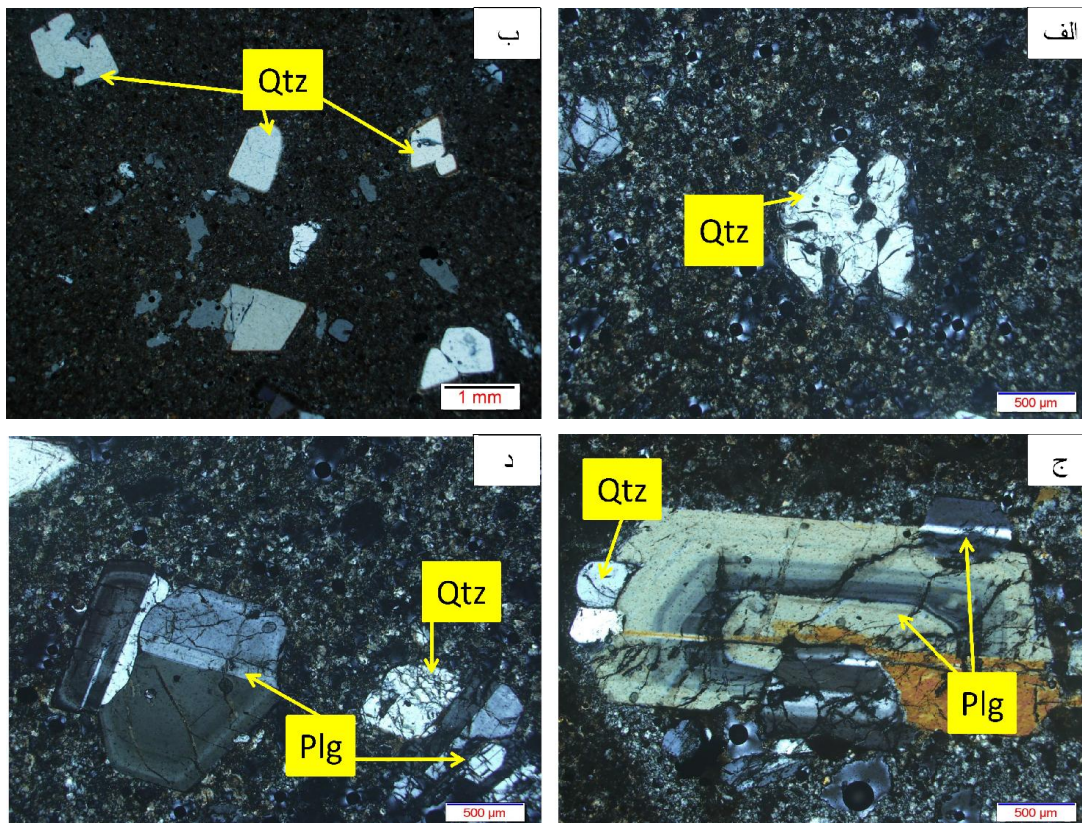
این زیر واحد که در واحد چهارم ستون چینه شناسی منطقه قرار دارد، به صورت همروند با لایه‌های دیگر در کمرباطین افق معدنی قرار گرفته است. ضخامت این سنگ‌های آذرین کم بوده و سنگ‌ها بیشتر به صورت توده‌ای می‌باشند. در ابتدا که آتشفشان با شدت بیشتری بوده گدازه‌های فلسیکی داسیتی شکل گرفته‌اند ولی در مراحل آخر آتشفشان، شدت فوران کاهش پیدا کرده و بیشتر توف‌های سبز و قرمز رسوب کرده‌اند. رنگ این واحد داسیتی زرد نخودی بوده و سن آن‌ها قدیمی‌تر از توف‌ها می‌باشد. این واحد به صورت محلی گسل خورده و کمی جابجا شده است ( شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷- نمایی از داسیت‌های نخودی رنگ (دید به سمت شرق)

این واحد ولکانیکی از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل شده است که در زمینه میکروکریستالین قرار دارد (شکل ۳-۱۸). بلورهای پلاژیوکلاز به صورت سالم و دارای ماکل پلی-سنتیتیک و گاهی کارلسباد هستند (شکل ۳-۱۸). کوارتز از دیگر فنوکریست‌هایی است که به صورت درشت بلور در سنگ‌های داسیتی با بافت پورفیری در منطقه وجود دارد. این بلورها بیشتر به صورت سالم و زاویه‌دار هستند ولی گاهی بافت خلیج‌خوردگی دارند و حتی در بعضی قسمت‌های مقطع، بلورهای کوارتز به صورت خرد شده هستند (شکل ۳-۱۸ د). تجمع بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای باعث به وجود آمدن بافت هیالوگومرو پورفیری شده است.





شکل ۳-۱۸- مقطع میکروسکوپی از داسیت‌های منطقه الف: بافت خلیج خوردگی کوارتز (Qtz) ب: وجود بلورهای سالم کوارتز در زمینه شیشه ای ج: وجود بلورهای درشت پلاژیوکلاز (Plg) با ماکل پلی‌سنتیتیک و کارلسباد، د: بلورهای پلاژیوکلاز در کنار هم و شکستگی بلورهای کوارتز در زمینه شیشه‌ای.

### ۳-۳-۲- آندزیت

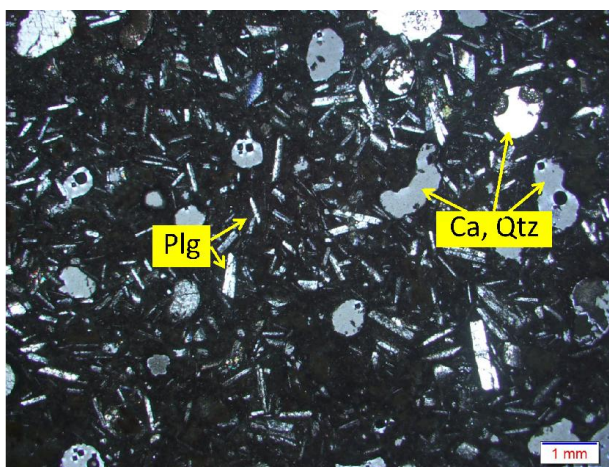
این سنگ‌ها که در واحد چهارم ستون چین‌شناسی ناحیه‌ای و در ناحیه جنوبی محدوده معدن قرار گرفته‌اند ضخامت زیادی داشته و به‌صورت هم‌روند در بین لایه‌های توفی، کربناتی بخش بالایی کرتاسه پسین با امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غرب دیده می‌شود (شکل ۳-۱۹). رنگ این واحد آذرین خاکستری تیره بوده و شیب لایه‌ها به سمت جنوب‌غرب می‌باشد. از ویژگی‌های این واحد آتشفشانی، حالت منشوری بودن آن می‌باشد که این واحد را از سایر واحدهای آتشفشانی- رسوبی در منطقه متمایز می‌کند. این منشورها در کنار هم قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱۹). این واحد آتشفشانی به‌صورت مرتفع بوده و در زیر افق کانه‌دار کانسار منگنز ذاکری قرار می‌گیرد. این واحد سنگی در مقاطع میکروسکوپی دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه میکروکریستالین تا شیشه‌ای قرار گرفته است

(شکل ۳-۲۰). حفرات موجود اکثراً توسط کلسیت و گاهی توسط کوارتز پر شده‌اند و بافت سنگ

هیالومیکرولیتی پورفیری می‌باشد (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۱۹- نمایی از آندزیت‌های منطقه که شیب لایه‌ها به سمت جنوب‌غرب می‌باشد.



شکل ۳-۲۰- مقطع میکروسکوپی از آندزیت که از بلورهای پلاژیوکلاز (Plg) و حفره‌های پر شده توسط کلسیت (Ca) و کوارتز (Qtz) در زمینه شیشه‌ای تشکیل شده است.



### ۳-۴- زمین شناسی ساختاری منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به صورت یک ناودیس می‌باشد، به طوری که واحد آتشفشانی- رسوبی میزبان کانه‌زایی توسط واحدهای جوان‌تر پوشیده می‌شود. این ساختار ناودیسی در داخل خود دچار چین خوردگی شده و ناودیس‌ها و طاق‌دیس‌های متعددی را دربرمی‌گیرد.

#### ۳-۴-۱- چین خوردگی‌ها

واحدهای میزبان کانه‌زایی منگنز شامل ریزچین‌های متعددی می‌باشند (شکل ۳-۲۱). حتی آهک‌های پلاژیک قرمز که میزبان کانه‌زایی منگنز در منطقه هستند از این چین خوردگی‌ها پیروی می‌نمایند که این امر نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی و چین خوردگی بعد از کانه‌زایی می‌باشد.

#### ۳-۴-۲- گسل‌ها

واحدهای آتشفشانی - رسوبی و رسوبی کرتاسه پسین به شدت دچار شکستگی و گسل خوردگی شده‌اند (شکل ۲-۱۰). بیشتر این گسل‌ها دارای روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب بوده و باعث جابجایی خیلی زیاد این واحدها شده است (شکل ۲-۱۰). و در محدوده معدن هم گسل‌هایی با روند شمال- غرب- جنوب‌شرق دیده می‌شود که باعث جابجایی واحدهای آتشفشانی- رسوبی شده‌اند (اشکال ۳-۴ و ۳-۱۲). یکی از گسل‌های مهمی که منطقه مورد مطالعه را بیشتر تحت تاثیر قرار داده است، گسل دولت‌آباد- چاه‌شن می‌باشد. این گسل دارای روند شرق شمال‌شرق- غرب جنوب‌غرب است که واحدهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین را از واحدهای جوان‌تر جدا نموده است (شکل ۲-۹). این گسل در واقع از سیستم‌های گسلی متعددی تشکیل شده و دارای انشعاباتی نیز می‌باشد که نشانه تداخل حرکت‌ها و جابجایی‌های جوان‌تر و نیز تأثیرات شکستگی‌های ریشه‌دار قدیمی در هدایت آنها می‌باشد (شکل ۲-۹).



شکل ۳-۲۱-الف) نمایی از آهک‌های پلاژیک چین خورده در معدن و ب) نمایی از چین خوردگی‌های توف‌های میزبان

## فصل چهارم

# کانه‌زایی و دگرسانی

#### ۴-۱- مقدمه

کانه‌زایی منگنز در پهنه سبزوار بسیار گسترده می‌باشد. مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین محققین دانشگاهی در پهنه سبزوار صورت گرفته است منجر به شناسایی رخدادهای متنوعی از کان‌زایی منگنز و مس در ناحیه جنوب‌غرب سبزوار و مشخص شدن الگوی تشکیل برخی از آنها گردیده است، ولی به‌طور کلی مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته بر روی این کان‌زائی‌ها بسیار محدود است. از جمله این کان‌زایی‌ها و اندیس‌های مطالعه شده، می‌توان به کانسار منگنز بنسبرد (مسعودی، ۱۳۸۸)، چشمه سفید (قنبری طرقله و مقدسی، ۱۳۸۹)، کانسار منگنز همایی (نصیری و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار منگنز نوده (نصرالهی، ۱۳۹۳) و کانسار مس نوده (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره نمود.

#### ۴-۲- رخدادهای کان‌زایی در ناحیه جنوب‌غرب سبزوار

در ناحیه جنوب‌غرب سبزوار کانسارها و اندیس‌های منگنز و مس فراوانی وجود دارند که هر کدام دارای جایگاه چینه‌شناسی متفاوتی می‌باشند. این کانسارها و اندیس‌ها را بر اساس سنگ میزبان، نوع ماده معدنی و موقعیت چینه‌شناسی می‌توان به دو گروه تقسیم نمود:

الف) کانسارها و اندیس‌های منگنز: این ذخایر خود به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند:

۱) ذخایر منگنز با سن بخش زیرین کرتاسه بالایی (افق I) و با سنگ میزبان توفی، مانند کانسارهای بنسبرد، فریزی، گف و نوده

۲) ذخایر منگنز با سن بخش بالایی کرتاسه بالایی (افق II) و با سنگ میزبان آهکی و توف‌های کربناتی مانند کانسارهای ذاکری I، ذاکری II، چشمه سفید، اندیس معدنی دانایی و مظفرآباد

ب) کانسارها و اندیس‌های مس: این ذخایر نیز بر حسب جایگاه چینه‌ای و نوع سنگ میزبان به سه زیر گروه تقسیم می‌گردند: (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)

۱) ذخایر مس با سنگ میزبان آندزیتی (افق I) مانند اندیس‌های فریزی و گراب

۲) ذخایر مس با سنگ میزبان ماسه‌سنگ‌های سیلتی، توفی (افق II) مانند افق I کانسار نوده و اندیس‌های مس کلاته لالا (نیران) و چون (شکل ۴-۱)

۳) ذخایر مس با سنگ میزبان آلکالی الیوین بازالت (افق III) مانند افق ۲ کانسار نوده (شکل ۴-۱). جایگاه ذخایر مس و منگنز در توالی چینه‌ای حوضه جنوب‌غرب سبزوار در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

Age	Symbols	Lithology	Ore- bearing horizons (Mn and Cu)		
Paleocene		Flysh type marl and sandstone, conglomerate	Zakeri I, Zakeri II, Danayi Cheshme Sefid and Mozafarabad Mn deposit Mn(II)		
		K: Mn-bearing tuff, andesite, brecciated tuff and tuffaceous sandstone F: Tuffaceous sandstone, tuff and andesite M: Marl, silty marl with intercalations of limestone P: Thin bedded Globotruncana pelagic limestone			
Late Cretaceous		Lower Late Cretaceous	Unit 4	Shaly tuff, tuffaceous sandstone and red tuff	Nudeh II Cu deposit Nudeh I, Chun, Lala Cu-Occurrence Cu(III) Cu(II)
			Unit 3	Gabbro sill	
			Unit 2	Alkali olivine basalt flow and tuffaceous silty sandstone (host of Cu deposit)	
			Unit 1	Agglomerate and lapilli tuff with intercalations of thin bedded tuff	
		Unit 1	Gabbro sill	Dacite porphyre	Nudeh, Benesbourd, Ferizy, Goft Mn deposits Garab, Ferizy Cu- occurrence Mn(I) Cu(I)
Unit 1	S: Pillow lava and spilite keratophyre Lithic tuff and lithic crystal tuff Trachyandesite Red tuff with Mn mineralization Cu-bearing andesite Andesitic tuff Rhyolite Lithic tuff and lithic crystal tuff	Early Cretaceous	Calpionellites limestone, calcareous shale, tuff and silty marl		

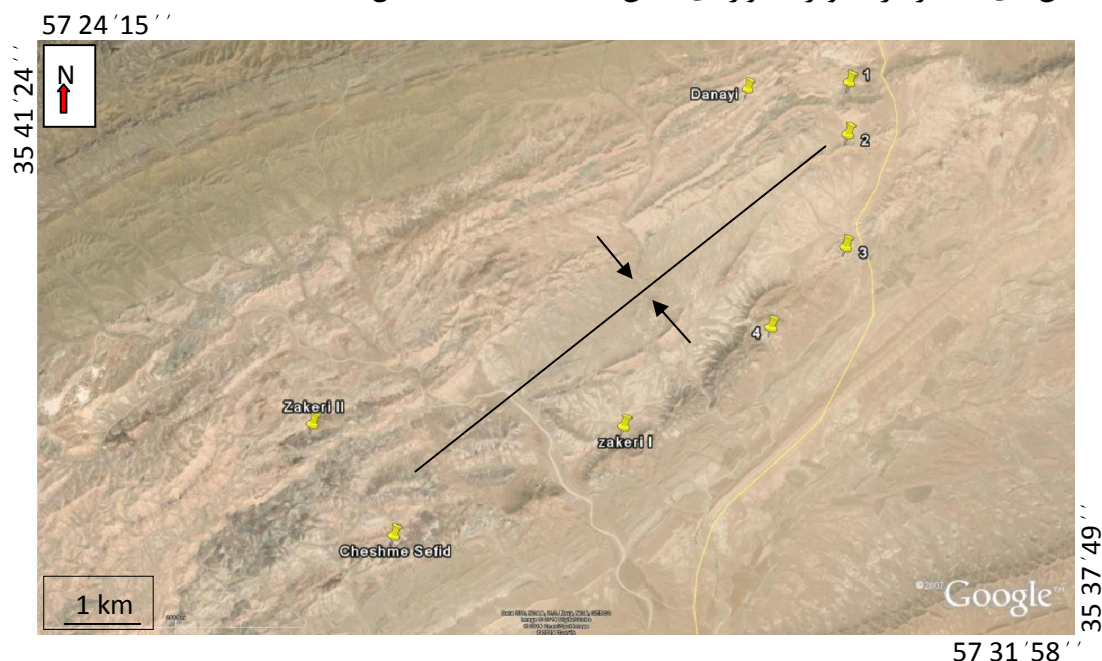
شکل ۴-۱- ستون چینه‌شناسی از واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه مورد مطالعه در جنوب‌غرب سبزوار (با تغییرات از مغفوری، ۱۳۹۱) کانی‌زایی منگنز در دو افق (رنگ قرمز) و کانی‌زایی مس در سه افق (رنگ آبی) تشکیل شده است.

با توجه به اینکه موضوع این پایان‌نامه بررسی کانه‌زایی منگنز در افق II منگنز در جنوب‌غرب سبزوار می‌باشد، لذا در این فصل صرفاً کانه‌زایی منگنز در این افق کانه‌دار و بویژه کانسار منگنز ذاکری مورد توجه قرار گرفته است.

#### ۴-۳- افق دوم کانه‌زایی منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه بالایی جنوب-

#### غرب سبزوار

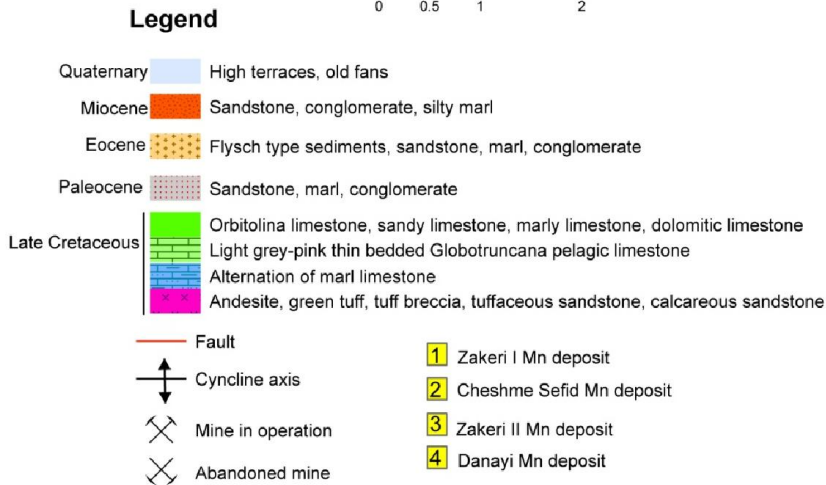
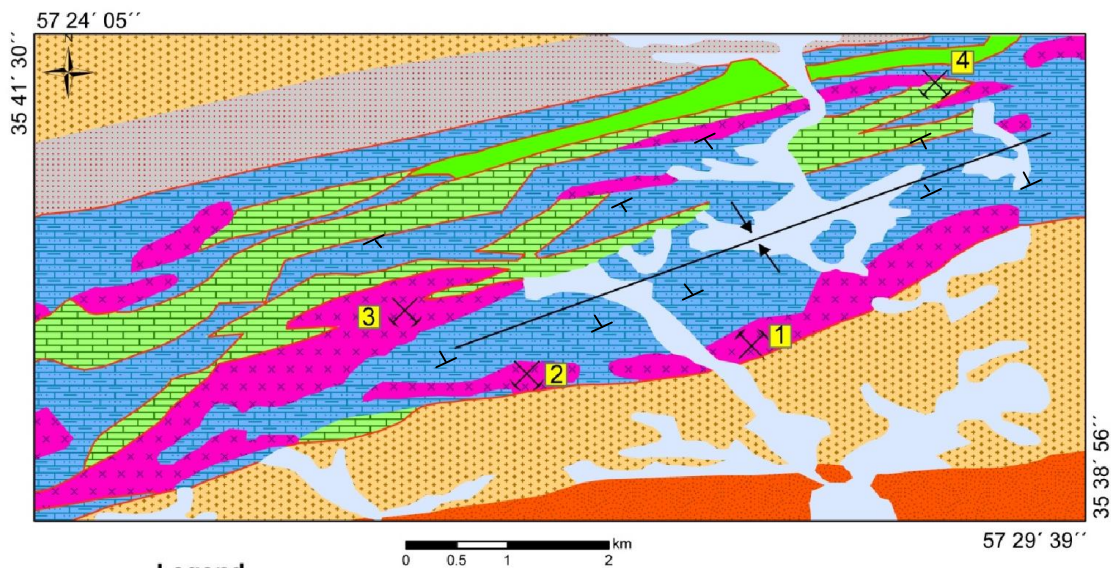
توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار از تناوب توف قرمز نازک لایه، کریستال لیتیک توف، ماسه‌سنگ توفی، ماسه‌سنگ، آهک و سنگ‌های آذرین مافیک و فلسیک تشکیل شده است (شکل ۴-۱). همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، کانه‌زایی منگنز افق دوم در ناودیس در جنوب روستای محمدآباد، با روند شمال شرقی - جنوب غربی قرار گرفته است که جایگاه هریک از معادن واندیس‌های منگنز در تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- تصویر ماهواره‌ای از منطقه جنوب غرب سبزوار و موقعیت کنسارها و واندیس‌های منگنز در آن. با توجه به شکل، کنسار منگنز چشمه سفید و ذاکری I در یال جنوبی و ذاکری II و واندیس معدنی دانایی در یال شمالی ناودیس محلی قرار گرفته‌اند. (شماره‌های ۱ تا ۴ واندیس‌های معدنی کوچکی از منگنز هستند که در منطقه دیده می‌شوند).

در یال جنوبی این ناودیس کنسارهای چشمه سفید و ذاکری I و در یال شمالی آن ذاکری II و واندیس معدنی دانایی وجود دارد (شکل ۴-۳) که توالی آتشفشانی-رسوبی در یال شمالی با یال جنوبی کمی باهم متفاوت می‌باشند (شکل ۳-۵). در ادامه به ترتیب ویژگی‌های هر یک از ذخایر فوق مورد بررسی قرار می‌گیرد.





شکل ۴-۳- نقشه زمین شناسی از ناودیس ناحیه‌ای و موقعیت کانسارها و اندیس‌های منگنز در آن.

### ۴-۳-۱- ویژگی‌های کان‌زایی منگنز در کانسار ذاکری I و رخساره‌های کان‌دار در آن

کانی‌سازی در کانسار منگنز ذاکری (به خصوص در عدسی شرقی) براساس شکل، کانی‌شناسی، بافت

ماده معدنی و عیار آن از پایین به بالا به چهار رخساره متفاوت ذیل قابل تقسیم است (شکل ۴-۴):

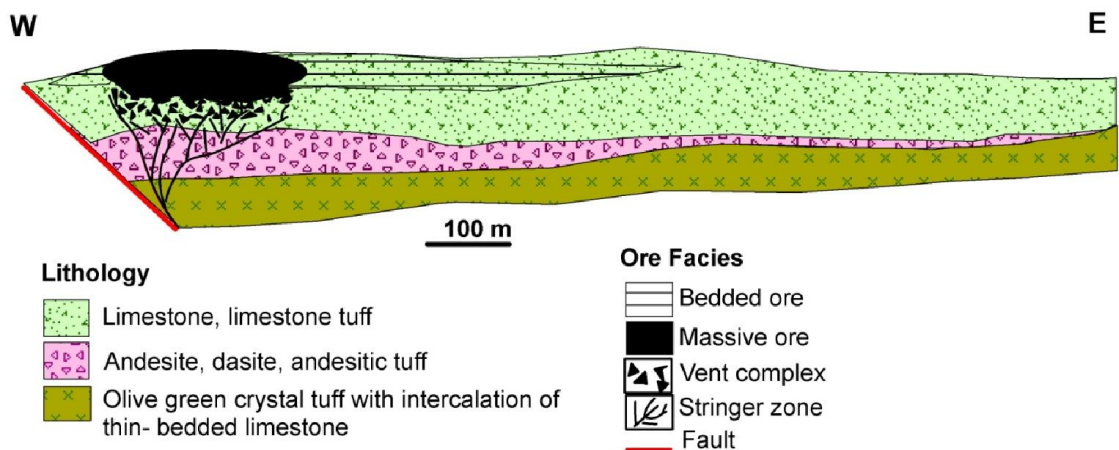
الف) رخساره رگه-رگچه‌ای

ب) رخساره برشی

ج) رخساره توده‌ای

د) رخساره لایه‌ای

نمای نمادین این رخساره‌ها و چگونگی ارتباط آن‌ها بر اساس مطالعه نمونه‌های دستی و میکروسکوپی و بررسی‌های صحرائی در شکل ۴-۴ ترسیم گردیده است. ویژگی‌های هر یک از این رخساره‌ها به شرح زیر می‌باشد.

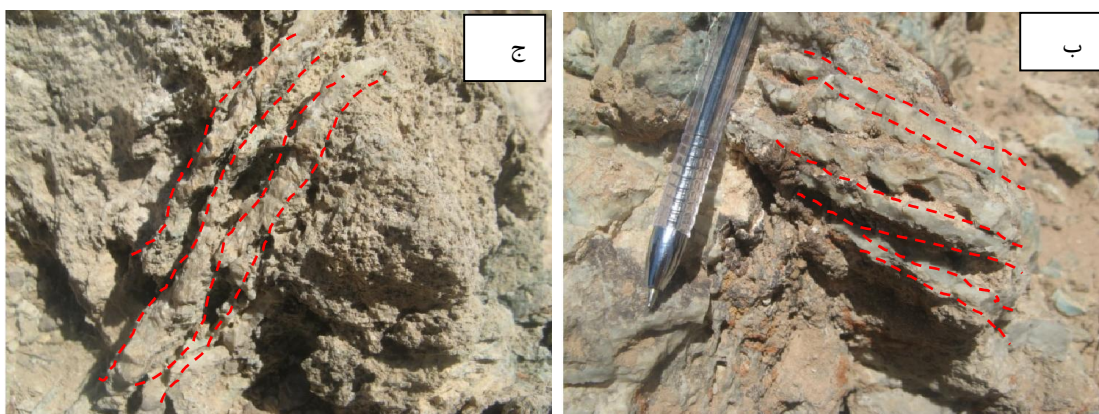


شکل ۴-۴- نمایی نمادین از ژئومتری عدسی شکل و رخساره‌های چهارگانه کانه‌دار در آن.

**رخساره رگه- رگچه‌ای:** این رخساره در کانسار منگنز ذاکری، در داخل سنگ‌های آتشفشانی کمر پایین قرار داشته و دارای گسترش زیادی است و در زیر رخساره کانسنگ توده‌ای و در بخش جنوب شرقی کانسار به شکل شبکه‌ای از رگه - رگچه‌های سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۴-۵). این رگه- رگچه‌ها نامنظم بوده و متشکل از کانی‌های سیلیس و منگنز می‌باشند. آنها محل عبور سیال کانه‌ساز بوده‌اند که باعث دگرسانی سنگ درونگیر در اطراف رگه- رگچه‌ها شده است. دگرسانی‌های کلریتی و آرژیلیتی در این رخساره دارای گسترش فراوانی هستند.

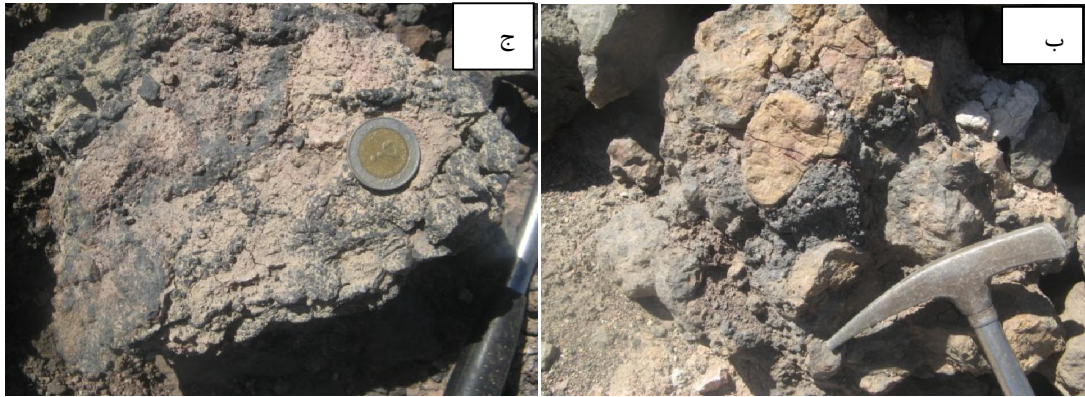
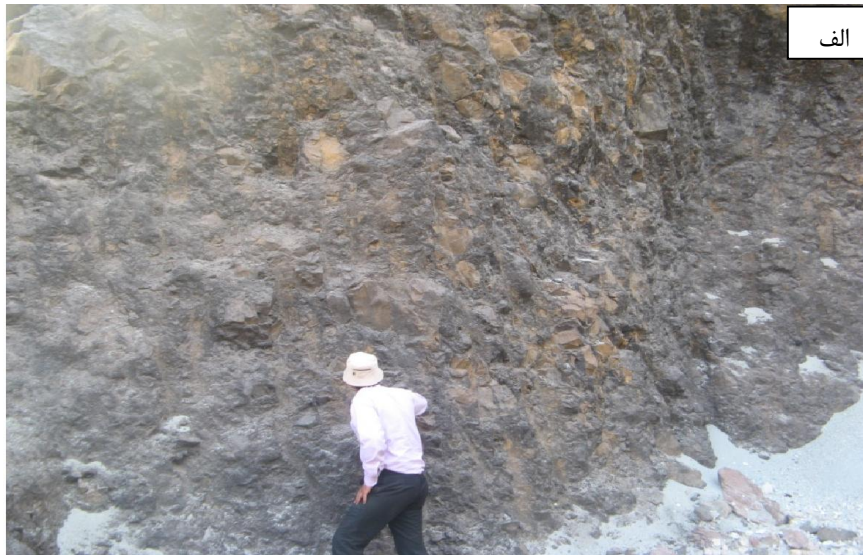
**رخساره برشی:** این رخساره در روی رخساره رگه- رگچه‌ای و در زیر رخساره توده‌ای قرار گرفته و در معدن ذاکری گسترش زیادی ندارد. کانه‌های اکسیدی منگنز در بین قطعات برشی سنگ میزبان قرار گرفته (شکل ۴-۶) و بیشتر شامل پیرولوزیت و پسیلوملان می‌باشند. این رخساره دارای عیار پایینی از منگنز بوده و دگرسانی غالب در این رخساره آرژیلیتی و کلریتی می‌باشد.



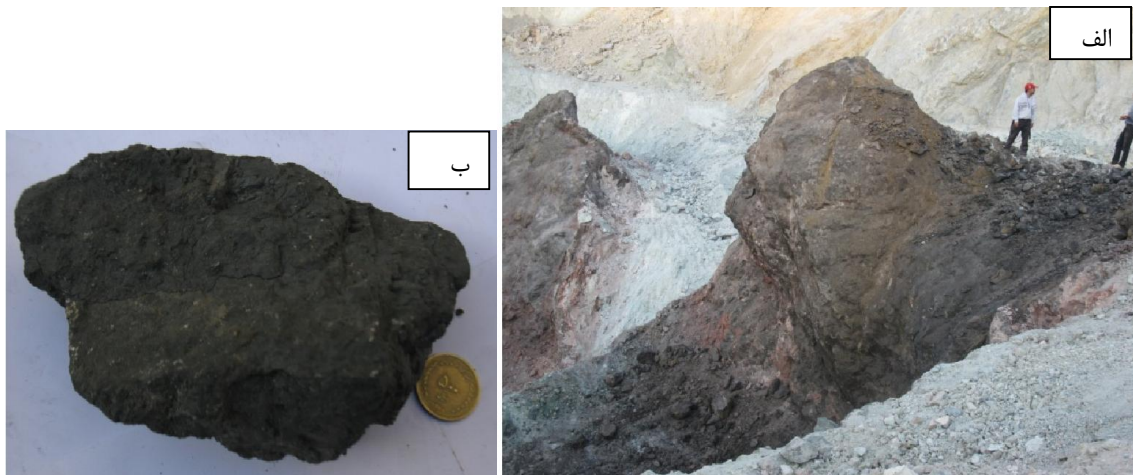


شکل ۴-۵- نمایی از رخساره رگه- رگچه‌ای در سنگ‌های آتشفشانی کمربالا (ب، ج) نمونه دستی از رگچه‌های سیلیسی در رخساره رگه- رگچه‌ای

**رخساره توده‌ای:** این رخساره که بیشترین وسعت را در کانسار منگنز ذاکری دارد به صورت پیکره-های عدسی شکل تشکیل شده و دارای عیار منگنز بالایی نسبت به رخساره‌های دیگر است. عیار منگنز در این رخساره به ۵۲٪ نیز می‌رسد. بنابراین قابلیت استخراج و بهره‌برداری را دارد. گسترش طولی این عدسی بسیار بیشتر از ضخامت آن است که این یکی از ویژگی‌های عمده کانسارهای منگنز با سنگ درونگیر آتشفشانی- رسوبی می‌باشد (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۶-الف) نمایی از رخساره برشی در زیر کانسنگ توده‌ای. ب، ج) نمونه دستی از رخساره برشی که در آن کانی‌های منگنز (مشکی) در داخل سنگ میزبان دگرساز شده قرار گرفته‌اند.

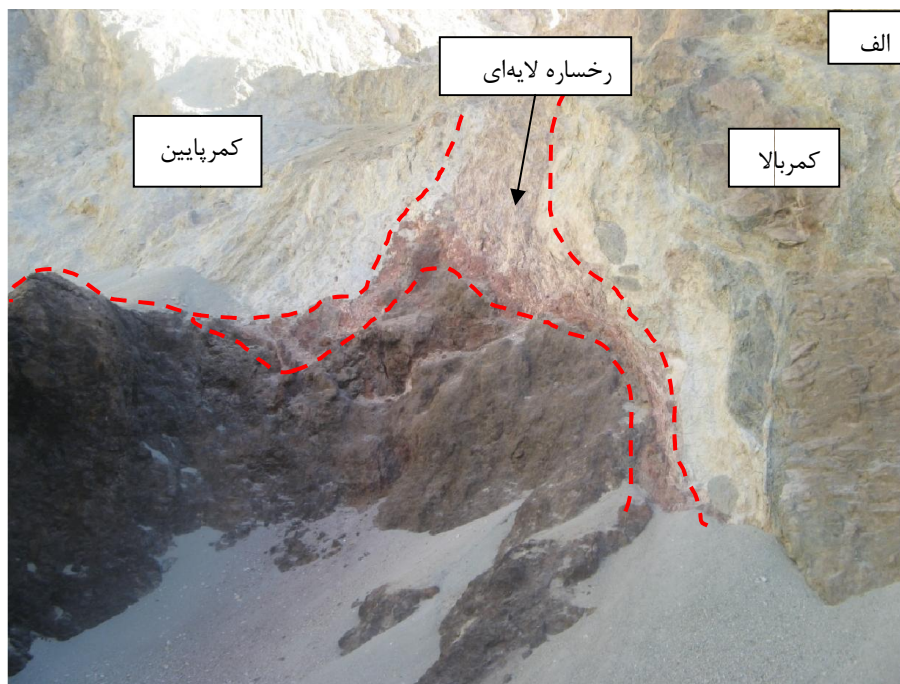


شکل ۴-۷-الف) نمایی از رخساره توده‌ای (بخش پریکار معدن) به شکل عدسی ب) نمونه دستی از آن

کانی‌شناسی منگنز در این رخساره بسیار ساده و شامل پیرولولوزیت و پسیلوملان می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های اساسی این رخساره، می‌توان به پایین بودن نسبت کانی‌های آتشفشانی- رسوبی به 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 ۴-۷).

**رخساره لایه‌ای:** این بخش از کانسار ذاکری دارای ضخامت و عیار کمتری نسبت به رخساره توده‌ای بوده و شامل تناوبی از لامینه‌های متعدد اکسیدی متشکل از کانی‌های پیرولولوزیت و پسیلوملان در داخل سنگ میزبان می‌باشد. رخساره کانسنگ لایه‌ای، همروند با لایه بندی (چینه‌سان) بوده، و از انتهای بخش توده‌ای به سمت شرق کانسار، دارای گسترش است. سنگ دربرگیرنده این رخساره کانه- دار توف کربناتی می‌باشد. اکسیدها از لامینه‌های با ضخامت میلی‌متری تا نوارهای در حد سانتی متری، به صورت همروند با سنگ درون‌گیر تشکیل شده‌اند. ضخامت نوارهای اکسیدی در این رخساره، با دور شدن از کانسنگ توده‌ای، کاهش می‌یابد (شکل ۴-۸).





شکل ۴-۸- نمایی از رخساره لایه‌ای (ب) نمونه دستی از بافت لامینه در رخساره لایه‌ای که لامینه‌های منگنز با ضخامت چند میلیمتری در داخل سنگ میزبان ته‌نشست شده است.

#### ۴-۳-۲- کانه‌زایی منگنز در کانسار ذاکری II

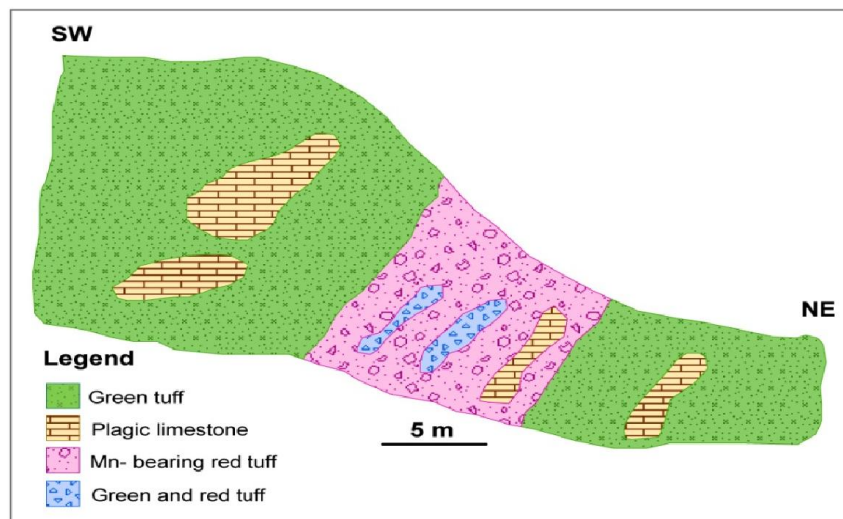
کانه‌زایی منگنز در معدن ذاکری II با معدن ذاکری I در یک افق و در درون آهک‌ها و توف‌های کربناتی قرمز رنگ قرار گرفته است (شکل ۴-۹).

عیار منگنز در این معدن بسیار پایین بوده (حدود ۰.۶٪) و میزان آهن و سیلیس در آن بسیار بالا می‌باشد و همین امر باعث غیر اقتصادی شدن این معدن شده است. افق کانه‌دار در این معدن که به

همراه توف و آهک است ضخامت حدود ۱۰ تا ۱۵ متر داشته به صورت چینه‌سان و هم‌روند با لایه-بندی سنگ میزبان می‌باشد (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۹- نمایی از توالی آتشفشانی- رسوبی و واحد کانه‌دار در معدن منگنز ذاکری II (دید به سمت شمال غرب)



شکل ۴-۱۰- مقطع عرضی از واحدهای سنگی معدن ذاکری II و موقعیت افق کانه‌دار در آن

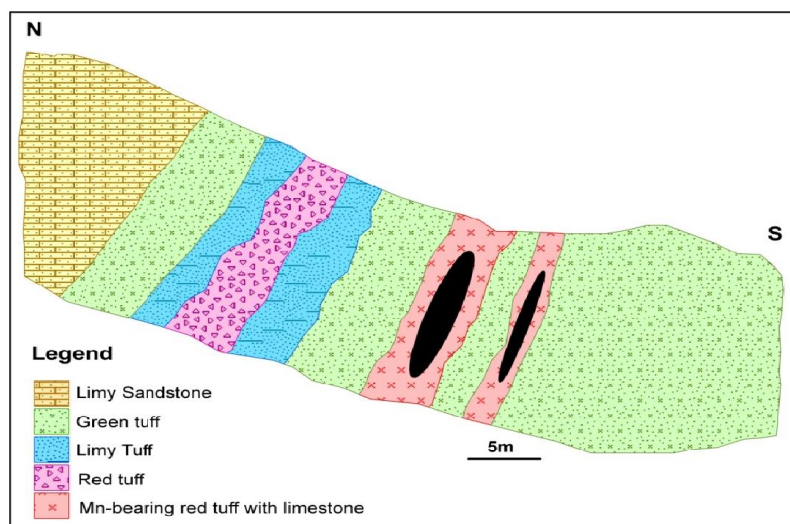
### ۳-۳-۴- کانه‌زایی منگنز در کانسار چشمه سفید

کانه‌زایی منگنز در معدن چشمه سفید با معدن ذاکری I در یک افق قرار دارد. این افق کانه‌دار در داخل توف‌های آهکی و به ضخامت حدود ۴ تا ۵ متر قرار دارد (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱- نمایی از واحدهای آتشفشانی- رسوبی و افق کانه‌دار در معدن منگنز چشمه سفید که افق کانه‌دار هم‌روند و هم‌شیب با لایه‌بندی سنگ میزبان است (دید به سمت شرق).

عیار منگنز در این افق بالا بوده (حدود ۰.۳۸٪) و میزان آهن و سیلیس در آن پایین است و این باعث اقتصادی شدن این افق معدنی شده است. شکل هندسی ماده معدنی در این افق به صورت عدسی بسیار چین‌خورده‌ای است که در لابلای آن آهک پلاژیک و توف‌های سبز با ضخامت کمتری قرار گرفته است (شکل ۴-۱۲). منگنز در این کانسار به صورت کانی‌های پیرولوزیت و پسیلوملان بوده و بیشتر بافت جانشینی دارد، به این صورت که منگنز در قالب فسیل‌های موجود در آهک پلاژیک جانشین شده است.



شکل ۴-۱۲- مقطع عرضی از واحدهای سنگی معدن منگنز چشمه سفید و موقعیت افق کانه‌دار در آن



#### ۴-۳-۴- کانه‌زایی منگنز در اندیس معدنی دانایی

کانه‌زایی منگنز در اندیس دانایی بسیار کم عیار بوده (حدود ۰.۴٪) و قابل استخراج نمی‌باشد. میزان آهن و سیلیس در این اندیس بالا می‌باشد. این اندیس کانه دار در داخل توفهای آهکی و به ضخامت حدود ۳ تا ۴ متر قرار دارد (شکل ۴-۱۳). شکل هندسی ماده معدنی در این افق به صورت عدسی می‌باشد. منگنز در این کانسار بیشتر به صورت کانی پیرولوویت است که به همراه آن گاهی مگنتیت نیز دیده می‌شود.



شکل ۴-۱۳- نمایی از واحدهای میزبان و افق کانه‌دار در اندیس معدنی دانایی (دید به سمت شمال غرب)

#### ۴-۴- دگرسانی

دگرسانی یک فرآیند ساده برای تغییر ترکیب شیمیایی و در نهایت تغییر در کانی‌شناسی مجموعه‌ای از سنگ‌ها است که با ورود سیالات با دماهای متفاوت، موجب ایجاد تغییرات در بافت و ساخت سنگ نیز می‌شود. در دگرسانی، کانی‌های اولیه توسط کانی‌های ثانویه جانشین می‌شوند زیرا در آن بیشتر شرایط موجود برای سنگ تغییر می‌کند. این تغییرات می‌تواند در اثر تغییراتی مثل دما، فشار، ترکیب شیمیایی و یا ترکیبی از آنها باشد. دگرسانی گرمایی در واقع تغییر در کانی‌شناسی، در نتیجه اثر متقابل سیالات گرم در سنگ است، که این سیالات با اضافه و کم کردن کانی‌ها به ترکیب سنگ

همراه است، تا جایی که سیستم گرمایی به سوی تعادل پیش می‌رود. در حالت کلی به تغییر ایجاد شده در سنگ، دگرسانی گفته می‌شود (لاگاست<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹).

میزان دما در این سیالات می‌تواند بسیار متفاوت باشد و از میزان کم تا حد جوشش نیز برسد. همچنین ترکیب سیالات نیز بسیار متغیر است و ممکن است شامل گازهای مختلف، نمک (سیالات شور)، آب و فلزات باشد که این فلزات با کمپلکس‌های متفاوتی می‌توانند حمل شوند. عوامل مؤثر در گسترش و شدت دگرسانی‌های گرمایی، نفوذپذیری، ترکیب و حجم آب و سیال، دما و فشار محلول و مدت زمان عملکرد دگرسانی است. این فاکتورها تا حد زیادی مستقل از هم هستند اما تأثیر یکی از فاکتورها به صورت محلی می‌تواند بیشتر از فاکتورهای دیگر باشد (لاگاست، ۲۰۰۹). شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی که می‌تواند همراه با کانه‌زایی رخ دهد، یکی از بنیان‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است که در اکتشاف کانسارها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه بسیار کم و به‌طور عمده شامل دگرسانی کلریتی- کربناتی، سیلیسی و آرژیلیکی و به مقدار کمتر سریسیتی است.

#### ۴-۴-۱- دگرسانی کلریتی- کربناتی

کلریتی شدن حالت خاصی از دگرسانی پروپیلیتیک است که به دلیل درصد بالای کلریت آن را به نام دگرسانی کلریتی می‌نامند. این دگرسانی از مهمترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمایی غنی از آهن و منیزیم ایجاد می‌شود و در اثر این فرآیند، سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می‌کند (شکل ۴-۱۴). بر اساس مطالعات میکروسکوپی، وجود بخشی از دگرسانی کلریتی مربوط به حضور کانی‌های مافیک مثل پیروکسن می‌باشد که در اثر برخورد سیال به سطوح رخ و شکستگی‌های موجود بر روی کانی پیروکسن، آن را دگرسان و به کلریت تبدیل کرده است و گاهی این سیال حفره‌های موجود در متن سنگ را به صورت پراکنده پر کرده است (شکل ۴-۱۵).

