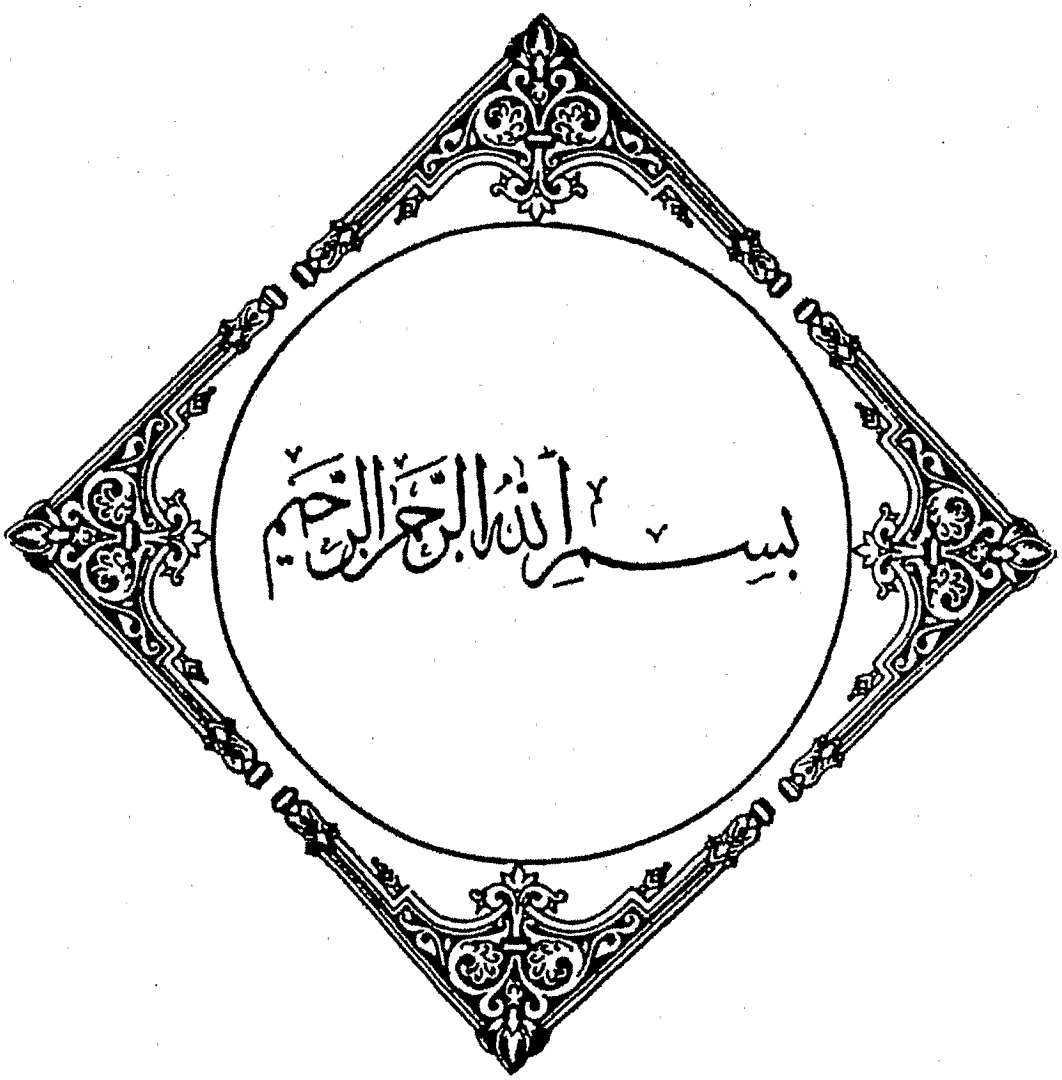

١٠٧٨٢٣

۸۷/۱/۱۰۰۹۶۹
۸۷/۱۰/۲۴

وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده علوم زمین
گروه زمین شناسی

رساله جهت اخذ درجه دکتری Ph . D
زمین شناسی اقتصادی

عنوان :
کانی شناسی ، ژئوشیمی و ساختار کانسارهای کرومیت در افیولیت های شمال غرب سبزوار و ارائه مدل اکتشافی آنها