---

<sup>۱</sup> - Lagast

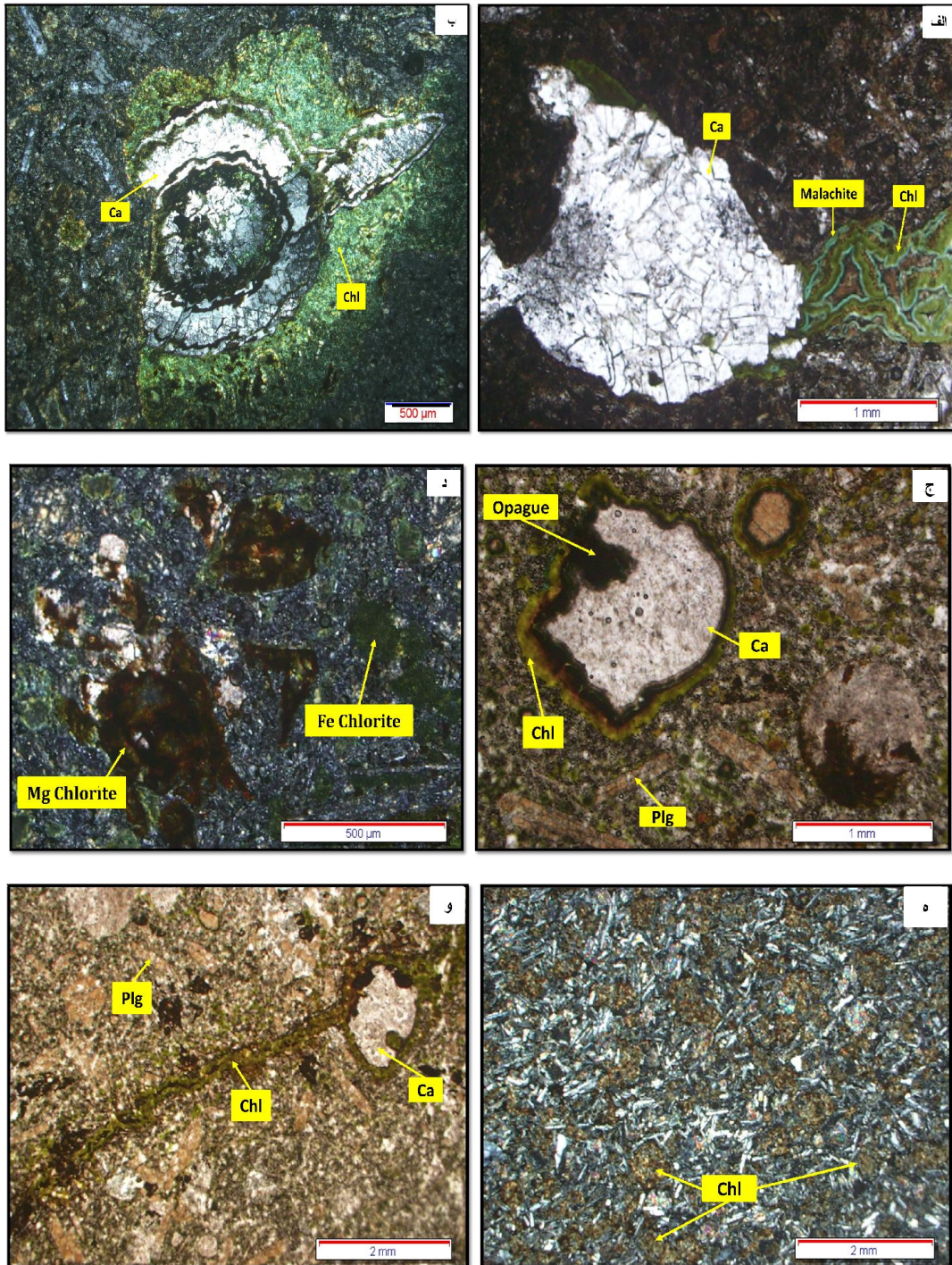




شکل ۴-۱۴- نمایی از دگرسانی کلریتی-کربناتی و آرژیلیتی در کانسار

این دگرسانی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری می‌باشد که در بیشتر موارد با دگرسانی کربناتی همراه است. سنگ‌های کمرپایین ماده معدنی به شدت دچار دگرسانی کلریتی شده و به صورت سبز-قهوه‌ای می‌باشند. کربناتی شدن یک دگرسانی رایج برای تشکیل انواع کانی‌های کربناته است که معمول‌ترین آن‌ها کلسیت، آنکریت و دولومیت است و همچنین می‌تواند به همراه کانی‌های دیگر مثل تالک، کلریت، سربیسیت و آلبیت باشد. دگرسانی کربناتی باعث ایجاد پهنه‌بندی در اطراف کانسارها می‌شود که در کانسنگ‌های نزدیک به منشأ این پهنه غنی از آهن است (لاگاست، ۲۰۰۹) در کانسار منگنز ذاکری دگرسانی کربناتی در اطراف عدسی‌های منگنز به صورت گسترده اتفاق افتاده است و در بیشتر موارد با دگرسانی کلریتی همراه می‌باشد. کربناتی شدن در کانسار منگنز ذاکری 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 حفرات نمود دارد. کلسیت‌ها گاهی رنگ قهوه‌ای روشن به خود گرفته‌اند که حاکی از آغستگی آن‌ها با آهن است.





شکل ۴-۱۵- تصاویری از دگرسانی کلریتی و کربناتی در کانسار منگنز ذاکری. الف) همراهی دگرسانی کلریتی با کربناتی که کلسیت‌ها به صورت دانه درشت و در اطراف کلریت، ملاکیت قرار گرفته است. ب) دگرسانی کلریتی به همراه کربناتی که کلسیت و کلریت حفره‌ها را پر کرده‌اند. ج) پرشدن حفره‌ها در اثر کانی‌های حاصل از دگرسانی، که در اطراف حفره کلریت سپس کانی‌های تیره و قسمت داخلی‌تر آن کلسیت دیده می‌شود. د) دگرسانی کلریتی غنی از منیزیم و غنی از آهن در توف‌های سبز (ه) جانشینی کلریت به جای کانی مافیک اولیه (احتمالاً کلینوپیروکسن) که شکل کانی اولیه حفظ شده است. و) کلریتی که در داخل شکاف‌ها به صورت رگچه‌ای و همچنین در اطراف حفره‌ها دیده می‌شوند.

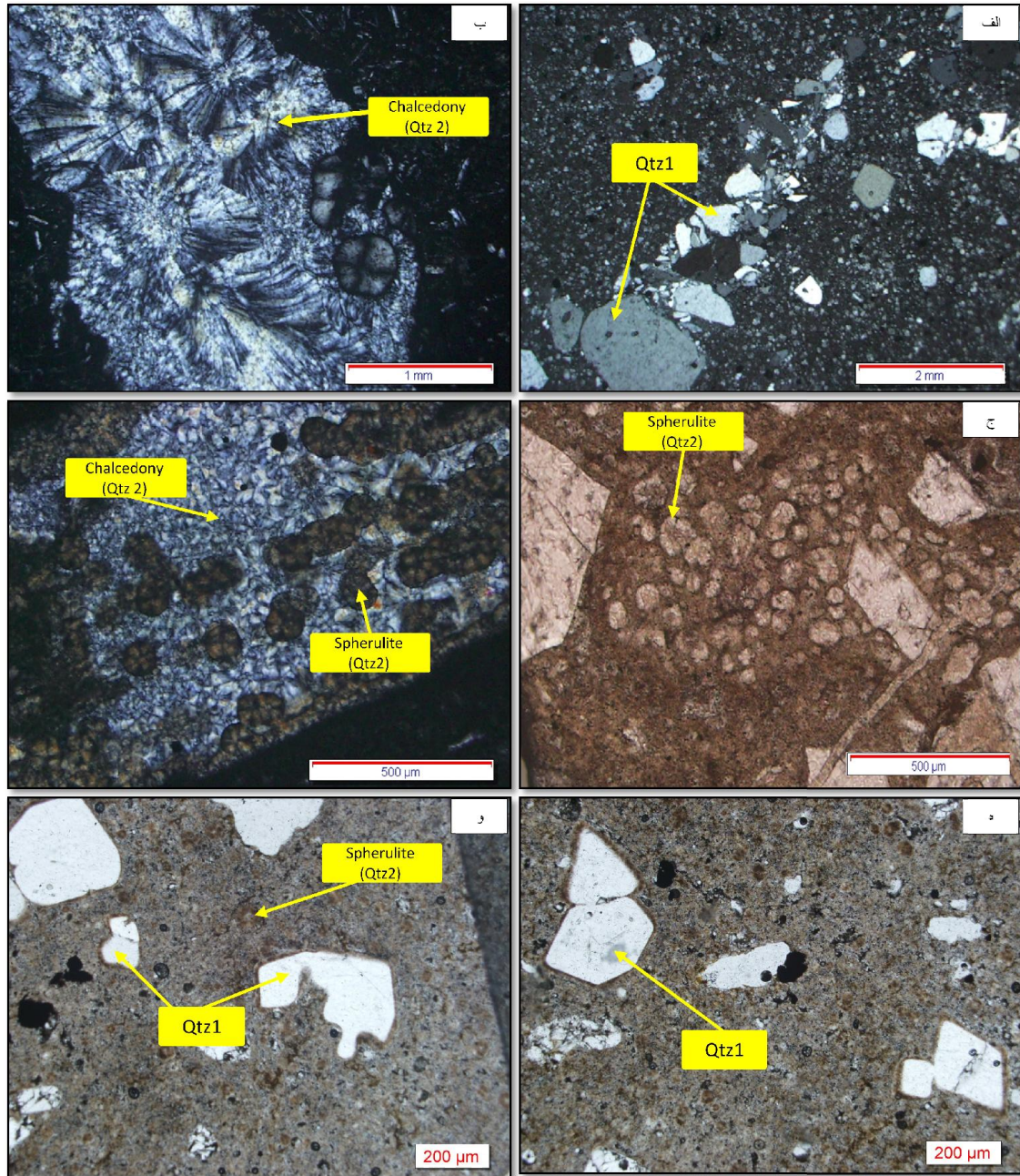
در طی مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که پلاژیوکلازها مهمترین کانی‌هایی هستند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. پلاژیوکلازها که حاوی مقدار زیادی کلسیم هستند در اثر برخورد سیالات گرمابی متلاشی شده و کلسیم حاصل از آنها ابتدا به صورت بی‌کربنات و سپس به صورت کلسیت در حفرات و درز و شکاف ته‌نشست می‌شود (شکل ۴-۱۵).

#### ۴-۴-۲- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی گرمابی است که با افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال، کلسدونی) در سنگ همراه می‌باشد. وجود فضای خالی و شکستگی در محیط، فرآیند سیلیسی شدن را آسان می‌کند. این دگرسانی به‌طور گسترده رگه‌ها و یا فضاهای خالی نظیر حفره‌ها و شکستگی‌های بین قطعات یک سنگ را پر می‌کند و یا به‌طور کامل جانشین یک کانی می‌شود. این دگرسانی در گستره وسیعی از دما رخ می‌دهد (لاگاست، ۲۰۰۹). در محدوده کانسار منگنز ذاکری این دگرسانی در کمر پایین افق معدنی و به همراه دگرسانی آرژیلیتی رخ داده است. (شکل ۴-۱۶). سیلیسی شدن در محدوده کانسار ذاکری یا به‌صورت کوارتز رشته‌ای در رگه‌ها و رگچه‌ها (کلسدونی) و یا به‌صورت اضافه شدن سیلیس بلورین به سنگ نمود دارد. در طی مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که حتی گاهی توف‌های شیشه‌ای موجود در کمرباطین 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. شواهد بارز اسفرولیتی شدن در تصاویر میکروسکوپی به راحتی دیده می‌شود (شکل ۴-۱۶). البته کوارتزهای آواری نیز در نمونه‌های کانسار منگنز ذاکری مشاهده می‌شود که اغلب دارای حاشیه انحنادار و گرد شده هستند و حتی گاهی بافت خلیج خوردگی و غربالی در آنها دیده می‌شود و به‌صورت پلی-کریستالین در آمده‌اند. که این امر می‌تواند حاکی از آواری بودن بلورهای کوارتز باشد. بعضی از کوارتزهای آواری در سنگ‌های کمربالا به‌شدت خرد و متلاشی شده و تجمع خوشه‌ای پیدا کرده‌اند که نشان‌دهنده انفجاری بودن آتشفشان در مراحل اولیه فوران بوده است. در حاشیه کوارتزهای آواری



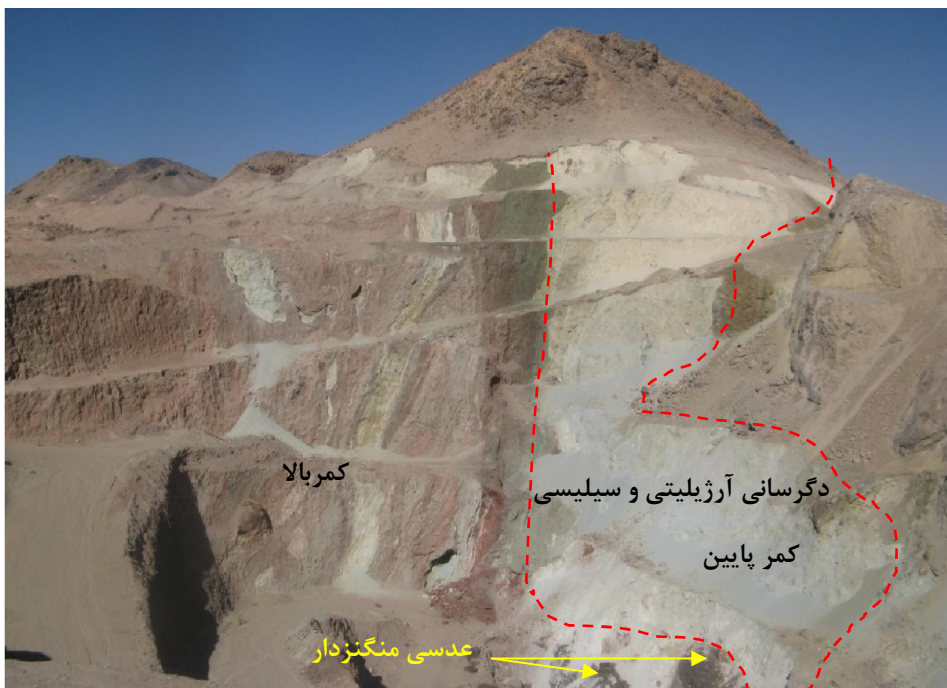
گاهی حاشیه برهم رشدی سیلیس مشاهده می‌شود که این حاشیه‌ها حالت شیشه‌ای دارند و به صورت شیمیایی از سیالات گرمابی در طی دگرسانی سیلیسی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- دگرسانی سیلیسی در کانسار منگنز ذاکری الف) متلاشی شدن کوارتز اولیه در اثر انفجار شدید در مراحل آخر فوران آتشفشان و تشکیل بافت خوشه‌ای ب) تشکیل کوارتز ثانویه در رگچه‌ها به صورت رشته‌ای (کلسدونی) در اثر دگرسانی سیلیسی ج) تشکیل اسفرولیت‌هایی از جنس کوارتز در توف‌های شیشه‌ای در اثر برخورد با سیالات اسیدی د) شواهد بارز اسفرولیتی شدن در سنگ که به همراه کلسدونی‌هایی از کوارتز دیده می‌شود (علت رنگ قهوه‌ای آن‌ها آغستگی با آهن می‌باشد). ه) تشکیل حاشیه‌های شیشه‌ای اطراف کوارتزهای اولیه در طی دگرسانی سیلیسی از سیالات گرمابی و) کوارتز با بافت خلیج خوردگی در داخل سنگ‌های آتشفشانی کمر پایین

#### ۴-۴-۴- دگرسانی آرژیلیکی

دگرسانی آرژیلیکی با حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود که حضور این گروه از کانی‌ها، نشان دهنده شرایط pH پایین (اسیدی) و دمای کمتر از  $220^{\circ}\text{C}$  است (تایتلی و بین<sup>۱</sup>، ۱۹۸۱). ضمن تشکیل این نوع دگرسانی در شرایط اسیدی، تمامی کاتیون‌های قلیایی به‌طور کامل، یا به‌طور وسیعی از سنگ بیرون کشیده می‌شوند و چنانچه مقادیر محدودی پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سنگ باقی بماند صرف تشکیل مونت‌موریلونیت (اسمکتیت)، ایلیت، هیدرومیکا (ورمیکولیت) و کلریت می‌شود. این کانی‌ها همراه با کائولینیت یا بدون کائولینیت به دگرسانی رسی حد واسط موسوم است (گیلبرت و پارک<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶). در تمام عدسی‌های کانسار منگنز ذاکری دگرسانی آرژیلیتی بلافاصله در زیر افق معدنی قرار گرفته و سنگ میزبان در کمرباطین این کانسار دچار این دگرسانی شده است و سنگ‌ها رنگ کاملاً سفید و حالت پودری و نرم دارند (شکل ۴-۱۷).



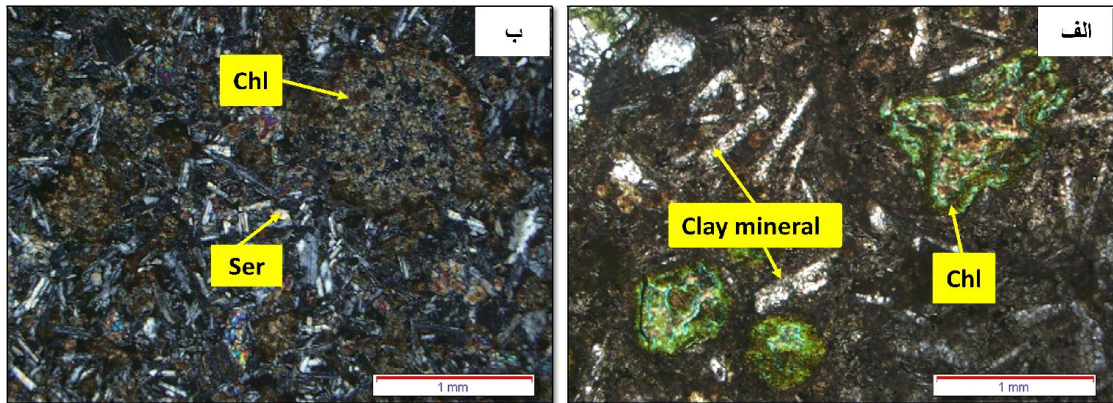
شکل ۴-۱۷- نمایی از دگرسانی آرژیلیکی و سیلیسی در کمرباطین کانسار منگنز ذاکری (دید به سمت شمال شرق)

<sup>1</sup> - Titley and Bean

<sup>2</sup> - Guilbert and Park



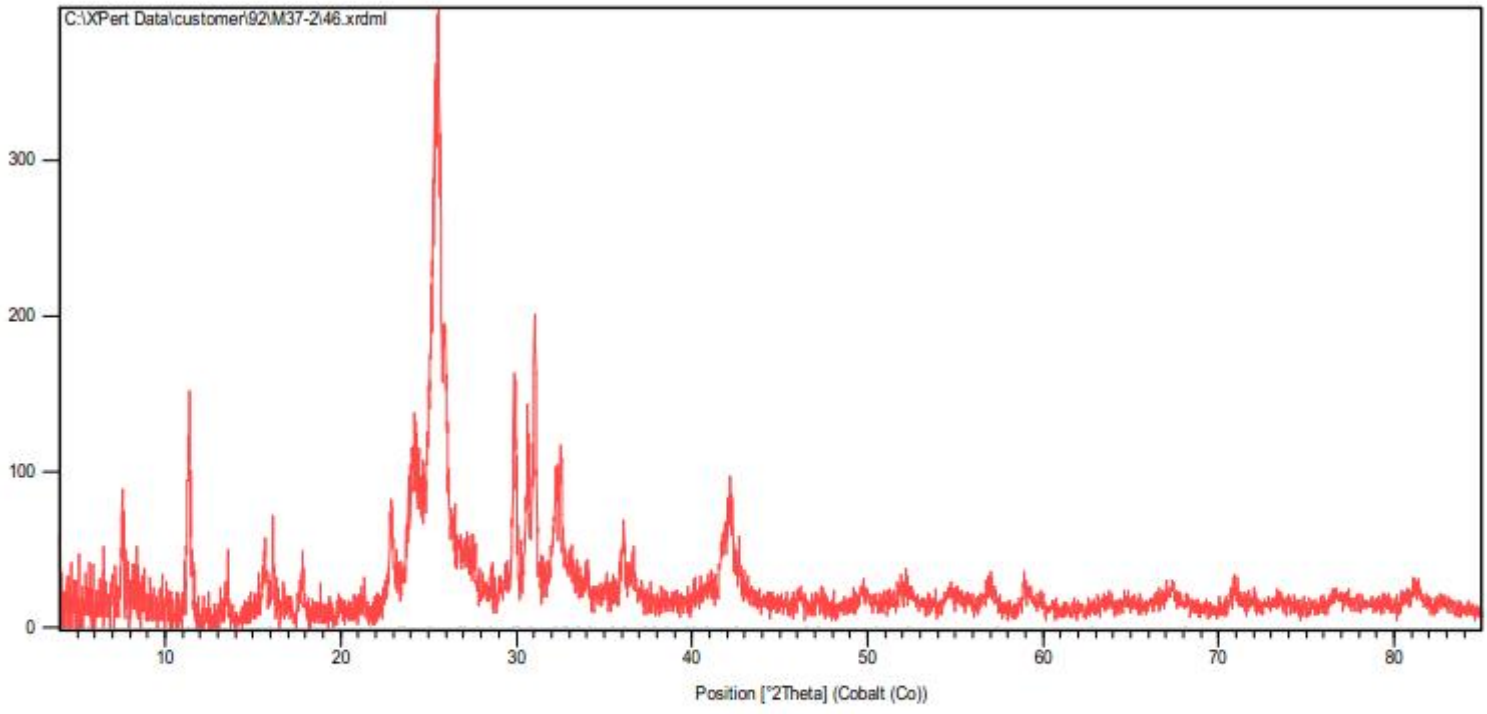
بر اساس مطالعات میکروسکوپی و نتایج حاصل از آنالیز XRD، در کمر پایین عدسی‌های منگنز، پلاژیوکلازها به شدت دچار دگرسانی آرژیلیتی شده (شکل ۴-۱۸) و کانی‌های رسی مثل موردنیت و ورمیکولیت جانشین آن‌ها شده‌اند.



شکل ۴-۱۸-الف) دگرسانی آرژیلیتی در کانسار منگنز ذاکری که بلورهای پلاژیوکلاز به‌طور کامل به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. ب) دگرسانی سریسیتی در کانسار منگنز ذاکری که بلورهای پلاژیوکلاز به در بعضی قسمت‌ها سریسیتی شده‌اند.

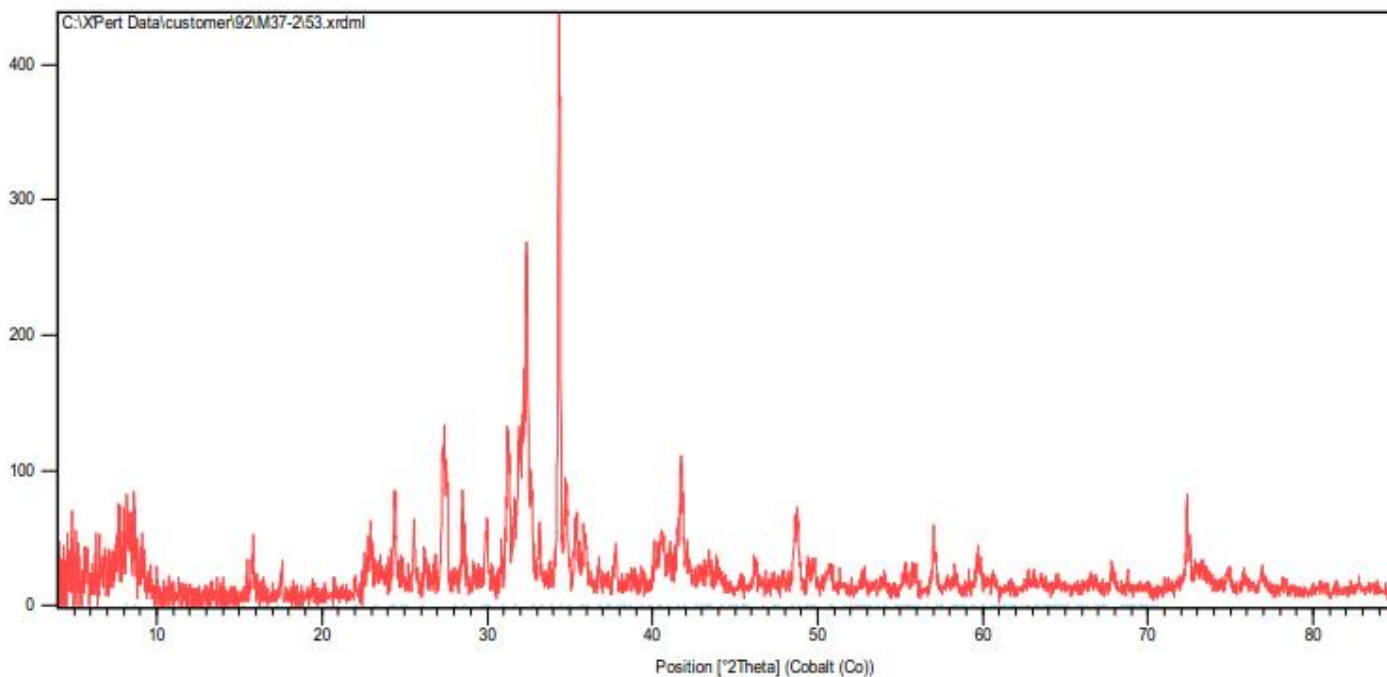
نتیجه آنالیز XRD برای نمونه‌های برداشت شده از عدسی‌های منگنز وجود دگرسانی آرژیلیتی و سیلیسی را در کمر پایین این عدسی تأیید می‌کند (شکل ۴-۱۹). طبق نظر بارنز<sup>۱</sup> (۱۹۷۹) دگرسانی آرژیلیتی در نسبت آب به سنگ بالا رخ می‌دهد. بنابراین در مرکز سیستم قرار می‌گیرد و در کانسار ذاکری نیز این دگرسانی در کمر پایین کانسار و در واقع در مرکز سیستم‌های سیالات گرمابی گسترش دارد.

<sup>۱</sup> - Barnes



Peak List
01-085-0504; Si O2; Quartz
00-029-1257; (Na2, Ca, K2) Al2 Si10 O24 · 7 H2 O; Mondelite
00-039-1425; Si O2; Cristobalite, syn
00-036-0432; Ca S O4 · 1/2 H2 O; Gypsum
00-016-0152; Si O2; Indymite
00-039-1383; K Na2 Ca2 (Si2) Al7 (O72) 24 H2 O; Clinoptilolite
00-025-0640; (K, Ca, Na) (Al, Mg, Fe)3 (Si, Al)9 L10 L2 L3 L4 L5 L6 L7 L8 L9 L10 L11 L12 L13 L14 L15 L16 L17 L18 L19 L20 L21 L22 L23 L24 L25 L26 L27 L28 L29 L30 L31 L32 L33 L34 L35 L36 L37 L38 L39 L40 L41 L42 L43 L44 L45 L46 L47 L48 L49 L50 L51 L52 L53 L54 L55 L56 L57 L58 L59 L60 L61 L62 L63 L64 L65 L66 L67 L68 L69 L70 L71 L72 L73 L74 L75 L76 L77 L78 L79 L80 L81 L82 L83 L84 L85 L86 L87 L88 L89 L90 L91 L92 L93 L94 L95 L96 L97 L98 L99 L100; Muscovite-2M1; mica, calcia

شکل ۴-۱۹- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های رسی در آن قابل مشاهده است (محل برداشت نمونه از کمر بالای عدسی غربی می‌باشد).



Peak List
01-076-0823; K Al Si3 O8; Potassium-Feldspar P28
01-072-1652; Ca C O3; Calcite
01-083-0541; Si O2; Quartz
01-084-0982; Na ( Al Si3 O8 ); Albite low
01-076-1888; K Al ( Mg0.2 Al0.8 ) ( Al21 Si18 O10 ) ( OH )2; Muscovite-11 MRD syn

ادامه شکل ۴-۱۹- داده‌های حاصل از آنالیز XRD که کانی‌های رسی در آن قابل مشاهده است (محل برداشت نمونه از عدسی غربی می‌باشد).



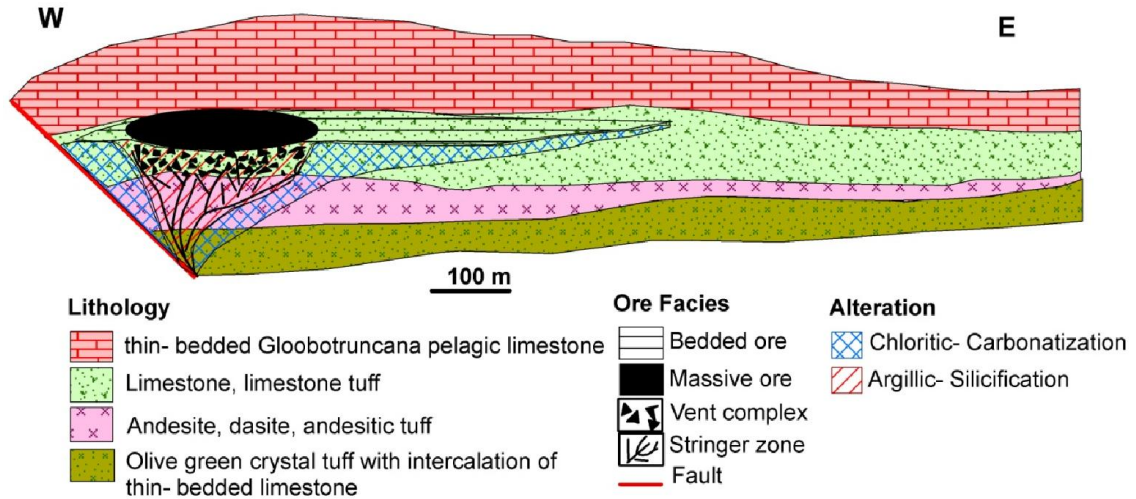
#### ۴-۵- دگرسانی سربستی

دگرسانی سربستی با انحلال کامل و خارج شدن کاتیون‌های Ca, Na و Mg و باقی ماندن کاتیون K در سیستم تشکیل می‌شود. مجموعه کانی‌های اصلی مربوط به این دگرسانی سربست، کوارتز و پیریت می‌باشد که کانی‌های دیکیت، پیروفیلیت، کائولینیت و آندالوزیت نیز کم و بیش آن‌ها را همراهی می‌کند. در طی دگرسانی سربستی، فلدسپات‌های اولیه موجود در سنگ به کانی سربست تبدیل شده و باعث تشکیل بلورهای ریز دانه و پراکنده سربست بر روی بلورهای درشت فلدسپات می‌شود (لاگاست، ۲۰۰۹). دگرسانی سربستی نشان دهنده محیط اسیدی بوده و در کانسار ذاکری در کمر پایین و به مقدار جزئی در کنار دگرسانی آرژیلیتی رخ داده است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی مقدار جزئی از کانی‌ها به سربست تبدیل شده‌اند و به صورت دانه‌های ریز پراکنده در متن کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات‌ها و در داخل شکستگی‌های آن‌ها متمرکز شده است (شکل ۴-۱۸). در واقع در طی فرآیند هیدرولیز، کاتیون‌هایی از جمله  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^+$  و Si از پلاژیوکلازها حذف شده و سربست تشکیل شده است. این دگرسانی بیشتر با دگرسانی کلریتی و آرژیلیتی در سنگ همراه است و وسعت آن در کانسار ذاکری بسیار کم می‌باشد.

#### ۴-۵- پهنه بندی دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری

دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه بسیار کم و به‌طور عمده شامل دگرسانی کلریتی، سیلیسی، کربناتی و آرژیلیکی و به مقدار کمتر سربستی است که پهنه‌بندی این دگرسانی‌ها در منطقه مورد مطالعه در شکل نشان داده شده است (شکل ۴-۲۰). نوع دگرسانی در کانسار ذاکری برحسب نوع سنگ، شرایط فیزیکوشیمیایی، ترکیب سیال و محیط متفاوت است. همچنین نوع و میزان دگرسانی برحسب مقدار فاصله با افق معدنی متفاوت می‌باشد. بیشترین میزان دگرسانی نزدیک به افق معدنی بوده و به سمت اطراف آن کاسته می‌شود. دگرسانی آرژیلیتی و سیلیسی در مرکز سیستم و کلریتی- کربناتی در حاشیه کانسار رخ داده‌اند. حضور سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری به همراه میان لایه‌هایی از واحدهای رسوبی (عمدتاً آهک‌های پلاژیک) 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.



شکل ۴-۲۰- مقطع شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری I

## فصل پنجم

ساخت، بافت، کانی شناسی و

توالی پارازنتیک کانی ها

مطالعات ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنز و توالی پاراژنتیک کانی‌های معدنی و سنگ‌ساز از پایه‌های اساسی بررسی ژنز کانسارها می‌باشد. همچنین این مطالعات برای تعیین رابطه بین کانه‌های معدنی و سنگ درونگیر آن‌ها بسیار مفید می‌باشد. بدین منظور در منطقه معدنی مورد مطالعه از قسمت‌های مختلف کانسارها و سنگ دربرگیرنده آن‌ها تعداد ۳۸ عدد مقطع نازک صیقلی و ۱۹ عدد مقطع صیقلی تهیه و مطالعه گردید. از آنجا که شناسایی کانه‌های منگنز پیچیده و مشکل می‌باشد و به دلیل وجود تشابه زیاد ترکیبات مختلف با یکدیگر، تشخیص میکروسکوپی این ترکیبات به سختی صورت می‌پذیرد. فراوانی زیاد کانی‌های منگنز، تبلور ضعیف، ریز دانه بودن و رشد تداخلی<sup>۱</sup> آن‌ها، شناسایی این کانی‌ها در زیر میکروسوپ را مشکل می‌سازد (مینارد<sup>۲</sup>، ۱۹۸۳). به همین دلیل برای شناسایی این ترکیبات علاوه بر استفاده از مطالعات میکروسکوپی، ۴ نمونه هم به‌وسیله نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XDR) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای تشخیص دقیق برخی از کانی‌های منگنز از روش تجزیه الکترون میکروپروب (EPMA) استفاده گردید. استفاده از دو پارامتر کانی‌شناسی و ژئوشیمی می‌تواند به‌عنوان ابزار مهمی برای شناسایی کانه‌های اکسیدی منگنز مورد استفاده قرار گیرد (نیکلسون<sup>۳</sup>، ۱۹۹۲). در این فصل ابتدا به انواع بافت‌های کانسنگ منگنز و ارتباط آن‌ها با کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ درونگیر اشاره شده و سپس به بررسی کانی‌شناسی و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها خواهیم پرداخت.

## ۵-۲- بافت و ساخت کانسنگ

کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه، به‌صورت عدسی‌هایی همروند با لایه‌بندی سنگ میزبان رخ داده است. این عدسی در داخل آهک‌ها و توف‌های کربناته قرار گرفته‌اند (فصل چهارم). این کانسنگ از بافت‌های گوناگون تشکیل شده است. مهم‌ترین بافت‌های موجود در کانسنگ به شرح ذیل است:

<sup>1</sup> - intergrowth

<sup>2</sup> - Maynard

<sup>3</sup> - Nicholson

## ۵-۲-۱- بافت و ساخت نواری و لامینه

این بافت بیشتر در رخساره لایه‌ای و بصورت نوارها و لامینه‌هایی از کانی‌های اکسیدی منگنز دیده می‌شود و نشان دهنده همزمانی تشکیل این لامینه‌ها با رسوب‌گذاری است. بافت نواری و لامینه در کانسار مورد مطالعه وسعت بسیار کمی داشته و به طور عمده از پیرولولزیت و پسیلوملان 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 و باعث شده گاهی این لامینه‌ها کاملاً پیوسته نبوده و حالت عدسی شکل داشته باشند (شکل ۵-۲)



شکل ۵-۱- نمایی از بافت لامینه و نواری در کانسنگ منگنز ذاکری



شکل ۵-۲- نمایی از بافت لامینه در نمونه دستی کانسنگ منگنز ذاکری که در اثر فرآیندهای دیاژنتیکی لامینه‌ها به صورت پیوسته نبوده و حالت عدسی شکل پیدا کرده‌اند.

### ۵-۲-۲- بافت و ساخت برشی

این بافت در رخساره برشی کانسار منگنز ذاکری دیده می‌شود. کانی‌های منگنز (سیاه رنگ) گاهی فضای بین قطعات برشی سنگ میزبان را پر کرده و گاهی به صورت قطعات درشت، فضاهای خالی سنگ میزبان را اشغال نموده است شکل دانه‌ها نیز نیمه گردشده و زاویه‌دار می‌باشد. این بافت وسعت زیادی در منطقه ندارد (شکل ۵-۳)



شکل ۵-۳- نمایی از بافت برشی منگنز در رخساره برشی

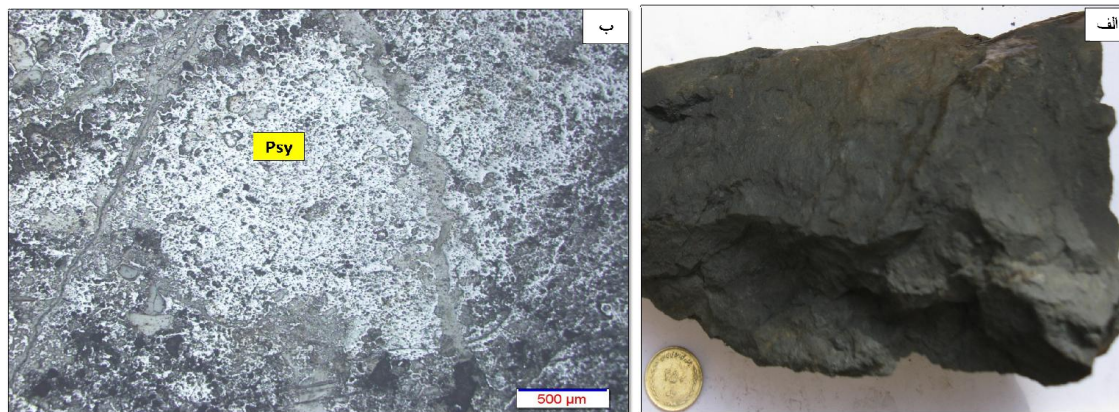
### ۵-۲-۳- بافت و ساخت توده‌ای

این بافت مهم‌ترین بافت ماده معدنی در قسمت‌های قابل استخراج و بهره‌برداری است که در عدسی غنی از منگنز دیده می‌شود. ماده معدنی با این بافت، ماهیت سخت و فشرده دارد و کانی‌شناسی آن به‌طور عمده شامل پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت است که اغلب در کنار هم دیده می‌شوند. این بافت در مقیاس میکروسکوپی و نمونه دستی در واقع ترکیبی از بافت جانشینی، پراکنده و پرکننده فضای خالی است (شکل ۵-۴).

به عبارت دیگر سیالات گرمابی غنی از منگنز که از منافذ بین توفها بالا آمده‌اند، زمانی که شرایط برای ته‌نشست کانی‌های منگنز فراهم بوده به‌صورت اکسید منگنز جانشین ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شده و یا در فضای خالی موجود در سنگ میزبان قرار گرفته‌اند که در نتیجه، می‌توان گفت که بافت توده‌ای مجموعه‌ای از بافت‌های جانشینی و پرکننده فضای خالی است که از سیال گرمابی کانه‌دار تشکیل شده است. کانی‌های هولاندیت و پسیلوملان که بیشتر دارای این بافت هستند با



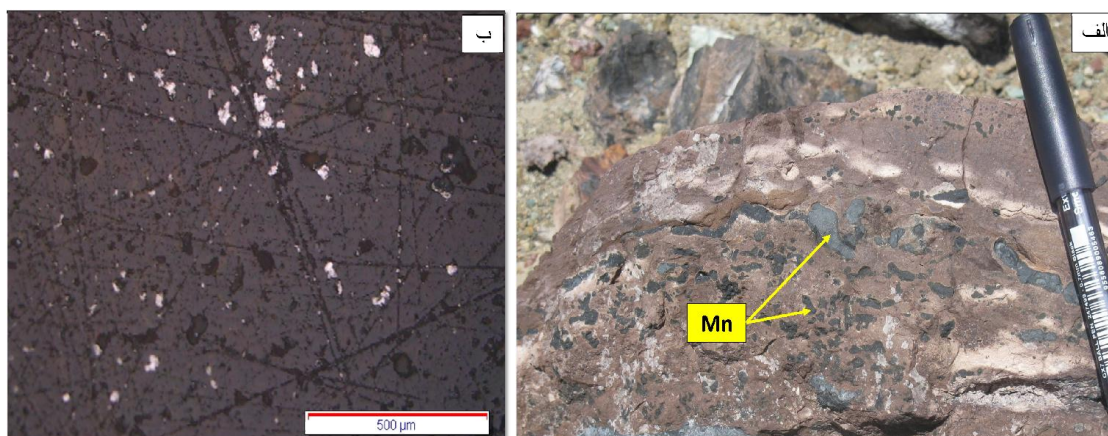
یکدیگر هم‌رشدی داشته و گاهی به پیرولوژیت تبدیل شده‌اند. این بافت بیشتر در رخساره توده‌ای کانسار ذاکری II دیده می‌شوند.



شکل ۵-۴- نمایی از بافت کانسنگ توده‌ای: الف) نمونه دستی از بافت توده‌ای که غنی از کانی‌های اکسیدی منگنز است و ب) تصویر میکروسکوپی از این نمونه که غنی از پسیلوملان می‌باشد.

#### ۵-۲-۴- بافت دانه پراکنده

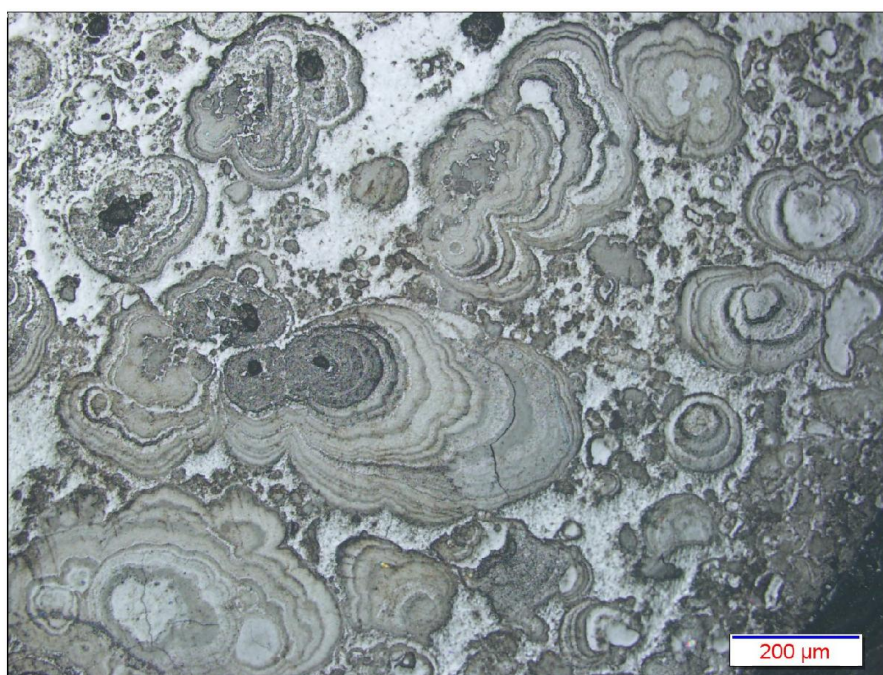
این بافت نشان‌دهنده نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ دربرگیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل دهنده آن است. این بافت در بیشتر کانسنگ‌ها و اندیس‌های مورد مطالعه مشاهده می‌گردد. کانی‌های تشکیل دهنده این بافت بیشتر پسیلوملان و هولاندیت بوده که به صورت پراکنده در داخل آهک‌های پلاژیک میزبان قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- نمونه ای از بافت پراکنده: الف) نمونه دستی از این بافت که اکسیدهای منگنز در داخل سنگ میزبان آهکی به صورت پراکنده قرار گرفته‌اند. ب) تصویر میکروسکوپی همان نمونه که کانی پسیلوملان در زمینه‌ای از باطله با بافت پراکنده قرار دارد.

### ۵-۲-۵- بافت کلوئیدی متحدالمرکز (بوتروئیدال)

بر اثر انحلال کربناتها و فرآیند کارستی شدن در سنگ‌های کربناته کانه‌دار، حفراتی ایجاد شده که ابعاد متغیری دارند که در داخل این حفرات بافت‌های کلوئیدی از منگنز با عیار بسیار بالایی تشکیل گردیده است. وجود این بافت در منطقه مورد مطالعه، نشان دهنده آرام بودن محیط تشکیل و همچنین دمای پایین محلول‌های گرمابی است. این بافت بیشتر در عدسی شرقی کانسار ذاکری I و اندیس معدنی دانایی مشاهده می‌گردد. عیار منگنز در کلوئیدهای اندیس دانایی، پایین بوده و در عدسی شرقی کانسار ذاکری I بسیار بالا می‌باشد. کانی‌های تشکیل دهنده این بافت بیشتر هولاندیت و پسیلوملان هستند که به صورت لایه‌های گل‌کلمی متناوب کنار هم قرار گرفته‌اند. اشکال کروی و گل‌کلمی از خصوصیات مهم این بافت است که در نمونه‌های میکروسکوپی بیشتر مشخص می‌شوند (شکل ۵-۶).