اساتید راهنما:
دکتر احمد خاکزاد
دکتر مجید قادری

اساتید مشاور:
دکتر منصور وثوقی عابدینی
دکتر سید احمد علوی

نگارنده:
حمید رضا وطن پور

نیمسال دوم سال تحصیلی ۸۷ – ۸۶

۱۳۸۷/۱۰/ - ۵

۱۰۷۸۳۳

بسمه تعالی

وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم زمین

گروه آموزشی زمین شناسی

تأییدیه دفاع از رساله دکتری

این رساله توسط آقای **حمیدرضا وطن پور** دانشجوی دوره دکتری رشته **زمین شناسی - اقتصادی** تحت عنوان : **کانی شناسی ، ژئو شیمی و ساختار کانسارهای کرومیت در افیولیت های شمال غرب سبزوار و ارائه مدل اکتشافی آنها** در تاریخ **۱۳۸۷/۳/۱۹** مورد دفاع قرار گرفت و براساس رأی هیأت داوران با نمره ۱۸٫۲۰ و درجه عالی پذیرفته شد .

استاد راهنما آقای دکتر **احمد خاکزاد**

استاد راهنما آقای دکتر **مجید قادری**

استاد مشاور آقای دکتر **منصور وثوقی عابدینی**

استاد مشاور آقای دکتر **سید احمد علوی**

داور از دانشگاه آقای دکتر **ایرج رساء**

داور از دانشگاه آقای دکتر **سعید علیرضائی**

داور خارج از دانشگاه آقای دکتر **عبدالمجید یعقوب پور**

داور خارج از دانشگاه آقای دکتر **فیروز علی نیا**

تقدیم به:

پدر و مادرم که از هستی خود به من بخشیدند،
همسر و فرزندانم،مرجان و مروارید، که صبورانه مرا یاری کردند،
اساتید ارجمندم که چراغ راهم بودند

و

همه عزیزانی که همواره از من می پرسیدند:
چند فصل دیگر باقی مانده است؟

تشکر و سپاس

آنچه به گل سرخ ارزش داده است، عمری است که باغبان به پایش صرف کرده است.

شایسته است از عمری که اساتید ارجمندم در تحقق اهداف این رساله صرف کرده اند، به شمار ثانیه های آن صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم .

از اساتید ارجمندم آقایان دکتر احمد خاکزاد و دکتر مجید قادری که راهنمائی پایان نامه را بر عهده داشتند و به حق هدایت عالمانه ایشان چراغ راه اینجانب بوده و هست کمال تشکر و قدر دانی را دارم؛ همچنین از اساتید محترم مشاور، آقایان دکتر احمد علوی و دکتر منصور وثوقی عابدینی که دلسوزانه و مدبرانه در به ثمر رسیدن این تحقیق تلاش نمودند بسیار ممنونم .

از مسئولین محترم دانشگاه شهید بهشتی تهران ودانشکده علوم زمین به ویژه معاونت محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده، جناب اقای دکتر پورمعافی، صمیمانه متشکرم؛ همچنین از کلیه اساتید ارجمند گروه زمین شناسی این دانشکده به ویژه ریاست محترم گروه زمین شناسی، جناب اقای دکتر پورکرمانی و آقایان، دکتر آدابی، دکتر رهگشای و دکتر بهزادی به خاطر مساعدت های بسیارشان سپاسگزارم و از خانم ها یزدانفر، کارشناس محترم تحصیلات تکمیلی و علائدینی مسئول دفتر گروه زمین شناسی تشکر ویژه دارم .

از اساتید ارجمند، آقایان دکتر رسا، دکتر علیرضایی، دکتر یعقوب پور و دکتر علی نیا که با مطالعه دقیق و ارائه نظرات سازنده و مفید، بر ارزش علمی این تحقیق افزودند، بسیار متشکرم.

از ریاست محترم دانشگاه فردوسی مشهد جناب اقای دکتر عاشوری و اساتید ارجمندم در گروه زمین شناسی این دانشگاه به ویژه جناب آقای دکتر خسرو ابراهیمی که محبت های برادرانه ایشان را هرگز فراموش نخواهم کرد، صمیمانه قدردانم و همچنین از اساتید فرهیخته، آقایان، دکتر حیدریان، دکتر موسوی حرمی، دکتر نجفی، دکتر غفوری، دکتر مظاهری، دکتر قائمی، دکتر رحیمی، دکتر رزم آرا، دکتر وحیدی نیا و دکتر کریم پورکه دیر زمانی است از محبت های آنان بهره مندم، صمیمانه سپاسگزارم.

از اساتید محترم گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد مشهد، مخصوصا آقایان دکتر آریائی، دکتر ولی پور و مهندس سعادت به خاطر مساعدت های بی دریغشان متشکرم.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر علیجان آفتابی در دانشگاه شهید باهنرکرمان که به حق بنیانگذار این تحقیق می باشند صمیمانه قدردانم .

از مسئولین محترم موسسه تحقیقاتی پرطاووس مشهد مخصوصا جناب آقای دکتر عباس یوسفی مدیرعامل محترم به خاطر انجام آنالیزهای نقطه ای و مطالعات میکروسکوپ الکترونی بسیار ممنونم.

از مدیریت و کارشناسان محترم سازمان زمین شناسی شرق ایران، مخصوصا آقای مهندس مجیدی که در تهیه نقشه دیجیتالی منطقه، بنده را بسیار یاری فرمودند تشکر می کنم .

از جناب آقای مهندس پورمند ، دوست و همکار عزیزم در موسسه تحقیقاتی کانساران بینالود که در تمامی مراحل به ویژه تهیه مقاطع، آنالیزهای شیمیائی و ارسال نمونه ها به خارج از کشور، همراه اینجانب بودند، سپاسگزارم .

از سرکار خانم مریم پردل که با صبر و حوصله فراوان کار تایپ و ویراستاری رساله را بر عهده داشتند تشکر می کنم .

و در خاتمه از تمامی عزیزانی که به نحوی اینجانب را مورد لطف قرار داده و مساعدت فرمودند، کمال امتنان و سپاس را دارم .

اقرار و تعهدنامه:

اینجانب ***حمید رضا وطن پور*** دانشجوی مقطع دکتری دانشگاه شهید بهشتی ، دانشکده علوم زمین ، گروه زمین شناسی ، رشته زمین شناسی، گرایش زمین شناسی اقتصادی, رساله حاضر را بر اساس مطالعات و تحقیقات شخصی خود انجام داده و در صورت استفاده از داده‌ها ، مآخذ ، منابع و نقشه‌ها به‌طور کامل به آن ارجاع داده‌ام ، ضمناً داده‌ها و نقشه‌های موجود را با توجّه به مطالعات میدانی - صحرائی خود تدوین نموده ام . این رساله پیش از این به‌هیچ‌وجه در مرجع رسمی یا غیر رسمی دیگری به‌عنوان گزارش یا طرح تحقیقاتی عرضه نشده است . در صورتی که خلاف آن ثابت شود ، درجه‌ی دریافتی اینجانب از اعتبار ساقط شده ، عواقب و نتایج حقوقی حاصله را می پذیرم .

تاریخ ۱۳۸۴/۱۰/۴

چکیده

نوار افیولیتی سبزوار به طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر در شمال خاوری ایران و در شمال و شمال باختری شهرستان سبزوار واقع است. این رشته از شمال به کوه های بینالود و از جنوب به گسل کویر محدود است. گستره مورد مطالعه در انتهای نیمه باختری این رشته قرار دارد.

واحدهای سنگی موجود در افیولیت سبزوار به طور کلی در دو گروه افیولیتی و غیر افیولیتی قرار می گیرند. مهمترین واحدهای افیولیتی؛ پریدوتیت های سرپانتینی شده، گابروها ، دیابازها و بازالت های اقیانوسی هستند که تقریبا در غلافی از سنگ های رسوبی، ولکانیکی – رسوبی و ولکانیکی با ترکیب آندزیت- داسیتی تا ریولیتی محصور شده اند. این واحدها عمدتا در سه محیط تکتونیکی شکاف میان اقیانوسی، محیط جزایر قوسی و محیط تصادمی تشکیل شده اند.