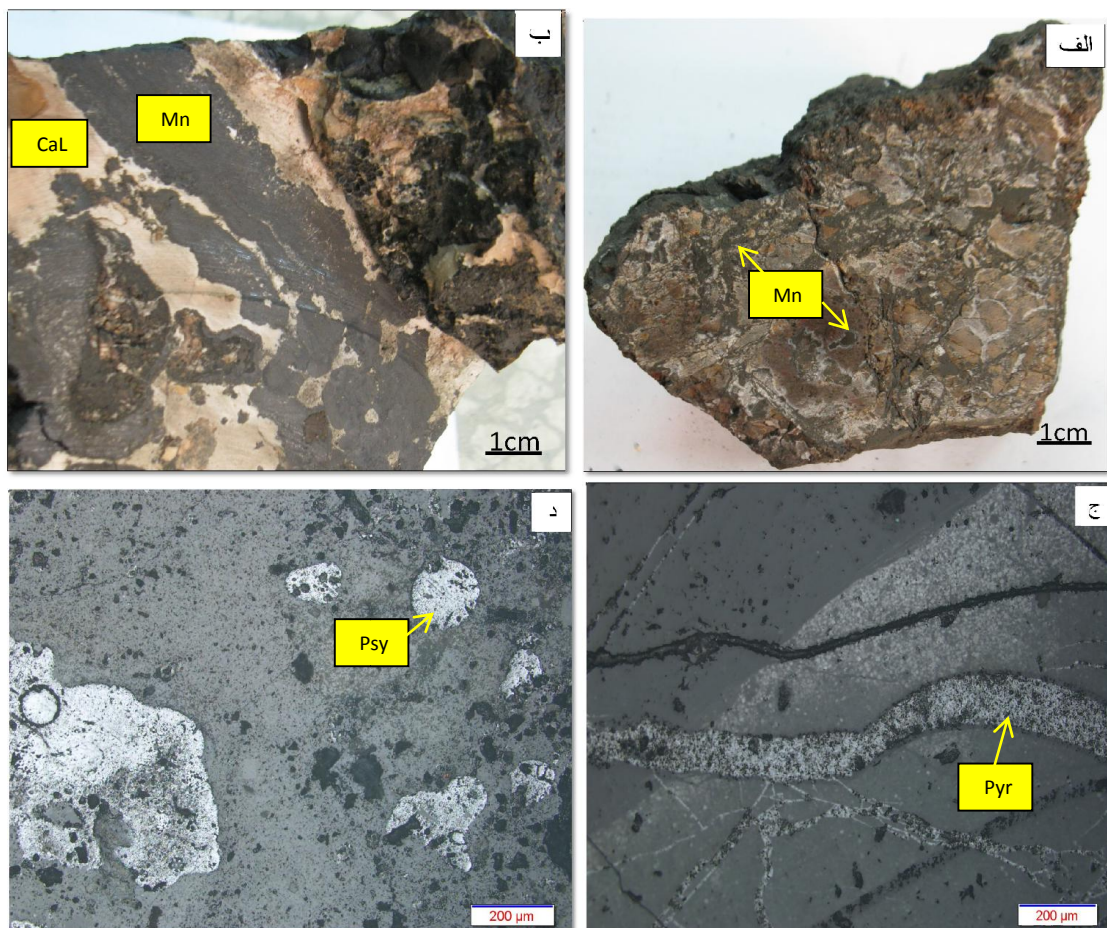


شکل ۵-۶- تصویر میکروسکوپی از بافت کلوئیدی که در آن کانی هولاندیت به شکل بوتروئیدال‌های زیبا تشکیل شده است.



## ۵-۲-۶- بافت پرکننده فضای خالی

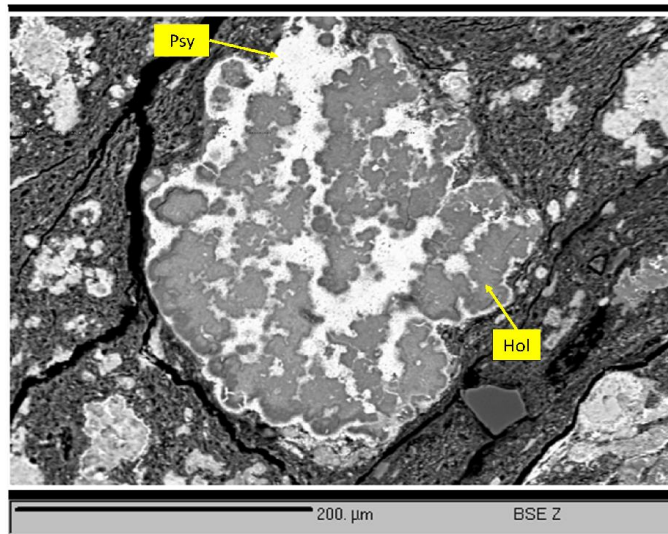
یکی از بافت‌های رایج در کانسار منگنز با سنگ میزبان کربناتی، بافت پرکننده فضای خالی می‌باشد. در این بافت سیال گرمابی کانه‌دار در طی عبور از سنگ میزبان، کانه‌های خود را در شرایط مناسب، در فضاهای خالی به جا می‌گذارد. این فضاهای خالی گاهی اولیه بوده ولی بیشتر اوقات ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی می‌باشند. این بافت در مقیاس میکروسکوپی گاهی در داخل رگچه‌ها و گاهی در فضاهای خالی ثانویه دیده می‌شود (شکل ۵-۷). کانی‌های تشکیل دهنده این بافت بیشتر پیرولوژیت‌های نسل اول می‌باشد که از سیالات گرمابی کانه‌دار تشکیل شده‌اند. این بافت در بیشتر کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه دیده می‌شود.



شکل ۵-۷- نمونه‌ای از بافت پرکننده فضای خالی الف و ب) نمونه دستی از این بافت که در آن کانی‌های منگنز فضاهای خالی بین سنگ میزبان را پر کرده‌اند. ج) کانی پیرولوژیت در رگچه‌ها د) کانی پسیلوملان که در حفره‌های خالی تشکیل شده است.

### ۵-۲-۷- بافت برجای مانده

بر اثر جانشینی کانی‌های پسیلوملان توسط هولاندیت که از حاشیه به سمت مرکز آن انجام می‌شود این بافت تشکیل می‌گردد. در بعضی موارد تنها بخش‌هایی از بلور پسیلوملان باقی‌مانده و بخش اعظم آن به هولاندیت تبدیل شده و در نتیجه بافت برجای مانده ایجاد گردیده است (شکل ۵-۸).

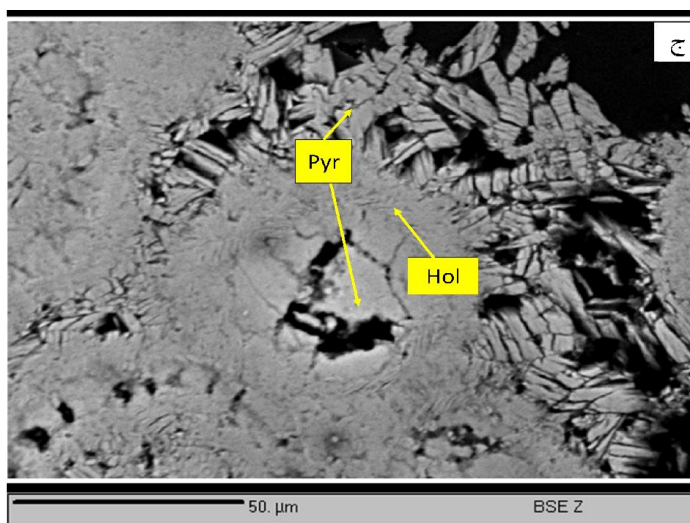
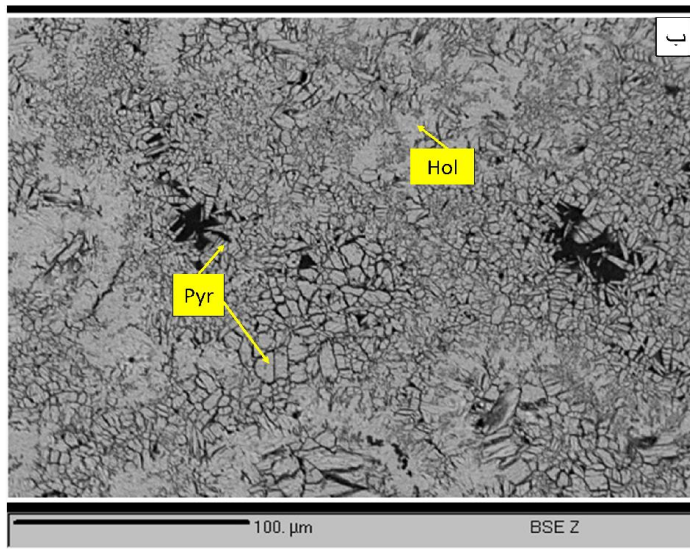
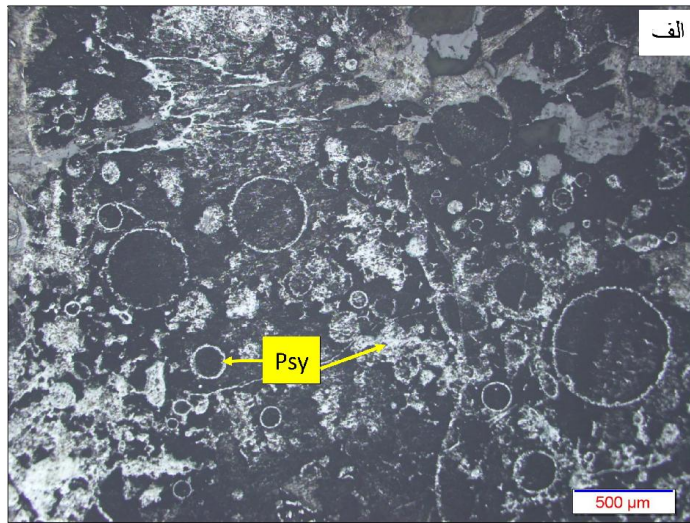


شکل ۵-۸- تصویر پس پراکنش الکترونی (Back-Scattered Electron: BSE) از بافت برجای مانده که در آن کانی پسیلوملان به هولاندیت تبدیل شده

### ۵-۲-۸- بافت جانشینی

این بافت که از جمله بافت‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه می‌باشد به صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شود. این بافت 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 تودوروکیت و پسیلوملان می‌باشند (شکل ۵-۹). جانشینی پسیلوملان و هولاندیت توسط پیرولوویت در عدسی شرقی و غربی کانسار ذاکری I 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 و هولاندیت به پیرولوویت شده است.





شکل ۵-۹- نمونه ای از بافت جانیشینی الف) جانیشینی پسیلوملان در قالب فسیل‌ها در تصویر میکروسکوپی ب و ج) جانشین شدن هولاندیت توسط پیرولولوزیت در تصویر میکروسکوپی (BSE)

### ۵-۳- کانی‌شناسی و پاراژنز

در این بخش ابتدا به بررسی کانی‌شناسی کانه‌های منگنز پرداخته و در ادامه کانیهای گانگ مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### ۵-۳-۱- کانی‌های منگنز

تا کنون دسته‌بندی‌های مختلفی برای کانی‌های منگنز ارائه شده است. کانی‌شناسی فازهایی که در آن‌ها منگنز به‌عنوان جزء اصلی یا مهم تلقی می‌شوند قبلاً کمتر مورد توجه بوده است و حتی امروزه نیز مسائل زیادی در مورد کانی‌شناسی منگنز باقی است. مطالعات سنتز آزمایشگاهی فازهای منگنزدار و تعادلات فازی در سیستم‌های مختلف می‌تواند به حل مسائل متعدد کانی‌شناسی منگنز کمک نماید. کانی‌های منگنزدار در چند گروه مهم طبقه‌بندی شده‌اند (روی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۱). این گروه‌ها شامل اکسیدها، هیدروکسیدها، کربنات‌ها، سیلیکات‌ها، سولفیدها و گروه‌های نادر آرسنات‌ها، آرسنیت‌ها، فسفات‌ها و غیره می‌باشند. به‌عنوان یک فرض اولیه، معمولاً اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز، کانسنگ را تشکیل می‌دهند، در حالی که کربنات‌های منگنز غالباً به‌عنوان سنگ مادر محسوب می‌شوند. سایر ترکیبات منگنز معمولاً به‌عنوان کانسنگ قلمداد نمی‌شوند (روی، ۱۹۸۱). مهم‌ترین گروه‌های کانی‌های منگنز در جدول ۵-۱ جمع‌آوری شده‌اند. نیکلسون (۱۹۹۲) نیز کانی‌های منگنز را بر اساس فرآیند و محیط تشکیل در جدولی ارائه نموده است که در جای خود بسیار مفید و قابل استفاده است، اما به‌دلیل طولانی شدن بحث از ارائه آن خودداری شده است. کانی‌شناسی ماده معدنی در تمام کانسارها و اندیس‌های منگنز مورد مطالعه یکسان بوده و تنها از جهت فراوانی کانه‌ها و عیار ماده معدنی با هم متفاوت می‌باشند. برای تشخیص کانی‌های منگنز موجود در منطقه مورد مطالعه از روش پراش پرتو ایکس (XRD)، مطالعات میکروسکوپی و روش تجزیه الکترون میکروپروپ استفاده شده و کانی‌های پسیلوملان (رومنشیت)، پیرولوویت، هولاندیت، منگانیت، تودوروکیت و به مقدار کمتر براونیت و رودوکروویت شناسایی گردیده‌اند که در ادامه به شرح هر یک از آن‌ها پرداخته خواهد شد.

---

<sup>1</sup> - Roy

جدول ۵-۱: گروه‌های مهم کانی‌های منگنز و محیط تشکیل آنها (نیکلسون، ۱۹۹۲؛ مینارد، ۱۹۸۳؛ روی، ۱۹۸۱)

اسم کانی	فرمول شیمیایی	محیط تشکیل*
<b>-Higher oxides and hydroxides</b>		
Birnesite	$(Ca, Na)(Mn^{+2}, Mn^{+4})_7O^{14} \cdot 3H_2O$	f/w, n, w, Sedex
Chalcophanit	$(Zn, Mn, Fe)Mn_3O_7 \cdot 3H_2O$	d, w
Coronadite	$Pb_{1-2}(Mn^{+2}, Mn^{+4})_8O_{16} \cdot XH_2O$	d, w
Cryptomelane	$(Ba, K)_{1-2}(Mn^{+2}, Mn^{+4})_8O_{16} \cdot XH_2O$	d, s, h/s, w, sp
Groutite	$\alpha-MnO(OH)$	sp, d
Hollandite	$(Ba, K)_{1-2}(Mn^{+2}, Mn^{+4})_8O_{16} \cdot XH_2O$	f/w, w, d, m, s
Lithophorite	$(Al, Li)(Mn^{+2}, Mn^{+4})O_2(OH)_2$	d, w, f/w
Manganite	$\gamma-MnO(OH)$	m, w, Sedex
Romanechite	$(Ba, K, Mn^{+2}, Co)_2Mn_5O_{10} \cdot XH_2O$	d, w, f/w, h/s, s
Pyrolusite	$\beta-MnO_2 = \text{Polianite}$	d, w, f/w, h/s, Sedex
Ramsdelite	$MnO_2$	w, sp
Todorkite	$(Na, Ca, K)(Mn^{+2}, Mg)Mn^{+4}O_{12} \cdot XH_2O$	d, w, f/w, Sedex, n
<b>-Lower Oxides and hydroxides</b>		
Bixbite	$\alpha-(Mn^{+3}, Fe^{+3})_2O_3$	h/v, m
Braunite #	$Mn^{+2}, Mn_6^{+3}O_8(SiO_4)$	Sedex, h/v, m, s, h/s, s, sd
Franklinite	$(Zn, Fe^{+2}, Mn^{+2})(Fe^{+3}, Mn^{+3})_2O_4$	m
Galaxite	$MnAl_2O_4$	m
Hausmannite	$Mn_3O_4$	M, sp, h/v
Jacobsite	$MnFe_2O_4$	m, h/v
Manganosite	$Mn_{1-x}O$	M, sp, h/v
Pyrochroite	$Mn(OH)_2$	M, h/v
Vredenburgite	$3Mn_3O_4 \cdot 2Fe_3O_4$	M
<b>-Manganese Carbonates</b>		
Kutnahorite	$(Ca, Mn)(CO_3)_2$	s

Manganosiderite	(Mn,Fe)CO <sub>3</sub>	S
Rhodochrosite	MnCO <sub>3</sub>	s, m, h/v
<b>-Manganese Silicates</b>		
Bementite <sup>#</sup>	Mn <sub>8</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>15</sub> (OH) <sub>10</sub>	s
Neotocite <sup>#</sup>	Hydrous silicate of Mn and Fe of uncertain formula	s
Rhodonite	MnSiO <sub>3</sub>	m
Spessartite	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	m
<b>-Manganese Sulphides</b>		
Alabandite	MnS	h/v
Hauerite	MnS <sub>2</sub>	h/v
<b>-Manganese Borates, Arsenates and Phosphates</b>		
Jimboite	Mn <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	p, h/v
Roeddingite	(Mn, Fe) <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ).3H <sub>2</sub> O	p, h/v
Wiserite	Mn <sub>4</sub> B <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .H <sub>2</sub> O	p, h/v

\* علائم اختصاری محیط‌های تشکیل:

S- محیط رسوبی به طور اعم، m- محیط‌های دگرگونی، sp- محیط‌های سوپرژن، w- محیط هوازدگی، d- دابهیت‌ها، n- ندول‌های مناطق عمیق دریا، f/w- محیط‌های آب شیرین، h/v- رگه‌های هیدروترمال، h/s- چشمه‌های آب داغ، Sedex- محیط رسوبی- برون‌دومی، sd- رسوبی- دیاژنتیکی، p- محیط پگماتیستی # کانی‌های براونیت، نئوتسیت و بمنتیت مختص نهشته‌های ولکانوژن می‌باشند.

### ۵-۳-۱-۱- پیرولولوزیت β-MnO<sub>2</sub>

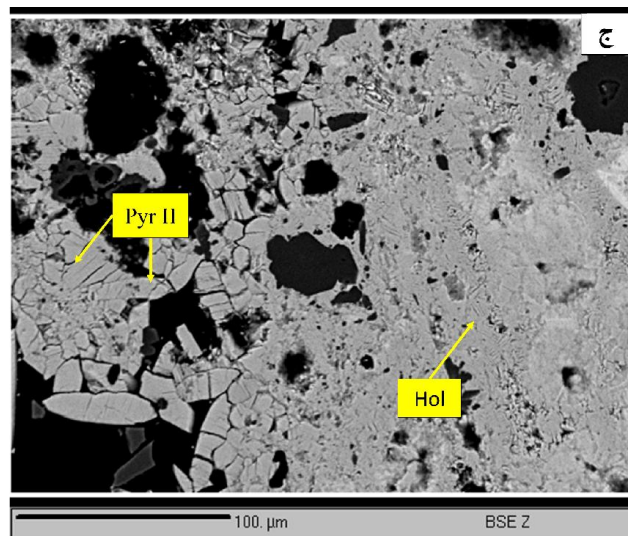
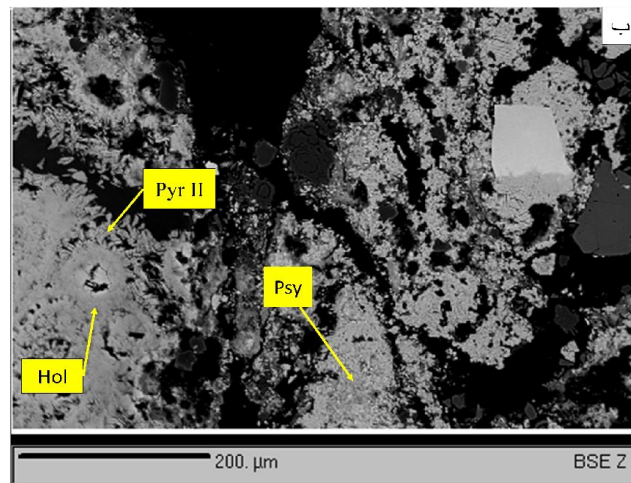
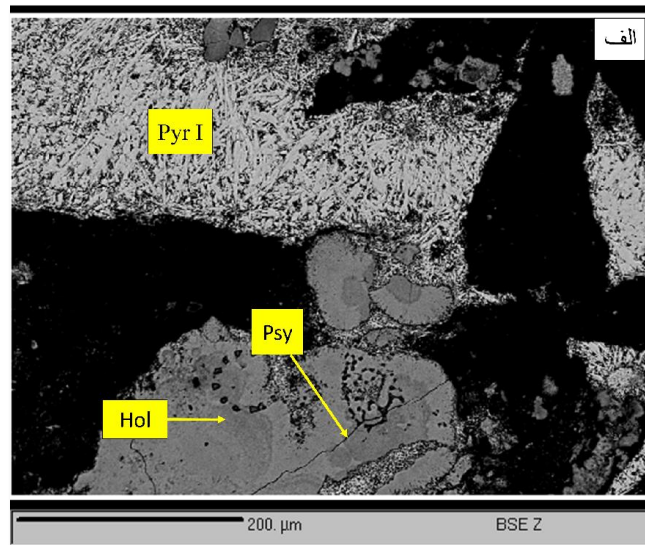
کانی‌های اکسیدی منگنز با فرمول β-MnO<sub>2</sub> را تحت عنوان اکسیدهای منگنز خالص نیز می‌شناسند که شامل دیامورف‌های مختلفی هستند که در این میان پیرولولوزیت از نظر ترمودینامیکی، پایدارترین فاز آن بوده و اغلب عاری از دیگر کاتیون‌هاست. این کانی به مقدار فراوان در کانسارهای منگنز دما پایین و به خصوص کانسارهای رسوبی یافت می‌شود. این کانی با رنگ زرد متمایل به خاکستری تا زرد متمایل به قهوه‌ای، داشتن کلیواژهای نامنظم تا منظم، پلی کروئیسزم ضعیف و انیزوتروپی بسیار قوی

در مقاطع میکروسکوپی صیقلی از سایر کانی‌های منگنز به راحتی تشخیص داده می‌شود. در کانسارهای منطقه مورد مطالعه، پیرولولزیت فراوان‌ترین کانی منگنز می‌باشد و دارای بافت‌های نسبتاً متنوعی مانند بافت موزائیکی، سوزنی، کلوفرمی و حتی بی‌شکل نیز هست. پیرولولزیت در این کانسارها دارای دو نسل متفاوت می‌باشد که از لحاظ بافتی با هم متفاوت می‌باشند (شکل ۵-۱۰). نسل اول از ژل‌های منگنزدار حاصل از سیالات گرمایی، در اثر از دست دادن آب به‌وجود آمده‌اند که بیشتر در قالب فسیل‌ها و در فضاهای خالی و رگچه‌ها به‌صورت بی‌شکل تا سوزنی ته‌نشست شده‌اند و یا به شکل بلوکی و موزائیکی قابل مشاهده هستند (شکل ۵-۱۰). این بافت در کانسارچشمه سفید و عدسی شرقی کانسار ذاکری I بیشتر دیده می‌شود. نسل دوم پیرولولزیت حاصل فرآیندهای سوپرژن هست که که بصورت دندریتی در سطح سنگها تشکیل شده است (شکل ۵-۱۱).

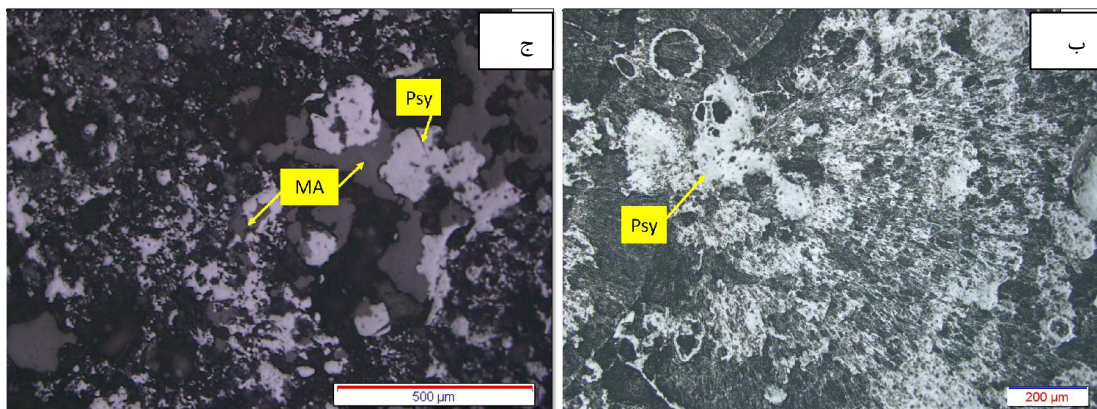
#### ۵-۳-۱-۲- پسیلوملان (رومنشیت) $(\text{Ba,K,Mn}^{+2},\text{Co})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}\text{-XH}_2\text{O}$

پسیلوملان با داشتن ۱۶/۵ درصد BaO در ترکیب شیمیایی خود به اکسیدهای سخت و توده‌ای منگنز با بافت بوتروئیدال اتلاق می‌شود (روی، ۱۹۸۱). نسبت  $\text{Mn}^{+4} / \text{Mn}^{+2}$  در این کانی به مراتب پایین‌تر از کریپتوملان و هولاندیت است. رنگ سفید، پلوکروئیسیم و آنیزوتروپی قوی از صفات شاخص این کانی است ولی به هر حال تشخیص این کانی از هولاندیت و تودوروکیت مشکل است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی و نتایج حاصل از تجزیه الکترون میکروپروب در کانسار ذاکری، این کانه شناسایی و تغییرات بافتی آن مشخص شد. کانی پسیلوملان جزو اولین کانی‌های تشکیل شده در این کانسار می‌باشد که گاهی به صورت هم‌رشدی با منگانیت دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱). این کانی بافت‌های مختلفی مثل بوتروئیدال، توده‌ای و پرکننده فضای خالی نشان می‌دهد (اشکال ۵-۱۲ و ۵-۱۳) و گاهی تجمعات سوزنی نیز در آن دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱). این کانی بعد از پیرولولزیت، فراوان‌ترین کانی منگنز در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.





شکل ۵-۱۰- تصاویر میکروسکوپی (BSE) از کانی پیرولوزیت (الف) پیرولوزیت‌های با بافت سوزنی در داخل رگه‌ها (ب) پیرولوزیت‌هایی که از تبدیل هولاندیت به وجود آمده‌اند. (ج) پیرولوزیت‌های با بافت سوزنی  
Pyr: پیرولوزیت، Psy: پسیلوملان، Hol: هولاندیت



شکل ۵- ۱۱- الف: پیرولولزیت با بافت دندریتی (ب) کانی پسیلوملان با بافت سوزنی و (ج) بافت توده‌ای از پسیلوملان که به صورت هم‌رشدی با منگانیت دیده می‌شود. Psy: پسیلوملان، MA: منگانیت

این کانی به همراه هولاندیت تشکیل بوتروئیدال‌هایی را می‌دهد که حاکی از تشکیل کانسار در دمای پایین و محیط آرام است (شاه و مون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). برخی از نمونه‌های پسیلوملان در اثر فرآیندهای بعد از کانه‌زایی به پیرولولزیت تبدیل شده‌اند. این کانی در عدسی شرقی کانسار ذاکری I با میزبانی توف‌های کربناتی و آهک به وفور دیده می‌شود.

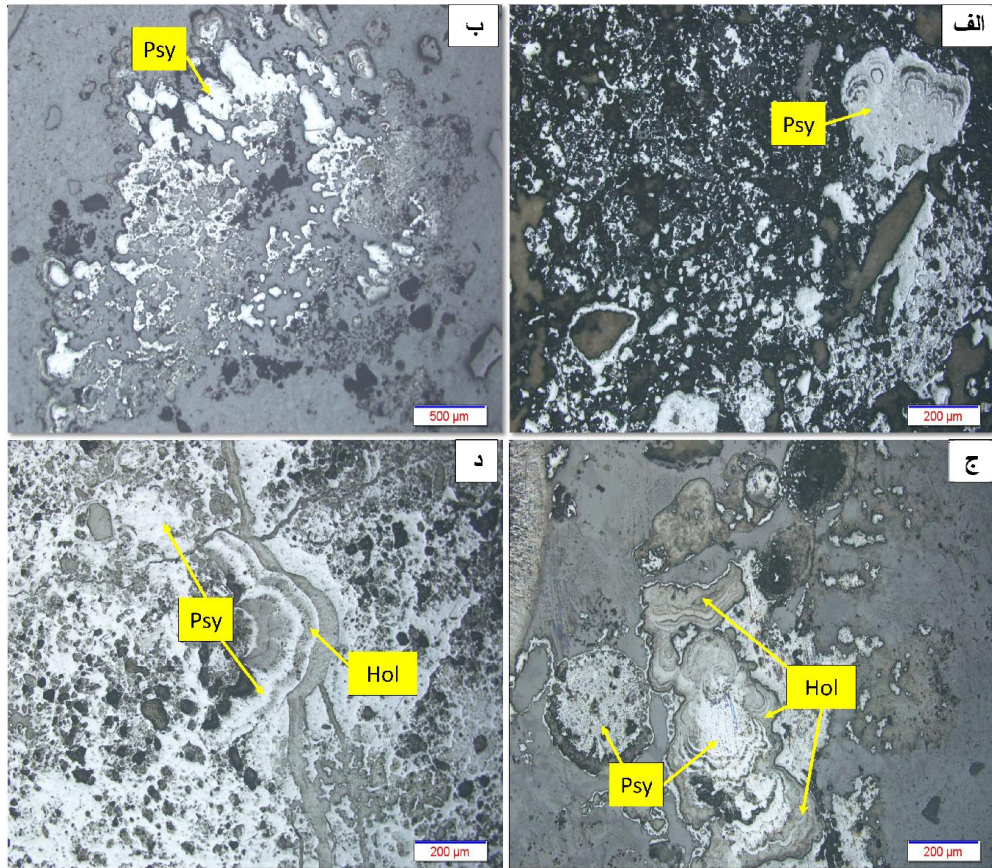
### ۵-۳-۱-۳-۵- منگانیت $\gamma\text{-MnO(OH)}$

منگانیت از کانه‌های آبدار منگنز است که در کانسارهای رسوبی دمای پایین و کانسارهای سوپرژن یافت می‌شود. در منطقه مورد مطالعه کانی منگانیت جزو اولین کانی‌های تشکیل شده است و در بعضی مقاطع به صورت هم‌رشدی با پسیلوملان دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱). منگانیت در نمونه‌های مطالعه شده بیشتر به رنگ خاکستری و رنگ آن تیره‌تر از پسیلوملان می‌باشد. این کانی بیشتر به صورت

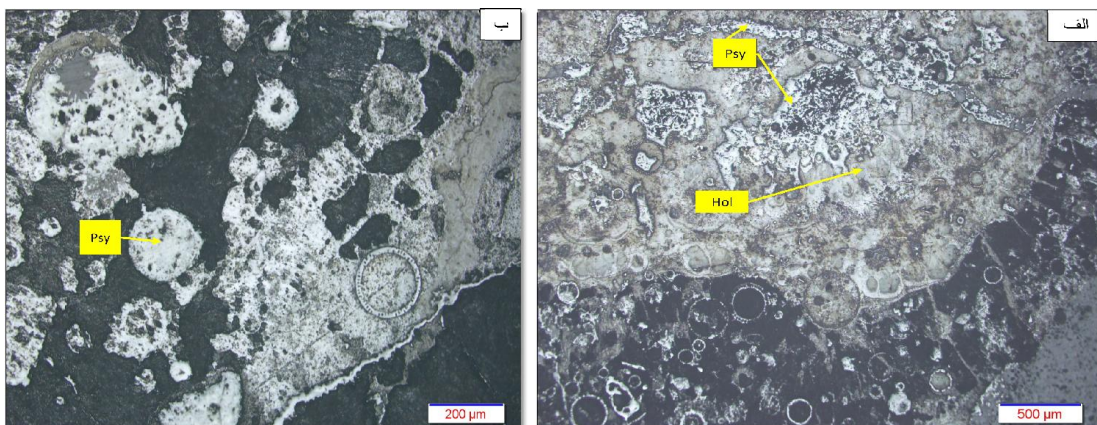
<sup>1</sup> - Shah and Moon



نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و بافت توده‌ای نشان می‌دهد. این کانی در کانسار ذاکری II دیده می‌شود ولی فراوانی آن نسبت به پیرولولوزیت و پسیلوملان کمتر است.



شکل ۵-۱۲- تصاویر میکروسکوپی از کانی پسیلوملان: الف و ب) با بافت بوتروئیدال (کلورمی) ج و د) بافت بوتروئیدال پسیلوملان همراه با هولاندیت

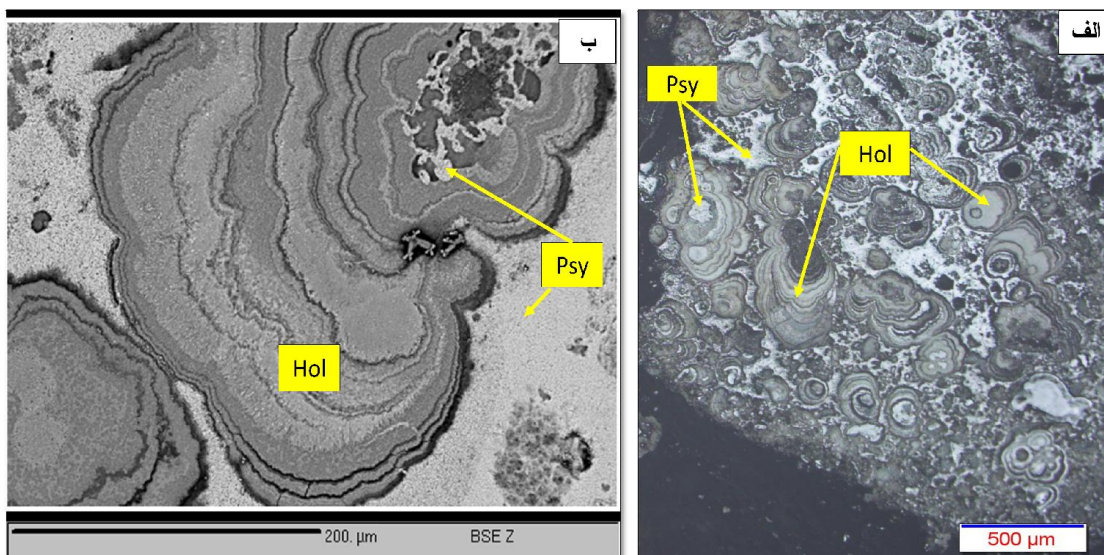


شکل ۵-۱۳- تصاویر میکروسکوپی از پسیلوملان با بافت پرکننده فضای خالی که پسیلوملان فضاهای خالی و همچنین قالب فسیل‌ها را پر کرده است.

### ۵-۳-۱-۴- هولاندیت $(\text{Ba}, \text{K})_{1-2}(\text{Mn}^{+2}, \text{Mn}^{+4})_8\text{O}_{16} \cdot \text{XH}_2\text{O}$

هولاندیت یک کانی اکسیدی منگنز می‌باشد که از لحاظ ساختاری و خواص نوری شباهت زیادی به پسیلوملان دارد. بنابراین تشخیص این کانی‌ها از هم فقط از طریق مطالعات میکروسکوپی امکان‌پذیر نیست ولی با استفاده از داده‌های حاصل از تجزیه الکترون پروب این کانی به راحتی قابل تشخیص است. همان طور که از فرمول شیمیایی هولاندیت استنباط می‌شود، در ترکیب این کانی عنصر باریم جانشین شده و در آنالیزهای شیمیایی نسبت بالایی نشان می‌دهد.

در کانسار مورد مطالعه بعد از پیرولوژیت و پسیلوملان، کانی هولاندیت از لحاظ فراوانی سومین کانی موجود است. این کانی بافت‌های توده‌ای و کلوفرمی را نشان می‌دهد که به همراه پسیلوملان بوتروئیدال‌های بسیار زیبایی را تشکیل می‌دهند (شکل ۵-۱۴). در برخی از نمونه‌های مطالعه شده، هولاندیت در راستای شکستگی‌ها به پیرولوژیت‌های سوزنی تبدیل شده است. هولاندیت‌های منطقه مورد مطالعه از لحاظ بافت و ترکیب شیمیایی شباهت بسیار بالایی با نمونه‌های مطالعه شده در کانسار ساردینیا در ایتالیا دارد. که در این کانسار نیز، هولاندیت به صورت بافت کلوفرمی تشکیل شده است (سینیسی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).



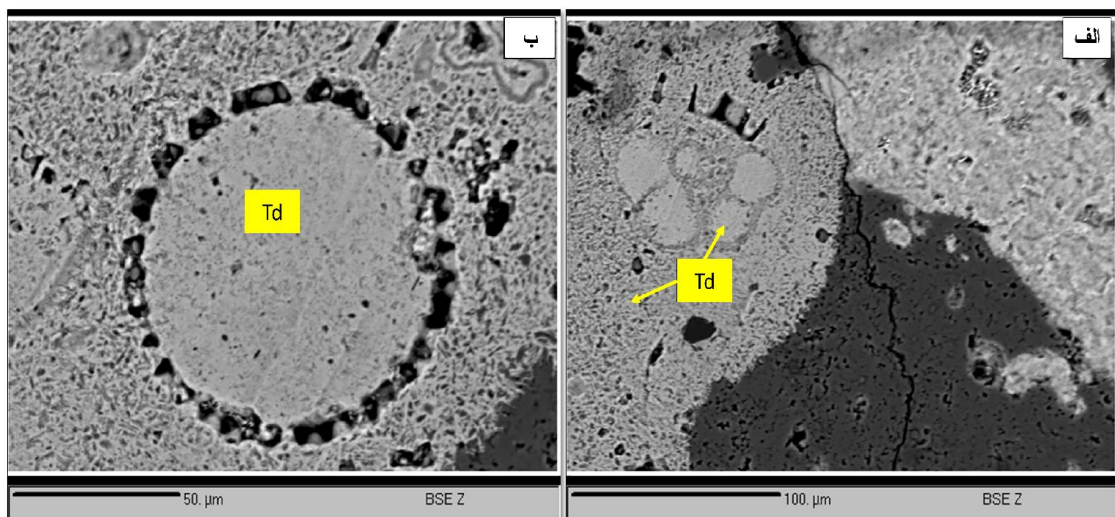
شکل ۵-۱۴- الف) تصاویر میکروسکوپی هولاندیت (Hol) با بافت بوتروئیدال و ب) تصویر BSE از آن

<sup>۱</sup> - Sinisi



### ۵-۳-۱-۵- تودوروکیت $(\text{Na, Ca, K})(\text{Mn}^{+2}, \text{Mg})\text{Mn}^{+4}\text{O}_{12} \cdot \text{XH}_2\text{O}$

تودوروکیت یک کانی اکسیدی منگنز است که تشخیص این کانی به روش مطالعات میکروسکوپی به سختی امکان پذیر است. در نمونه‌های مورد مطالعه، عدسی غربی کانسار منگنز ذاکری I بیشترین مقدار تودوروکیت را دارد که به وسیله نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس و الکترون میکروپروب این کانی شناسایی شده است. کانی تودوروکیت با بافت‌های توده‌ای و جانیشینی در قالب فسیل‌ها دیده می‌شود و همچنین از تبدیل کانی رودوکروزیت در اطراف حفرات به وجود آمده است (شکل ۵-۱۵).

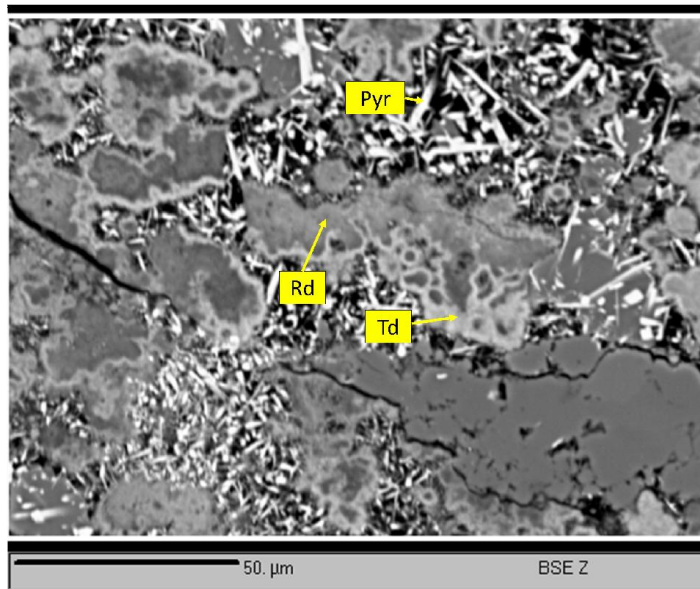


شکل ۵-۱۵- تصاویر میکروسکوپی (BSE) از کانی تودوروکیت (Td) با بافت جانیشینی

### ۵-۳-۱-۶- رودوکروزیت $\text{MnCO}_3$

رودوکروزیت یکی از کانی‌های کربناتی منگنز است که در شرایط احیایی تشکیل می‌شود و در کانسارهای منگنز با سنگ میزبان آهکی و کلسیتی به وفور دیده می‌شود. رنگ آن در نمونه دستی، صورتی روشن و در زیر میکروسکوپ خاکستری می‌باشد. فراوانی رودوکروزیت در کانسار منگنز چشمه سفید و اندیس معدنی دانایی بسیار زیاد است. این کانی در زیر میکروسکوپ از حاشیه‌ها به کانی تودوروکیت تبدیل شده است (شکل ۵-۱۶). تشکیل کانی رودوکروزیت در کنار کانی‌های اکسیدی منگنز و همچنین تبدیل آن به تودوروکیت که کانی اکسیدی منگنز است حاکی از این می‌باشد که در

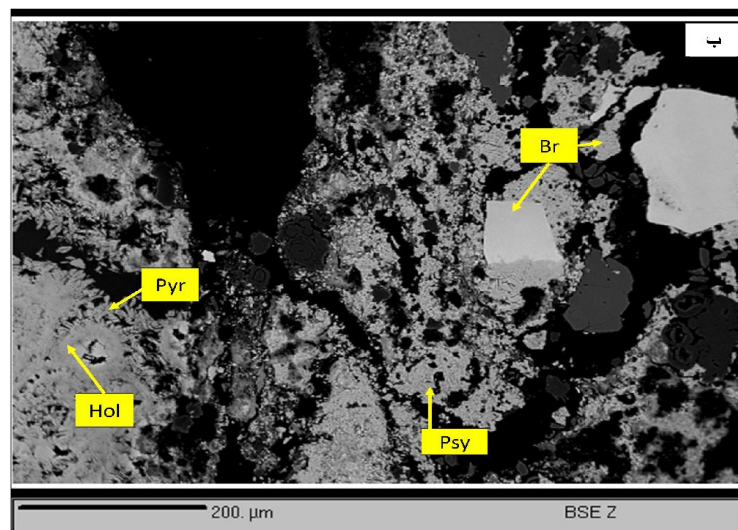
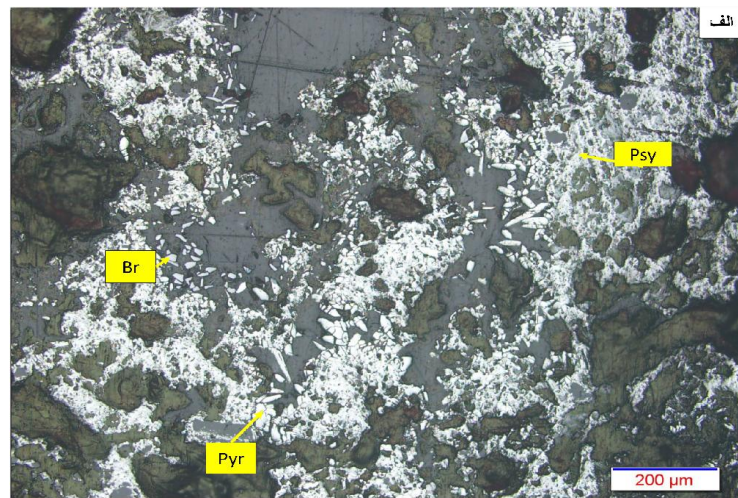
ابتدا شرایط در حوضه رسوبی احیایی بوده و سپس به وسیله جریان‌های همرفتی آب، اکسیژن وارد حوضه رسوبی شده و محیط اکسیدان گشته است.



شکل ۵-۱۶- تصویر میکروسکوپی (BSE) از کانی رودوکروزیت (Rd) که از حاشیه به تودوروکیت (Td) تبدیل شده است.

### ۵-۳-۱-۷- براونیت $Mn^{+2}, Mn^{+3}O_8(SiO_4)$

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 نیز تروپی ضعیف قابل تشخیص بوده و معمولاً شکل آن به صورت بلوکی است (شکل ۵-۱۷). برای تشخیص مطمئن‌تر این کانی از روش تجزیه الکترون میکروپروب نیز استفاده شده است. فراوانی آن در منطقه بسیار کم بوده و بیشتر مربوط به کانسارهای کم عیار می‌باشد.



شکل ۵-۱۷- تصویر میکروسکوپی (BSE) از کانی براونیت (Br) که دارای بافت بلوکی است که فراوانی آن در کانسارهای مورد مطالعه بسیار کمتر است.