تشکیل و تکوین مجموعه افیولیتی با دو سیستم کششی اولیه و فشاری ثانویه مرتبط است. سیستم کششی در زمانی قبل از کرتاسه آغاز شده و در طول کرتاسه زیرین ادامه داشته است. سیستم فشاری در آغاز کرتاسه فوقانی شروع شده و تاکنون ادامه پیدا کرده است. این سیستم باعث تداوم فرورانش در تمام دورهٔ کرتاسه، آغاز ماگماتیسم حاصل تداوم فرورانش در قبل از پالئوسن، ولکانیسم های بازیک در ائوسن و در محیط جزایر قوسی و نهایتا تصادم قاره ها و تراست شدگی و بسته شدن حوضه در الیگوسن شده است. در این زمان با شدت یافتن فرآیند بالا آمدگی، رسوبات تخریبی نئوژن توسعه یافته است.

افیولیت سبزوار ویژگی های مشترکی از نوع HOT و LOT را نشان می دهد. در بخش باختری بیشتر شبیه HOT و در بخش خاوری مشابه LOT است. این افیولیت از نوع هیمالیایی محسوب می شود.

زمان گسترش پوسته اقیانوسی حدود ۴۰ میلیون سال بوده و این حوضه از وسعت زیادی برخوردار نبوده است.

بافت و ساخت های موجود در کرومیتیت ها به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می شوند. از مهمترین بافت و ساخت های اولیه می توان بافت پراکنده، واکنشی، تجمعی، مشبک، کرمی شکل، همرشدی، نودولار، اسکلتی، توده ای، نواری و لایه بندی متقاطع و از بافت و ساخت های ثانویه، بافت کششی و بودیناژ، کاتاکلاستیکی، میلونیتی، برشی، چین خورده، گسلیده و در نهایت بافت غنی شده و جزیره ای را نام برد. مطالعه روند تشکیل هریک از بافت ها و ارتباط آنها با یکدیگر در ردیابی، اکتشاف و پی جویی کانسارهای کرومیت بسیار با اهمیت است.

دو سیستم گسلی شامل گسلهای تراست عمیق در راستای تقریبی شرقی- غربی و گسلهای عادی و امتدادی در راستای تقریبی شمال- جنوب نقش اساسی در تکوین و شکل گیری کانسارهای کرومیت به حالت امروزی داشته اند.

مطالعات میکروسکوپ الکترونی و آنالیز نقطه ای نشان می دهند که کمترین عیار اکسید کروم در هسته کرومیت از نوع متراکم و بیشترین آن مربوط به هسته یک نودول کرومیتی است و میزان آهن از مرکز بلور به حاشیه آن افزایش دارد. این نتایج همچنین اغلب ترکیبات سولفیدی موجود در کرومیتیت ها را از انواع سولفور، سولفو آرسنیدها و آرسنیدهای نیکل، آهن، کبالت و مس معرفی می کنند. از مهمترین کانی های دارای این ترکیبات پنتلاندیت، براوئیت، میلیریت، آرسنوپیریت، کبالتیت ، نیکولین، کالکوپیریت، پیریت، پیروتیت و ژوزفنیت می باشند.

تصاویر ماهواره ای با ترکیب باند و رنگ متناسب در تفکیک واحدها، مشخص شدن گسل ها، تفکیک دگرسانی ها و تعیین نقاط با پتانسیل بالا برای کرومیت ارزشمند هستند. در این تصاویر محدوده های دگرسانی سرپانتینی دارای پتانسیل کرومیت به رنگ لاجوردی کاملا مشخص می باشند. از سایر دگرسانی های موجود می توان به انواع اسپیلیتی، کائولینیتی و پروپلتیک اشاره کرد.

کرومیت های سبزوار با عدد کرومی بیشتر از ۰/۶ از کرومیت های نوع آلپی بوده و جزو کرومیت های غنی از کروم با مصرف متالورژیک می باشند، در حالیکه کرومیت های نهبندان و زاهدان در نوع غنی از آلومینیوم قرار می گیرند.