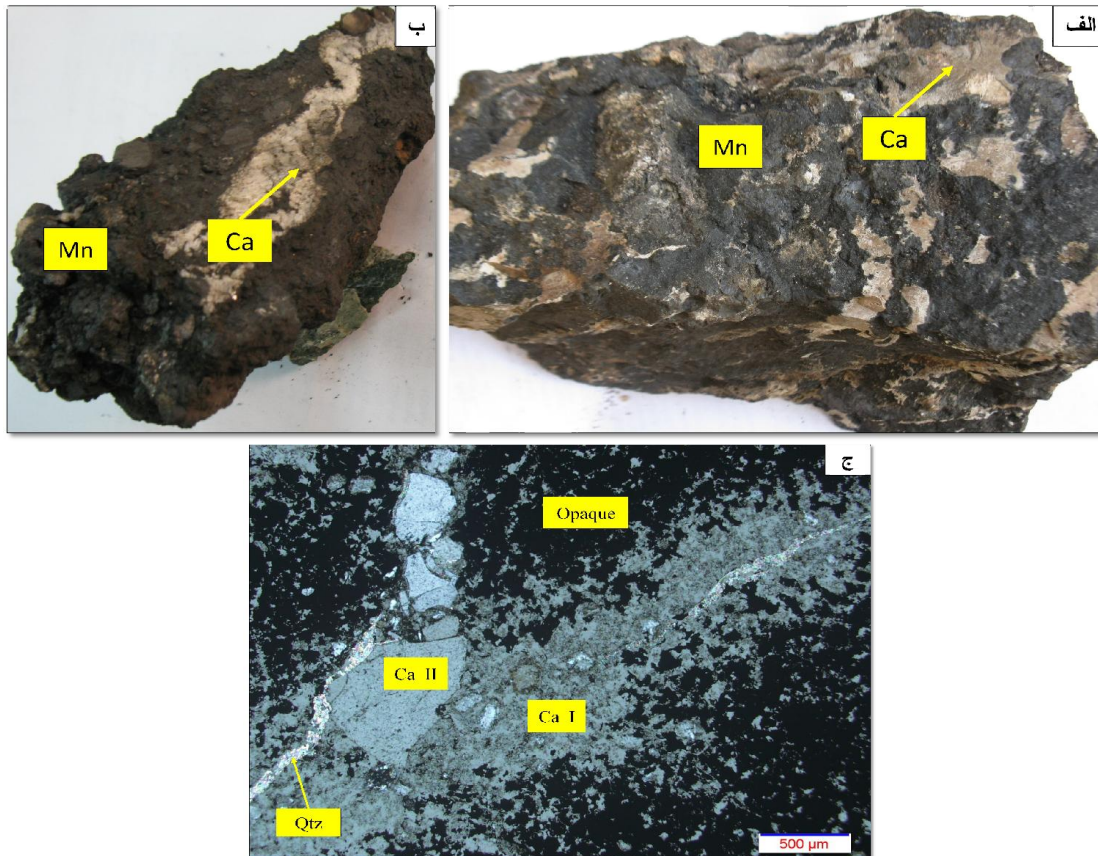
### ۵-۳-۲- کانی‌های باطله

ذرات رسوبی در سنگ میزبان کانسارهای مورد مطالعه متنوع هستند اما مهم‌ترین کانی‌های باطله مرتبط با کانی‌زایی شامل کلسیت، کوارتز، کلریت و کانی‌های رسی می‌باشند.

### ۵-۳-۱- کلسیت

کلسیت به‌عنوان باطله اصلی در کانسارهای مورد مطالعه وجود دارد و معمولاً به‌صورت سیمان، فضای خالی بین کانه‌های منگنز را پر نموده است و حتی گاهی کلسیت به‌خاطر وجود شکستگی‌ها و فضاهای خالی به‌صورت شکافه پرکن یا رگچه‌ای دیده می‌شود (شکل ۵-۱۸).





شکل ۵-۱۸ - کلسیت به‌عنوان کانی باطله: الف و ب) در نمونه دستی و ج) در تصویر میکروسکوپی

کلسیت موجود در کانسارهای منطقه مورد مطالعه را می‌توان از دو نسل مختلف دانست. نسل اول این کانی که عمدتاً در واحد کانه‌دار قابل مشاهده است به صورت سیمان بین قطعات برشی این واحد را پر نموده و این نسل از کلسیت احتمالاً همراه با تشکیل واحد کانه‌دار به وجود آمده است. نسل دوم کلسیت مربوط به تأثیر فرآیندهای گرمایی و سوپرژن است و در محل رگه‌ها یافت می‌شود (شکل ۵-۱۸).

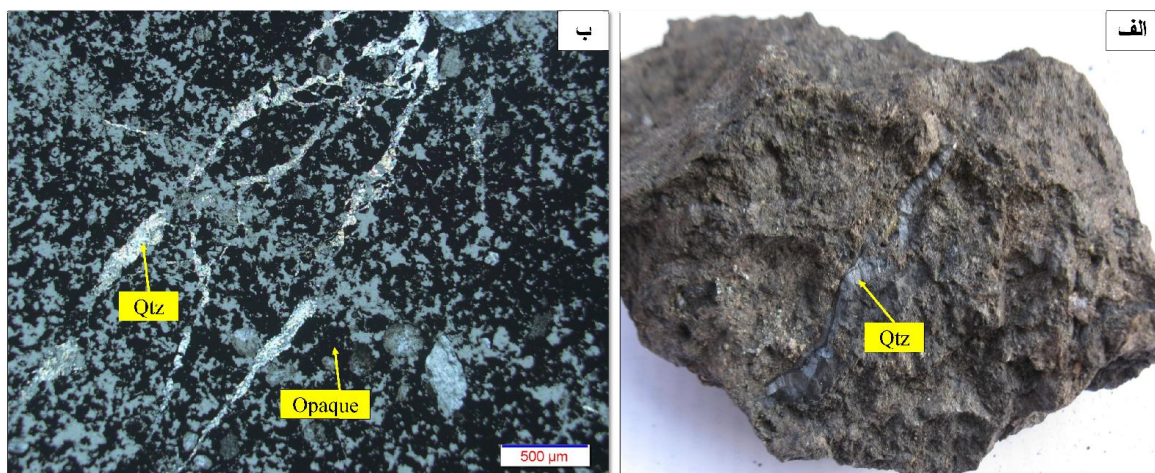
### ۵-۳-۲-۲- کوارتز

کوارتز به عنوان کانی اصلی سیلیس یکی از مهم‌ترین باطله‌هایی است که ماده معدنی را در کانسار منگنز ذاکری II همراهی می‌کند. به طوری که گاهی میزان آن از منگنز نیز بیشتر می‌باشد. کوارتز در کانسار منگنز ذاکری یا از ژل سیلیسی اولیه و یا از دگرسانی سیلیسی شدن تشکیل شده است (شکل ۵-۱۹). در این کانسار ماده معدنی در کنار سنگ‌های آتشفشانی و در ارتباط با آنها تشکیل

شده است و این سنگ‌ها در ترکیب خود مقادیر قابل توجهی سیلیس دارند. بنابراین وجود مقادیر زیاد کوارتز در کانسنگ نیز به دور از انتظار نیست.

همان‌طور که قبلاً هم در این فصل اشاره گردید، در این کانسار، کانه سیلیکاته منگنز (براونیت) نیز وجود دارد. حضور این کانی به همراه سایر کانی‌های سیلیکاته نیز می‌تواند میزان بالای سیلیس را در کانسار نمایان سازد. بنابراین سیلیس علاوه بر اینکه در کانسار به شکل کوارتز وجود دارد، می‌تواند سازنده سایر کانی‌های سیلیکاته نیز باشد. از آنجا که سیلیس موجود در کانسنگ علاوه بر شکل آزاد آن (کوارتز) در ترکیب سایر کانی‌های سیلیکاته نیز شرکت دارد، بنابراین جدایش آن و کاهش میزان آن در کنسانتره به کمک روش‌های کانه‌آرایی مقدور نیست.

چنانچه بخواهیم کلسیت و سیلیس موجود در کانسنگ را از نظر تأثیر بر روی ارزش ماده معدنی بررسی کنیم، باید یادآور شویم که کلسیت به دلیل داشتن خاصیت زودگذاری می‌تواند به عنوان کمک ذوب عمل نموده و همچنین قادر است سیلیس و سایر عناصر مضر را وارد سرباره نماید. بنابراین کلسیت موجود در کانسنگ نه تنها از ارزش آن نمی‌کاهد، بلکه خود نیز سبب افزایش ارزش آن می‌شود. اما سیلیس را می‌توان به عنوان یک باطله مضر قلمداد نمود که افزایش میزان آن از ارزش کانسنگ می‌کاهد.



شکل ۵-۱۹- کوارتز به عنوان کانه باطله: الف) رگه کوارتز همراه با کانه‌زایی در نمونه دستی و ب) رگه‌های ثانویه کوارتز در تصاویر میکروسکوپی

### ۵-۳-۲-۳- کلریت

کلریت به‌عنوان یکی از باطله‌های اصلی در معدن ذاکری بشمار می‌رود که این کانی در رخساره‌های برشی و رگه-رگچه‌ای و به مقدار کمتر در رخساره توده‌ای کانسنگ را همراهی می‌کند کلریت مربوط به تأثیر فرآیندهای گرمایی و دگرسانی کلریتی می‌باشد که در واحد برشی به صورت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. این کلریت‌ها ظاهری سبز رنگ به سنگ می‌دهند (شکل ۵-۲۰).



شکل ۵-۲۰- کلریت به‌عنوان کانی باطله در بین قطع‌ات برشی منگنز قرار گرفته است.

### ۵-۳-۲-۴- کانی‌های رسی

کانی‌های رسی به مقدار فراوان در کانسار منگنز ذاکری دیده می‌شوند و به‌عنوان یکی از باطله‌های معدن به‌شمار می‌آیند. این کانی‌ها در اثر دگرسانی آرژیلیتی به‌وجود آمده‌اند. کانی‌های رسی حاصل از دگرسانی آرژیلیتی محل عبور سیال گرمایی را به خوبی نمایش می‌دهند و در مرکز سیستم قرار دارند. از کانی‌های رسی عمده در منطقه می‌توان با توجه به نتایج آنالیز XRD به موردنیت، ایلیت، کائولینیت و ورمیکولیت اشاره کرد. این کانی‌ها رنگ سفید دارند و بیشتر در رخساره رگه-رگچه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۵-۲۱).





شکل ۵-۲۱- نمایی از کانی‌های رسی که در اثر دگرسانی آرژیلیتی به وجود آمده‌اند و به‌عنوان کانی باطله در معدن به حساب می‌آیند.

#### ۵-۴- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

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

(۱) در مرحله ته‌نشست اولیه و فعالیت آتشفشانی- برونومی از یک طرف اجزای آذرآواری وارد حوضه شده‌اند و از طرف دیگر سیالات گرمابی زیردریایی، اجزای معدنی را وارد حوضه کرده و عدسی‌های منگنز را ته‌نشست نموده‌اند. در این مرحله در ابتدا که محیط احیایی می‌باشد کانی رودوکروزیت تشکیل شده و سپس نسل اول کانی‌های اکسیدی منگنز مثل پیرولوویت، پسیلوملان، هولاندیت، منگانیت به ترتیب خاصی ته‌نشین شده‌اند. ته‌نشست مواد معدنی در این مرحله بیشتر به‌صورت بافت رگه- رگچه‌ای، برشی، توده‌ای، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی و بوتروئیدال بوده است (جدول ۵-۲).

۲) سپس با ادامه فعالیت سیالات گرمایی، نسل دوم کانی‌های منگنز مثل پیرولوزیت، پسیلوملان، تودوروکیت و براونیت ته‌نشین شده و یا 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 پیرولوزیت را تشکیل داده است. بافت‌های این مرحله بیشتر برجای مانده، جان‌شینی و توده‌ای می‌باشد.

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

جدول ۵-۲- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها و ساخت و بافت مربوط به آن در کانسار منگنز ذاکری

	Mineral	Volcanic- Exhalative	diagenesis	uplift and weathering (supergene)
Minerals	Rhodochrosite	————	————	
	Pyrolusite	————	————	————
	Romanechite (Psylomelane)	————	————	
	Hollandite	————	————	
	Manganite	————	————	
	Todorokite	————	————	
	Braunite	————	————	
Alteration	Chlorite	————		
	Quartz	————		
	Calcite	————	————	————
	Sericite	————		
	Clay minerals	————		————
Textures	Massive	————		
	Disseminated and leuticular	————		————
	Replacement	————	————	
	Colloform	————		
	Brecciated	————		
	Banded- laminated	————		
	Vain- veinlets	————		





# فصل ششم

## ژئوشیمی

## ۶-۱- مقدمه

توزیع و پراکندگی عناصر در واحدهای سنگی هر منطقه، ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی است 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 پی‌برد (بارنز، ۱۹۷۹؛ پیرسی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱) از طرفی، تمرکز و پراکندگی عناصر در هر زمان، تابع شرایط خاص محیطی مثل Eh، pH، درجه حرارت، فشار هیدرواستاتیک، فشار لیتواستاتیک و خصوصیات عناصر مثل پتانسیل یونی، تمایل و ویژگی‌های ذاتی هر عنصر و یا مجموعه‌های عنصری بوده است. بنابراین آگاهی از این موارد بیش از هر چیز دیگر می‌تواند راه‌گشای ما در درک حقیقی خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ‌ها گردد. مطالعات ژئوشیمیایی در کانسارهای مختلف، علاوه بر آن که راهنمای بسیار خوبی برای درک فرآیند تشکیل یک کانسار است، به‌عنوان یک ابزار قدرتمند، در اکتشاف ذخایر مشابه، کارآمد خواهد بود. بنابراین اهداف مطالعات ژئوشیمیایی در این فصل از پایان‌نامه شامل موارد زیر است:

تعیین محیط تکتونیکی، بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین و رسوبی میزبان کانه‌زایی، تعیین ماهیت ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی و توزیع عناصر در کانسنگ، مطالعه و پردازش داده‌های ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی، عناصر کمیاب و نادرخاکی<sup>۲</sup>.  
قبل از آن به بیان ویژگی‌های منگنز و کلیاتی از ژئوشیمی این عنصر می‌پردازیم.

## ۶-۲- خصوصیات منگنز

### ۶-۲-۱- ویژگی‌های فیزیکی

هرچند فلز منگنز به تنهایی فلزی سخت است، اما آنقدر شکننده است که اگر به آلیاژی تبدیل نشود، اصلاً قابل استفاده نخواهد بود. خصوصیات مهم فیزیکی منگنز در جدول (۶-۱) خلاصه شده است.

<sup>۱</sup> - Piercey

<sup>۲</sup> - Rare Earth Element

جدول ۶-۱- خصوصیات فیزیکی منگنز (اسنل و اتر<sup>۱</sup>، ۱۹۷۲)

نقطه ذوب (°C)	۱۲۴۵
نقطه جوش (°C)	۲۱۵۰
وزن مخصوص در ۲۰°C (gr/cm <sup>3</sup> )	۷/۴۳
گرمای ویژه در ۲۵°C (cal/gr)	۰/۱۱۵
گرمای نهان ذوب (cal/gr)	۶۳/۷
سختی در مقیاس Mohs	۵

### ۶-۲-۲- ویژگی‌های شیمیایی

منگنز از نظر مقدار فراوانی، دوازدهمین عنصر موجود در پوسته زمین است و از همین نظر در بین فلزات مقام هشتم را دارد. این عنصر دارای یک ایزوتوپ پایدار  $^{55}\text{Mn}$  با عدد اتمی ۲۵ و وزن اتمی ۵۴/۹۳۸ می باشد (روی، ۱۹۸۱؛ اسنل و اتر، ۱۹۷۲) و جایگاه آن در جدول تناوبی عناصر، مکان نخست گروه هفتم عناصر واسطه است. مدار الکترونی بیرونی این عنصر دارای آرایش  $3d^2$  و  $4s^2$  بوده و دارای ایزوتوپهای با اعداد جرمی ۵۱، ۵۲، ۵۴ و ۵۶ می باشد که همگی ناپایدارند.

منگنز با ظرفیت‌های پیوندی مختلف از ۳- تا ۷+ (و صفر) وجود دارد، اما در طبیعت معمولاً با ظرفیت های ۳+ و ۲+ 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 کمپلکس ها وارد می شود.

حالت اکسیداسیون و ظرفیت منگنز به Eh و pH آبهای زیرزمینی 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 محیط‌های سوپرژن یافت می شوند (کیم<sup>۲</sup>، ۱۹۸۴).

<sup>1</sup> - Snell and Etrre

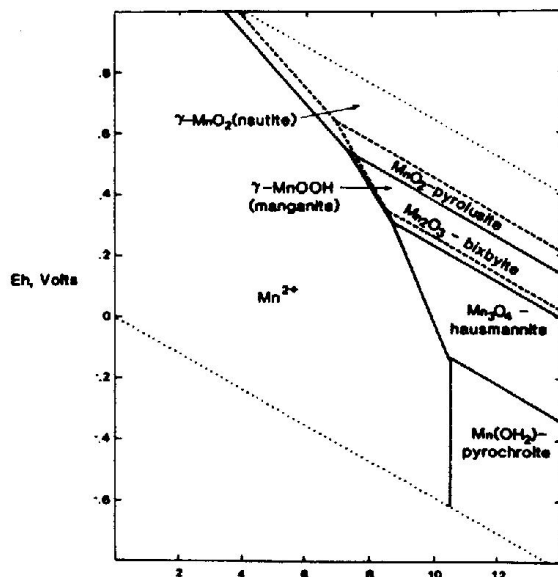
<sup>2</sup> - Kim

از نظر ژئوشیمیایی، منگنز عنصری شدیداً لیتوفیل است اما گاهی اوقات از خود خاصیت کالکوفیلی نیز نشان می‌دهد. این عنصر در پوسته فوقانی خاصیت اکسی‌فیلی دارد (روی، ۱۹۸۱).

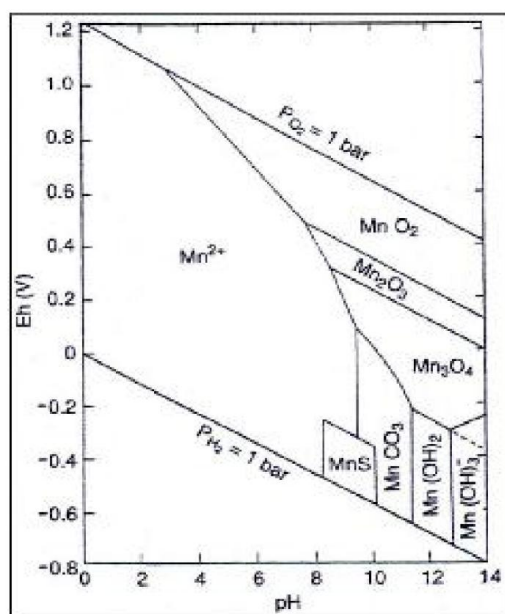
چنانچه مقدار منگنز در شهاب‌سنگ‌ها (در فاز فلزی) برابر ۱ فرض شود، این مقدار در فاز سولفیدی برابر ۱۰ و در فاز سیلیکاته برابر ۲۶ بوده که حکایت از تمایلات لیتوفیلی شدید به همراه مقداری رفتار کالکوفیلی دارد. خواص منگنز بوسیله حالت اکسیداسیون محیط کنترل می‌شود. در آزمایشگاه حالت-های اکسیدی متعددی برای منگنز شناخته شده است، اما در طبیعت دو حالت  $Mn^{+2}$  و  $Mn^{+4}$  رایجتر هستند. خواص ژئوشیمیایی منگنز مشابهت زیادی با آهن دارد و به همین خاطر جدایش این دو عنصر در حین فرآیندهای زمین‌شناسی و تشکیل تمرکز اقتصادی آنها یکی از مسائل مورد بحث دانشمندان بوده است. این عنصر در سنگ‌های آذرین بازیک فراوانی بیشتری نسبت به سنگ‌های آذرین اسیدی دارد، اما نسبت Mn/Fe در انواع این سنگ‌ها تقریباً ثابت است به همین دلیل فرآیندهای ماگمایی در تفریق این دو عنصر از یکدیگر و تشکیل کانسنگ مستقل (منگنز یا آهن)، نقش چندانی ندارند. اما در مقابل، میزان تغییرات نسبت Mn/Fe در سنگ‌های رسوبی قابل توجه است. همچنین مقدار منگنز موجود در شیل‌ها یک الگوی بسیار جالب را پیش‌رو می‌گذارد؛ به‌طوری‌که 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. این ویژگی بیانگر تحرک و انحلال‌پذیری بیشتر منگنز نسبت به سایر فلزات در محیط‌های احيایی است. در محیط‌های سطحی، طی فرآیندهای فرسایش و حمل، نوعی تفریق در عناصر رخ می‌دهد. در اولین مرحله رسوب‌گذاری، مجموعه‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و سیلتی حاصل از فرسایش، با حداقل متوسط منگنز نهشته می‌شوند. اما منگنز حاصل از تخریب شیمیایی سنگ‌ها به همراه آهن به صورت یون محلول یا هیدروکسیدها و اکسیدهای کلوئیدی همچنان حمل می‌گردد. مرحله دوم رسوب‌گذاری، شامل نهشت شیل‌ها و کربنات‌ها است. در این مرحله، منگنز و آهن، بر حسب وضعیت شیمیایی محیط (Eh و pH و تمرکز یون‌های مختلف)، رسوب می‌کنند. بنابراین تشکیل کانسارهای رسوبی و آتشفشانی-رسوبی منگنز، به شدت تابع شیمی محیط



رسوبی می‌باشد. در محیط‌های رسوبی، خواص ژئوشیمیایی منگنز تابع شرایط اکسیداسیون و احیا محیط است (مینارد<sup>۱</sup>، ۱۹۸۳). نمودارهای Eh-pH نشانگر محدوده وسیع انحلال‌پذیری منگنز  $Mn^{2+}$  می‌باشند (شکل‌های ۱-۶ و ۲-۶).



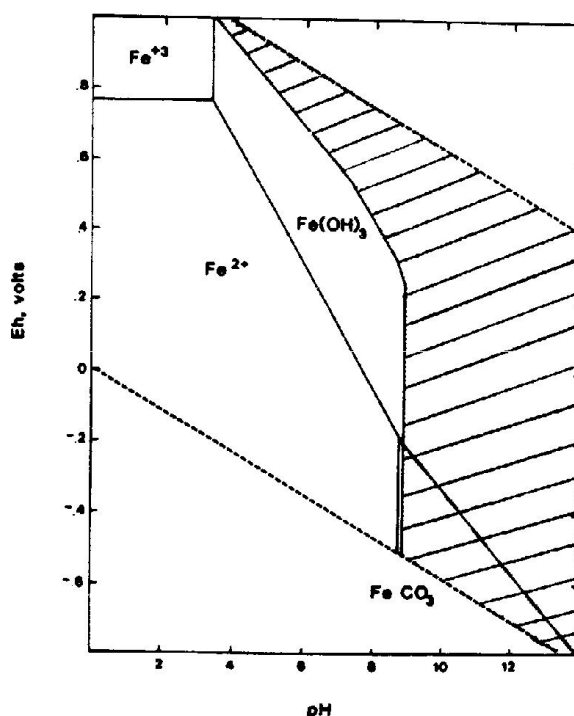
شکل ۱-۶- نمودار Eh-pH برای اکسیدهای منگنز که نشانگر محدوده وسیع انحلال‌پذیری منگنز در محیط‌های احیایی است (مینارد، ۱۹۸۳).



شکل ۲-۶- نمودار Eh-pH برای اکسیدها و کربنات‌های منگنز. سولفیدمنگنز (آلاباندیت) که در این نمودار نشان داده شده است، تنها بخش کوچکی را اشغال می‌کند (بروکینز<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸).

<sup>۱</sup> - Maynard  
<sup>۲</sup> - Brookins

در آبهای سطحی معمولاً pH پایین‌تر از آن است که رودوکروزیت ( $\text{MnCO}_3$ ) تشکیل شود، اما در آب دریا، افزایش مقدار ناچیزی یون کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) به محیط سبب تشکیل رودوکروزیت می‌گردد (به شرط آن که 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<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲؛ سوز<sup>۲</sup>، ۱۹۷۹) محدوده پایداری فازهای جامد آهن بیش از منگنز است (شکل ۳-۶)

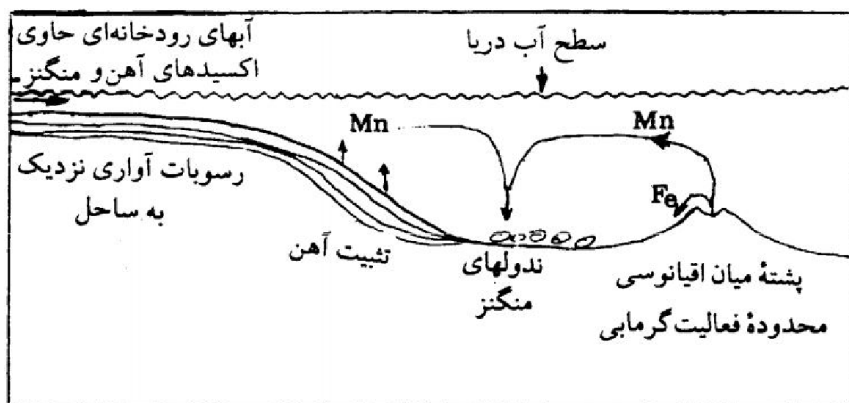


شکل ۳-۶- مقایسه انحلال‌پذیری اکسیدها و کربنات‌های آهن و منگنز. محدوده سایه زده شده نشانگر محدوده پایداری کانی‌های منگنز است (مینارد، ۱۹۸۳).

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، درحالی‌که 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.

<sup>۱</sup> - Pedersen and Price  
<sup>۲</sup> - Suess

در شرایط Eh پایین و میزان گوگرد بالا (مثلاً در رسوبات دریایی شرایط احیایی)، 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 (شکل ۴-۶) این عمل بستگی زیادی به میزان اکسیژن موجود در محیط دارد (یتس<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۷۹). طی این فرآیند رسهای پلاژیک کف دریا از منگنز غنی می‌شوند. راه دیگر غنی شدن این رسها، دگرسانی بازالت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی است. همچنین سیالات گرمابی (هیدروترمال) در حین چرخش در پوسته اقیانوسی قادرند مقادیر قابل توجهی آهن و منگنز را وارد آب دریا نمایند.



شکل ۴-۶- انتقال منگنز از رسوبات آواری محیط کم عمق و بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی به بخش‌های عمیق دریا، بدون مقیاس (مینارد، ۱۹۸۳)

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>۲</sup>، ۱۹۸۰). دیگرام‌های 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

<sup>۱</sup> - Yeats

<sup>۲</sup> - Cronan

حرکت به سمت پایین از پروفیل خاک خارج نمی‌شود و 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. اما سازوکار همراهی این فلزات با اکسیدهای منگنز به خوبی مشخص نیست. گروهی از محققین جانشینی این فلزات در شبکه کانی‌های منگنز را دلیل این همراهی می‌دانند (روی، ۱۹۸۱). غنی‌شدگی ندول‌های مناطق پلاژیک نسبت به ندول‌های مناطق کم‌عمق و دریاچه‌ها، احتمالاً به دلیل سرعت کمتر نهشته شدن این ندول‌ها است.

یکی دیگر از مسائل ژئوشیمی منگنز، نقش میکروارگانیزم‌ها در تشکیل ذخایر آن است. باکتری‌ها اکسیداسیون  $Fe^{+2}$  را تشدید می‌نمایند. اما تأثیرشان بر روی منگنز کاملاً شناخته نشده است. علیرغم تحقیقات وسیعی که طی سال‌های گذشته بر روی نقش میکروارگانیزم‌ها در تشکیل کانسارهای منگنز شده، تأثیر این موجودات در تشکیل ندول‌های منگنز شناخته نشده است. اما شواهدی موجود است که تأثیر آنها بر روی تشکیل هسته‌های اولیه ندول‌ها را تأیید می‌کند. به هر حال از نقش این موجودات نمی‌توان به سادگی گذشت. غلظت منگنز در آب دریاها مقادیر بسیار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. این مقادیر متفاوت ممکن است ناشی از تفاوت نمونه‌های تهیه شده توسط محققین مختلف باشد. غلظت منگنز در سه اقیانوس بزرگ جهان بین 0.2- 0.88 ppb برآورد شده است. بعضی دیگر از محققین مقدار 1.4-3.7 ppb را تخمین زده‌اند (ودپول<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰).

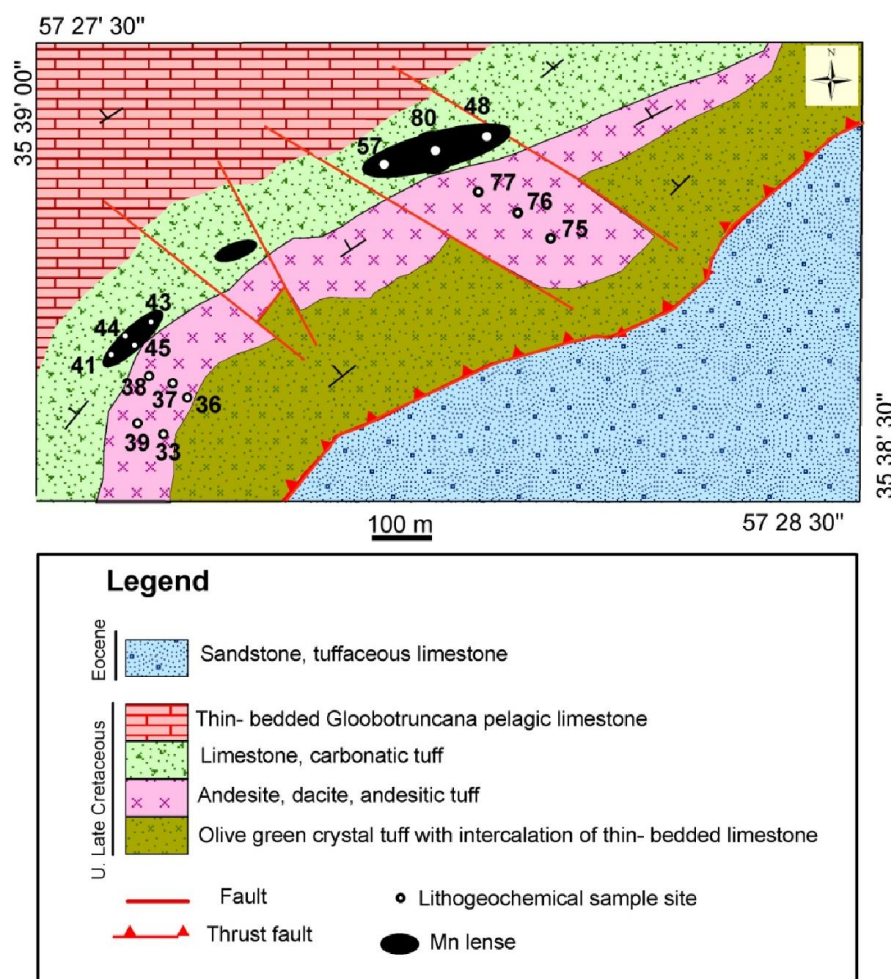
برخلاف آبهای اکسیژن‌دار، آبهای کف دریا و آبهای ساکن بیشترین مقدار منگنز محلول را دارا می‌باشند. دریای سیاه با اینکه حاوی بیش از 450 ppm منگنز محلول می‌باشد (ودپول، ۱۹۸۰) ولی به دلیل نبودن اکسیژن در محیط، هیچ فاز غنی از منگنزی در آن نهشته نمی‌شود. آبهای فاقد اکسیژن بستر دریاچه‌ها و تالاب‌هایی که مقادیر بالایی مواد آلی دارند و یا دارای منطقه‌بندی حرارتی می‌باشند، حاوی بیش از 1 ppm منگنز دو ظرفیتی هستند.

---

<sup>۱</sup>- Wedepohl

### ۳-۶- روش کار

پس از بازدیدهای صحرایی، نمونه‌برداری و مطالعات میکروسکوپی بر روی سنگهای توالی میزبان، رخساره‌های کانه‌دار و سنگهای آذرین، ۱۵ نمونه از کانسار منگنز ذاکری I، ۱ نمونه از کانسنگ ذاکری II، ۱ نمونه از کانسنگ چشمه سفید و ۱ نمونه از اندیس معدنی دانایی به منظور انجام آنالیز ICP-MS و ICP-OES به آزمایشگاه Acme کانادا، جهت بررسی تغییرات عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی (REE) ارسال گردید (دقت آنالیزها در حد ppb). موقعیت و شماره نمونه‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از معدن، نشان داده شده است (شکل ۵-۶) و مشخصات آنها در جدول ۲-۶ آورده شده است.



شکل ۵-۶- موقعیت و شماره نمونه‌های برداشت شده از معدن منگنز ذاکری بر روی نقشه تهیه شده از معدن



همچنین تعداد ۱۰ نمونه از رخساره‌های کانه‌دار کانسارهای ذاکری، چشمه‌سفید، ذاکری II و دانایی برای بررسی تغییرات میزان عناصر اصلی و کمیاب در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به روش فلورسانس اشعه ایکس مورد آنالیز قرار گرفت (دقت آنالیزها در حد درصد). سپس داده‌های حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی، توسط نرم‌افزارهای مختلف، مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۶-۲- توضیح شماره و موقعیت محل برداشت نمونه‌ها با توجه به نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از کانسار ذاکری (شکل ۶-۵)

شماره نمونه در صحرا	شماره نمونه‌ها در آزمایشگاه	نام سنگ	محل برداشت نمونه
۳۳	M179	آندزیت	کمرباطین کانسار
۳۶	M180	آندزیت	کمرباطین کانسار
۳۷	M181	آندزیت	کمرباطین کانسار
۳۸	M182	آندزیت	کمرباطین کانسار
۳۹	M183	آندزیت	کمرباطین کانسار
۷۵	M190	داسیت	کمرباطین کانسار
۷۶	M191	داسیت	کمرباطین کانسار
۷۷	M192	داسیت	کمرباطین کانسار
۴۱	M184	کانسنگ	ذاکری I (عدسی غربی)
۴۳	M185	کانسنگ	ذاکری I (عدسی غربی)
۴۴	M186	کانسنگ	ذاکری I (عدسی غربی)
۴۵	M187	کانسنگ	ذاکری I (عدسی غربی)
۴۸	M188	کانسنگ	ذاکری I (عدسی شرقی)
۸۰	M193	کانسنگ	ذاکری I (عدسی شرقی)
۵۷	M189	کانسنگ	ذاکری I (عدسی شرقی)
۸۲	M194	کانسنگ	ذاکری II
۸۳	M195	کانسنگ	چشمه سفید
۸۴	M196	کانسنگ	دانایی

## ۴-۶- ژئوشیمی سنگهای آذرین

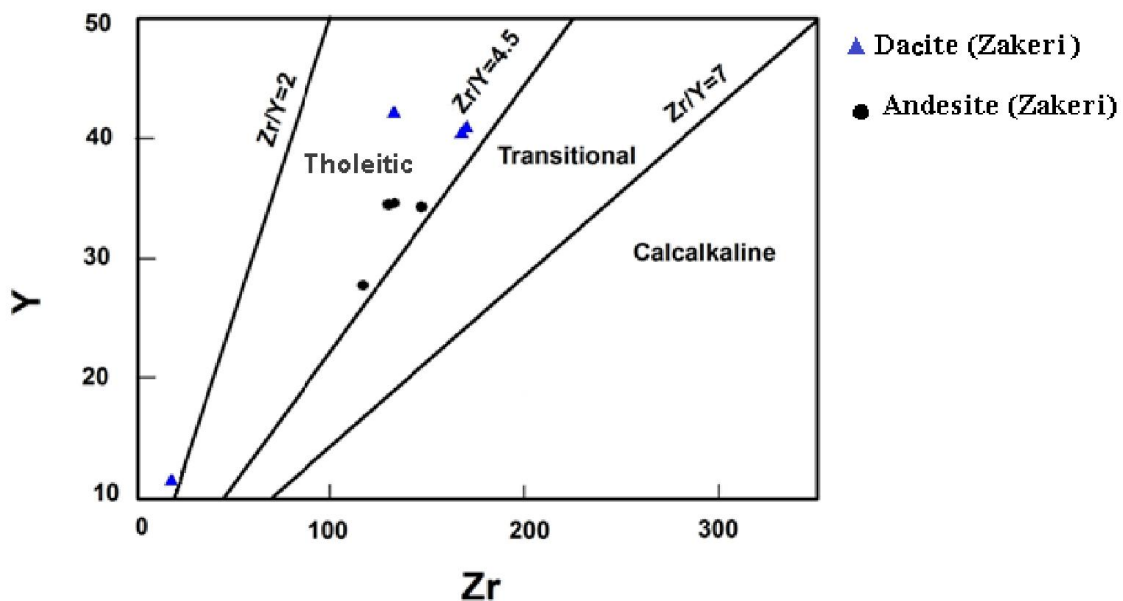
در منطقه جنوب غرب سبزوار، سنگهای آذرین بیشتر به صورت گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب‌های مختلف و سنگهای آذرآواری برونزد دارد. از آنجا که سنگهای آذرین، ارتباط نزدیکی با کانه‌زایی در منطقه دارند، بنابراین مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگها می‌تواند اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگهای منطقه در اختیار قرار دهد. میزان برخی از عناصر اصلی، فرعی و کمیاب حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی سنگهای آذرین در جدول ۳-۶ آورده شده است.

جدول ۳-۶ - میزان برخی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در نمونه سنگ‌های آتشفشانی منطقه معدنی ذاکری (موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۵-۶ و در جدول ۲-۶ نشان داده شده است).

Sample	Z-33	Z-36	Z-37	Z-38	Z-39	Z-75	Z-76	Z-77
La (ppm)	1.6	8.3	7.1	8.3	7.3	9.3	10.7	10.1
Ce (ppm)	3.39	19.92	17.83	19.70	18.36	21.75	26.70	24.98
Pr (ppm)	0.5	3.0	2.6	2.9	2.8	3.1	3.6	3.4
Nd (ppm)	2.4	13.9	11.5	14.9	15.7	15.0	17.8	15.9
Sm (ppm)	0.7	4.7	3.5	4.0	5.7	3.7	5.0	4.6
Eu (ppm)	0.2	1.4	1.0	1.4	1.9	1.0	1.3	1.2
Gd (ppm)	1.1	5.2	4.5	5.1	8.4	5.3	5.6	5.7
Tb (ppm)	0.2	0.9	0.8	0.9	1.4	1.0	1.2	1.2
Dy (ppm)	1.2	6.3	4.9	5.9	9.0	7.1	6.7	6.8
Ho (ppm)	0.4	1.3	1.2	1.3	2.0	1.5	1.5	1.6
Er (ppm)	1.0	4.5	3.7	4.2	5.5	4.6	4.8	4.9
Tm (ppm)	0.2	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.9	0.8
Yb (ppm)	1.1	4.9	3.6	4.4	5.3	4.9	4.9	4.5
Lu (ppm)	0.1	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
Hf (ppm)	0.39	3.66	3.34	4.06	3.98	4.11	5.42	4.84
Ta (ppm)	<0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Th (ppm)	0.2	1.7	1.5	1.9	1.7	1.6	2.1	2.1
Cs (ppm)	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rb (ppm)	1.7	11.5	18.3	9.9	9.0	8.2	14.7	17.8
Ba (ppm)	461	175	405	208	193	198	253	245
U (ppm)	<0.1	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.9
Nb (ppm)	0.34	2.41	2.19	2.66	2.52	2.59	2.97	2.96
K (%)	0.16	2.26	2.66	1.69	0.99	1.01	1.37	2.24
Pb (ppm)	1.17	2.81	3.42	3.61	3.73	1.92	2.03	2.48
Sr (ppm)	63	148	90	175	176	150	96	90
P (ppm)	0.002	0.029	0.025	0.032	0.081	0.022	0.019	0.020
Zr (ppm)	13.3	126.4	112.8	142.6	131.2	129.1	165.6	163.0
Ti (%)	0.021	0.248	0.219	0.281	0.342	0.155	0.176	0.173
Y (ppm)	11.9	34.4	27.7	34.2	51.6	42.0	40.8	40.3

#### ۶-۴-۱- طبقه‌بندی و تعیین ترکیب شیمیایی سنگهای آذرین

برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سن‌های آذرین و همچنین تعیین محیط تکتونیکی از عناصر اصلی و کمیاب استفاده گردیده است. برای تعیین سری ماگمایی سنگهای منطقه از نمودارهای مختلف استفاده شده است. نمودار دوتایی Zr در برابر Y برای تفکیک سنگهای تولییتی از کالک‌آلکان بکار می‌رود (پیرس<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹؛ بارت و مک‌لین<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹). با توجه به غیرمتحرک بودن عناصر Zr و Y طبق نظر بارت و مک‌لین (۱۹۹۴) نمودار Zr/Y به سه بخش قابل تقسیم است. نسبت بین ۲-۴/۵ برای سنگهای تولییتی و بیشتر از ۷ برای سنگهای کالک‌آلکان می‌باشد و محدوده بین کالک‌آلکان و تولییتی نسبت Zr/Y بین ۴/۵ تا ۷ را دارند. این نسبت در نمونه سنگهای منطقه مورد مطالعه بین ۱/۱۱ تا ۴/۱۶ می‌باشد که در محدوده تولییتی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۶).



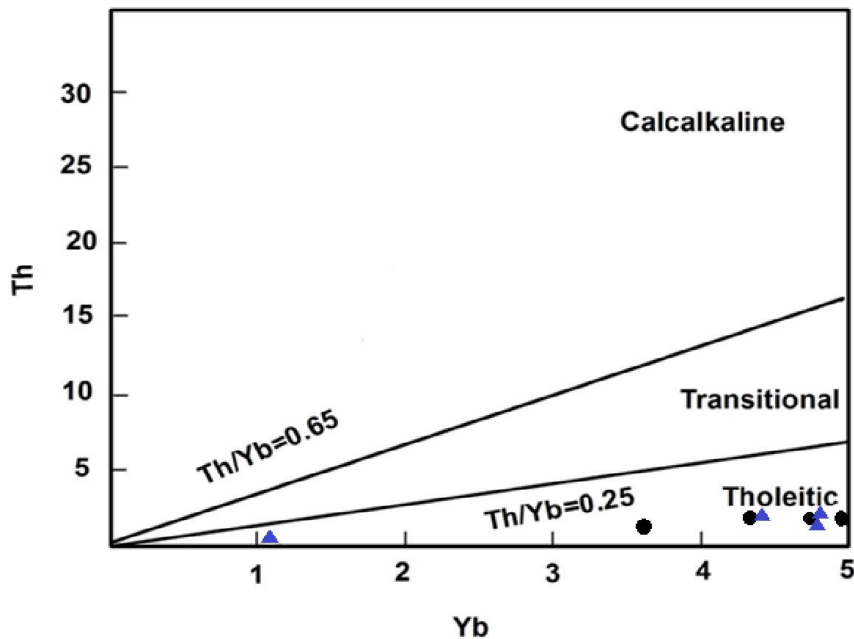
شکل ۶-۶- نمودار Y در برابر Zr از بارت و مک‌لین (۱۹۹۴) جهت تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌های ولکانیکی در منطقه مورد مطالعه. با توجه به نمودار، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده تولییتی قرار می‌گیرند.

از نسبت Yb در برابر Th نیز طبق نظر (بارت و مک‌لین، ۱۹۹۹) برای تفکیک سنگهای تولییتی از کالک‌آلکان استفاده می‌شود. این نسبت در سنگ‌های تولییتی کمتر از ۰/۲۵ و در سنگ‌های

<sup>۱</sup> - Pearce

<sup>۲</sup> - Barrett and MacLean

کالک‌آلکان بیشتر از ۰/۶۵ می‌باشد که با توجه به نسبت Th/Yb در سنگ‌های منطقه جنوب‌غرب سبزوار و معدن ذاکری این سنگ‌ها در محدوده تولییتی قرار می‌گیرند که از ویژگی‌های محیط‌های پشت کمانی بوده و منطبق با نظر روزتی و همکاران (۲۰۱۰) در مورد زیر پهنه سبزوار می‌باشد (شکل ۶-۷).

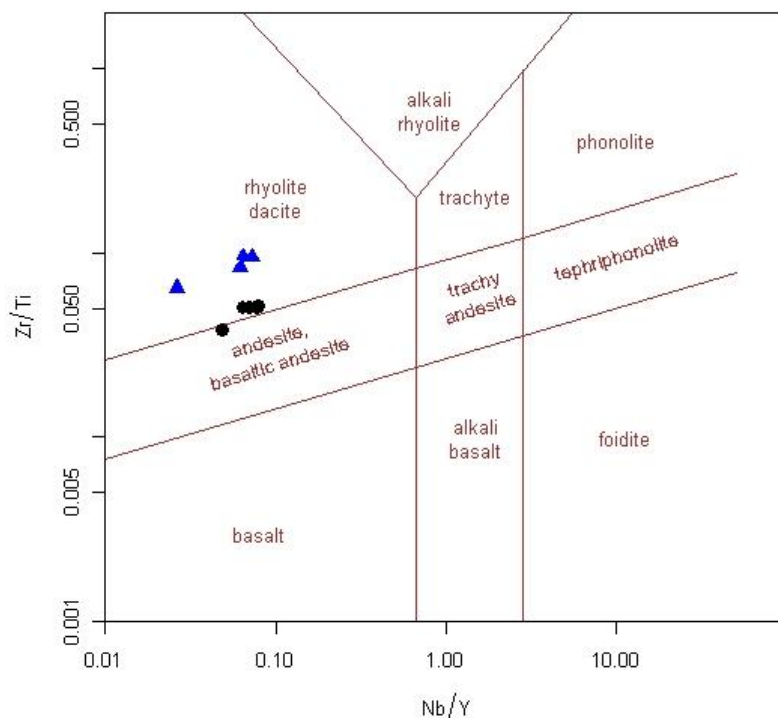


شکل ۶-۷ - نمودار Yb در برابر Th جهت تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه (بارت و مک‌لین، ۱۹۹۹). با توجه به نمودار، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده تولییتی قرار می‌گیرند. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.

برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین در منطقه جنوب‌غرب سبزوار از نمودار (پیرس و پارکینسون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶) استفاده شده است. ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه در نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti از پیرس و پارکینسون (۱۹۹۶) نشان داده شده است که دارای طیفی از سنگ‌های داسیتی تا آندزیتی و آندزی بازال می‌باشند (شکل ۶-۸) که این نمودار نام‌گذاری صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌ها را تأیید می‌کند.

<sup>1</sup> - Pearce and Parkinson

Nb/Y – Zr/Ti plot (modified by Pearce 1996)



شکل ۶-۸- نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti که نشان می‌دهد نمونه‌های منطقه مورد مطالعه دارای طیفی از سنگ‌های داسیتی تا آندزیتی و آندزی بازالت می‌باشند (پیرس و پارکینسون، ۱۹۹۶). راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.

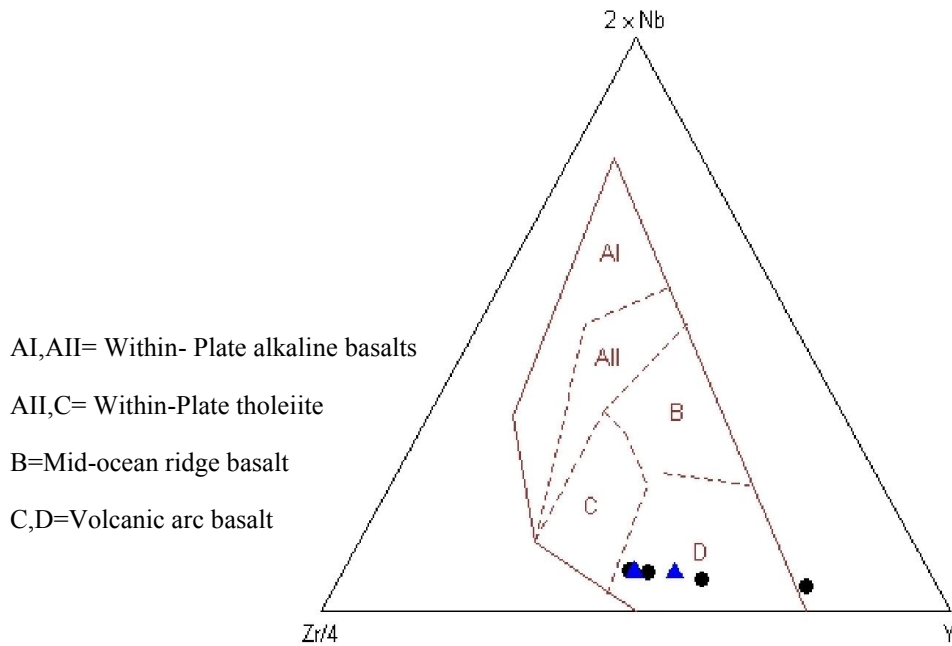
### ۶-۵- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین

امروزه از نمودارهای ژئوشیمی برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌ها استفاده می‌شود زیرا ارتباط خاصی بین شیمی عناصر اصلی و نادرخاکی با محیط تکتونوماگمایی سنگ‌ها وجود دارد. حجم اصلی سنگ‌ها را سنگ‌های داسیتی، آندزیتی و آندزی بازالت تشکیل می‌دهند که دارای ترکیبی اسیدی تا حدواسط با ویژگی تولییتی هستند (شکل ۶-۸)

با توجه به نمودار سه‌تایی  $Zr/4-Y-2Nb$  که توسط (مزجد<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶) ارائه شده است سنگ‌های آتشفشانی در منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت‌های کم‌آب آتشفشانی<sup>۲</sup> قرار می‌گیرند (شکل ۶-۹)

<sup>۱</sup> - Meschede

<sup>۲</sup> - Volcanic arc basalts



شکل ۶-۹ موقعیت نمونه‌های سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودر سه تایی Zr/4-Y-2Nb (مزچد، ۱۹۸۶). راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.

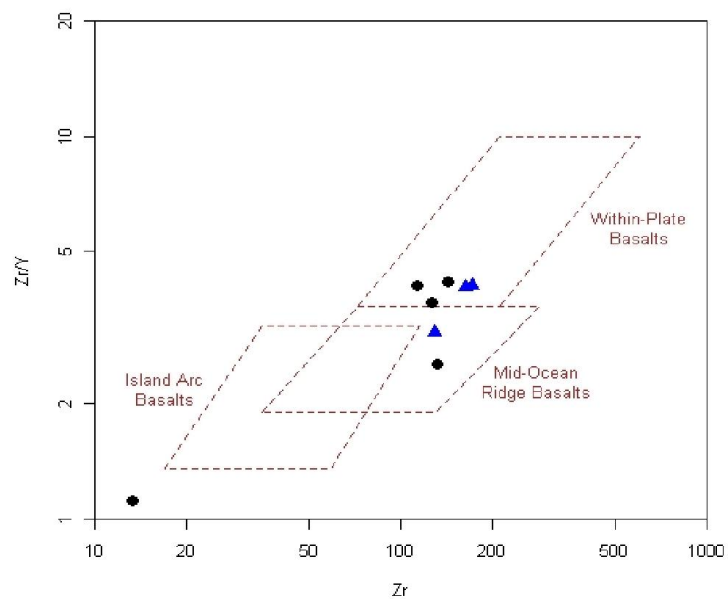
همچنین طبق نمودار دوتایی Zr در برابر Zr/Y که توسط (پیرس و نوری، ۱۹۷۹) ارائه شده است، سنگهای منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی و بازالت‌های داخل صفحه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۰).

نمونه‌های آتشفشانی در نمودارهای  $Zr/117 - Th - Nb/16$ ،  $Hf/3 - Th - Nb/16$ ،  $Hf/3 - Th - Ta$  بر طبق (وود<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰) در محدوده بازالت‌های کالکوالکالن (CAB) قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۱). سنگهای آتشفشانی که در محدوده CAB قرار می‌گیرند، در حوضه‌های کششی نزدیک به کمان‌های آتشفشانی تشکیل شده و از مذاب‌هایی حاصل می‌شوند که متأثر از پوسته اقیانوسی فرورونده می‌باشند (پیتر و اسکات، ۱۹۹۹). بنابراین چنین محیط‌هایی، حوضه‌های کششی پشت کمانی می‌باشند. همچنین طبق نمودار دوتایی  $Th/Nb$  در برابر  $Ce/Nb$  (سایدرز و تارنی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱) نمونه‌های سنگ‌های آتشفشانی در جنوب غرب سبزوار و در اطراف معدن ذاکری در محدوده حوضه‌های پشت کمانی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۲).

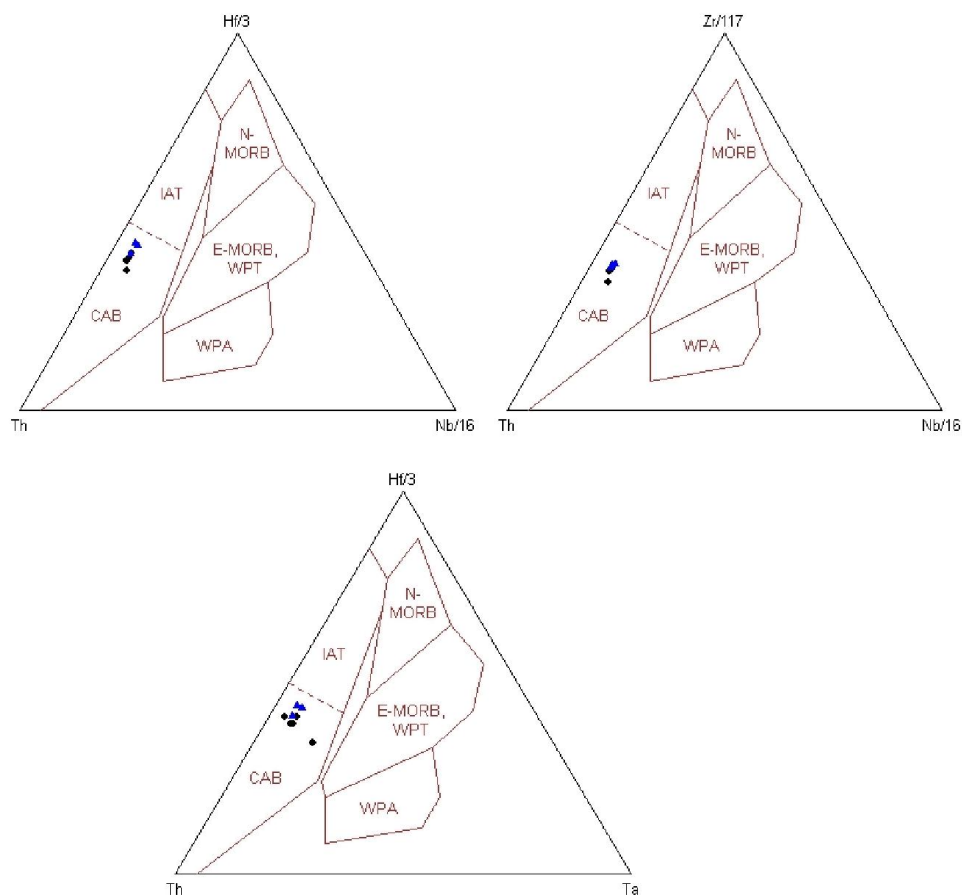
<sup>۱</sup> - Wood

<sup>۲</sup> - Sauders and Tarney



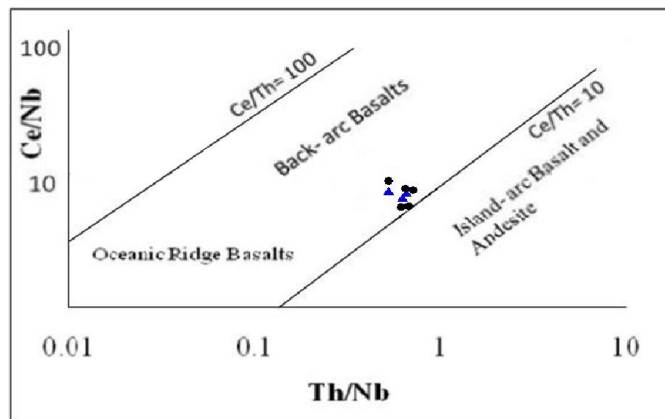


شکل ۶-۱۰- موقعیت نمونه‌های ولکانیک در منطقه مورد مطالعه در نمودار دوتایی Zr در برابر Zr/Y از پیرس و نوری (۱۹۷۹) راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.



شکل ۶-۱۱- نمودار سه تایی  $Zr/117$ -Th-Nb/16،  $Hf/3$ -Th-Nb/16،  $Hf/3$ -Th-Ta (زود، ۱۹۸۰) همه نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های کالکوالکان (CAB) قرار می‌گیرند. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.

بنابراین همان‌طور که قبلاً هم اشاره شده بود نظریه عمومی درباره ماگماتیسم و رسوب‌گذاری در پهنه سبزوار، ایجاد محیط کششی و تشکیل یک کافت پشت کمانی در طی کرتاسه پسین می‌باشد (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۶-۱۲- موقعیت نمونه‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار دوتایی  $Th/Nb$  در برابر  $Ce/Nb$  از سایدروز و تارنی (۱۹۹۱). همه نمونه‌ها در محدوده حوضه‌های پشت قوسی قرار می‌گیرند. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۶ می‌باشد.

## ۶-۶- ژئوشیمی کانسنگ

### ۶-۶-۱- نسبت $Mn/Fe$

یکی از شاخص‌هایی که به‌وسیله آن می‌توان کانسارهای منگنز با خاستگاه آبزاد (هیدروژنوس) را از سایر نهشته‌های منگنز تمیز داد، نسبت  $Mn/Fe$  است که توسط بسیاری از زمین‌شناسان اقتصادی در مورد کانسارهای گوناگون و نیز نهشته‌های منگنز عهد حاضر در بستر دریاها و اقیانوس‌ها با موفقیت بکار رفته است (هین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). آهن و منگنز در موقع نهشت از سیالات گرمایی به شیوه خاصی از هم جدا می‌شوند که این جدایش متأثر از درجه حلالیت آنها می‌باشد و نسبت‌های متفاوتی از  $Mn/Fe$  ایجاد می‌کنند. علت تغییر نسبت  $Mn/Fe$  در کانسارهای مختلف، هم به‌وسیله نسبت اولیه عناصر در سیال و هم به‌وسیله فاصله محل نهشت کانسار از کانون فوران کنترل می‌شود (هین و همکاران، ۱۹۹۷). به‌طوری که منگنز نسبت به آهن در دماهای پایین و محدوده وسیعی از  $Eh$  و  $pH$

<sup>۱</sup> - Hein

می‌تواند محلول باشد. به عبارتی تحرک ژئوشیمیایی منگنز در محیط‌های رسوبی نسبت به آهن بیشتر است، لذا تا مسافت‌های دورتر حمل و نقل یافته، آنگاه رسوب می‌کند (روی، ۱۹۹۳). همچنین نسبت بالای Mn/Fe نمایانگر خروج سیالات با حرارت کمتر و نرخ فوران پایین است (هین، ۱۹۹۷؛ روی، ۱۹۸۰). تخلیه این سیالات در رسوبات و تثبیت آهن در فازهای دیگر همچنین می‌تواند بر روی نسبت Mn/Fe مؤثر باشد (روی، ۱۹۹۲). بنابراین با توجه به موارد بالا نسبت‌های میانگین Mn/Fe برابر ۱ برای نهشته‌های منگنز با خاستگاه آبراد، کمتر از ۱ به عنوان شاخصی برای نهشته‌های منگنز در محیط‌های دریاچه‌ای و برای کانسارهای گرمابی میانگین Mn/Fe بین ۰/۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شده است (ناگاراجان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). قابل ذکر است که منظور از کانسارهای گرمابی در واقع کانسارهای گرمابی-بروندمی و زیردریایی می‌باشد. همچنین هین و همکاران (۲۰۰۰) نسبت‌های Mn/Fe در گستره ۰/۸ تا ۲/۵ را نشانه نهشتگی در فرآیند آبراد دانسته‌اند. نسبت Mn/Fe در نمونه‌های بررسی شده از کانسار منگنز ذاکری بین ۰/۹۸ تا ۵۳ تغییر کرده و میانگین آن ۲۱/۵۲ است (جدول ۴-۶ و جدول ۵-۶).

جدول ۴-۶- نتایج تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌های منگنز ذاکری، چشمه سفید، دانایی I و ذاکری II به روش XRF (داده‌ها برحسب درصد). موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۵-۶ و جدول ۲-۶ نشان داده شده است.

Sample	41	43	44	45	48	57	80	82	83	84
SiO <sub>2</sub>	76.06	78.93	22.79	76.78	2.44	7.83	3.51	39.6	5.26	88.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.56	0.18	0	0.63	2.06	0.5	3.76	0.84	0.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.23	7.71	3.82	2.48	1047	1.35	1.84	6.12	1.02	3.73
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0	7.36	0	2.63	0	0.93	0
K <sub>2</sub> O	0	0	0.43	0	1.18	0.7	1.53	1.68	0.41	0.09
MgO	0	0	0	0	1.44	0.7	1.24	0.89	0.7	0
CaO	4.54	0.85	18.21	5.39	2.7	0.62	4.55	22.17	22.6	0.99
MnO	8.64	7.08	36.26	7.79	50.98	58.76	55.91	5.74	35.52	4.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.63	0.13	0	0.07	0	0.87	0.25	0.84	0.08
SrO	0.23	0.08	0.48	0.16	1.63	0.95	2.18	0	0.44	0.07
BaO	1.46	0.61	0.61	0.61	1.17	13.51	2.15	0.46	2.06	0.39
SO <sub>3</sub>	0.19	0	0	0	0.72	0	0.21	0.38	0	0
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	5.3	0.68	2.76	0	0.21	0
L.O.I	6.66	3.46	16.1	6.8	22.91	12.84	20.12	18.96	29.18	1.43

<sup>1</sup> - Nagarajan

جدول ۶-۵- میزان عناصر اصلی و کمیاب در کانسار منگنز ذاکری I، چشمه سفید، دانایی و ذاکری II به روش ICP-MS. موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و جدول ۶-۲ نشان داده شده است.

Sample	41	43	44	45	48	57	80	82	83	84
<b>Mn (ppm)</b>	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000
<b>Fe (%)</b>	1.86	5.81	2.22	1.73	1.12	1.02	1.03	4.37	0.99	2.96
<b>As (ppm)</b>	251.6	527.9	517.1	230.4	354.0	281.2	149.0	39.8	228.3	23.2
<b>Sr (ppm)</b>	2214	668	3213	1149	>10000	7970	>10000	611	5057	601
<b>Ca (%)</b>	2.94	0.60	8.13	3.52	1.34	0.46	2.31	14.69	13.10	0.70
<b>P (%)</b>	0.003	0.213	0.041	0.006	0.029	0.018	0.284	0.110	0.393	0.025
<b>Mg (%)</b>	0.06	0.07	0.16	0.10	0.89	0.38	0.59	0.52	0.47	0.07
<b>Ba (ppm)</b>	>10000	7919	>10000	4747	>10000	>10000	>10000	4379	>10000	3079
<b>Al (%)</b>	0.12	0.23	0.10	0.06	0.22	0.58	0.18	1.87	0.49	0.08
<b>Na (%)</b>	0.096	0.109	0.155	0.085	1.520	0.555	1.440	0.321	0.748	0.057
<b>K (%)</b>	0.07	0.07	0.27	0.07	0.99	0.60	1.29	1.34	0.40	0.06
<b>S (%)</b>	0.05	<0.04	<0.04	<0.04	0.09	0.06	0.09	0.10	0.06	<0.04
<b>Ti (%)</b>	0.003	0.007	0.005	0.001	0.012	0.029	0.010	0.077	0.035	0.003
<b>Co (ppm)</b>	40.1	7.8	49.1	15.2	3.8	125.0	35.9	12.5	29.4	3.2
<b>Cr (ppm)</b>	295	649	47	270	13	53	55	26	40	751
<b>Cu (ppm)</b>	276.69	328.72	572.79	94.76	53.58	368.90	68.06	260.05	103.07	15.25
<b>Mo (ppm)</b>	24.47	39.64	43.76	22.95	240.09	175.82	218.20	5.82	79.32	13.36
<b>Ni (ppm)</b>	15.4	50.5	56.1	18.0	137.7	58.0	177.8	213.6	85.3	26.4
<b>Pb (ppm)</b>	3.51	479.98	5.30	1.61	10.46	126.84	3.25	75.87	40.33	6.16
<b>Rb (ppm)</b>	1.3	2.0	1.7	0.9	5.4	9.3	5.2	39.5	3.9	1.5
<b>V (ppm)</b>	59	121	82	24	145	181	262	60	142	42
<b>Zn (ppm)</b>	20.9	85.8	104.2	31.2	236.3	108.3	309.2	138.4	155.3	41.4
<b>Zr (ppm)</b>	1.5	5.6	2.3	0.7	6.6	9.4	7.6	37.0	12.9	1.6
<b>Th (ppm)</b>	<0.1	0.2	0.1	<0.1	0.3	0.6	0.1	2.3	0.2	<0.1
<b>U (ppm)</b>	0.7	0.9	1.0	0.3	0.6	0.6	1.1	0.6	1.2	0.4

نسبت Mn/Fe در کانسار منگنز ذاکری با همین نسبت‌ها در کانسارهای منگنز دریای تیرنه و کانسار صفو در شمال چالدران مقایسه شد (جدول ۶-۶).

جدول ۶-۶- مقایسه دامنه تغییرات Mn/Fe در نهشته‌های مختلف منگنز و در کانسارهای منگنز منطقه مورد مطالعه

ناحیه	دامنه تغییرات Mn/Fe	میانگین	مرجع
آیزاد	۰/۸-۲/۵	۱	(ناگاراگان، ۲۰۰۷؛ هین و همکاران، ۲۰۰۰)
دریاچه‌ای	-	۱>	(ناگاراگان، ۲۰۰۷)
گرمابی	۰/۱-۱۰		(ناگاراگان، ۲۰۰۷؛ نیکلسون و همکاران، ۱۹۹۷)
ذاکری	۰/۹۸-۵۳	۲۱/۵۲	این تحقیق
تیرنه	۳/۲-۳۹		(دکو، ۲۰۰۴)
صفو (چالدران)	۱/۳۵-۳۱/۷	۸	(امامعلی‌پور، ۱۳۸۸)
بافت (کرمان)	۱/۲۱-۳۷/۷	۷/۸۶	(حشمت بهزادی و شهاب‌پور، ۲۰۱۰)

در کانسارهای منگنز دریای تیرنه در ایتالیا که یک کانسار گرمابی-بروندمی می‌باشد، در رسوبات منگنزدار، نسبت Mn/Fe بین ۳/۲ تا ۳۹ در تغییر بوده است که شاخص منشأ گرمابی آن می‌باشد (دکو، ۲۰۰۴). همچنین در نمونه‌های بررسی شده از کانسار صفو در شمال چالدران نسبت Mn/Fe بین ۱/۳۵ تا ۳۱/۷ تغییر می‌کند و میانگین آن ۸ است (امامعلی‌پور، ۱۳۸۸).

این مقادیر بالا نشان‌دهنده غنی‌شدگی منگنز صفو طی فرآیند گرمابی-بروندمی می‌باشد. همان‌طور که در فصل سوم اشاره شده است منگنز ذاکری دارای دو عدسی منگنز می‌باشد. عدسی بزرگتر در شرق معدن و عدسی کوچکتر در غرب معدن قرار گرفته است (شکل ۶-۵). میانگین نسبت Mn/Fe در عدسی بزرگتر ۴۹/۸۵ و در عدسی کوچکتر ۵/۹۵ می‌باشد. بنابراین کانسار شرقی قابلیت استخراج و بهره‌برداری دارد.

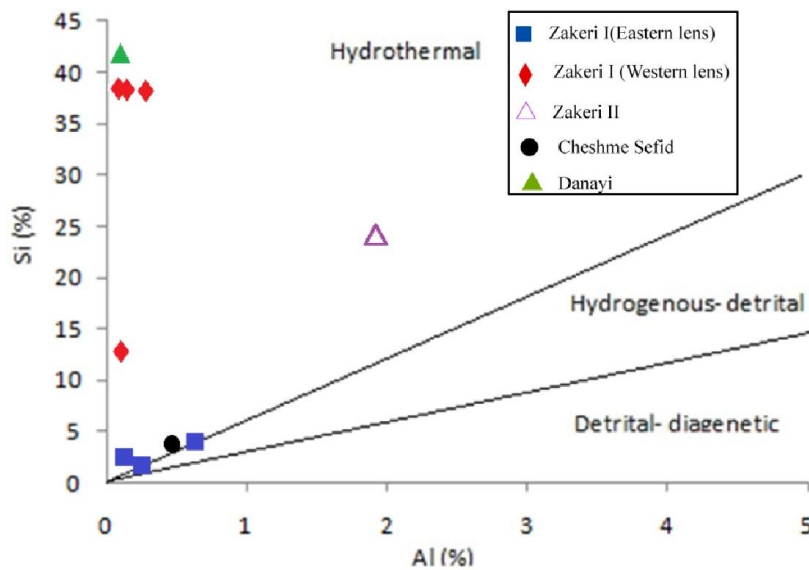
<sup>1</sup> - Dekov

## ۶-۶-۲- نمودار Si/Al

از نمودار Si/Al طبق نظر (چوی و هاریا<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲) جهت تشخیص منشأ کانسارها استفاده می‌شود (شکل ۶-۱۳). با توجه به نسبت‌های مختلف Si/Al، این نمودار به سه بخش گرمایی، آیزاد-تخریبی و تخریبی-دیاژنتیکی تقسیم می‌شود. نسبت بالای Si/Al معرف کانسارهای با منشأ گرمایی و نسبت پایین آن معرف کانسارهای با منشأ تخریبی-دیاژنتیکی می‌باشد و قسمت مابین این دو نسبت، معرف کانسارهای با منشأ آیزاد-تخریبی می‌باشند. کانسارهای گرمایی عموماً در ارتباط نزدیک با ژل‌های سیلیسی آهن‌دار به وجود می‌آیند، که به وسیله فرآیندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی تشکیل شده‌اند (روی، ۱۹۹۲) به همین جهت درصد وزنی Si در مقابل Al در این کانسارها معرف درصد بالای SiO<sub>2</sub> در طی فعالیت‌های اگزالاتیو می‌باشد. اما در کانسارهای با منشأ تخریبی، Al نسبت به Si از درصد بالاتری برخوردار می‌باشد. این امر ناشی از تخریب و تجزیه فلدسپاتها در طی فرآیند حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد. نسبت Si به Al در ندول-های فرو منگنز کف دریا و رسوبات دریایی برابر ۳ می‌باشد. همچنین برای نهشته‌های فلزدار مراکز گسترش میان اقیانوسی (MOR) این نسبت بالاتر از نهشته‌های آیزاد می‌باشد. در کانسارهای منگنز ذاکری میانگین Si/Al حدود ۵۲/۲۸ می‌باشد، که در محدوده کانسارهای با منشأ گرمایی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۳). تنها چند نمونه در محدوده کانسارهای با منشأ آیزاد قرار می‌گیرد. نمونه‌هایی که در محدوده آیزاد قرار می‌گیرند دارای عیار بالایی از منگنز هستند. شاید بتوان دلیل این امر را چنین توجیه کرد که در منطقه مورد مطالعه، فرآیندهای سوپرژن بعضی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در بخش‌هایی از کانسار باعث بالا رفتن عیار ماده معدنی گشته است. میانگین نسبت Si/Al در کانسارهای فرو منگنز منطقه تربت حیدریه که یک کانسار با منشأ گرمایی است، حدود ۴/۵ می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۵).

<sup>1</sup> - Choi and Haria





شکل ۶-۱۳- نمودار دوتایی Si به Al از چوی و هاریا (۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه.

### ۶-۳-۶- نمودارهای عناصر کمیاب

مؤلفین متعددی تلاش کردند تا با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب، کانسارهای رسوبی دریایی منگنز را از کانسارهای گرمابی متمایز کنند. در همین راستا نمودارهای دوتایی و سه تایی متعددی را طراحی کرده‌اند که کاربرد آنها در راستای شناسایی نوع رسوبی یا گرمابی کانسارهای منگنز جنوب غرب سبزوآر سودمند خواهد بود.

### ۶-۳-۶-۱- نسبت Co/Zn

نسبت Co به Zn به وسیله (تو<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰) به عنوان متمایز کننده کانه‌زایی نوع گرمابی از آزاد مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری که این نسبت برای کانسارهای گرمابی دارای میانگینی در حدود ۰/۱۵ و برای کانه‌زایی آزاد ۲/۵ می‌باشد (شلی و دیوید<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲). در کانسارهای مورد مطالعه، نسبت Co/Zn، ۰/۰۷-۱/۱۵ و میانگین نسبت فوق ۰/۲۶ است که تشابه بیشتری با کانسارهای گرمابی دارد. نسبت Co/Zn در کانسار منگنز ذاکری با همین نسبت در کانسار منگنز وزیرستان<sup>۳</sup> (شمال غرب پاکستان) و کانسار منگنز بافت در کرمان مقایسه شد. در کانسار منگنز وزیرستان که یک کانسار گرمابی

<sup>۱</sup> - Toth

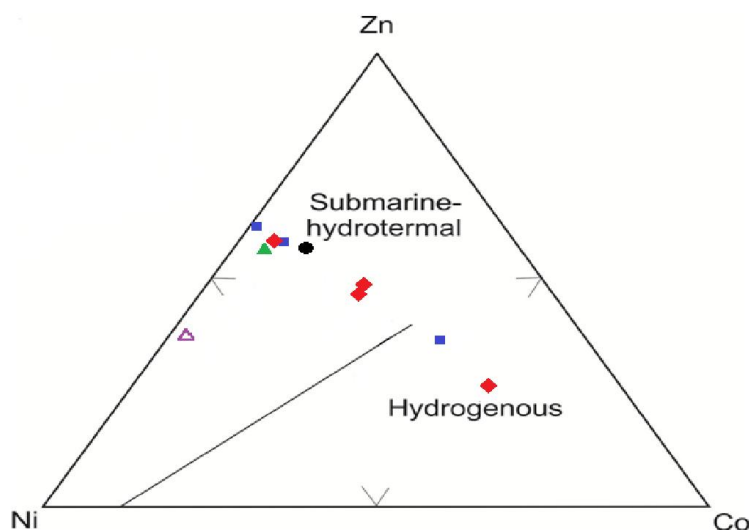
<sup>۲</sup> - Shelly and David

<sup>۳</sup> - Waziristan

می‌باشد نسبت  $Co/Zn$  بین  $0/02 - 0/33$  در تغییر بوده و میانگین آن  $0/16$  است که شاخص منشأ گرمایی آن است (شاه و مون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). همچنین در نمونه‌های بررسی شده از کانسار بافت در کرمان نسبت  $Co/Zn$  بین  $0/04 - 1/92$  در تغییر بوده و میانگین آن  $0/30$  می‌باشد که یک کانسار گرمایی است (حشمت بهزادی و شهاب‌پور، ۲۰۱۰).

#### ۶-۳-۲- نمودار Co-Ni-Zn

کانسارهای آزاد منگنز (ندول‌های دریا‌های عمیق) از کانسارهای گرمایی زیردریایی، به‌وسیله بررسی کردن روابط بین عناصر  $Co$ ،  $Ni$  و  $Zn$  در یک نمودار سه تایی از یکدیگر متمایز می‌شوند (چوی و هاریا، ۱۹۹۲). این نمودار نشان می‌دهد که اکسیدهای گرمایی در عناصر  $Co$ ،  $Ni$  و  $Zn$  نسبت به کانسارهای رسوبی دریایی تهی شده‌اند. غلظت‌های پایین عناصر ( $2 - 7/5$  ppm  $Co$ )، ( $450 - 8$ )  $Cu$ ، ( $22 - 900$ )  $Ni$  و ( $18 - 1070$ )  $Zn$  مشخصه کانسارهای گرمایی زیردریایی می‌باشند. در کانسارهای منطقه مورد مطالعه غلظت‌های عناصر ( $3 - 125$  ppm  $Co$ )، ( $15 - 572$ )  $Cu$ ، ( $15 - 213$ )  $Ni$  و ( $20 - 309$ )  $Zn$  می‌باشد. براین اساس، کانسارهای منطقه مورد مطالعه خاستگاه گرمایی زیردریایی را نشان می‌دهند (شکل ۶-۱۴).



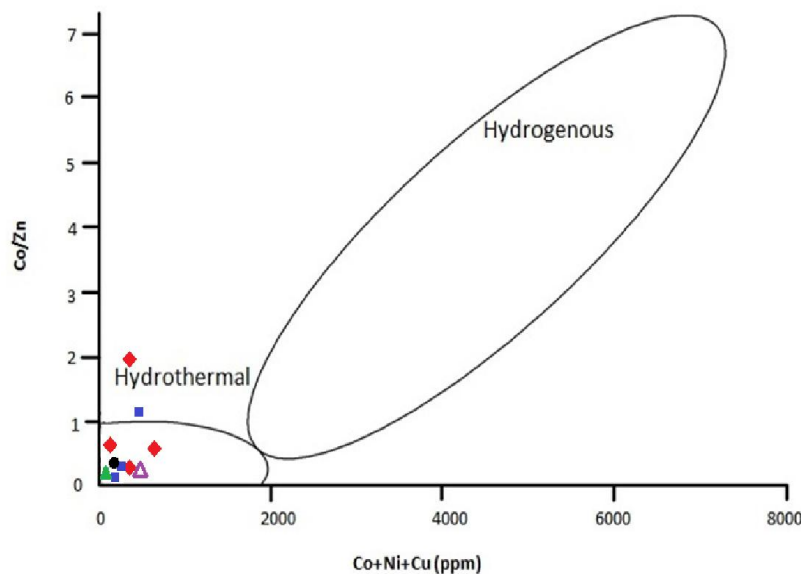
شکل ۶-۱۴- نمودار سه تایی  $Ni-Zn-Co$  از (چوی و هاریا، ۱۹۹۲). و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد.

<sup>1</sup> - Shah and Moon

با این حال دو مورد از نمونه‌ها، در این نمودار، در محدوده آیزاد قرار می‌گیرند که شاید بتوان دلیل آن را ناشی از غنی‌شدگی نمونه‌ها از Co طی فرآیند سوپرژن دانست. کانسار منگنز ذاکری از لحاظ میزان غلظت Co، Cu، Ni و Zn با کانسارهای کایرلی<sup>۱</sup> و کاسیماگا<sup>۲</sup> و در ترکیه مقایسه شد. غلظت این عناصر در کانسار کایرلی به ترتیب برابر ۲۵/۲۱، ۱۵۴/۹۰، ۶۹/۴۰ و ۶۶/۷۰ (کاراکس<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰) و در کانسار کاسیماگا به ترتیب برابر ۴۹/۵۰، ۱۲۶/۸۰، ۲۳ و ۶۳/۵۰ (کاک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۰) می‌باشد که کانسار کایرلی و کاسیماگا در ترکیه، نوعی کانسار منگنز آتشفشانی-رسوبی با منشأ گرمابی هستند.

### ۶-۳-۳- نمودار Co/Zn - Co+Ni+Cu

این نمودار برای تفکیک کانسارهای منگنز گرمابی از آیزاد مورد استفاده قرار گرفته است (توٹ<sup>۵</sup>، ۱۹۸۰). طبق این نمودار (شکل ۶-۱۵) کانسارهای منگنز نوع آیزاد نسبت به کانسارهای گرمابی از غنی‌شدگی بالاتری در عناصری مانند Co، Ni و Cu برخوردار می‌باشند.



شکل ۶-۱۵- نمودار Co+Ni+Cu در برابر Co/Zn از (توٹ، ۱۹۸۰) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد.

- <sup>۱</sup> - Cayirli
- <sup>۲</sup> - Kasimaga
- <sup>۳</sup> - Karakus
- <sup>۴</sup> - Koc
- <sup>۵</sup> - Toth

مقادیر پایین عناصر Co، Ni و Cu حاکی از ورود این عناصر از طریق فعالیت‌های گرمایی و در عوض اشتقاق بالای Zn را از منبع گرمایی نشان می‌دهد (توت، ۱۹۸۰). طبق این نمودار نمونه‌های کانسارهای منگنز ذاکری در محدوده کانسارهای گرمایی قرار گرفته است.

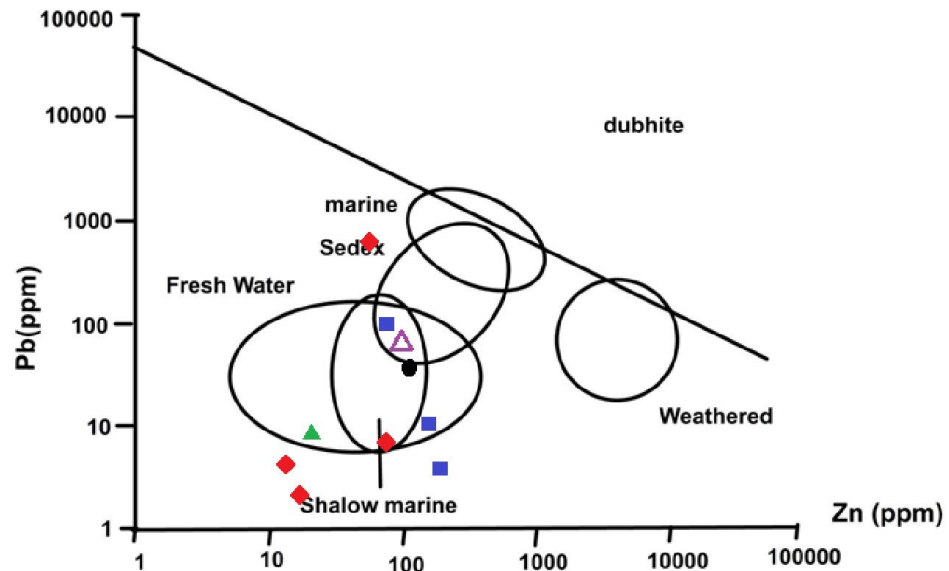
#### ۶-۶-۳-۴- نمودار Pb/Zn

برای تشخیص کانسارهای نوع دابهیت (کانسارهای مشتق شده از توالی‌های کانه‌زائی شده 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 ۶-۱۶). میانگین مقدار سرب در سنگ‌های آذرین (۹/۴۶ ppm)، سنگ‌های رسوبی (۱۶/۴ ppm) و رسوبات عهد حاضر (۳۹ ppm) و میانگین مقدار روی در سنگ‌های آذرین (۶۵/۲ ppm)، سنگ‌های رسوبی (۸۹ ppm) و رسوبات عهد حاضر (۱۱۵ ppm) است (مینارد، ۱۹۸۳). درحالی که دابهیت‌ها معمولاً حاوی حدود ۱ درصد روی و ۱ درصد سرب می‌باشند (نیکلسون، ۱۹۹۲). این مطلب نشانگر غنی‌شدگی شدید دابهیت‌ها از سرب و روی است. در حالی که سایر انواع کانسارهای منگنز، نظیر کانسارهای تشکیل شده در محیط دریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از فرآیندهای هوازدگی دارای نسبت پایین‌تری از سرب و روی می‌باشند و حتی ممکن است هنگامی که داده‌های آنها روی نمودار ترسیم می‌شود با هم همپوشانی داشته باشند (نیکلسون، ۱۹۹۲). مقدار سرب و روی در کانسار ذاکری به ترتیب برابر ۱/۶۱ تا ۴۷۹/۹۸ و ۲۰ تا ۳۰۹ پی‌پی‌ام بوده و مقدار میانگین آن به ترتیب ۷۵/۳۳۳ و ۱۲۳/۱ پی‌پی‌ام می‌باشد، بنابراین بر اساس میزان سرب و روی موجود در نمونه‌های کانسار منگنز ذاکری، این نمونه‌ها با توجه به نمودار در محدوده غیردابهیتی قرار می‌گیرند، اما به دلیل تداخل سایر انواع در محدوده غیردابهیتی، نمی‌توان نوع کانسار منگنز ذاکری را با توجه به این نمودار تفکیک نمود (شکل ۶-۱۶).

کانسار منگنز ذاکری از لحاظ مقدار سرب و روی قابل مقایسه با کانسارهای منگنز جنوب‌شرق تربت حیدریه می‌باشد به طوری که مقدار سرب و روی در کانسارهای منگنز جنوب‌شرق تربت حیدریه به ترتیب برابر ۵ تا ۱۹۱۰ و ۱ تا ۷۴۱۰ پی‌پی‌ام بوده و مقدار میانگین آن به ترتیب ۲۳۱/۲۳ و

۸۶۷/۵۳ پی پی ام می باشد (احمدی، ۱۳۸۵). بنا به نظر احمدی (۱۳۸۵)، کانسار منگنز تربت حیدریه

نیز در محدوده کانسارهای غیر دابهیتی قرار می گیرد.



شکل ۶-۱۶- نمودار Zn در برابر Pb از (نیکلسون، ۱۹۹۲) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می باشد.

#### ۶-۳-۵- نمودار $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)\times 10$

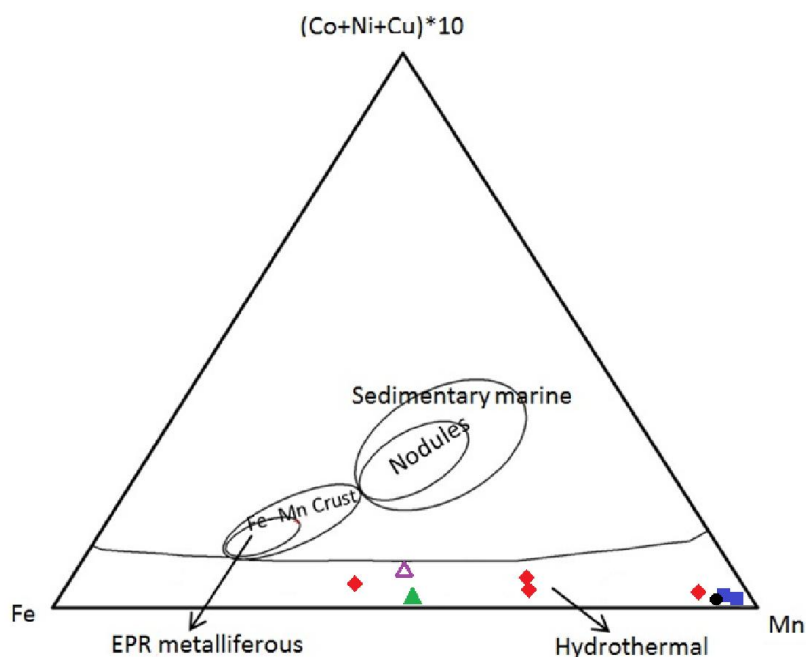
تفکیک کانسارهای گرمابی از آیزاد با استفاده از عناصر اصلی و فرعی برای اولین بار توسط (بناتی<sup>۱</sup>، ۱۹۷۵) با استفاده از نمودار سه تایی  $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)\times 10$  انجام شد. یکی از معیارهای تشخیص کانسارهای گرمابی از آیزاد در نمودار  $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)\times 10$  غلظت  $Ni$ ،  $Co$  و  $Cu$  می باشد. ذخایر گرمابی منگنز به طور کلی دارای عناصر فرعی  $Ni$ ،  $Co$  و  $Cu$  بالایی در مقایسه با رسوبات پلاژیک، اما در مقایسه با نهشته‌های آیزاد دارای مقادیر کمتری هستند.

علت غلظت بالای این عناصر در کانسارهای آیزاد نسبت به کانسارهای گرمابی، رشد کند و در نتیجه، حضور طولانی‌تر آن‌ها در آب دریا و تاثیر فرآیندهای مختلفی است که در جذب ویژه دخالت دارند (یوسوی و سمیا<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷؛ توث، ۱۹۸۰). همچنین غلظت کمتر این عناصر در ذخایر گرمابی به این

<sup>۱</sup> - Bonatti

<sup>۲</sup> - Usui and Someya

علت است که نرخ سریع ته‌نشینی Fe و Mn مانع از تمرکز آنها در نهشته‌های گرمابی می‌شود. ندول‌های منگنز، خصوصاً ندول‌های مناطق پلاژیک، حاوی مقادیر بالایی از عناصر کمیاب مثل Co، Ni و Cu می‌باشند. بنابه نظر عده‌ای از محققین این امر شاید به دلیل نرخ رسوب‌گذاری پایین و خاصیت جذب کاتیون توسط اکسیدهای آبدار آهن و منگنز می‌باشد. این عناصر همچنین در تشکیل ندول‌ها نیز نقش مهمی به عهده دارند. نرخ پایین رسوب‌گذاری در فازهای منگنزدار موجب می‌شود که عناصر کمیاب بتوانند بر روی سطح آن‌ها جذب و یا به جای عناصر آهن و منگنز جانشین شوند (توت، ۱۹۸۰). به هر حال این نمودار یکی از معروف‌ترین نمودارهای تفکیک کننده انواع نهشته‌های منگنز می‌باشد که به وسیله محققین بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. موقعیت نمونه‌های منگنز ذاکری در این نمودار نشانگر منشأ گرمابی آنهاست. (شکل ۶-۱۷) که عناصر اشاره شده در بالا غنی‌شدگی زیادی نشان نمی‌دهند. این امر می‌تواند به خاطر نهشت سریع‌تر آن‌ها، توسط سیالات گرمابی باشد. فقیر شدگی عناصر Co، Ni و Cu در نهشته‌های کانسارهای دریای تیرنه در ایتالیا و کانسارهای ایمیر در ترکیه که نمونه‌ای از کانسارهای منگنز با منشأ گرمابی هستند نیز قابل مشاهده است.



شکل ۶-۱۷- نمودار  $(Co+Ni+Cu) \times 10$ -Fe-Mn از (بناتی، ۱۹۷۵) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد.



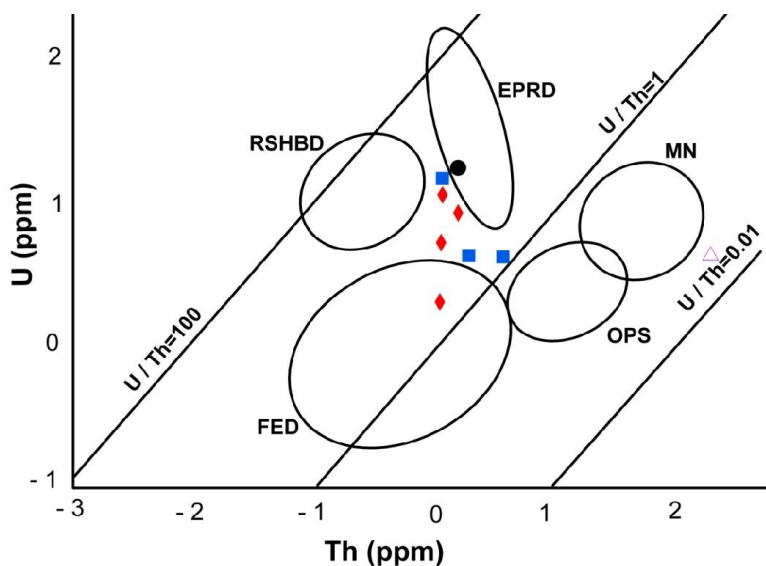
## ۶-۳-۶-۶- نسبت U/Th

غلظت اورانیوم در آب دریا تقریباً ثابت و برابر  $3/38 \times 10^{-10}$  گرم بر لیتر می‌باشد (بناتی و همکاران، ۱۹۷۶) از طرف دیگر توریوم به دلیل حلالیت بسیار کم و زمان اقامت بسیار کوتاه، تقریباً در آب دریا حضور ندارد. غلظت توریوم در آب‌های سطحی اقیانوس‌ها کمتر از  $7 \times 10^{-11}$  گرم در لیتر گزارش شده است (کایفمن<sup>۱</sup>، ۱۹۶۹). میزان اورانیوم در نهشته‌های گرمابی بیشتر از رسوبات پلاژیک معمولی است و نسبت U/Th این نهشته‌ها چندین برابر نهشته‌های آبراد می‌باشد (بناتی، ۱۹۷۵؛ بناتی و همکاران، ۱۹۷۶؛ کریرار<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۲). احتمالاً نرخ رسوب‌گذاری سریع نهشته‌های گرمابی سبب می‌شود تا امکان جذب توریوم از آب دریا وجود نداشته باشد و در نتیجه این نهشته‌ها به‌طور نسبی از اورانیوم غنی می‌شوند (بناتی، ۱۹۷۵). نسبت U/Th برای تفکیک کانسارهای گرمابی، آبراد و رسوبات پلاژیک می‌تواند مفید باشد. این مقدار برای کانسارهای گرمابی بیشتر از یک و در کانسارهای آبراد کمتر از یک است. میزان توریوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های کانسار منگنز ذاکری در مقایسه با نهشته‌های آبراد بسیار اندک است (شکل ۶-۱۸).

میانگین مقدار اورانیوم و توریوم در نمونه‌های کانسار منگنز ذاکری به ترتیب  $0/74$  و  $0/39$  و میانگین نسبت U/Th در این نمونه‌ها در حدود  $1/89$  می‌باشد. این نسبت در کانسار منگنز وناچ، تربت حیدریه و بافت (کرمان) به ترتیب  $2/63$ ،  $1/38$  و  $1/61$  می‌باشد که در رده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرد. با توجه به نمودار نسبت U/Th برای نمونه کانسارهای منگنز مورد مطالعه، می‌توان منشأ گرمابی در نظر گرفت (شکل ۶-۱۸).