کرومیت های غنی از کروم سبزوار نسبت به انواع غنی از آلومینیوم بیانگر درجهٔ ذوب بخشی بالاتر و ماگمایی تفریق نیافته هستند. در این کانسارها نسبت Ni/Co و Pd/Ir نیز پائین تر از نوع غنی از آلومینیوم است و پتانسیل بالای کروم و PGE قابل انتظار است.

با افزایش مقدار Cr_2O_3 در سنگ های پریدوتیتی مقدار Co, FeO و Al_2O_3 افزایش و در مقابل مقدار MgO ، Cl و SiO_2 کاهش نشان می دهند. این تغییرات می تواند در پی جویی کانسارهای کرومیت بکار گرفته شود.

اگرچه فاز سولفوری می تواند باعث تجمع عناصر Ni و PGE گردد، ولی در بسیاری از نمونه ها ارتباط منظمی میان گوگرد و این دو عنصر مشاهده نمی شود و مقدار Ni تنها به مقدار S بستگی ندارد.

ترکیب پریدوتیت های مشهد به وضوح با نوع مشابه خود در سبزوار و تربت حیدریه متفاوت بوده و دارای مقدار بیشتری پلاژیوکلاز است و ترکیب لرزولیتی دارای پلاژیو کلاز دارد. پریدوتیت های مشهد از نظر کانی زایی عقیم هستند. از نظر الگوی REE نیز این مجموعه با سایر پریدوتیت ها اختلاف زیادی دارد و نشان دهنده تأخیری بودن آنها نسبت به سایر پریدوتیت ها است.

شدت سرپانتینی شدن با ترکیب پریدوتیت ها و تمرکز PGE ارتباط منظمی نشان نمی دهد.

رسم الگوی REE واحدهای موجود در مقابل کندریت ها نشان دهنده ارتباط ژنتیکی گابروها، دیابازها و بازالت های میان اقیانوسی و حتی واحدهای جوانتر ولکانیکی داسیتی- ریوداسیتی با یکدیگر است. مقدار این عناصر در پریدوتیت ها و کرومیتیت ها از سایر واحدهای موجود پائین تر است. آنومالی مثبت Eu در اغلب واحدهای موجود مشاهده می شود.

افزایش مقدار Cl در اغلب نمونه ها با افزایش PGE همراه است. از این عنصر می توان به عنواد ردیاب برای پی جویی PGE و کرومیت استفاده کرد.

الگوی PGE در مقابل کندریت ها و پائین بودن Pd/Ir نشان دهنده ارتباط و مشابهت این مجموعه با کمپلکس های افیولیتی با پتانسیل بالا برای کروم و PGE است و اگرچه مقدار آن در نمونه های سطحی پائین است، ولی در مقایسه با کمپلکس های افیولیتی مشابه می توان انتظار داشت که PGE در افق های پائین تر چینه شناسی تمرکز یافته باشند.

با توجه به همسان و یکنواخت نبودن شرایط تشکیل در یک ناحیه وسیع با حجم زیاد ماگمای غنی از کروم، حداقل در سطح نمی توان انتظار کانسارهای وسیع و حجیم کرومیت را داشت.

الگوی PGE پریدوتیت ها نشان می دهد که این سنگ در بخش های زیرین منطقه میرمحمود بیشتر مشابه پریدوتیت های گوشته ای و در بخش های فوقانی منطقه گفت مشابه نوع تجمعی پوسته ای هستند و در واقع این ناحیه در زون انتقالی گوشته به پوسته اقیانوسی واقع است.

استفاده از نسبت های فلزی مخصوصا Cu/Ir در مقابل Ni/Pd برای تعیین جایگاه واحدهای موجود و پیش بینی ارزش اقتصادی آنها برای کروم و PGE بسیار مفید است. این مطالعات نشان می دهند که کرومیتیت ها در بخش غنی از کروم ولی فقیرتر از PGE قرار دارند و پریدوتیت ها در زون انتقالی گوشته به پوسته واقعند و حداقل در سطح از نظر PGE امید بخش نیستند. گرچه با توجه به سایر شواهد احتمال برجا گذاشته شدن PGE در اعماق بیشتر را نوید می دهند.