<sup>1</sup> - Kaufman

<sup>2</sup> - Crearar



MN= manganese nodules  
 OPS= ordinary pelagic sediments  
 Small shaded field= bauxites  
 RSHBD= Red sea hot brine deposits  
 EPRD= East Pacific Rise deposits  
 FED= Fossil exhalative deposits

شکل ۶-۱۸ - نمودار Th در برابر U از (رونا<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰) و موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه. راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد.

### ۶-۷- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE)

بررسی ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی (REE) در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، برای تکمیل نتایج تکتونیکی و مطالعه ژنز کانسار و پتروژنز نهشته‌ها کاربرد زیادی دارد عناصر نادر خاکی، کم‌محلول‌ترین عناصر کمیاب بوده و در طی دگرگونی درجه پایین، هوازدگی و دگرسانی گرمایی، نسبتاً نامتحرک می‌باشند (رولینسون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۳؛ کراون<sup>۳</sup>، ۱۹۸۸) بنابراین از این عناصر به علت تحرک بسیار کم در محیط‌های زمین‌شناسی، معمولاً برای تعیین منبع و منشأ سنگ‌ها و کانسارهای آذرین،

<sup>۱</sup> - Rona

<sup>۲</sup> - Rollinson

<sup>۳</sup> - Craven

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>۱</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. این عناصر از جمله مفیدترین عناصر کمیاب بوده و مطالعه آن‌ها کاربردهای مهمی در سنگ‌شناسی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد (رولینسون، ۱۹۹۳) و در تحلیل فرآیندهای آذرین و تکامل پوسته قاره‌ای راهنمای مفیدی هستند (لوترموسر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲).

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 لانتانیدی 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.

غلظت‌های عناصر نادر خاکی معمولاً به یک مرجع استاندارد مشترک بهنجار می‌شوند. این استاندارد معمولاً شهاب سنگ‌های کندریتی است (رولینسون، ۱۹۹۳). در این تحقیق داده‌ها بر حسب ترکیب کندریت (ناکامورا<sup>۳</sup>، ۱۹۷۴) و گوشته اولیه (سان و امسی دونوق<sup>۴</sup>، ۱۹۸۹) بهنجار شده‌اند.

---

<sup>1</sup> - Henderson

<sup>2</sup> - Lottermoser

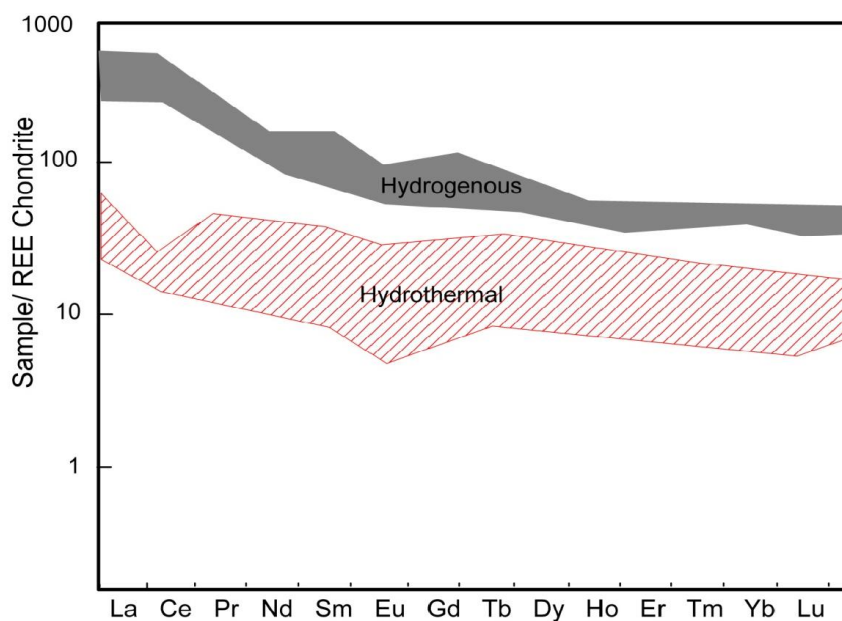
<sup>3</sup> - Nakamura

<sup>4</sup> - Sun and McDonogh

## ۶-۷-۱- الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی در کانسارهای منگنز ذاکری، چشمه سفید،

### ذاکری II و اندیس معدنی دانایی

اطلاعات عناصر نادر خاکی در کانسارهای منگنز نوع گرمابی و آبزاد به طور قابل ملاحظه‌ای از هم متفاوت‌اند. بنابراین می‌توانند اطلاعات اساسی و مؤثری را در مورد فرآیندهای ژنتیکی مؤثر در تشکیل کانسارهای منگنز زیردریایی فراهم کنند (هین و همکاران، ۱۹۹۷). یکی از تفاوت‌های رایج بین کانسارهای آبزاد و گرمابی، در میزان غنی‌شدگی این دو گروه از کانسار، از REEها می‌باشد. غنی‌شدگی REEها در کانسارهای منگنز نوع آبزاد چندین برابر کانسارهای گرمابی می‌باشد (یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷). به طوری که کل REEها در کانسارهای گرمابی حدود ۱۰۰ گرم در تن و این مقدار در کانسارهای آبزاد نزدیک به ۱۰۰۰ گرم در تن می‌باشد (شکل ۶-۱۹).

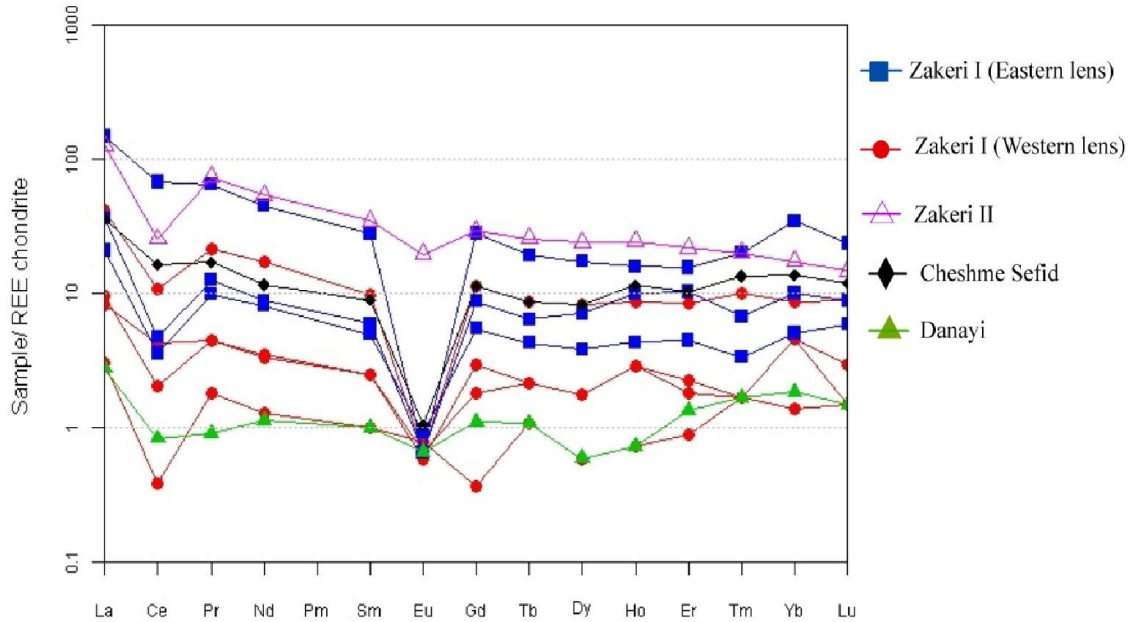


شکل ۶-۱۹- الگوی REE در کانسارهای گرمابی (یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷) و آبزاد (وون استاکلبرگ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷)

بررسی الگوی عناصر نادر خاکی بر روی ۸ نمونه از کانسار ذاکری I، ۱ نمونه از کانسار منگنز چشمه سفید، ۱ نمونه از کانسار منگنز ذاکری II و ۱ نمونه از اندیس معدنی دانایی انجام گرفته است

<sup>1</sup> - Von Stackelberg

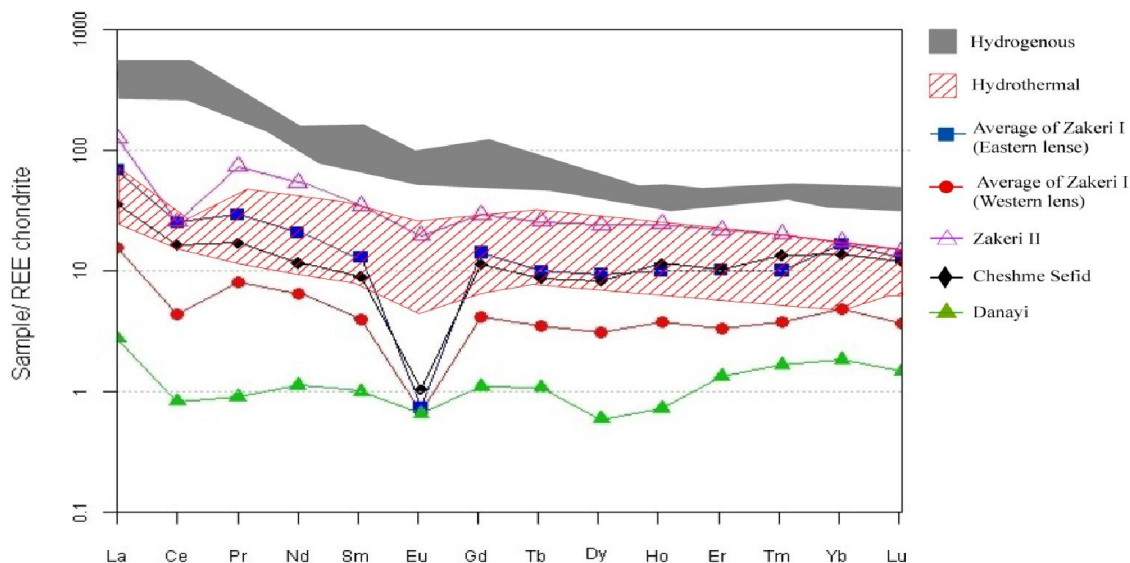
(شکل ۶-۲۰) (جدول ۶-۷). که الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه تشابه زیادی با الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمابی نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۱).



شکل ۶-۲۰- نمودار عناصر نادر خاکی در مواد معدنی منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند.

جدول ۶-۷- ترکیب REE در کانسارهای ذاکری I، چشمه سفید، دانایی و ذاکری II (داده‌ها بر حسب ppm). موقعیت نمونه‌ها بر روی نقشه در شکل ۶-۵ و جدول ۶-۲ نشان داده شده است.

Sample	41	43	44	45	48	57	80	82	83	84
<b>La</b>	2.7	13.5	3.1	1.0	6.9	48.8	12.0	42.1	11.7	0.9
<b>Ce</b>	3.70	9.25	1.77	0.33	3.09	58.30	4.08	22.03	14.09	0.71
<b>Pr</b>	0.5	2.4	0.5	0.2	1.1	7.3	1.4	8.2	1.9	0.1
<b>Nd</b>	2.1	10.9	2.2	0.8	5.1	28.3	5.5	34.2	7.3	0.7
<b>Sm</b>	0.5	2.0	0.5	0.2	1.0	5.7	1.2	7.1	1.8	0.2
<b>Eu</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.5	<0.1	<0.1
<b>Gd</b>	0.5	3.1	0.8	0.1	1.5	7.7	2.4	8.1	3.1	0.3
<b>Tb</b>	0.1	0.4	0.1	<0.1	0.2	0.9	0.3	1.2	0.4	<0.1
<b>Dy</b>	0.6	2.8	0.6	0.2	1.3	5.9	2.4	8.2	2.8	0.2
<b>Ho</b>	0.2	0.6	0.2	<0.1	0.3	1.1	0.7	1.7	0.8	<0.1
<b>Er</b>	0.4	1.9	0.5	0.2	1.0	3.5	2.3	4.9	2.3	0.3
<b>Tm</b>	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	0.1	0.6	0.2	0.6	0.4	<0.1
<b>Yb</b>	1.0	1.9	1.0	0.3	1.1	7.6	2.2	3.8	3.0	0.4
<b>Lu</b>	0.1	0.3	<0.1	<0.1	0.2	0.8	0.3	0.5	0.4	<0.1



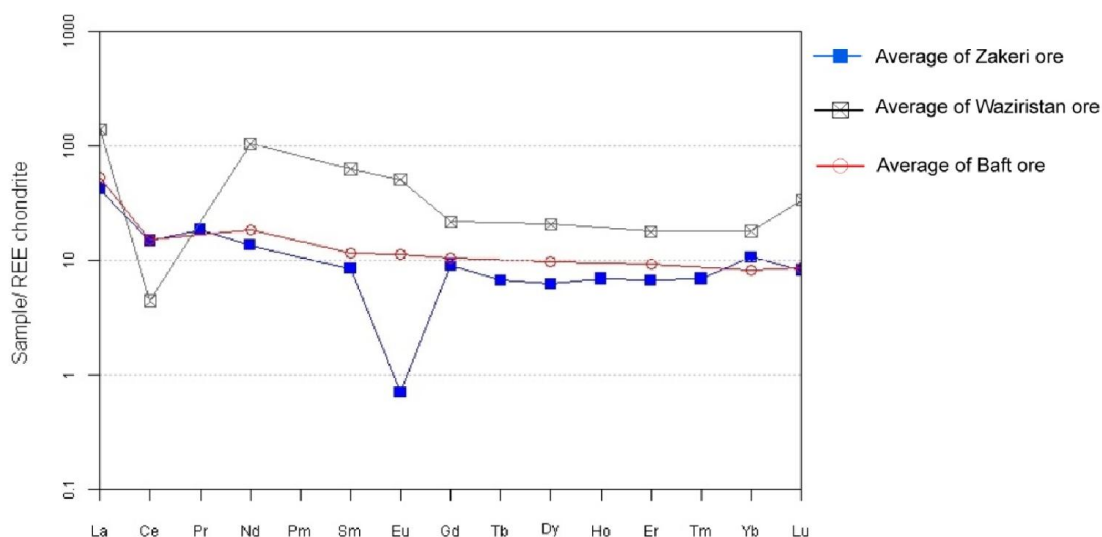
شکل ۶-۲۱- مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه با الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمابی

از دیگر تفاوت‌های بارز بین کانسارهای گرمابی و آزاد، تفاوت الگوی آنومالی Ce در این دو نوع کانسارها می‌باشد. الگوی آنومالی Ce در کانسارهای گرمابی منفی و در کانسارهای آزاد مثبت است (هین و همکاران، ۲۰۰۰؛ ۱۹۸۸؛ گلدبرگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۷۳؛ بستروم<sup>۲</sup>، ۱۹۷۴؛ بناتی، ۱۹۷۵) دلیل آنومالی مثبت Ce در کانسارهای آزاد مدت زمان اقامت بیشتر یون Mn و Fe در آب و جذب  $Ce^{+4}$  توسط آنهاست. هرچند که (هین و همکاران، ۱۹۹۷) معتقد است که آنومالی Ce در کانسارهای گرمابی بسته به نرخ ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا دارای گستره‌ای از حالت منفی قوی تا حالت بدون آنومالی می‌باشد. آنومالی Ce به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمابی، شرایط احیا و مقدار آلودگی یا آرایش هیدروژنتیک بستگی دارد. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه آنومالی منفی Ce را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های نهشته‌های منگنز با خاستگاه گرمابی- برون‌دیمی بوده و نشانه ته‌نشست مواد معدنی در محیط دریایی است (اسپری و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین الگوی آنومالی Eu در کانسارهای گرمابی منفی می‌باشد. وجود آنومالی Eu به طور گسترده‌ای به ترکیب سنگ‌هایی که سیالات گرمابی آن‌ها را متأثر کرده، وابسته می‌باشد

<sup>1</sup> - Goldberg  
<sup>2</sup> - Bostrom



(کلینخامر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۴؛ هین و همکاران، ۱۹۹۷؛ گلسبای<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). بنابراین آنومالی Eu همیشه نشان‌دهنده منشأ واحدی برای کانسارها نمی‌باشد. به‌همین جهت در بسیاری از کانسارهای منگنز گرمابی، آنومالی Eu منفی می‌باشد. دلیل آنومالی منفی Eu در نمونه کانسنگ‌های مورد مطالعه حاکی از شرایط کاملاً اکسیدان در محیط تشکیل می‌باشد. از دیگر مشخصه‌های کانسارهای گرمابی غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها می‌باشد (هین و همکاران، ۱۹۹۰؛ یوسوی و سومیا، ۱۹۹۷؛ میل و الدفایلد<sup>۳</sup>، ۱۹۹۵). در کانسارهای مورد مطالعه میانگین نسبت LREE/HREE برابر ۳/۰۸ می‌باشد که نشان از غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها دارد. الگوی عناصر نادر خاکی در کانسنگ‌های منطقه مورد مطالعه شباهت زیادی با الگوی عناصر نادر خاکی در کانسارهای منگنز وزیرستان در شمال غرب پاکستان (شاه و مون، ۲۰۰۷) و بافت در کرمان (حشمت بهزادی و شهاب‌پور، ۲۰۱۰) نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۲). با توجه به این نمودار میزان REEها در کانسار مورد مطالعه، کانسار بافت و وزیرستان پایین‌تر از ۱۰۰ می‌باشد که مشخصه کانسارهای گرمابی است.



شکل ۶-۲۲- نمودار الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با کانسار وزیرستان در شمال غرب پاکستان و بافت در کرمان. همه کانسارها مشابهت زیادی با کانسارهای گرمابی دارند.

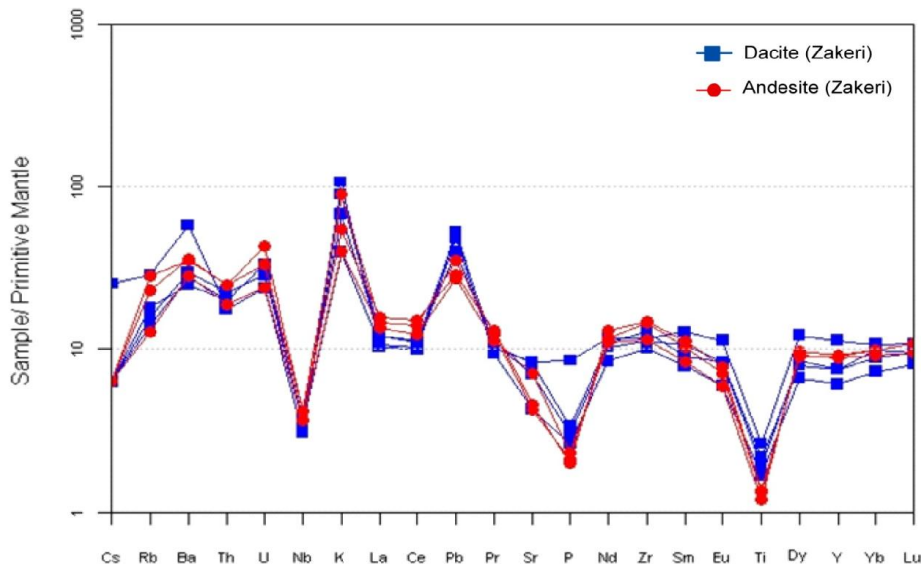
<sup>1</sup> - Klinkhammer

<sup>2</sup> - Glasby

<sup>3</sup> - Mills and Eldefield

## ۶-۷-۲- الگوی REE و نمودارهای چند عنصری در سنگ‌های آذرین

در نمودارهای چند عنصری، پستی و بلندی‌های بیشتری از عناصر دیده می‌شود که علت آن رفتار متفاوت گروه‌های مختلف عناصر کمیاب است، چرا که عناصر متحرک و کم‌تحرک رفتارهای متفاوتی دارند. الگوی عناصر نادرخاکی در سنگ‌های آذرین منطقه جنوب‌غرب سبزوار، که نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند (سان و امسی دونوق، ۱۹۸۹) دارای شیب یکنواخت با آنومالی منفی Th, Nb, Ti و P و آنومالی مثبت K و Pb می‌باشد (شکل ۶-۲۳). تهی‌شدگی عناصر کم‌تحرک مانند P, Ti و Nb نشان دهنده تولید ماگما با درجه ذوب‌شدگی کم MORB می‌باشد. همچنین می‌تواند منعکس کننده حضور کانی‌های حاوی Ti (پیرس و پارکینسون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶) و یا Ti-Nb (ریگان و گیل<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹) در منشأ باشد. همچنین این تهی‌شدگی می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل سنگ‌های آتشفشانی مذکور در یک سیستم کمان آتشفشانی باشد (پیتر<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۹؛ قاسمی و جمشیدی، ۱۳۹۰) آنومالی منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و ممکن است نشان‌دهنده شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی باشد (رولینسون، ۱۹۹۳) و از ویژگی‌های حوضه‌های BABB می‌باشند (پیرسی، ۲۰۱۱).



شکل ۶-۲۳- نمودار عناصر کمیاب و نادرخاکی در سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه، که به گوشته اولیه (سان و امسی دونوق، ۱۹۸۹) بهنجار شده‌اند.

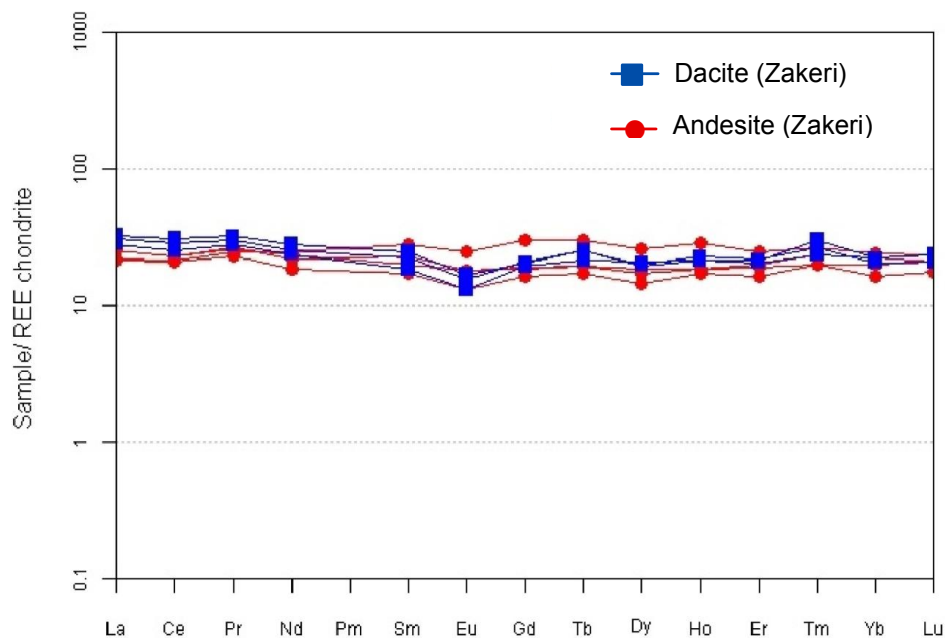
<sup>۱</sup> - Pearce and Parkinson

<sup>۲</sup> - Reagan and Gill

<sup>۳</sup> - Peter

این محیط‌های تکتونیکی تهی‌شدگی در عناصر P, Nb, Th, Ti و همچنین غنی‌شدگی در عناصر Rb, Ba, K و U نشان می‌دهند، که این روند تغییر عناصر منطبق بر تغییر عناصر سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه می‌باشد. الگوی REE به‌دست آمده از این سنگ‌های آذرین نشان می‌دهد که الگوی تخت و کاملاً مسطح واحد مذکور با ترکیبات تولییتی سازگار می‌باشد (شکل ۶-۲۴).

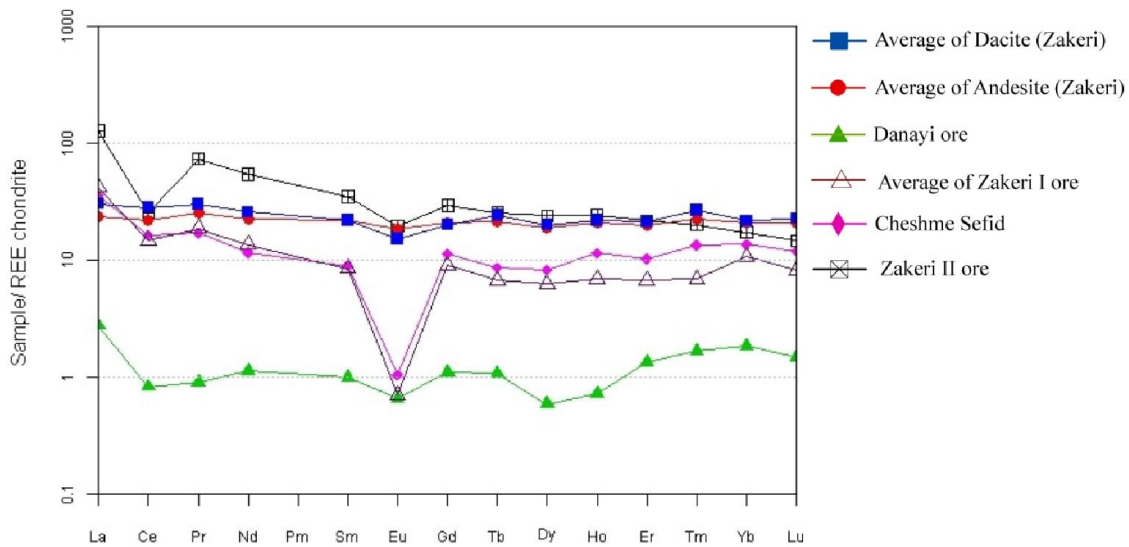
همچنین الگوی REE به‌دست آمده از این سنگ‌های آتشفشانی که نسبت به کندریت استاندارد (ناکامورا، ۱۹۸۴) بهنجار شده است، الگوی تخت و کاملاً مسطح با شیب کم را نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۴) که در آن LREE دارای غنی‌شدگی خفیفی هستند که وجود این خصوصیات در الگوی REE نشانه یک ماگمای تولییتی با منشأ گوشته‌ای می‌باشد (جوزف و گراف<sup>۱</sup>، ۱۹۸۱؛ زو و سونگ<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵) الگوی REE در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه با الگوی REE در کانسنگ‌های منگنز مورد مطالعه تا حدودی هماهنگ است که نشان دهنده منشأ یکسان ماده معدنی و سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد (شکل ۶-۲۵).



شکل ۶-۲۴- نمودار عناصر نادرخاکی در سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند.

<sup>1</sup> - Joseph and Graf

<sup>2</sup> - Xu and Song

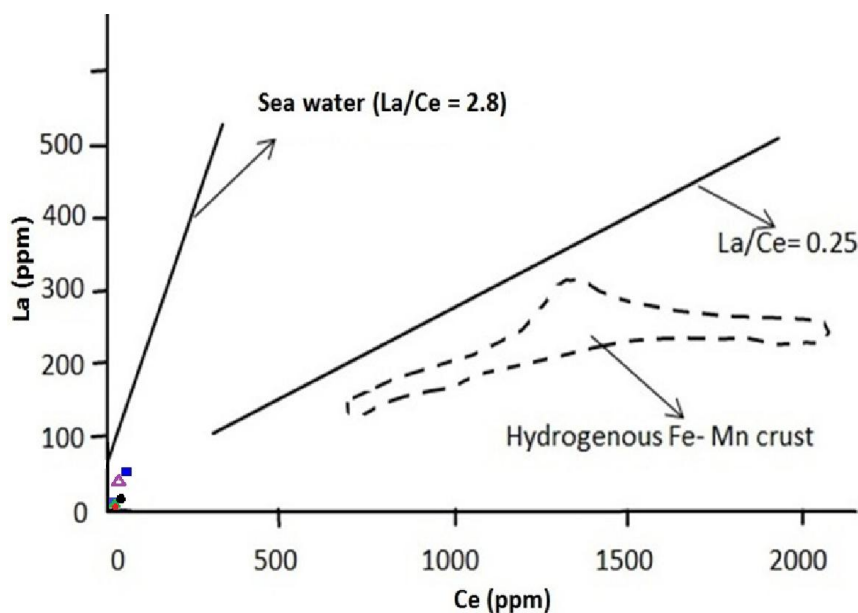


شکل ۶-۲۵- مقایسه الگوی عناصر نادرخاکی در سنگ‌های آذرین و کانسنگ‌های منطقه مورد مطالعه که به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند.

#### ۶-۷-۱- نمودار La/Ce

نسبت La به Ce در کانسارهای گرمایی مشابه آب دریا و در حدود ۲/۸ می‌باشد، اما سایر کانسارها نسبت به آب دریا در Ce غنی‌شدگی نشان می‌دهند و نسبت La به Ce در این کانسارها برابر ۰/۲۵ است (توث، ۱۹۸۰؛ نس<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۷). در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه، نسبت La/Ce بین ۰/۷۳ تا ۳/۰۳ تغییر می‌کند و میانگین این نسبت ۱/۷ می‌باشد که در محدوده‌ای بین کانسارهای گرمایی و آبزاد قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲۶). نسبت La/Ce در کانسار منگنز بافت بین ۰/۵۳ تا ۱۹/۸ متغیر و میانگین آن ۳/۳۲ می‌باشد. این نسبت کانسار منگنز بافت را در رده کانسارهای با منشأ گرمایی قرار می‌دهد (حشمت بهزادی و شهاب‌پور، ۲۰۱۰). همچنین منشأ کانسار منگنز وزیرستان در شمال غرب پاکستان را با توجه به نسبت La/Ce، گرمایی معرفی کرده است. این نسبت از ۸/۰۹ تا ۲۲/۶۱ متغیر می‌باشد (شاه و مون، ۲۰۰۷).

<sup>۱</sup> - Nath



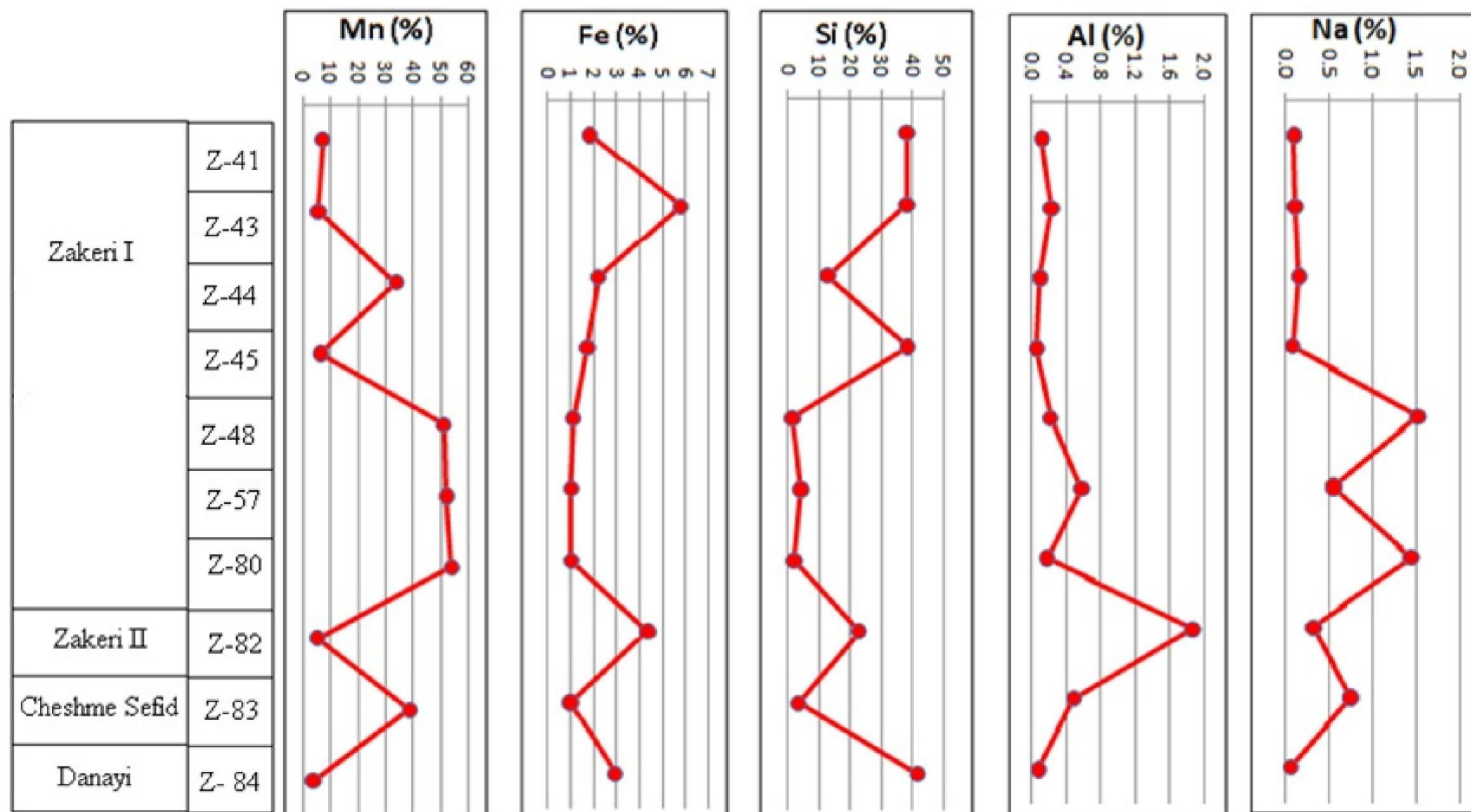
شکل ۶-۲۶- نمودار La/Ce و موقعیت کانسارهای منطقه مورد مطالعه بر روی آن. (راهنمای نمونه‌ها همانند شکل ۶-۱۳ می‌باشد).

#### ۶-۸- بررسی تغییرات و همبستگی عناصر

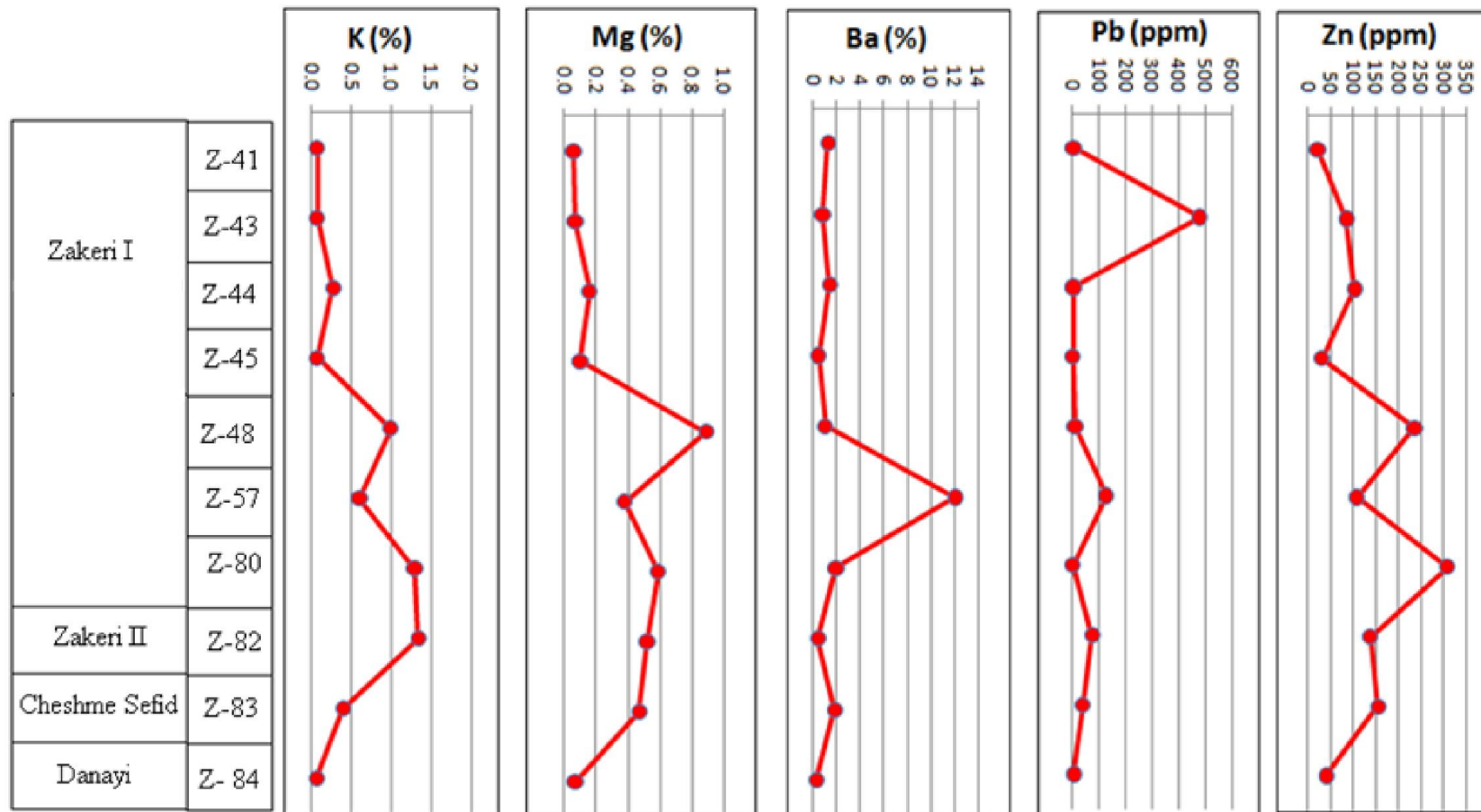
نمونه‌برداری از معدن ذاکری به صورت سیستماتیک و از قسمت‌های مختلف کانسار صورت گرفته است و همچنین یک نمونه از هر یک از کانسارهای ذاکری II، چشمه سفید و دانایی برداشت شده است. هدف از این کار بررسی تغییرات و همبستگی عناصر در قسمت‌های مختلف عدسی‌های منگنز می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های تجزیه شده به روش ICP-MS و ICP-OES نشان دهنده تغییر ترکیب شیمیایی موجود در کانسار می‌باشد. این بررسی نشان‌دهنده میزان بالای منگنز (شکل ۶-۲۷) در نمونه‌های مربوط به عدسی شرقی است، که بخش پرعیار معدن را شامل می‌شود. بیشترین میزان آهن در نمونه‌های مربوط به عدسی غربی معدن ذاکری است که با توجه به حلالیت کم آهن، نسبت به منگنز، به نظر می‌رسد که این عدسی به کانون فوران نزدیک‌تر می‌باشد. همچنین میزان آهن در کانسار ذاکری II بسیار بالا و عیار منگنز بسیار پایین می‌باشد و این باعث شده که استخراج ماده معدنی از معدن متوقف شود. با توجه به این ستون‌ها با افزایش منگنز میزان آهن و سیلیس و آلومینیوم کاهش پیدا می‌کند. تغییرات سایر عناصر در شکل ۶-۲۷ نشان داده شده است.

- ضریب همبستگی در بین کانسارهای مختلف، متفاوت است. نیکلسون (۱۹۹۲) عمده عناصری را که دارای همبستگی قوی در انواع مختلف هستند دسته‌بندی کرده است، که در زیر به آن اشاره می‌شود.
- کانسارهای سوپرژن آب شیرین: در این کانسارها همبستگی بالایی بین منگنز با باریم، کبالت، مس، نیکل و روی وجود دارد.
  - کانسارهای سوپرژن دریایی: در این نوع از کانسارها منگنز همبستگی بالایی با کبالت، نیکل و مس دارد.
  - کانسارهای سوپرژن دابهیت: منگنز همبستگی بالایی با کبالت، مس، نیکل، روی و سرب دارد.
  - کانسارهای گرمایی: در این نوع از کانه‌زایی منگنز، منگنز بیشترین همبستگی را با آرسنیک، باریم، استرانسیوم، مولیبدن، وانادیم و مس دارد.
- همچنین نیکلسون (۱۹۹۲) مجموعه عنصری آرسنیک، باریم، مس، لیتیم، مولیبدن، سرب، آنتیوان، استرانسیوم، 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. در کانسارهای منگنز جنوب‌غرب سبزوار، منگنز بیشترین همبستگی مثبت را به ترتیب با مولیبدن، وانادیم، استرانسیوم، سدیم، روی، آنتیموان، منیزیم و باریم و بیشترین همبستگی منفی را به ترتیب با سیلیس، آهن، کروم، سرب، آلومینیوم و روی دارد (جدول ۶-۸). آهن در این کانسارها بیشترین همبستگی مثبت را با سرب، کروم، آلومینیوم، روی و مس و بیشترین همبستگی منفی را به ترتیب با منگنز، مولیبدن، استرانسیوم، سدیم، آنتیموان و کبالت دارد.
- با توجه به آنچه که توسط نیکلسون (۱۹۹۲) ارائه شده است کانسارهای مورد مطالعه از نظر همبستگی موجود بین منگنز و عناصر مختلف، بیشترین شباهت را با کانسارهای برون‌دمی - گرمایی نشان می‌دهد. در جدول ۶-۸ مقادیر همبستگی عناصر اصلی و فرعی نشان داده شده است.