بررسی سیستماتیک عناصر از عمق به سطح در معدن گفت نشان می دهد که مقدار Ni/Co, Cl و Pd/Ir در لایه های کرومیت دار نسبت به پریدوتیت های مجاور کاهش و مقدار Al_2O_3, TiO_2 و PGE افزایش دارد. متوسط مقدار Cl از عمق به سطح در پریدوتیت ها و Al_2O_3 در کرومیتیت ها روند کاهشی دارند. مقدار Pd/Ir در پریدوتیت های فوقانی منطقه به شدت افزایش دارد که نشان دهنده تفریق شدید ماگمایی است. لایه های کرومیت فوقانی از Cr غنی تر هستند.

کرومیت های سبزوار حاصل تفریق بلورین ماگمایی تولئیتی، غنی از کروم که از ذوب بخشی درجه بالای گوشته به وجود آمده است می باشند. این ماگما در اطاقک های ماگمایی کوچکتر در بخش های فوقانی گوشته و نزدیک به زون گسترش و بخش های زیرین پوسته اقیانوسی در اطاقک های بزرگتر تفریق یافته و لایه های کرومیت توده ای، نودولار و پراکنده با همراهی کانی های الیوین و پیروکسن را تشکیل داده است. این لایه ها در مراحل بعدی در اثر پدیده های تکتونیکی و غیر تکتونیکی، چین خورده، گسلیده شده و تشکیل برشی با سیمان سرپانتینی به شکل امروزی داده است.

داده های ژئو فیزیکی و مخصوصا ژئو مغناطیسی نشان دهنده بالا بودن شدت میدان در توده های فوق بازیک بوده و مدل ارائه شده بر اساس این داده ها بر ساختار بلوک های تراست شده در منطقه منطبق است.

عناوین **صفحه**

مقدمه..... ۱

کلیات تحقیق..... ۱

فصل اول- زمین شناسی، سنگ شناسی واحدها و کانی شناسی

۱-۱ مقدمه..... ۵

۱-۲ موقعیت رشتهٔ افیولیتی سبزوار و جایگاه منطقه مورد مطالعه..... ۵

۱-۳ ساختار زمین شناسی و سنگ شناسی رشتهٔ افیولیتی سبزوار..... ۸

۱-۴ شرح واحدهای سنگی..... ۱۰

۱-۴-۱ واحدهای وابسته به مجموعه افیولیتی..... ۱۰

۱-۴-۱-۱ واحدهای هارزبورگیتی..... ۱۰

۱-۴-۱-۲ واحد دونیتی..... ۱۶

۱-۴-۱-۳ واحدهای گابرویی..... ۲۰

۱-۴-۱-۴ واحدهای سرپانتینیت..... ۲۰

۱-۴-۱-۵ واحد دیابازی..... ۲۲

۱-۴-۱-۶ واحدهای لیستونیتی..... ۲۴

۱-۴-۱-۷ واحدهای ولکانیکی..... ۲۴

۱-۴-۱-۸ واحد توده های نفوذی..... ۲۶

۱-۴-۱-۹ واحدهای رسوبی..... ۲۶

فصل دوم- ویژگی های افیولیت سبزوار و مقایسه آن با انواع افیولیت ها

۲-۱ مقدمه..... ۳۰

۲-۲ مقایسه افیولیت سبزوار با سه تیپ افیولیت موجود در جهان..... ۳۰

۲-۳ ویژگی های ساختمانی (تکتونیکی) افیولیت سبزوار و منطقه مورد مطالعه
(جمع آوری اطلاعات و مشاهدات)..... ۳۴
۲-۴ سن سنجی و ارتباط سنی واحدها با یکدیگر..... ۴۰
۲-۵ ارائه مدل تکتونیکی رشتهٔ افیولیتی سبزوار..... ۴۲
۲-۶ تشکیل و تکوین مجموعه افیولیتی سبزوار..... ۶۲

فصل سوم- موقعیت ذخایر و بافت و ساخت کرومیت ها در منطقه

۳-۱ مقدمه..... ۴۷
۳-۲ معرفی مهمترین مناطق معدنی..... ۴۷
۳-۲-۱ معدن گفت..... ۴۷
۳-۲-۲ معدن رنگا..... ۴۷
۳-۲-۳ معدن رضا..... ۴۷
۳-۲-۴ معادن مناطق فرومد..... ۴۹
۳-۳ ساخت و بافت کرومیتیت های منطقه..... ۴۹
۳-۳-۱ بافت و ساخت های اولیه..... ۵۰
۳-۳-۱-۱ بافت انتشاری..... ۵۰
۳-۳-۱-۲ بافت واکنشی..... ۵۰
۳-۳-۱-۳ ساخت و بافت تجمعی..... ۵۲
۳-۳-۱-۴ بافت شبکه ای..... ۵۲
۳-۳-۱-۵ بافت کرمی شکل..... ۵۲
۳-۳-۱-۶ بافت نودولار و نودولار همرشدی..... ۵۴
۳-۳-۱-۷ بافت اسکلتی..... ۵۶

۳-۳-۱-۸ بافت توده ای و متراکم ۵۶
۳-۳-۱-۹ بافت و ساخت نواری و لایه بندی متقاطع ۵۷
۳-۳-۲ بافت و ساخت های ثانویه ۵۷
۳-۳-۲-۱ بافت و ساخت کششی ۵۷
۳-۳-۲-۲ بافت جریانی (شلیرن) ۶۰
۳-۳-۲-۳ بافت و ساخت چین خوردگی ۶۰
۳-۳-۲-۴ بافت کاتاکلاستیکی و میلونیتی ۶۲
۳-۳-۲-۵ بافت و ساخت برشی ۶۲
۳-۳-۲-۶ بافت سوپرژن یا غنی شدگی ۶۲

فصل چهارم- مطالعات میکروسکوپی الکترونی

۴-۱ مقدمه ۶۷
۴-۲ مطالعه ترکیب و روند تغییر ترکیب کانی ها ۶۸
۴-۳ مقایسه طیف حاصل از بخش کرومیتی انواع کرومیت های موجود ۱۱۲
۴-۴ نتایج بررسی و مطالعه تصاویر اسکن شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) ۱۱۴

فصل پنجم- دورسنجی

۵-۱ مقدمه ۱۲۲
۵-۲ جمع آوری اطلاعات خام ماهواره ای ۱۲۲
۵-۳ نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی ۱۲۸
۵-۳-۱ تفکیک لایه ها و واحدهای سنگی ۱۲۸
۵-۳-۲ تفکیک گسل های اصلی و فرعی منطقه ۱۲۸

۵-۳-۳ تعیین محل و گسترش پتانسیل های معدنی در منطقه ۱۲۸
۵-۳-۴ تهیه نقشه زمین شناسی ۱۳۳
۵-۳-۵ تشخیص و تفکیک مهمترین آلتراسیون های موجود..... ۱۳۶
۵-۳-۵-۱ سرپانتینی شدن ۱۳۶
۵-۳-۵-۲ آلتراسیون اسپیلتی شدن ۱۳۹
۵-۳-۵-۳ آلتراسیون کائولینیتی شدن..... ۱۴۱
۵-۳-۵-۴ آلتراسیون پروپلتیک، آرژیلی و سرسیتی..... ۱۴۱
فصل ششم- ژئوشیمی کانسارهای کرومیت(کلیات, عناصر اصلی,فرعی و خاکی نادر)
۶-۱ مقدمه ۱۴۷
۶-۲ روش کار ۱۴۷
۶-۳ تعداد نمونه و روش آنالیز ۱۴۸
۶-۴ روش تجزیه ۱۴۸
۶-۵ عناصر اصلی..... ۱۵۰
۶-۵-۱ بررسی نتایج تجزیه عناصر اصلی و برخی عناصر فرعی در
کرومیتیت ها ۱۵۰
۶-۵-۲ نتایج بررسی های کمی توسط میکروسکوپ الکترونی..... ۱۶۹
۶-۵-۳ بررسی نتایج تجزیه عناصر اصلی و برخی عناصر فرعی در سنگ های
دربرگیرنده کرومیتیت ها و سایر واحدهای مجموعه افیولیتی ۱۷۵
۶-۶ عناصر کمیاب..... ۱۸۸
۶-۶-۱ بررسی و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی عناصر نادر خاکی (REE)..... ۱۸۹