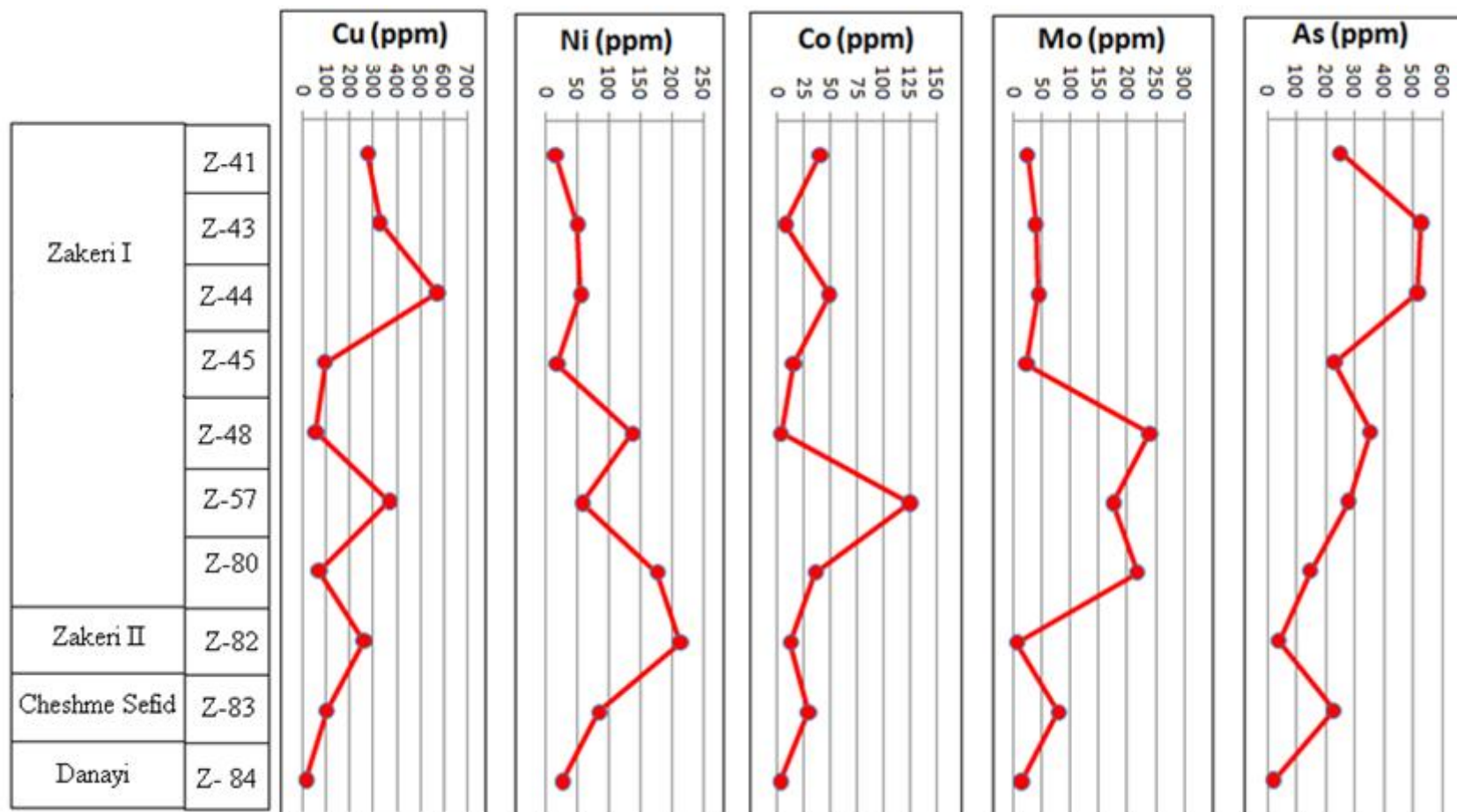




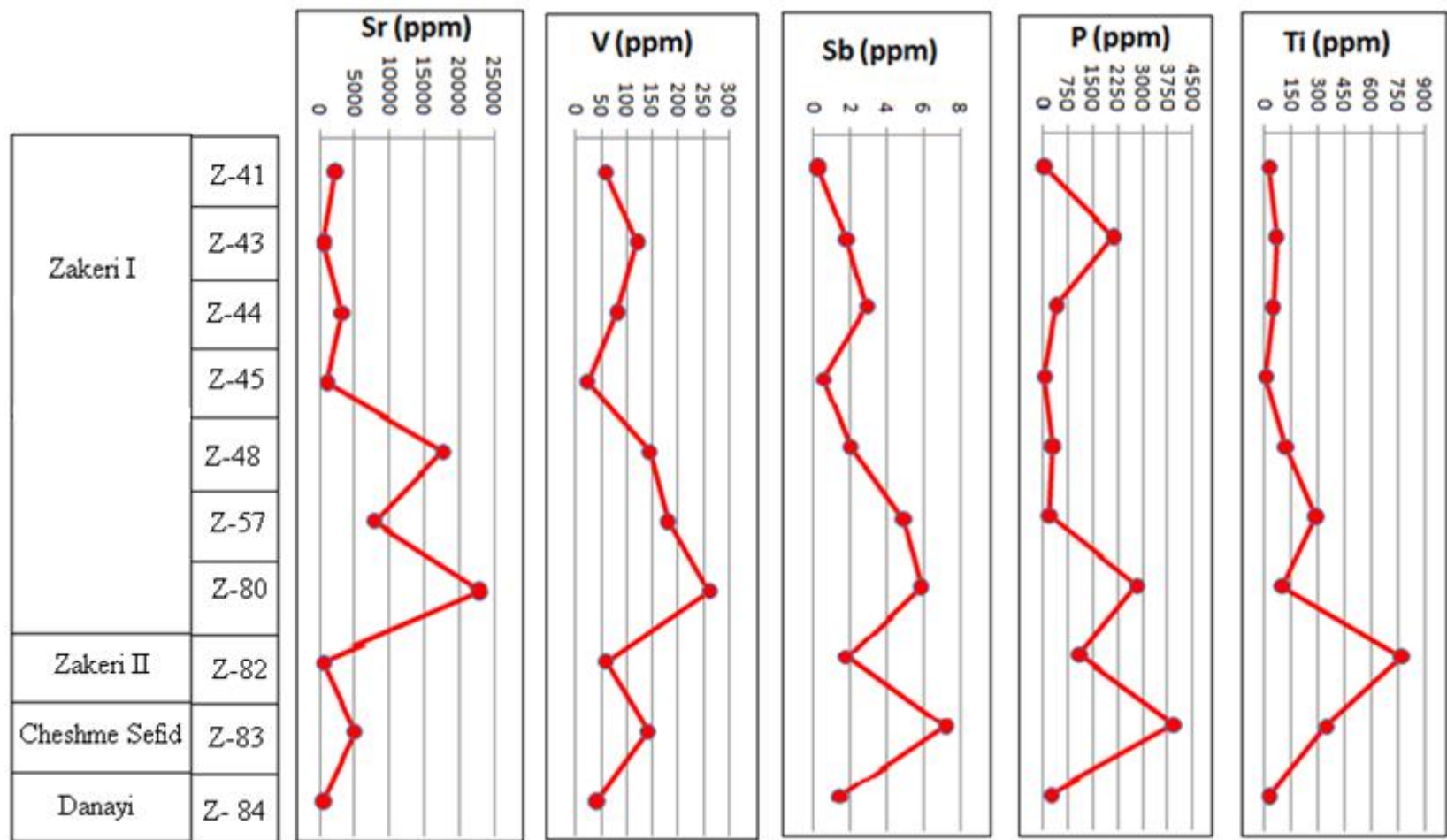
شکل ۶-۲۷- میزان تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در قسمت‌های مختلف کانسار



ادامه شکل ۶-۲۷



ادامه شکل ۶-۲۷



ادامه شکل ۶-۲۷

جدول ۶-۸- میزان همبستگی عناصر اصلی و کمیاب در کانسنگ‌های مورد مطالعه

	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ti	Ba	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sr	V	Zn	Zr
Si	1	-0.142	0.599	-0.944	-0.806	-0.215	-0.805	-0.649	-0.285	-0.431	-0.419	0.813	-0.028	-0.794	-0.556	0.257	-0.783	-0.733	-0.764	-0.803	-0.228
Al		1	0.339	-0.137	0.339	0.674	-0.02	0.604	0.977	0.077	0.021	-0.363	0.121	-0.173	0.671	0.074	0.07	-0.188	-0.071	0.131	0.984
Fe			1	-0.695	-0.399	0.08	-0.534	-0.157	0.207	-0.364	-0.425	0.576	0.268	-0.581	0.031	0.738	-0.454	-0.565	-0.375	-0.331	0.309
Mn				1	0.705	-0.099	0.819	0.506	-0.003	0.52	0.503	-0.677	-0.012	0.901	0.361	-0.245	0.737	0.824	0.834	0.761	-0.061
Mg					1	0.193	0.905	0.841	0.424	0.113	-0.018	-0.687	-0.341	0.774	0.787	-0.254	0.45	0.758	0.59	0.854	0.438
Ca						1	-0.083	0.307	0.736	-0.258	-0.142	-0.483	0.158	-0.361	0.446	-0.215	0.27	-0.275	-0.197	0.83	0.711
Na							1	0.719	0.077	0.116	0.016	-0.566	-0.429	0.916	0.634	-0.246	0.544	0.947	0.787	0.93	0.104
K								1	0.619	0.92	0.31	-0.652	-0.18	0.57	0.964	-0.21	0.371	0.652	0.557	0.821	0.682
Ti									1	0.139	0.078	-0.451	0.074	-0.089	0.681	0.025	0.25	-0.121	0.028	0.209	0.979
Ba										1	0.937	-0.298	0.319	0.426	-0.1	0.09	0.419	0.17	0.44	0.036	0.003
Co											1	-0.391	0.504	0.311	-0.156	-0.4	-0.418	0.121	0.389	-0.019	-0.056
Cr												1	-0.176	-0.501	-0.563	0.447	-0.482	-0.491	-0.415	-0.569	-0.404
Cu													1	-0.246	-0.174	0.304	-0.061	-0.347	-0.93	-0.272	0.41
Mo														1	0.413	-0.137	0.512	0.933	0.84	0.803	-0.095
Ni															1	-0.101	0.341	0.53	0.466	0.791	0.766
Pb																1	-0.059	-0.267	0.106	-0.136	0.064
Sb																	1	0.488	0.766	0.616	0.168
Sr																		1	0.836	0.896	0.078
V																			1	0.827	0.03
Zn																				1	0.27
Zr																					1

## فصل هفتم

الگوی تشکیل، نوع کانه‌زایی،

نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی



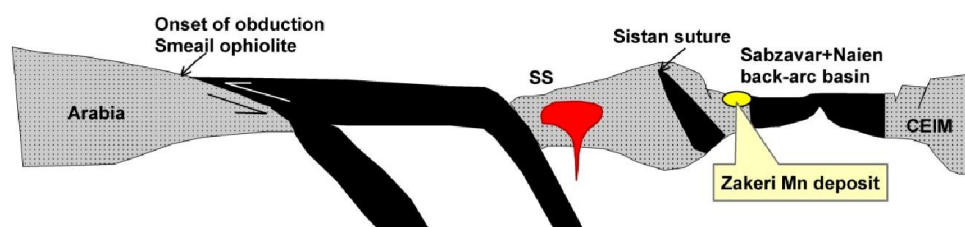
## ۷-۱- مقدمه

در این فصل با استفاده از نتایج بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی درباره ژنز و نحوه تشکیل کانسار منگنز ذاکری بحث خواهد شد. برای تحقق این امر ابتدا شواهد ژنتیکی مهم مرور شده و سپس به ژنز کانسار پرداخته خواهد شد. همچنین اشاره مختصری به تقسیم بندی کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی و انواع مختلف کانساری آن داشته و در ضمن جایگاه کانه‌زایی کانسار منگنز ذاکری I را در این تقسیم‌بندی مشخص خواهیم نمود. سپس پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه خواهد شد.

## ۷-۲- شواهد ژنتیکی مهم

### ۷-۲-۱- محیط تکتونیکی تشکیل

طبق نظر روزتی و همکاران (۲۰۱۰) ماگماتیسم و رسوبگذاری در پهنه سبزوار با ایجاد محیط کششی و تشکیل یک کافت پشت کمانی در طی کرتاسه پسین بوده است. به عقیده این محققین، با آغاز بسته شدن (شروع فرورانش) نئوتتیس، در زمان تریاس فوقانی- ژوراسیک زیرین، کمان ماگمایی سنندج- سیرجان در زمان ژوراسیک- کرتاسه تشکیل شده است و به تبع آن در پشت این کمان ماگمایی، حوضه اقیانوسی پشت کمانی سبزوار در طی کرتاسه پسین تشکیل شده است. نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کانسار منگنز ذاکری در ارتباط با حوضه اقیانوسی پشت کمانی تشکیل شده است (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- محیط تکتونیکی تشکیل کانسار منگنز ذاکری در حوضه اقیانوسی پشت کمانی سبزوار در طی کرتاسه پسین طبق مدل روزتی و همکاران (۲۰۱۰)

## ۷-۲-۲- محیط زمین‌شناسی ته‌نشست

با بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و شواهد ژئوشیمیایی معلوم شد که محیط نهشت کانسار منگنز ذاکری I در منطقه جنوب غرب سبزوار یک محیط دریایی عمیق بوده است که توف‌ها و مواد آذرآواری با فعالیت آتشفشانی وارد حوضه رسوبی شده‌اند. مطالعات میکروسکوپی فسیل‌ها در منطقه مورد مطالعه، عمیق بودن محیط تشکیل را تأیید می‌کند.

## ۷-۲-۳- سنگ میزبان و سنگ‌های همراه

در توالی آتشفشانی- رسوبی منطقه جنوب غرب سبزوار واحد در برگیرنده کانه‌زایی منگنز، سنگ آهک و توف کربناتی می‌باشند. این آهک‌ها بر روی آندزیت و داسیت قرار گرفته و توسط سنگ آهک‌ها پلاژیکی که حاوی قطعات چرت هستند پوشیده می‌شوند. میزبان کانی‌زایی در کانسارهای چشمه سفید، ذاکری II و اندیس معدنی دانایی همانند کانسار منگنز ذاکری I است.

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

کانه‌زایی منگنز در کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه به صورت پیکره‌های عدسی شکل رخ داده است و عدسی‌ها هم روند با لایه بندی سنگ میزبان تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۵). گسترش طولی افق کانه‌دار در کانسار منگنز ذاکری I بیشتر از ضخامت آن است به طوری که طول آن بیش از ۱۰۰ متر و ضخامت آن در حدود ۱۰ تا ۲۰ متر می‌باشد.

## ۷-۲-۵- کانی‌شناسی

روی (۱۹۶۸) معتقد است که کانسارهای رسوبی منگنز چه از منبع آتشفشانی- برون‌دمی و چه از منبع غیرآتشفشانی به طور عمده به وسیله اکسیدهای ظرفیت بالای منگنز مثل پیرولوویت، پسیلوملان و کریپتوملان مشخص می‌شوند. در بعضی از کانسارها، این اکسیدهای ظرفیت بالا را منگانیت و براونیت نیز همراهی می‌کند. نیکلسون (۱۹۹۲) کانی‌های کرونادیت، هولاندیت و کالکوفانیت را جزو کانی‌های شاخص کانسارهای منگنز رسوبی می‌داند. همان‌طور که در فصل کانی‌شناسی ذکر گردید

کانه‌های کانسار مورد مطالعه عمدتاً شامل پیرولوویت، پسیلوملان، هولاندیت، منگنیت، تودوروکیت، رودوکروزیت و براونیت است که بسیار شبیه کانسارمنگنز ساردینیا<sup>۱</sup> در ایتالیا است.

## ۷-۲-۶- دگرسانی‌ها و منطقه‌بندی آنها

دگرسانی در توالی آتشفشانی-رسوبی محدوده مورد مطالعه بسیار کم و به‌طور عمده شامل دگرسانی کلریتی- کربناتی، سیلیسی و آرژیلیکی و به مقدار کمتر سریسیتی است. دگرسانی کلریتی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار منگنز ذاکری می‌باشد که در بیشتر موارد با دگرسانی کربناتی همراه بوده و بیشتر در کمربند کانسار مشاهده می‌شود. دگرسانی کربناتی که به همراه دگرسانی کلریتی در کمربند کانسار دیده می‌شود عمدتاً با اضافه شدن کلسیم به سنگ همراه است. دگرسانی سیلیسی در کمربند افق معدنی رخ داده است که نتیجه آن تشکیل کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال، کلسدونی) در سنگ می‌باشد.

در کانسار منگنز ذاکری سنگ‌های کمربند و میزبان ماده معدنی به‌شدت 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 کوارتز تبدیل شده‌اند.

## ۷-۲-۷- شواهد ژئوشیمیایی

نمودارهای عناصر اصلی و کمیاب به خوبی می‌توانند منشأ عناصر تشکیل دهنده کانسار و محیط تشکیل آن را روشن سازند. با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل ششم، بالا بودن نسبت‌های  $U/Th$ ،  $La/Ce$ ،  $Mn/Fe$  و  $Si/Al$ ، پایین بودن نسبت  $Co/Zn$ ، مقادیر فلزات کمیاب و به‌ویژه فلزات  $Co$ ،  $Cu$  و  $Ni$ ، پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی (به‌ویژه  $Ce$  و  $Eu$ ) به عنوان شواهدی از ته‌نشست  $Mn$  از سیالات گرمابی- برون‌دمی در یک محیط دریایی اکسیدان هستند و نقش فرآیندهای آبراز در پیدایش این کانسار ناچیز است. با توجه به این نمودارها می‌توان این کانسارها را از نوع گرمابی زیر

<sup>۱</sup>- Sardinia

دریایی (آتشفشانی- برونومی) کم دما، با نرخ جریان پایین و نزدیک به منشأ همراه با رشد خیلی سریع اکسیدهای منگنز معرفی کرد.

### ۷-۳- رده بندی کانسارهای منگنز

تاکنون رده بندی های مختلفی به شرح ذیل برای کانسارهای منگنز توسط محققین مختلف ارائه شده است: (نیکلسون، b ۱۹۹۲؛ ودپول<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰؛ روی، ۱۹۸۱؛ ماچامر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷؛ موسیر و پیچ<sup>۳</sup>، ۱۹۸۸؛ گیلبرت و پارک<sup>۴</sup>، ۱۹۹۷؛ کولیشو<sup>۵</sup>، ۲۰۱۱). از میان این رده بندی ها، رده بندی نیکلسون (۱۹۹۲) (b) از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و کاربردی تر می باشند، بنابراین در ادامه به برخی از مشخصات این رده بندی اشاره می شود.

### ۷-۳-۱- رده بندی نیکلسون (b ۱۹۹۲)

نیکلسون کانسارهای منگنز را بر اساس فرآیند تشکیل به دو گروه تقسیم کرده است (جدول ۱-۱).

جدول ۷-۱- رده بندی انواع کانسارهای منگنز بر حسب فرآیندها و محیط تشکیل (نیکلسون، ۱۹۹۲)

سوپرژن		گرمابی		فرآیند تشکیل
خشکی	دریایی	خشکی	دریایی	محیط تشکیل
لجن ها و خاکها آب شیرین هواز دگی دابیهیت	پوسته ها پوششها گرهکها رسوبات	چشمه های آب گرم رگه ای	برونومی- رسوبی	انواع کانسارها

### ۷-۴- ارائه مدل ژنتیکی کانسار منگنز ذاکری I

#### ۷-۴-۱- منشأ عناصر کانه ساز

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

<sup>1</sup>-Wedphol

<sup>2</sup>- Machamer

<sup>3</sup>- Mosier and page

<sup>4</sup>- Guilbert and Park

<sup>5</sup>- Kulesho

۱- تخریب و فرسایش سازندها و کانسنگ‌های قدیمی‌تر

۲- توده‌های نفوذی و سیالات داغ همراه با آنها

۳- فعالیت‌های آتشفشانی- گرمایی نزدیک به محل رسوبگذاری

با توجه به اینکه هیچ سازند و کانسنگ قدیمی‌تری که حاوی مقادیر بالایی از منگنز باشد در منطقه وجود ندارد، بنابراین منشأ اول چندان پذیرفتنی نیست. نمودارهای ژئوشیمیایی نیز احتمال تشکیل این کانسار از کانسارهای قدیمی‌تر را رد می‌کنند (نمودار Pb-Zn در شکل ۶-۱۶). از طرف دیگر مقادیر Al و Ti که معمولاً از منشأ تخریبی تأمین می‌شوند، در این کانسار بسیار اندک است (سوجیساک<sup>۱</sup>، ۱۹۸۴؛ کریرار<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۲).

در مورد تأمین عناصر سازنده کانسار از منشأ توده‌های نفوذی توجه به نکات ذیل ضروری است:

- در منطقه مورد مطالعه هیچ توده نفوذی که جوان‌تر یا همسن با نهشته‌های توفی واحد چهار کرتاسه بالایی باشد وجود ندارد.

- در کانسارهایی که عامل کانه‌زایی توده‌های نفوذی و سیالات گرمایی حاصل از آنها در نظر گرفته شده‌اند، کانه‌زایی دارای روند و جایگاه خاصی نیست و عمدتاً از روند گسل‌ها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کنند و در واقع عوامل ساختاری کنترل کننده کانه‌زایی هستند ولی در منطقه مورد مطالعه چنین نیست.

فرضیه تأمین آهن و منگنز از فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی همزمان با رسوبگذاری محتمل‌ترین فرضیه برای تشکیل کانسار است. در مورد منبع آهن و منگنز موجود در توالی‌های رسوبی دو نظریه کاملاً متفاوت وجود دارد: الف) منبع آتشفشانزاد و ب) منبع غیر آتشفشانزاد افرادی که معتقد به منبع آتشفشانزاد هستند، چنین پیشنهاد می‌کنند که منگنز ممکن است بوسیله فعالیت‌های آتشفشانی که سیالات همراه با آنها غنی از منگنز هستند، تأمین شود (روی، ۱۹۶۸).

<sup>1</sup> - Sugisaki

<sup>2</sup> - Crerar

روی (۱۹۹۲) معتقد است که کانسارهای نوع رسوبی- برونومی که بوسیله فوران‌های زیردریایی همزمان با رسوب‌گذاری تشکیل شده‌اند، به‌وسیله همراهی آهن و منگنز مشخص می‌شوند. البته این دو عنصر می‌توانند تحت تأثیر شرایط فیزیکیوشیمیایی محیط از هم جدا شوند و هر کدام تشکیل کانسارهای مخصوص به خود را بدهند.

در مورد منبع غیر آتشفشانزاد هم باید گفت منگنز در این مورد از فرسایش سنگ‌های منگن‌دار قدیمی‌تر حاصل می‌شود که این منشأ همان‌طور که در قسمت ۱ گفته شد چندان پذیرفتنی نیست. زمانی می‌توان منشأ آتشفشانزاد را برای منگنز و عناصر همراه در نظر گرفت که اولاً سنگ‌های آتشفشانی به‌ویژه انواع غنی از منگنز در توالی رسوبی وجود داشته باشند و ثانیاً شواهد صحرایی و مطالعات ژئوشیمی نیز از نظر محتوی عناصر فرعی، این مسئله را تأیید کنند (روی، ۱۹۶۸). وجود توف‌ها و گدازه‌ها در توالی چین‌شناسی منطقه و رابطه نزدیک آن‌ها با عدسی‌های کانه‌دار حاکی از فعالیت آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری است. از آنجائیکه ماده معدنی در واحدهای آتشفشانی به صورت عدسی و همروند با توف‌های میزبان دیده می‌شود و ضمناً مطالعات ژئوشیمیایی نیز تأمین عناصر کانسار ساز را از یک منشأ درونزاد تأیید می‌نماید، بنابراین به‌نظر می‌آید که آهن و منگنز در منطقه مورد مطالعه از منشأ آتشفشانی زیر دریایی همزمان با رسوب‌گذاری تأمین شده باشند.

#### ۷-۴-۲- منشأ سیال کانه ساز

بر اساس نظر خراسکو<sup>۱</sup> (۱۹۵۱)، روی (۱۹۸۱)، کریرار و همکاران (۱۹۸۲)، وارنتسو<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۳)، استاریکوا<sup>۳</sup> (۲۰۰۱) آبهای اقیانوسی فرورونده در شکاف‌های عمیق موجود در مراکز فعال گسترش بستر دریا که با فعالیت‌های آتشفشانی همراه هستند، می‌توانند بر اثر چرخش در داخل گدازه‌های دارای شار حرارتی بالا، گرم شده و فلزات را در خود تمرکز دهند. این آبها پس از چرخش در داخل گدازه‌ها، سرانجام به بستر دریا راه پیدا می‌کنند و منگنز خود را رسوب می‌دهند. بنابراین با

<sup>۱</sup> - Kheraskov

<sup>۲</sup> - Varentsov

<sup>۳</sup> - Starikova



توجه به وجود گدازه‌های زیاد در کمرباطین کانسار ذاکری و نقش گرمایی آنها جهت ایجاد جریانهای همرفتی آب دریا، به احتمال زیاد در منطقه مورد مطالعه، بطور عمده منشأ سیال کانه‌ساز آب دریا بوده است.

### ۷-۴-۳- مدل ژنتیکی و شیوه تشکیل کانسار منگنز ذاکری I

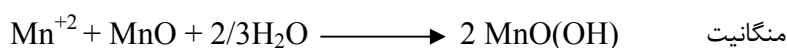
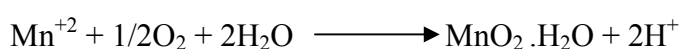
یکی از مهمترین مدل‌ها جهت نهشت آهن و منگنز در محیط‌های آتشفشانی- رسوبی، مدلی است که در آن ورود سیالات گرمابی- برون‌دمی منگنزدار به آب دریا و تغییر در شرایط فیزیکوشیمیایی مثل  $(T, pH, f_{O_2}, f_{CO_2}, f_{H_2S})$  باعث ته‌نشینی آهن و منگنز می‌شود. این مدل توسط محققین زیادی مثل گاوریلو<sup>۱</sup> (۱۹۷۲)، روی (۱۹۸۱)، خراسکو (۱۹۵۱)، بروسنیتسین و زوکو<sup>۲</sup> (۲۰۰۵)، کریرار و همکاران (۱۹۸۲)، وارنتسو و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده و تاکنون به‌عنوان مکانیسم نهشت منگنز در بسیاری از کانسارهای بزرگ منگنز دنیا مطرح شده است. در این مدل سیال برون‌دمی دارای حالت اسیدی ( $pH=4-6$ ) و دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است و با ورود به آب‌های قلیایی ( $pH=7.5$ ) و سرد دریایی، عناصر محلول در خود را از دست می‌دهد. در این مدل ابتدا آهن و سپس منگنز ته‌نشین می‌شود. علت آن به خاطر حلالیت بیشتر منگنز نسبت به آهن می‌باشد. این مدل، تشکیل نهشته‌های قابل توجه منگنز در مناطق دریایی کم عمق را، بیشتر به دلیل تغییر شرایط Eh و pH محیط می‌داند. با توجه به شکل (۶-۱) آهن و منگنز در Eh و pH پایین از حلالیت بالایی برخوردارند. با افزایش اندک مقدار Eh (بالای صفر)، حلالیت آهن کاهش می‌یابد و اکسید آهن در قسمت‌های پایینی ته‌نشست پیدا می‌کند و منگنز همچنان به صورت محلول در محیط باقی می‌ماند، لذا آهن و منگنز می‌توانند به شکل گسترده‌ای از هم جدا شوند. تثبیت آهن به صورت فاز اکسیدی و غیر محلول باعث بالا رفتن نسبت منگنز در محلول می‌گردد. محلول باقی مانده با توجه به جدایی بخشی از آهن از آن، از نظر وجود منگنز غنی گشته، که این امر می‌تواند رسوبات غنی از منگنز و فقیر از آهن را ایجاد کند و با بیشتر شدن درصد آب‌های دریایی اکسیدی و بازی در سیال برون‌دمی، منگنز

<sup>1</sup>- Gavrilov

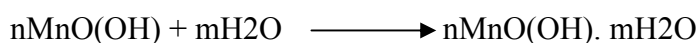
<sup>2</sup>- Brusnitsyn and Zhukov

محلول  $Mn^{+2}$  نیز ته‌نشین می‌شود. در محیط‌های طبیعی ثابت شده که در بین ترکیبات اکسیدی و هیدروکسیدی منگنز، ترکیبات  $Mn_3O_4$  و  $\gamma$ -MnOOH (منگانیت) در تعادل با آب دریا در حالت فاز جامد قرار می‌گیرند (کلینخامر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰؛ گریل<sup>۲</sup>، ۱۹۸۲).

ضمن تداخل آب‌های احیایی غنی از منگنز محلول و آب‌های اکسیدی،  $Mn^{+2}$  از نظر ترمودینامیکی ناپایدار گشته و به آهستگی اکسید می‌شود (Yu, 1990) و در مرز اکسید-احیاء طبق معادلات زیر اکسیدها و هیدروکسیدهای نامحلول را تولید می‌کند.



پلیمریزاسیون



در تحقیقات آزمایشگاهی، تشکیل اکسید و هیدروکسید منگنز ( $Mn_3O_4$  و  $\beta$ -MnOOH) از اکسید شدن مستقیم  $Mn^{+2}$  ثابت شده است (استوم و جوانولی<sup>۳</sup>، ۱۹۷۶).

همچنین تشکیل  $Mn_3O_4$  (مورای<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۸۵) و  $Mn_3O_4$  و  $\gamma$ -MnOOH (هم و لیند<sup>۵</sup>، ۱۹۸۳) نیز گزارش شده است.

در میان ترکیباتی که در بالا به آنها اشاره شد  $\gamma$ -MnOOH (منگانیت) پایدارترین ترکیب است که از دیگر ترکیبات ( $Mn_3O_4$  و  $\beta$ -MnOOH) مشتق می‌شود. البته این داده‌ها مربوط به بخش‌های کم عمق و نیمه عمیق اقیانوس‌ها است، چرا که در مناطق عمیق اکسیدهای دیگر منگنز همچون بیرنزیت، تودوروکیت و  $\delta$ MnO<sub>2</sub> یا ورنادیت<sup>۶</sup> پایدارتر می‌شوند و نودول‌های کف اقیانوس‌ها را تشکیل می‌دهند (پست<sup>۷</sup>، ۱۹۹۹).

<sup>1</sup> - Klinkhammer

<sup>2</sup> - Grill

<sup>3</sup> - Stumm and Giovanoli

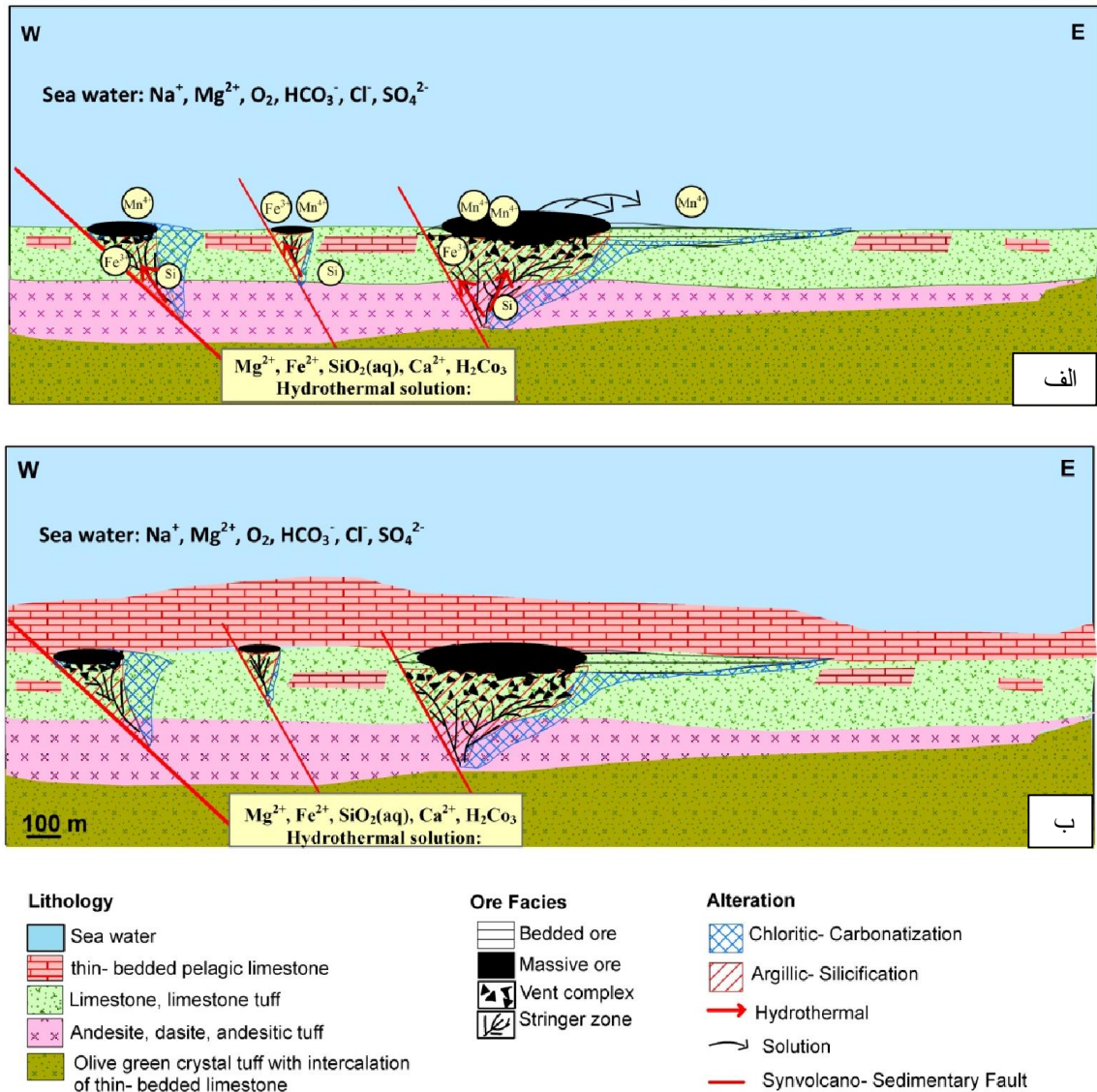
<sup>4</sup> - Murray

<sup>5</sup> - Hem and Lind

<sup>6</sup> - Vernadite

<sup>7</sup> - Post

بنابراین به نظر می‌رسد در کانسار منگنز ذاکری I سیالات گرمابی داغ، اسیدی و احیایی، عناصر کانه‌ساز را از سنگ‌های کمر پایین شسته و از طریق فضاهای باز و معابر ایجاد شده در محل و امتداد گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشانی، وارد حوضه دریایی کرده‌اند (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- نحوه تشکیل کانسار منگنز ذاکری I بر اساس مدل بروسنتیسین، (۲۰۰۹): الف) سیالات هیدروترمالی از طریق گسل همزمان با رسوبگذاری، به صورت برون‌دمی وارد آب دریا شده و ب) کانه‌زایی در محل خروج سیالات گرمابی شکل می‌گیرد. در این شکل ابتدا کانی‌های اکسیدی آهن و سپس کانی‌های منگنز در یک محیط کاملاً اکسیدان و عمیق دریایی ته‌نشین می‌شوند و سپس آهک‌های پلاژیک پس از آرام شدن آتشفشان و کاهش ورود سیالات گرمابی به محیط کانه‌زایی، بر روی توف‌ها قرار می‌گیرند.

با توجه به عمیق بودن حوضه ته‌نشست، به‌نظر می‌رسد ورود جریانهای سرد اکسیژن‌دار از مناطق کم عمق به مناطق عمیق، موجب اکسیدان شدن محیط عمیق و پلاژیک شده و برخورد سیال برون‌دمی با آب دریای اکسیدان و با کاهش دما و افزایش pH، ابتدا عنصر آهن به صورت کانی اکسیدی (به دلیل پایداری کمتر آهن نسبت به عنصر منگنز) از سیال کانه‌ساز ته‌نشین شده و با کاهش غلظت عنصر آهن کانیها اکسیدی منگنز ته‌نشین شده‌اند (شکل ۷-۲).

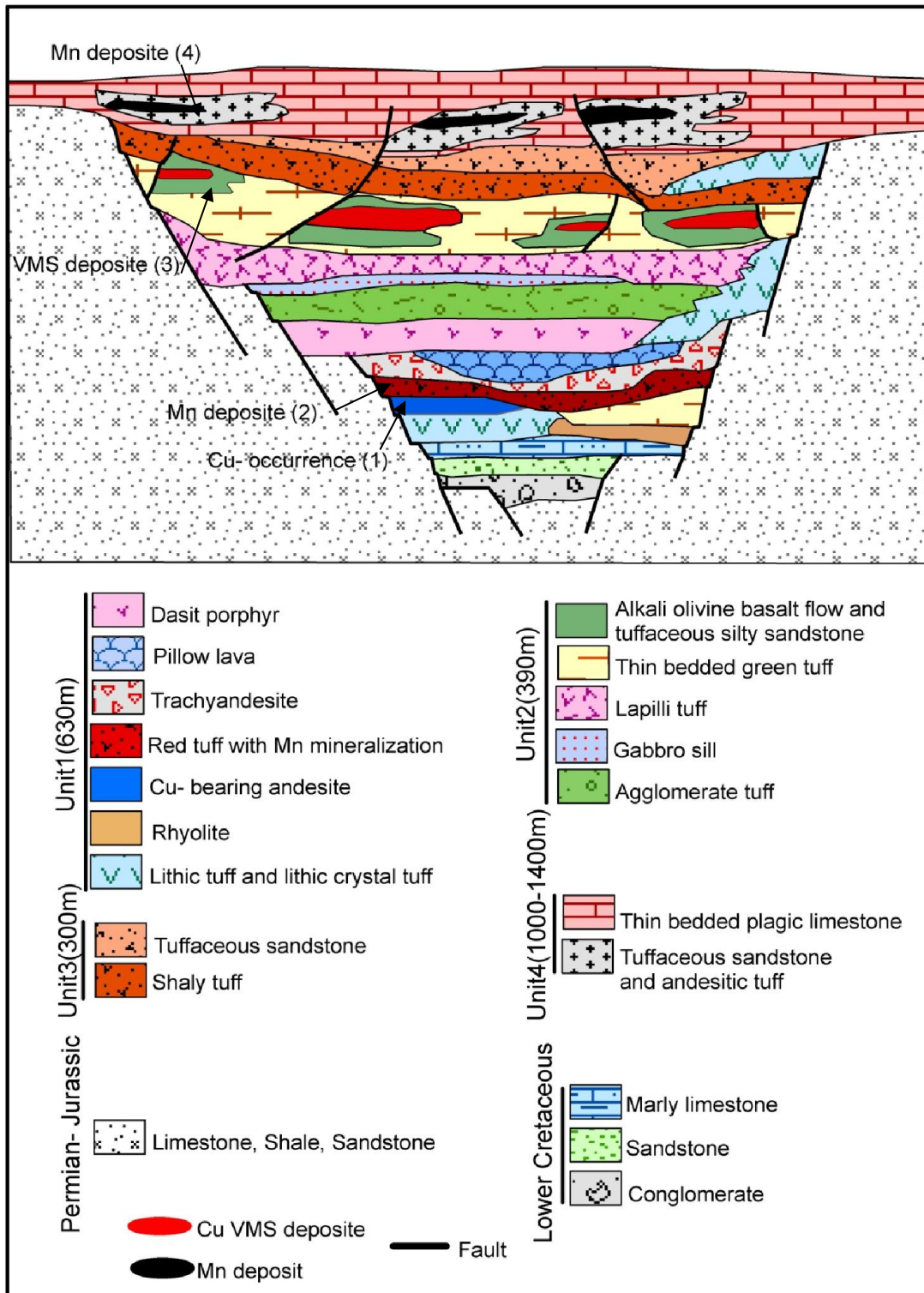
## ۷-۵- بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی جنوب غرب سبزوار و جایگاه نهشته‌های

### منگنز و مس در آن

با توجه به محیط پشت کمانی بودن پهنه سبزوار در کرتاسه و با شروع و ادامه فعالیت‌های کافت‌زایی در اوایل کرتاسه در اثر نیروی کششی، گسترش سیستم‌های گرابنی و عملکرد گسل‌های نرمال در منطقه، باعث فرونشست منطقه و تشکیل حوضه رسوبی کم عمق شده است (شکل ۷-۳). با شروع این فعالیت کافت‌زایی، نفوذ و خروج گسترده ماگماهای مافیک و اسیدی در قالب سیل، گدازه و آذرآواری و سیالات گرمابی به داخل حوضه کم عمق در حال تشکیل صورت گرفته است. با توجه به کم عمق بودن و آشفته بودن حوضه در اثر فعالیت‌های آتشفشانی و خروج گدازه‌ها، طبقه‌بندی ستون آب (بخش احیایی در زیر و بخش اکسیدی در بالا) در مراحل ابتدایی تشکیل حوضه صورت نگرفته و باعث اکسیدان شدن محیط در این بازه زمانی شده است. بنابراین عناصر Mn، Cu، Fe، Si و سایر عناصر از طریق سیالات گرمابی با شستشوی سنگ‌های کمر پایین از طریق گسل‌های همزمان با فرونشست وارد حوضه می‌شده‌اند. عناصر منگنز و آهن به علت فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط به صورت لایه‌ای و بصورت همزمان با توف‌های اکسیدی قرمز میزبان در کف حوضه ته‌نشین می‌شده‌اند. البته، مس به علت پایین بودن دما و شرایط اکسیدان محیط در داخل واحدهای گدازه‌ای داغ، به صورت دانه پراکنده (اندیس‌های فریزی و گراب) (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱) ته‌نشست یافته است. با عمیق‌تر شدن حوضه رسوبی، شدت ماگماتیسم کمتر شده است، با این حال یک سیل گابرویی در بخش زیرین واحد ۲ دیده می‌شود (شکل ۷-۳). با ادامه فرونشست حوضه، یک نوع طبقه‌بندی لایه-

ای در اکسیدی و احیایی بودن آب بوجود آمده و قسمت‌های زیرین با توجه به عمیق‌تر بودن و ورود آب‌های گرمابی به این لایه گسترش بیشتری پیدا کرده‌اند. 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 که به صورت کانسار مس نوده و اندیس‌های چون و کلاته لالا در منطقه در واحد ۲ ستون چینه شناسی ایجاد شده‌اند (شکل ۷-۳). حضور آهک‌های پلاژیک گلوبروترونکانادار که نشان دهنده افزایش فوگاسیته  $CO_2$  و میزان Ca محیط‌های عمیق احیایی هستند دلیلی بر ادامه فرونشست و عمیق‌تر شدن حوضه رسوبی است. این آهک‌های پلاژیک ضخیم در واحد ۴ دارای کانی‌زایی منگنز کانسارهای چشمه سفید و ذاکری I بصورت همروند با لایه‌های توفی و توف‌های کربناتی و آهکی می‌باشند.

دلیل وجود این کانسارهای اکسیدی در محیط‌های عمیق احیایی می‌تواند به علت برخورد جریان‌های سرد زیر دریایی اکسیدی با سیالات برون‌دمی احیایی غنی از عنصر منگنز، که از طریق گسل‌های همزمان با رسوبگذاری وارد حوضه رسوبی می‌شده‌اند، باشد. با توجه به شواهدی که به آنها اشاره شد و بر طبق تقسیم بندی (روی، ۱۹۸۱) کانسار منگنز ذاکری I را می‌توان یک کانسار آتشفشانی- رسوبی دانست، به این ترتیب که، در این کانسار همزمان با کافت پشت کمانی و ورود سیالات گرمابی- برون‌دمی غنی از منگنز به داخل حوضه آتشفشانی- رسوبی سبزوار، کانی‌های اکسیدی منگنز به صورت همروند و همزمان با رسوب‌گذاری و با منشأ آتشفشانی- برون‌دمی نهشته شده‌اند.



شکل ۷-۳- بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی جنوب غرب سبزوار و جایگاه کانسارهای منگنز و سولفید توده‌ای مس - روی در آن (با تغییر از مغفوری، ۱۳۹۱). کانسارهای منگنز در واحدهای چینه‌شناسی ۱ و ۴ به صورت چینه‌سان تشکیل شده‌اند و کانسار مس نوده در واحد چینه‌شناسی ۲ و اندیس‌های مس در داخل واحدهای چینه‌شناسی ۱ و ۲ نهشته شده‌اند.



(۱) اندیس‌های معدنی مس فریزی و گراب (۲) کانسارهای منگنز نوده، فریزی و گفت (۳) کانسار مس نوده، اندیس مس چون و کلاته لالا (۴) کانسارهای منگنز چشمه سفید، ذاکری، دانای

## ۷-۶- تیپ کانه‌زایی

برای تعیین تیپ کانه‌زایی، کانسار منگنز ذاکری با کانسارهای مشابه و شاخص در ایران و دنیا مقایسه شده است:

### ۷-۶-۱- مقایسه کانسار منگنز ذاکری I با کانسارهای شاخص آتشفشانی- رسوبی

#### منگنز دنیا بر اساس تقسیم‌بندی موسیر و بیچ (۱۹۸۸)

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 فوق‌العاده‌ای 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 ذاکری I به دلیل قرارگیری در سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه 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 ذاکری I بیشترین شباهت را با کانسارهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی غیر وابسته به پهنه‌های افیولیتی دارد.

تقسیم بندی موسیر وپیچ، بر اساس فاکتورهای مختلفی از جمله جایگاه تکتونیکی، سنگ‌های میزبان، کانی‌های معدنی، کانی‌های باطله، کانسارهای مرتبط با کانسار، عناصر فلزی و نوع دگرسانی انجام شده است بر این اساس، کانسارهای آتشفشانی - رسوبی منگنز به چهار مدل آتشفشانی - رسوبی شامل نوع قبرس<sup>۱</sup>، کوبا<sup>۲</sup>، المپیک پنینسولا<sup>۳</sup> و فرانسیسکن<sup>۴</sup> تقسیم گردیده است. خصوصیات هر کدام کدام از این چهار مدل در جدول (۷-۱) با هم مقایسه شده است. ویژگی‌های کانسارهای منگنز ذاکری I از نظر محیط زمین‌ساختی تشکیل، محیط زمین‌شناسی نهشت، سنگ‌های میزبان و همراه، شکل هندسی، بافت، کانی‌شناسی و علائم زمین‌شیمیایی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع کوبا نشان می‌دهد (جدول ۷-۱). در زیر این شباهت‌ها توضیح داده شده است.

---

<sup>۱</sup> - Cyprus

<sup>۲</sup> - Cuban

<sup>۳</sup> - Olympic Peninsula

<sup>۴</sup> - Franciscan

جدول ۷-۲- مقایسه کانسار منگنز ذاکری I با ویژگی‌های شاخص انواع مختلف کانسارهای منگنز آتشفشانی - رسوبی بر اساس رده بندی موسیر و پیچ (۱۹۸۸)

ویژگی های شاخص	کانسار منگنز ذاکری I	نوع فرانسيسکن	نوع کوبا	نوع المپیک پنینسولا	نوع قبرسی
محیط تکتونیکی	پشت کمانی	پشته های میان اقیانوسی . پشت کمانی	پشت کمانی و پشته های میان اقیانوسی	کوههای میان اقیانوسی	پشته های میان اقیانوسی و پشت کمانی
سنگ‌های میزبان و همراه	توف، توف کربناتی، آهک پلاژیک و چرت	چرت، شیل و توف	توف ریولیتی تا آندزیتی و ژاسپر و چرت	بازالت‌های بالشی، آهک‌های آرژیلیتی قرمز و آگلومرا	چرت رادیولاریتی، بازالت بالشی، ژاسپر قرمز
کانیهای معدنی	پیرولولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، منگانیت، تودوروکیت و براونیت	پیرولولوزیت و رودوکروزیت	پسیلوملان، پیرولولوزیت و براونیت	منیتیت، هوسمانیت و نئوتوسیت	هیدرواکسیدهای منگنز بی شکل و غیر قابل تشخیص
کانی‌های باطله	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلسیت و هماتیت و باریت	کوارتز، کلسیت و ژاسپر	کوارتز، هماتیت، کلسیت و باریت	پیریت و کوارتز
کانسارهای مرتبط با کانسار	-	کانسارهای هیدروترمال و کانسارهای کرومیت	کانسارهای سولفید توده ای نوع کوروکو	-	سولفید توده ای نوع قبرسی
علائم ژئوشیمیایی	Fe و Mn, Sr	Cu, Fe, Mn, Ba و Hg	Ba, Fe, Mn, Sr و Cu	Cu, Fe, Mn و Ba و Hg	Ni, Fe, Mn, Co و Zn, Cu
دگرسانی	کلریتی، کربناتی آرژیلیتی و سیلیسی	کربناتی	کلریتی و آرژیلیتی	سیلیسی	-

## ۷-۶-۱-۱- مقایسه کانه‌زایی منگنز ذاکری I با نوع کوبا

محیط زمین‌ساختی تشکیل: محیط تشکیل کانسارهای منگنز نوع کوبا، کافت درون قاره‌ای و کمان آتشفشانی می‌باشد (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸) با توجه به کافت‌زایی صورت گرفته در پهنه سبزوار (روزتی و همکاران، ۲۰۱۰) در کرتاسه بالایی تصور می‌شود که کانسار منگنز ذاکری I در محیط کافتی پشت کمانی تشکیل شده باشد و سیستم‌های گرمایی زیر دریایی موجود در طول گسل‌های کافتی هم‌زمان با آتشفشانی و رسوبگذاری، عامل اصلی تشکیل این نهشته بوده است. از شاخص‌ترین کانسارهای منگنز نوع کوبا که در محیط کافت داخل قاره‌ای تشکیل شده‌اند، کانسار منگنز لوسیفر در مکزیک است (فریبرگ<sup>۱</sup>، ۱۹۸۳) که این کانسار شباهت زیادی با کانسار منگنز ذاکری I دارد.

**سنگ درونگیر و همراه:** سنگ درونگیر ماده معدنی در نوع کوبا اغلب توف‌های آندزیتی هستند. سنگ‌های همراه این نوع کانسارها معمولاً شامل گدازه‌های بازالتی یا آندزیتی، آگلومرا، توف ماسه‌ای و شیلی، سنگ‌آهک و توفیت می‌باشند (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸). در کانسار ذاکری I نیز افق کانه‌دار در یک توالی آتشفشانی- رسوبی از پایین به بالا شامل توف سبز زیتونی، آندزیت و داسیت، توف کربناتی و آهک (میزبان منگنز در معدن) و آهک پلاژیک نازک لایه می‌باشد.

**شکل هندسی و ساخت و بافت:** ماده معدنی در نوع کوبا به صورت لایه‌ای تا عدسی شکل و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ درونگیر و توالی چینه‌ای سنگ‌های همراه است (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸). در کانسار منگنز ذاکری I نیز شکل کانسار به صورت عدسی شکل و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان می‌باشد. بافت‌های توده‌ای و کولوئیدی از مهم‌ترین بافت‌های موجود در هر دو کانسار است.

**محیط زمین‌شناسی ته‌نشست:** کانسارهای منگنز نوع کوبا در حوضه‌های آتشفشانی- رسوبی در سنگ‌های توف و آهک توفی و به همراه بازالت، آگلومرا، توف ماسه‌ای و شیلی، آهک و توفیت نهشته شده‌اند (موسیر و پیچ، ۱۹۸۸). با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی در منطقه، معلوم شد که محیط نهشت کانه‌زایی کانسار منگنز ذاکری I در منطقه جنوب‌غرب سبزوار یک محیط دریایی عمیق است که

<sup>۱</sup> - Freiberg

توفها و مواد آذرآواری با فعالیت آتشفشانی وارد حوضه رسوبی شده و سنگهای آهکی نیز در این توالی دیده می‌شوند.

**پاراژنز کانیاپی:** مواد معدنی در نهشته‌های نوع کوبا عمدتاً از پسیلوملان، پیرولولزیت، براونیت، بمنیت و منگانیت تشکیل شده‌اند. کانی‌شناسی باطله در این نهشته‌ها شامل کوارتز و کلسیت است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، XRD و الکترون مایکروپروب، مواد معدنی در کانسار منگنز ذاکری I عمدتاً از کانی‌های پیرولولزیت، پسیلوملان، هولاندیت، منگانیت و براونیت تشکیل شده است و کانی‌های باطله عمدتاً کوارتز و کلسیت می‌باشند.

**علائم زمین‌شیمیایی:** در تجزیه نمونه‌های کانسنگ کانسارهای نوع کوبا، مقدار عناصر Sr، Ba و Cu بالاست (استوالد<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸) که بالا بودن عناصر Sr و Ba در این نوع کانسارها را نتیجه دگرسانی فلدسپارهای قلیایی سنگ‌های آتشفشانی توسط سیال‌های گرمابی دانسته‌اند. همچنین در این کانسارها مقادیر عناصر Ni، Co، Zn و پایین بوده و میانگین نسبت Mn/Fe بالای ۸۵ است. در کانسار منگنز ذاکری I نیز مقادیر عناصر Sr، Ba، Cu و بالا و میانگین نسبت Mn/Fe برابر ۵۶/۶ است.

**دگرسانی:** از دگرسانی‌های عمده در کانسارهای نوع کوبا می‌توان به دگرسانی آرژیلیتی و کلریتی اشاره نمود که کانسار منگنز ذاکری نیز دچار دگرسانی آرژیلیتی و کلریتی شده است.

## ۷-۶-۲- مقایسه با کانسارهای شاخص آتشفشانی - رسوبی ایران

### ۷-۶-۲-۱- کانسار منگنز و نارچ قم

این کانسار در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان قم قرار دارد. بخش اصلی ستون چینه شناسی این ناحیه را سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن بالایی تشکیل می‌دهند (فردوست، ۱۳۷۰). 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.

<sup>1</sup> - Ostwald

افق ماده معدنی شامل لایه‌های منگنز به همراه اخی است که در حدود ۴۰ متر ضخامت داشته و در داخل توف‌های دانه ریز به رنگ سبز و شیل هماتیستی قرار دارد. کمر بالای ماده معدنی آهک توفی می‌باشد. سن این مجموعه‌ها را الیگو-میوسن 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 چینه شناسی خاصی محدود می‌شود (فردوست، ۱۳۷۰).

کانه‌های اصلی منگنز این کانسار براونیت و بیکسیت هستند که به وسیله کانی‌های فرعی پسیلوملان، پیرولولزیت، رودونیت، هماتیت و گوتیت همراهی می‌شوند. کانی‌های باطله شامل مقدار کمی کوارتز، کلسدونی، سیلیس آمورف (اپال)، کلسیت و آراگونیت می‌باشند.

از جمله شباهت‌های موجود بین کانسار منگنز ذاکری I و کانسار ونارچ قم قرارگیری هر دو کانسار در سنگ‌های آتشفشانی و شکل هندسی ماده معدنی است علیرغم این شباهتها، تفاوت‌هایی نیز بین دو کانسار مشاهده می‌شوند. پاراژنز کانها در ونارچ عمدتاً شامل براونیت و بیکسیت است که به همراه پسیلوملان، پیرولولزیت، بوستامیت، رودونیت و اکسیدهای آهن دیده می‌شوند. اما در ذاکری I کانهای اصلی شامل پیرولولزیت، پسیلوملان، هولاندیت 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 منشاء آتشفشانی- رسوبی این کانسار دارند. بنابر همین شواهد، فردوست (۱۳۷۰) این کانسار را یک کانسار لایه‌ای همزاد و از نوع آتشفشانی- رسوبی دانسته است.

## ۷-۶-۲-۲- 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. عمده‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی و واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن می‌باشند. کانه زایی منگنز به



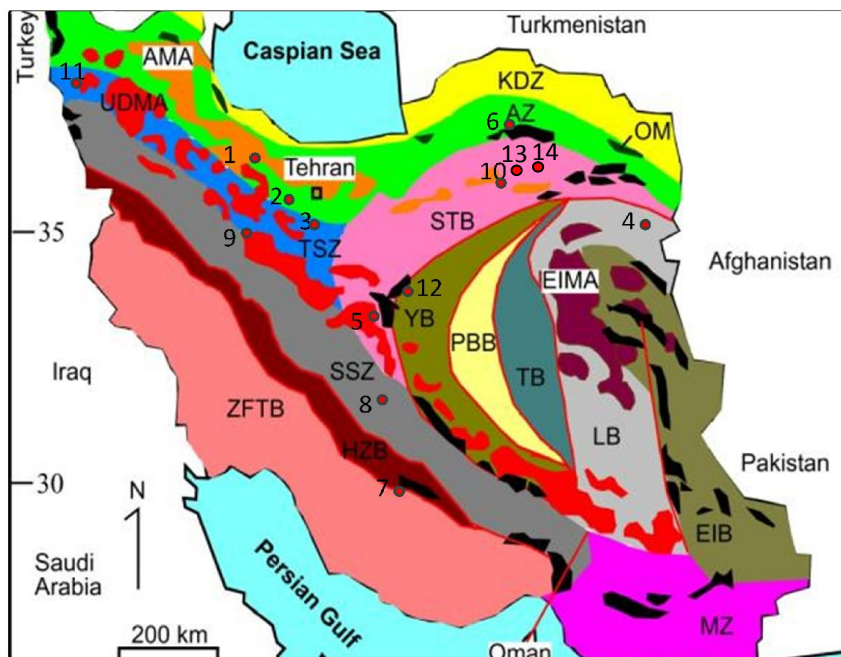
صورت لایه‌ای شکل در واحدهای آتشفشانی - رسوبی الیگومیوسن رخ داده است (دولت‌خواه، ۱۳۸۰). بر حسب نوع سنگ درونگیر، موقعیت آن در ستون چینه‌ای و ساخت و بافت به سه گروه منگنز لایه-ای شکل با سنگ درونگیر لیتیک توف قرمز، منگنز عدسی شکل با سنگ درونگیر آهک توفی و منگنز با بافت دانه پراکنده با سنگ درونگیر لیتیک توف قرمز متمایل به قهوه‌ای تقسیم‌بندی 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، پیرولولزیت، 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، ۱۳۸۰).

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، دولت‌خواه (۱۳۸۰) این کانسار را یک کانسار آتشفشانی - رسوبی (نوع کوبا) دانسته است.

از جمله شباهت‌های موجود بین کانسارهای منگنز ذاکری I و گراب قرارگیری هر دو کانسار در سنگ-های 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 آهک‌های توفی در دو کانسار است. مهمترین تفاوت موجود بین دو کانسار، زمان تشکیل آنها است.

## ۷-۷- توزیع زمانی و مکانی کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران

با توجه به گسترش سنگ‌های آتشفشانی و توالی‌های آتشفشانی- رسوبی در ایران بحث مطالعه و اکتشاف کانه‌زایی‌های آتشفشانی- رسوبی منگنز می‌تواند بسیار جدی باشد. چرا که مطالعات انجام گرفته تا کنون، نشان می‌دهد که ایران از پتانسیل بالایی برای این نوع کانسارها برخوردار است. پهنه ایران مرکزی و از جمله زیرپهنه سبزواری از جمله پهنه‌های ساختاری پر اهمیت و پرتانسیل در ایران برای اکتشاف کانسارهای آتشفشانی- رسوبی می‌باشند. علاوه بر آن، پهنه سنندج - سیرجان و ارومیه-دختر نیز دارای کانسارهای بزرگ منگنز با خاستگاه آتشفشانی- رسوبی هستند. مهم‌ترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی ایران در جدول (۷-۲) و موقعیت آن‌ها در شکل (۷-۸) آورده شده است.



شکل ۷-۴- نقشه پهنه ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۵) و توزیع مهمترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران: ۱: گراب، ۲: رباط کریم، ۳: ونارچ، ۴: تربت حیدریه، ۵: بزین، ۶: بنسپورت، ۷: آب‌بند، ۸: هنشک، ۹: شمس-آباد، ۱۰: بندقیچی، ۱۱: صفو، ۱۲: نارینگان، ۱۳: ذاکری و ۱۴: نوده

(EIB: East Iran belt, LB: Lut Block, TB: Tabas Block, PBB: Poshte Badam Block, YZ: Yazd Block, SZ: Sabzevar Zone, AB: Alborz Belt, MAC: Makran Accretionary Complex, ZO: Zagros Orogen, SSZ: Sanandaj- Sirjan Zone, TSZ: Tabriz- Saveh Zone, KD: Kope Dagh, UDMA: Urmia- Dokhtar magmatic assemblage, AMA: Alborz magmatic assemblage, EIMA: East Iranian magmatic assemblage)

جدول ۷-۳- مهم‌ترین کانسارهای منگنز آتشفشانی- رسوبی در ایران

نام کانسار	پهنه ساختاری	سنگ میزبان	سن	نوع کانه زایی	مرجع
گراب	البرز مرکزی	توف و آهک توفی	الیگومیوسن	آتشفشانی رسوبی (نوع کوبا)	دولت خواه، ۱۳۸۱
رباط کریم	ارومیه دختر	واحد های آذرآواری، تراکیتی . ایگنمبریتی	ائوسن بالایی	آتشفشانی رسوبی	امیری، ۱۳۷۴
ونارچ	ارومیه دختر	توف و آهک	ائوسن	آتشفشانی رسوبی	فردوست، ۱۳۷۰
تربت حیدریه	ایران مرکزی	دولومیت سنگ آهک	کرتاسه ی تحتانی	آتشفشانی رسوبی (distal)	احمدی، ۱۳۸۵
بزنین	ارومیه دختر	توف، آندزیت، بازالت	ائوسن الیگوسن	هیدروترمال	سجادی الهاشم، ۱۳۸۱
بنسپورت	زون سبزواری	توف	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	مسعودی، ۱۳۸۸
آب بند	ایران مرکزی	لایه های چرتی رادیولاردار	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	برنا، ۱۳۷۰
هنشک	سنندج سیرجان	ریولیت، توف و دولومیت	تریاس ژوراسیک	آتشفشانی رسوبی	برنا، ۱۳۷۰
شمس آباد اراک	سنندج سیرجان	سنگ آهک دولومیتی	کرتاسه ی تحتانی	آتشفشانی رسوبی (distal)	فرهادی، ۱۳۷۴
بند قیچی	ایران مرکزی	سنگهای ولکانیکی ، توف برش و مارن	ائوسن	آتشفشانی رسوبی	باقرزاده، ۱۳۹۲
صفو	زون افیولیتی خوی	رسوبات پلاژیک و چرت رادیولاریتی	کرتاسه فوقانی	آتشفشانی رسوبی	امامعلی پور، ۱۳۸۴
ناریگان	ایران مرکزی	توف ریولیتی سبز رنگ	پرکامبرین	آتشفشانی رسوبی (distal)	بنیادی، ۱۳۷۸
نوده	سبزواری	توف قرمز	کرتاسه پسین	آتشفشانی-رسوبی	نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۱
ذاکری	سبزواری	توف کربناتی و آهک	بخش بالایی کرتاسه پسین	آتشفشانی-رسوبی	تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱ و تحقیق حاضر

## ۷-۸- نتیجه گیری

براساس شواهد موجود و اطلاعات بدست آمده در طول این تحقیق معلوم گردیده که کانسار منگنز ذاکری به میزبانی توف کربناتی و آهک در توالی آتشفشانی-رسوبی رخ داده است. در این کانسار بر اساس ساخت و بافت، کانی‌شناسی و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان می‌توان چهار رخساره رگه-رگچه‌ای (استرینگر)، برشی، توده‌ای و لایه‌ای را از هم تشخیص داد که فقط رخساره‌های برشی و توده‌ای دارای ضخامت و عیار بالا بوده و قابلیت استخراج و بهره‌برداری دارد. کانی‌های معدنی عمده در منطقه پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، منگانیت، تودوروکیت، رودوکروزیت و براونیت می‌باشد. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، سنگ‌های آذرین موجود در منطقه، بیشتر ماهیت تولئیتی داشته و دارای ترکیب داسیتی، آندزیتی و آندزی بازالتی می‌باشند که در یک محیط پشت کمانی نهشته شده‌اند. بالا بودن نسبت‌های Mn/Fe و Si/Al پایین بودن نسبت Co/Zn و مقادیر فلزات کمیاب بویژه فلزات Co, Cu, Ni, پایین بودن مقادیر عناصر نادر خاکی (REE) (به‌ویژه Ce و Eu) در کانسنگ، به عنوان شواهدی از ته‌نشست منگنز از سیالات گرمابی-بروندمی در یک محیط دریایی هستند. به عبارت دیگر نقش فرآیندهای آبراد در پیدایش این کانسار ناچیز بوده است. بررسی الگوی REE در مواد معدنی، نشانگر خاستگاه گرمابی-بروندمی و اکسیدان بودن محیط دریایی ته‌نشست این کانسار است. به نظر می‌رسد در کانسار منگنز ذاکری I سیالات گرمابی داغ، اسیدی و احیایی، عناصر کانه-ساز را از سنگ‌های کمر پایین شسته و از طریق فضا‌های باز و معابر ایجاد شده در محل و امتداد گسل‌های همزمان با فعالیت آتشفشانی، وارد حوضه دریایی کرده‌اند. با توجه به عمیق بودن حوضه ته‌نشست، به‌نظر می‌رسد ورود جریانهای سرد اکسیژن‌دار از مناطق کم عمق به مناطق عمیق، موجب اکسیدان شدن محیط عمیق و پلاژیک شده و برخورد سیال بروندمی با آب دریای اکسیدان و با کاهش دما و افزایش pH کانیهای اکسیدی منگنز ته‌نشین شده‌اند. کانسار ذاکری بر اساس مقایسه آن با انواع مختلف کانسارهای آتشفشانی-رسوبی منگنز، از جهات بسیاری از ویژگی‌ها بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع کوبا نشان می‌دهد.

## ۷-۹- پیشنهادات اکتشافی

با توجه به محدودیت‌های مالی، آزمایشگاهی و زمانی که برای انجام تحقیقات دانشگاهی وجود دارد، با انجام یک تحقیق، تمام اطلاعات یک کانسار به دست نمی‌آید. لذا برای تحقیقات بعدی و فعالیت‌های اکتشافی کارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ از محدوده‌های معدنی منگن‌دار
- انجام اکتشافات ژئوفیزیکی با روش‌های ترکیبی مگنتومتری و ثقل‌سنجی برای یافتن کانی‌زایی‌های پنهان می‌تواند مفید باشد
- انجام عملیات حفاری (مغزه‌گیری) در کانسار ذاکری I جهت پیگیری افق کانه‌دار، شناخت بیشتر کانسار در عمق و به دست آوردن اطلاعات بیشتر از عمق و گسترش ماده معدنی
- واحد چهارم توالی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار که دارای سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و آهک‌های پلاژیک نازک لایه هستند، دارای اهمیت اکتشافی خاصی می‌باشند.
- با توجه به اینکه مطالعات ایزوتوپی اطلاعات ارزشمندی در زمینه منشأ مواد معدنی و ژنز کانسارهای منگن‌ارائه می‌دهند، لذا پیشنهاد می‌گردد در کارهای بعدی مطالعات ایزوتوپی  $D/H$  و  $O^{18}/O^{16}$  بر روی کانسنگ انجام شود.
- با توجه به این که کانه‌زایی‌های منگن‌دار در جنوب غرب سبزوار در یک محیط کششی پشت کمانی ایجاد شده است، بنابراین این نوع محیط‌ها در سایر نقاط ایران و بخصوص در حوضه‌های نائین- بافت و سیستان برای پی‌جوئی کانسارهای مشابه پیشنهاد می‌شود.
- توالی‌های آتشفشانی- رسوبی در منطقه سبزوار و در سایر نقاط ایران جهت اکتشاف کانسارهای منگن‌مورد توجه قرار گیرند.
- وجود دگرسانی کلریتی-کربناتی و آرژیلیتی می‌تواند به‌عنوان راهنمای خوبی برای اکتشاف کانسارهای منگن‌دار در منطقه باشد.

## منابع

- ۱) آقناباتی، س.ع.، (۱۳۸۵)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران،
- ۲) احمدی، ع.، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره‌ای و ژنز کانسارهای آهن منگن‌دار جنوب شرق تربت حیدریه"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس،
- ۳) امامعلی پور، ع.، (۱۳۸۴)، "بررسی ژئوشیمی، کانی‌شناسی و منشأ کانسار منگنز صفو (جنوب باختر ماکو)،" نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران،
- ۴) امامعلی پور، ع.، (۱۳۸۸)، "بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های منگنز-آهن در تهنسست-های افیولیتی شمال چالدران، شمال باختر ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هجدهم، شماره ۱، ص ۳ تا ۱۴
- ۵) امیری، ع.، (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی در کانسار منگنز رباط کریم، جنوب غرب تهران"، دانشگاه تربیت مدرس تهران،
- ۶) باقرزاده، ز.، موسیوند، ف.، صاقیان، 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 زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور،
- ۷) بدخشان ممتاز، ق.، بنی‌آدم، ف.، (۱۳۷۷)، گزارش مطالعات اکتشافی چکشی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور،
- ۸) برنا، ب.، (۱۳۷۰)، گزارش اکتشافات مقدماتی منگنز در ناحیه کاشمر بر روی کانسارهای منگنز زیروقت، سبندو و بند قرا، طرح سراسری پی‌جویی منگنز سازمان زمین‌شناسی کشور، ص. ۱۰۴
- ۹) بنیادی، ز.، (۱۳۷۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز نارینگان، بافق، استان یزد"، دانشگاه شیراز
- ۱۰) تقی‌زاده قورولی، س.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۲)، "مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی (REE) و خاستگاه کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار" سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- ۱۱) جعفریان، م.، جلالی، ی.، (۱۳۷۷)، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششم. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
- ۱۲) دولت‌خواه، رسول، (۱۳۸۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "رخداد کانه‌زایی منگنز در توالی ولکانیکی-رسوبی در شمال شرق طالقان"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس،
- ۱۳) روزبه کارگر، س.، قمیان، ی.، (۱۳۷۷)، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

- و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار)، گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم باشتین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۱۴) طاطاوسیان، ش، زهره بخش، ا، سهندی، م، حسینی، م، (۱۳۷۸)، نقشه مین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سبزوار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۱۵) عشق‌آبادی، پ، (۱۳۷۷)، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار)، گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم سلطان‌آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۱۶) فردوست، ف، (۱۳۷۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه زمین‌شناسی و ژنز کانسار منگنز و نارچ قم"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم،
- ۱۷) فرهادی، رضا، (۱۳۷۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه زمین‌شناسی و آنالیز رخساره و ژنز کانسار آهن منگن‌دار شمس‌آباد اراک"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس،
- ۱۸) قاسمی، ح، جمشیدی، خ، (۱۳۹۰)، "ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازی‌قلیایی در قاعده سازند شمشک، زون البرز شرقی" مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۴، ص ۶۹۹ تا ۷۱۴.
- ۱۹) قنبری طرقله، م، مقدسی، س، (۱۳۸۹)، "زمین‌شناسی کانسار منگنز چشمه‌سفید سبزوار"، استان خراسان رضوی. چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.
- ۲۰) مجیدی، ج، خبازنیا، ر، (۱۳۷۷)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزوار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲۱) مسعودی، م، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز بنسبرد در جنوب غرب سبزوار"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات،
- ۲۲) مغفوری، س، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی‌زایی مس در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار، با تأکید بر کانسار نوده"، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس،
- ۲۳) نصرالهی، ع، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه زائی منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار، با تأکید بر کانسار منگنز نوده" زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود.



۲۴) 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 زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲۵) نصیری، ف، لطفی، م، جعفری، م، (۱۳۹۰)، "مطالعات کانی‌شناسی بر روی ذخیره معدنی منگنز همایی جنوب باختری سبزوار،" سی و مین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲۶) وحدتی دانشمند، ف، ندیم، ه، (۱۳۷۷)، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ دارین. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.

۲۷) وطن‌پور، ح، خاکزاد، ا، قادری، م، (۱۳۸۸)، "کاربرد عناصر گروه پلاتین (PGE) در اکتشاف و ارزیابی اقتصادی در کانسارهای کرومیت کمربند افیولیتی سبزوار" فصل نامه علوم زمین، شماره ۷۱.

## Refrence

- 1) Agard, P., Jolivet, L., Vrielynck, B., Burov, E., and Monie, P., (2007) "Plate acceleration: the obduction trigger?" *Earth Planet. Sci. Lett.*, 258, 428-441.
- 2) Agard, P. Omrani, J. Jolivet, L. Whitechurch, H. Vrielynck, B. Spakman, W. Monie, P. Meyer, B. Wortel, R. (2011) "Zagros orogeny: a subduction-dominated process" *Geol. Mag*: pp 1 of 34.
- 3) Alavi, M. (1991) "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran" *Geological Society of America Bulletin* 13, pp 983- 992.  
and Stratiform Ore Deposit" Elsevir, V. 7, pp 355- 476.
- 4) Arvin, M. Pan. Y. Dargahi. S. Malekizadeh. A. and Babaei. A. (2007) "Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: implications for initiation of Neotethys subduction" *J. Asian Earth Sci.* 30, pp 474- 489.
- 5) Arvin, M., Robinson, P.T., (1994) "The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic Melange, southwest of Kerman, Iran. *Canadian journal of Earth Sciences*, 31, P 824-834.
- 6) Bagheri. S. and Stampfli, G.M., (2008) "The Anarak, Jandaq and Phoshte- e-Badam metamorphic complex in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications" *Tectonophysics*, 451, pp 123- 155.
- 7) Barnes. H. (1979) "Solubilities of ore minerals. in Barnes" H. eds. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York. NY. Wiley.* pp 404-460.
- 8) Baroz. R. Macaudiere. J. Montigny. R. Noghreyan. H. Ohnenstetter, M. and

- Rocci. G. (1984)". Ophiolites and related formations in the central part of the Sabzevar range (Iran) and possible geotectonic reconstructions" Neues J. Geol. Palaont. Abh, 168, pp 358– 388.
- 9) Barrett, T.J., and MacLean, W.H. (1994): Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks, in Alteration and Alteration Processes, Lentz, D.R. ed.; Geological Association of Canada, Short Course Notes, Volume 11, p. 433-467.
  - 10) Barrett, T.J., and MacLean, W.H. (1999): "Volcanic sequences, Litho geochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic associated massive sulfide systems, in volcanic associated massive sulfide deposits": processes and examples in modern and ancient setting, C.T. Barrie and M.D.Hannington eds, society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume8, pages 101-131
  - 11) Berberian. F. and Berberian. M.( 1981)" Tectono- plutonic episodes in Iran. In: Zagroz– Hindu Kush– Himalaya Geodynamic Evolution" (H.K. Gupta and F.M. Delany. Eds). pp 5–32. American Geophysical Union & Geological Society of America. Washington.
  - 12) Berberian. M. and King. G.C.P.( 1981)" Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran" Can. J. Earth Sci. 18, pp 210–265.
  - 13) Besse. J. Torcq. F. Gallet. Y. Ricou, L.E. Krystyn, L. and Saidi. A. (1998)" Late Permian to late Triassic Paleomagnetic data from Iran: constraints on the migration of the Iranian block through the Tethyan ocean and initial destruction of Pangea" Geophys. J. Int., 135, pp 77– 92.
  - 14) Bonatti. E. (1975)" Metllogenesis at oceanic spreading centers. Annu Rev earth Planet Sci" Vol 3, pp 401-431.
  - 15) Bonatti. E. Kraemer. T. Rdell. H. (1972)" Classification and genesis of submarine iron- manganese deposits" Washington. D. C. National Science
  - 16) Bonatti. E. Zerbi. M. Kay. R. and Rydell. H. (1976)" Metalliferous Deposits from the Apennine Ophiolites: Mesozoic Equiva-lents of Modern Deposits from Oceanic Spreading Centers" Bull. Geol. Soc. Am. vol. 87, pp 83–94.
  - 17) Bostrom, K., (1974) " The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments" , Stockholm Contributions to Geology, 27: 149- 243 p.
  - 18) Brookins D. G. (1988)" Eh–pH Diagrams for Geochemistry" Springer–Verlag. Berlin. 176 pp.
  - 19) Brusnitsyn. A.I. Zhukovb. I. G. and Kuleshovc. V. N. (2009)" The Bikkulovskoe Manganese Deposit (South Urals): Geological Setting, Composition of Metalliferous Rocks, and Formation Model, Lithology and Mineral Resources" Vol. 44, No. 6, pp 557–578.
  - 20) Brusnitsyn. A.I. and Zhukov. I.G. (2005)" The South Faizuly Manganese Deposit in the Southern Urals: Geology. Petrography. and Formation Conditions" Litol. Polezn. Iskop., vol. 40, no. 1, pp. 35–55
  - 21) Choi. j. H. And Hariya Y. (1992)" Geochemistery and depositional environment of Mn oxid deposits in the Tokoro belt. northeastern Hokkaido. Japon"

- Economic Geology. Vol. 87 pp 1265-1274.
- 22) Craven. S.J., (1988)" Rare earth element mobility around the volcanogenic polymetallic massive sulfide deposit at Que River, Tasmania, Australia: Chemical Geology, v. 68, p. 105-119.
  - 23) Crerar. D. A., Namson. J. Chyi. M. S. Williams. L. Feigenson. M. D. (1982)" Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage: I. General geology, ancient and modern analogues, and implications for the hydrothermal convection at oceanic spreading centers" Economic Geology, V. 77, Pp 519–540.
  - 24) Cronan, D.S., (1980) " Underwater Minerals. Academic press. Press, 362 p.
  - 25) Davoudzadeh. M. (1972)" Geology and petrography of the area north of Nain, central Iran" Geological Survey of Iran. Rep.
  - 26) Dekov. M. and Vesselin Savelli. C. (2004)" Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: an overview of 30 years of research" Marine geology, Vol 204, pp 161-185.
  - 27) Fotoohi Rad. G.R. Droop. G.T.R. and Burgess. R. (2009)" Early Cretaceous exhumation of high- pressure metamorphic rocks of the Sistan Suture Zone, eastern Iran" Geol. J., 44, pp 104–116.
  - 28) Freiberg, D.A., (1983) "Geologic setting and arigin of the Lucifer manganese deposit, Baja California sur, Mexico, Econ. Geol., 78, 931-943 P.
  - 29) Gavrilov. A. A. (1972)" Exhalation Sedimentary Manganese Ore Deposition. Ekskalyatsionno-osadochnoe rudonakoplenie margantsa Moscow: Nedra,
  - 30) Gerdes. A. (2009)" Zircon formation versus zircon alteration – New insights from combined U- Pb and Lu-Hf in- situ La- ICP- MS analyses of Archean zircons from the Limpopo Belt. Chem" Geol., 261, pp 230–243.
  - 31) Ghasemi. A. and Talbot. C. J. 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)" J. Asian Earth Sci, 26, pp 683–693.
  - 32) Glassby, G. P., (1997) "Fractionation of manganese from iron in Arcean and Proterozoic sedimentary ores" In: Nicholson, K., Hein, J. R., Buhn, B., Dasgupta, S. (eds), (1997). Manganese Mineralization: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine Deposits. Geol Soc Special Publication. Vol 119, pp 29-42
  - 33) Goldberg, E.D., Loide, M., Schmitt, R.A., Smith, R.H., (1973) "Rare earth distribution in the marine environment" Journal of Geophysical, 68, 4209-4217 P.
  - 34) Gradstein, F.M ; Agterberg, F.P; Ogg, G; Hardenbol, J; Van Veen, P; Thierry, J and Huang, Z (1995) " A Triassic, Jurassic, and Cretaceous time scale". SEPM special publication 54
  - 35) Grill. E. V. (1982)" Kinetics and thermodynamic factors controlling manganese concentration in anoxic waters, Geochimica et Cosmochimica Acta" V. 40, pp 233–240.
  - 36) Guilbert H. M. and Park. C. F. (1997)," The geology of ore deposits," W. H. Freeman, pp. 985.
  - 37) Guilbert, J.M., and Park, C.F., (1986) "The geology of Ore deposits, W.H.

Freeman, New York, 987 P.

- 38) Hein, J. R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J. K., Robert, L., (2000) "Cobalt- rich ferromanganese crusts in the Pacific, in: Cronan, D.S (Ed.), Handbook of Marine Mineral Deposits". CRC Press, Boca Raton, FL, pp 239-179.
- 39) Hein. J. (1997)" From Nicholson. K. Hein. J. R. Buhn. B. & Dasgupta. S. (eds) Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of terrestrial and marine deposits" Geological society special publication No.119, pp 123-138.
- 40) Hem. J. D. Lind. C. J. (1983)" Nonequilibrium models for predicting forms of precipitated manganese oxides, Geochimica et Cosmochimica Acta" V. 47, pp 2037–2046.
- 41) Henderson. P., (1994) " The Rare earth elements: introduction and review" In : Jones. A.P., Editor, 1996, Rare Easte Minerals: Chemistry, Origin and Ore Deposits, Chapman and Hall, 1-17 p.
- 42) Heshmatbehzadi. K., Shahabpour. J., (2010) " Metallogeny of Manganes and Ferromanganes ores in Baft ophiolitic mélange, Kerman, Iran". Australion journal of basic and Applied sciences, 4(2): 302-313.p
- 43) Joseph, L., Graf, J.R.,(1977) "Rare earth elements as hydrothermal tracers during the formation of massive sulfide deposits in volcanic rocks" Economic Geology, v. 72, n.4, 527- 548 p.
- 44) Karakus. A., Yavuz. B., Koc. S. (2010) " Mineralogy and major trace element geochemistry of the Haymana manganese Mineralization, Ankara, Turkey" Geochemistry International, 48: 1014.
- 45) Kaufman, A .(1969) "Concentration of surface ocean water, Geochim". Cosmochim. Acta, 33: 717-724.
- 46) Kheraskov. N. P. (1951)" Geology and Genesis of Manganese Deposits in Eastern Bashkiria. Voprosy litologii stratigrafii SSSR. Pamyati akademika A. D. Arkhangel'skogo (Problems of Lithology and Stratigraphy of the USSR" In memory of Academician A.D. Arkhangel'skii), Moscow: Akad. Nauk SSSR, pp 47–65.
- 47) Kim, S.J., (1984) "Syngenetic and epigenetic textures of manganese oxide Ores in supergen weathering zone" in: Wausch Kuhn, A., Kluth, C. and Zimmermann, R.A., eds., Syngenesist andepigenesis in the formation of mineral deposits, Springer- Verlag, p.11-17.
- 48) Klinkhammer, G.p., Elderfield, H., Edmond, J.M., Mitra, A., (1994) "Geochemical implication of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid- ocean ridges. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol,58, 5105-5113P.
- 49) Klinkhammer. G. P. Bender. H. L. (1980)" The distribution of manganese in the Pacific Ocean. Earth and Planetary Science Letters" V. 46, pp 361–384.
- 50) Koc .S., Ozmen. O., Oksuz. N., (2000) "Geochemistry characteristic of Kasimaga (Keskin-Kirikkale) manganese oxide mineralization". Mineral

- Research and Exploration magazine, 122: 107.
- 51) Kuleshov. V. N. (2011) "Manganese Deposits: Communication 1. Genetic Models of Manganese Ore Formation" *Lithology and Mineral Resources*, V. 46, No. 5, pp 473- 493.
  - 52) Lagast, J., (2009) "Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from olkaria domes geothermal field, Kenya" .....
  - 53) Lindenberg. H. G. Gorler. K. Ibbeken, H. (1983) "Stratigraphy, structur and orogenetic evolution of the Sabzevar zone the area of Oryan Khorasan, NE, Iran" *GSI, Rep. NO. 51*, pp 120-142.
  - 54) Lottermoser. B. G.,(1992) " Rare earth element and hydrothermal ore formation processes" *Ore Geology reviews*, 7, 25-41.
  - 55) Machamer, j. f., (1987) "A Working classification of manganese, Min" *Mag.*, 157.
  - 56) Maynard. J. B. (1983) "Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits" Springer, New York, pp 305.
  - 57) McCall. G. J. H. (1997) " The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran" *J. Asian Earth Sci.*, 15, 517– 531.
  - 58) Meschede, M., (1986) "A method of discriminating between different type of mid ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb- Zr- Y diagram. *Chem. Geol.*, 56, 207- 218.
  - 59) Mills. R. A. Eldefield. H. (1995) " Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG mound. 26 N Mid Atlantic Ridge" *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 3511-3524.
  - 60) Moghadam, H. S., Whitechurch, H., Rahgoshay, M. and Monsef, I., (2009) "Significance of the Nain-Baft ophiolitic belt (Iran); short-lived transtensional Cretaceous back- arc oceanic basins over the Tethyan subduction zone. *G. R. Geoscience*, Doi: 10.1016/ j. crte. 2009.06.011 (in press).
  - 61) Mosier. D. L. and Page. N. J. (1988) " Descriptive and Grade-Tonnage Models of Volcanogenic Manganese Deposits in Ocean Envi- ronments A modification" *US Geol. Surv. Bull.*, no. 1811.
  - 62) Murray, J. W., Dillard, J. G., Giovanoli, R., Moers, H., Stumm, W., (1985) "Oxidation of Mn(II): initial mineralogy, oxidation state and ageing, *Geochimica et Cosmochimica Acta*" V. 49, P. 463–470.
  - 63) Nagarajan, E., (2007) " Geochemistry of Neoproterozoic shales of the Rabanpalli Formation" *Bhima Bassin, Northern Kamataka, southern India: implications for provenanxe and paleoredox conditions, Revista Mexicana de Ciecia Geologicas*, v. 24, p. 150- 160.
  - 64) Nakamura, N., (1974)"Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 757-775.
  - 65) Nath, B.B., Pluger, W.L., Roelandts, I., (1997) " Geochemical constraints on the hydrothermal origin of ferromanganese incrustation from the Rodriguez triple junction, Ocean" In: Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., Dsgupta, S. (Eds), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mireralogy of Terrestrial*

- and Marine Deposits. Geological Society London, (Special Publication 119), pp: 199-21.
- 66) Nicholson. K. (1992a)" Contrasting mineralogical–geochemical signatures of manganese oxides: Guides to metallogenesis" *Economic Geology*, V. 87, pp 1253–1264.
- 67) Nicholson. K. (1992b)" Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo–Ocean–spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary" *Economic Geology*, V. 87, pp 1301–1309.
- 68) Nicholson. K. Hein. J. R. Bühn, B. Dasgupta. S. (editors). (1997)" Manganese Mineralization: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine Deposits, pp 532.
- 69) Omrani. J. Agard. P. Whitechurch. H. Benoit. M. Prouteau. G. and Jolivet. L. (2008)" Arc- magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains. Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences" *Lithos*, 106, pp 380–398.
- 70) Ostwald, J., (1988) "Mineraogy of the Groote Eylandt manganese oxide" a review, *Ore Geol. Rev.*, 4, 3-45P.
- 71) Pearce, J. A., and Parkinson, I. J., (1996), Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: Prichard, H.m., Alabaster, T., Harris, N.B.W., Neary, C.R. (eds.), *Magmatic Processes in Plate Tectonics*, 79, Geological Society of London Special Publication, 373-403.
- 72) Pearce, J.A.,(1979) " The role of subcontinental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins". In *continental basalts and mantle xenoliths*, C,S. Hawksworth and M.J. Norry (Eds). 230- 249p.
- 73) Pederson, T.F., and Price, N.B., (1982) "The geochemistry of manganese carbonate in Panama Basin Sediment" *Geochim. Acta*, 46, 56-68 P.
- 74) Peter, J. M., Scott, S.D., (1999) "Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie" *Society of Economic Geologists*, V. 8.
- 75) Piercey, S., (2011) "The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits, *Miner Deposita*, 46: p.449-471.
- 76) Pearce, J.A. and Noory, M.J.(1979): *Petrogenetic implication of Ti,Zr,Y and Nb variation in volcanic rocks; cotributions to mineralogy and petrology*, volume 69, page 33-47.
- 77) Reagan, M.K., and Gill, J.B., 1989, Co-existing calc-alkaline and high niobium basalts from Turrialba volcano, Costa Rica: implication for residual titanites in arc magma source, *Journal of Geophysical Research* 94, 4619-4633 P.
- 78) Robaszynski, F., Caron, M., 1979. *Atlas de foraminiferes planctoniques du Cretace moyen (Mer boreale et Tethys)*. Cahiers de Micropaleontologie (Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris), part 1, pp. 1-185; part 2, pp. 1-181.
- 79) Rollinson, H. R., (1993) "Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. London, UK. 625 P.

- 80) Rona, P. A. (1980) "Hydrothermal manganese deposits of Mid Atlantic ridge crest (Latitude 21°N), in: Varentsov, I.M. and Grasselly, G. eds. *Geology and geochemistry of manganese*. Stuttgart Schweizerbart. V. 3. P. pp 195- 210.
- 81) Rossetti, F. Nasrabad, M. Vignaroli, G. Theye, T. Gerdes, A. Razavi, M. and Moin Vaziri, H. (2010) "Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran" *Terra Nova*, v 22, pp 26- 34.
- 82) Roy, S., (1980) "Genesis of sedimentary manganese formation: processes and products in recent and older geological age" Varentsov, I.M. and Grasselly, G., eds., *Geology and geochemistry of manganese*, Stuttgart Schweizerbart, sche Verlag, Vol.2, 13-44 P.
- 83) Roy, S., (1992) " Environment and processes of manganese deposition" *Econ. Geol.*, 87, 1215-1236 P.
- 84) Roy, S. (1981) "Manganese Deposits. Academic Press London. Pp 485.
- 85) Roy, S. (1968) " Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits" *Economic Geology*. V. 63, P. 760–786
- 86) Saunders, A. D., Tarney, J., (1991), Back arc basins. In: Floyd, P. A. (Eds), *Oceanic Basalts*, Blackie and son Ltd., 219- 263.
- 87) Sengor, A. M. C. Altiner, D. Cin, A. Ustaomer, T. and Hsu, K. J. (1988) "The origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expenses of Gondwana land. In: *Gondwana and Thethys* (M.G. Audley- Charles and A. Hallam ed.)" *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 37, pp 119–181.
- 88) Shah, M, T., Moon, C.J., (2004) "Mineralogy, geochemistry and genesis of the ferromanganese ores from Hazara area, NW Himalayas, northern Pakistan" *J. Asian Earth Sci.* 23, 1-15.
- 89) Shah, M.T., Moon, C.J., (2007) "Manganese and ferromanganese ore from different tectonic setting in the NW Himalayas, Pakistan" *J. Asian Earth Sci.* 29, 455-465.
- 90) Shelly, N., David, L.(1992) "igneous and metamorphic rocks the microscope: Classification Texture, microstructures and mineral preferred orientation, Chapman and Hall publication.
- 91) Shojaat, B. Hassanipak, A. A. Mobasher, K. and Ghazi, A. M. (2003) " Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite. North Central Iran" *J. Asian Earth Sci.*, 21, pp 1053– 1067.
- 92) Sinisi, R., Mameli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., (2012) "Different Mn-ores in a continental arc setting: Geochemical and mineralogical evidences from Tertiary deposits of Sardinia (Italy)" *Ore Geology Reviews*, Sci 47 p. 110-125
- 93) Snell, F.D., and Etter, L.S., eds., (1972) "Encyclopedia of industrial chemical analysis, John Wiley, p. 574
- 94) Spry, P.G., Peter, J.M., Slack, J.F.,(2000) "Meta- exhalites as exploration guides to ores" *Reviews in Economic Geology*, V.11, 168- 201 P.
- 95) Stampfli, G. M. and Borel, G. D. (2004) "A plate tectonic model for the



- Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth Planet Sci. Lett.* 196, 17-33.
- 96) Starikova. E. V. (2001) " Behavior of Iron and Manganese in Hydrothermal Sedimentary Prozesse: Analysis of Natural and Calculation Data. in *Metallogeniya drevnikh i sovremennykhokeanov - Istoriya mestorozhdenii i evolyutsiya rudoo brazovaniya (Metallogeny of Ancient and Modern Oceans - 2001: History of Deposits and Evolution of Mineralization)*" Miass: Inst. Miner. Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2001, pp 71–77.
  - 97) Stumm. W. Giovanoli. R. (1976) " On the nature of particulate manganese in simulated lake waters, *Chimia*" V. 30, pp 423–425.
  - 98) Suess, E., (1979) " Mineral phases found in anoxic sediment by microbial decomposition of organic mater, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34: 339-352 p.
  - 99) Sugisaki. R. (1984) " Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean–floor sediments deposited since the middle Cretaceous: basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments" *The Journal of Geology*, V. 92, pp 235–259.
  - 100) Sun. S.S., McDonough.W.F., (1989) " Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts" implication for mantel composition and processes. In: saunders A.d., Norry. M. J. (Eds). *Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc.Spec. publ.*, London,313 p.
  - 101) Titley, S.R., and Bean, R.F., (1981) "Porphyry coppers deposits" *economic geology*, 75, P, 214- 269.
  - 102) Toth. J. R. (1980) " Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron, *Geol. Soc" Am. Bull.*, Pt. I, 91: pp 44-54.
  - 103) Tucker, M. E., (1994) "Sedimentray petrology (an introduction to the origin of sedimentary rocks)" 2Ed, Blackwell Scientific Publ., London. 252 p.
  - 104) Usui. A. Someya. M. ( 1997) Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific" *Geol. Soc. Spec. Pub.*, V. 119, pp 177–198.
  - 105) Varentsov, I.M., (1964) "Sedimentary manganese ores" Elsevier, 119 P.
  - 106) Varentsov. I. M. Veinmarn. A. B. Rozhnov. A. A. et al. (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.*, vol. 28, no. 3, pp 56–79.
  - 107) Von Stackelberg. (1997) " Growth history of manganese nodules and crusts of the Peru Basin." *Geological Society, Special Publication*, London, 119: 153p.
  - 108) 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, V. 1, pp 335–351.
  - 109) Winter. L. Tosda. R. Mortensen. J. Franklin. J. 2009. Volcanic Stratigraphy and geochronology of the Cretaceous Lancones basin. Northwestern Peru: position and timing of giant VMS deposit" *Economic Geology*, vol 105, pp 713-742.

- 110) Wood, D.A., 1980, The application of a Th- Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and planetary Science Letters* 50, 11-30.
- 111) Xu, Q., Song, X., (1995) " Trace and rare earth geochemistry of host rock from VHMS deposit, in NW china, in pasava, Kribek and Zak, mineral deposits, Blakema Rotterdam, p. 249- 252.
- 112) Yeats, P.A., Sundby, B., and Bowers, J. M., (1979) "Manganese recycling in costal waters, *Marine Chem.*, 8, 43-55 P.
- 113) Yu. G. (1990)" Processes of formation of iron-manganese oxy-hydroxides in the Atlantis –II and Tethys deeps of Red Sea" *Spec. Pubs int. Ass. Sediment. II*,

**Abstract:**

The Zakeri manganese deposit is located 95 km southwest of Sabzevar, in Sabzevar structural-sedimentary subzone, and occurred within upper part of the late Cretaceous volcano-sedimentary sequence. This sequence hosts two mineralized horizons, the lower horizon has red tuff host rock, and the upper horizon is hosted by calcareous tuff and limestone. The Zakeri manganese ore deposit is situated in the upper horizon.

At the Zakeri manganese deposit, based on structure, texture, mineralogy and the relationship between ore with the host rocks; four ore facies can be recognized: vein-veinlets (stringer), brecciated, massive and bedded. The massive facies has the highest thickness and grade, and is minable. Based on electron probe micro analysis (EPMA), X-ray diffraction (XRD) and mineralogical studies, the deposit contains pyrolusite, psylomelane, hollandite, manganite, todorokite, rodochrosite and braunite ore minerals; and gangue minerals include calcite, chlorite, clay minerals and quartz. Dominant alterations at Zakeri manganese ore deposit include chloritic-carbonatic, argillic and silicic alterations. Argillic and silicic alterations are found mainly at the vein-veinlet and brecciated facies, enveloped by chloritic-carbonatic alteration. The ore textures at this deposit mainly include massive, banded, brecciated, disseminated, open-space filling, and replacement. The study of fossil remains at the microscopic sections shows that the deposit has been formed in a deep and calm environment. Igneous rocks in the region mainly have tholeiitic nature and have dacitic, andesitic and andesite-basaltic compositions, deposited at a back-arc settings.

High ratios of Mn/Fe, La/Ce, U/Th, and Si/Al; low ratios of Co/Zn; and low content of Trace metals, particularly Co, Cu and Ni; low contents of rare earth elements (REE) (especially Ce and Eu), and high values of SiO<sub>2</sub>, Mn and Fe in the ores, are evidences of manganese deposition from hydrothermal-exhalative fluids within a submarine environment. On the other hand, the role of hydrogenic processes in formation of this deposit has been insignificant. The REE pattern of the studied ores shows a hydrothermal-exhalative origin and oxidized depositional marine environment for the deposit. The Zakeri deposit, based on its comparison with different type of volcano-sedimentary manganese deposits, shows the most similarities to the Cuban-type deposits, in many characteristics such as geometry, host and associated rock-types, textures and structures, mineralogy, alteration and geochemistry.

**Key words:** Manganese, Volcano-sedimentary, Cuban type, Upper Cretaceous, Zakeri, southwest Sabzevar.





Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Title:

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Zakeri Mn deposit, Southwest of Sabzevar**

By :

**Somayeh Taghizadeh Ghoroli**

Supervisor:

**Dr. Fardin Mousivand**

Consultant:

**Dr. Habiballah Ghasemi**

Date:

**2014-06**