فصل هفتم- بررسی عناصر گروه پلاتین در کانسارهای کرومیت

۷-۱ مقدمه ۲۰۶

۷-۲ کلیات ۲۰۶

۷-۳ عوامل مؤثر بر پراکندگی، توزیع و تمرکز PGE ۲۱۲

۷-۳-۱ تفریق و تبلور ماگمایی ۲۱۲

۷-۳-۲ ذوب بخشی ۲۱۳

۷-۳-۳ دگرسانی و فرآیندهای هیدروترمالی ۲۱۴

۷-۴ مطالعه پراکندگی و تمرکز عناصر گروه پلاتین در مناطق مورد مطالعه ۲۱۴

۷-۴-۱ PGE در کرومیتیت ها ۲۲۰

۷-۴-۲ PGE در پریدوتیت ها ۲۳۴

۷-۵ نقش هالوژن ها در انتقال و تمرکز عناصر گروه پلاتین ۲۳۸

۷-۵-۱ کلیات ۲۳۸

۷-۵-۲ بررسی نقش هالوژن ها به ویژه کلر در انتقال و تمرکز عناصر گروه پلاتین در منطقه مورد مطالعه ۲۴۳

۷-۶ کاربرد عناصر گروه پلاتین در اکتشاف کرومیت ۲۴۷

۷-۶-۱ کلیات ۲۴۷

۷-۶-۲ نقش PGE در پی جویی و تعیین پتانسیل منابع کرومیت در مناطق مورد مطالعه ۲۵۰

فصل هشتم- استفاده از نسبت های فلزی در پی جویی عناصر گروه پلاتین

۸-۱ مقدمه ۲۵۴

۸-۲ فاکتورهای مؤثر در توزیع Cu, Ni و PGE در سنگ های بازیک و

فوق بازیک ۲۵۴

۸-۲-۱ ذوب بخشی ۲۵۵

۸-۲-۲ تفریق الیوین و کرومیت ۲۵۷

۸-۲-۳ تفریق سولفیدها ۲۶۰

فصل نهم- بررسی تغییرات سیستماتیک عناصر و ارائه مدل ساختاری

۹-۱ مقدمه ۲۶۳

۹-۲ تغییرات سیستماتیک عناصر و نسبت ها ۲۶۳

۹-۳ ارائه مدل ساختاری ۲۶۷

فصل دهم- مروری بر ویژگی های ژئومغناطیسی مجموعه افیولیتی سبزوار

۱۰-۱ مقدمه ۲۷۳

۱۰-۲ مطالعات میدانی ۲۷۳

۱۰-۳ تفسیر و مدل سازی ۲۷۶

فصل یازدهم- نتایج و پیشنهادات اکتشافی

۱۱-۱ مقدمه ۲۸۱

۱۱-۲ نتایج و پیشنهادات ۲۸۱

منابع و مآخذ ۲۹۰

فهرست شکل ها : ---------- **صفحه**

شکل ۱-۱- موقعیت رشته افیولیتی سبزوار و سایر مجموعه های افیولیتی ایران ---------- ۶
شکل ۱-۲- موقعیت زون سبزوار و سایر زون های ساختمانی ایران ---------- ۷
شکل ۱-۳- a- زون سبزوار و موقعیت منطقه مورد مطالعه
b- موقعیت جغرافیایی و راه های ارتباطی منطقه مورد مطالعه ---------- ۹
شکل ۱-۴- a- نقشه ساده شده زمین شناسی از رشته افیولیتی سبزوار ---------- ۱۱
b- نقشه ساده شده زمین شناسی از منطقه مورد مطالعه (نقشه ضمیمه است)-- ۱۲
شکل ۱-۵- ترتیب و توالی تقریبی واحدهای سنگی موجود در منطقه نسبت به محور کشیدگی رشته افیولیتی ---------- ۱۳
شکل ۱-۶- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد هارزبورگیتی. دانه های الیوین از اطراف سرپانتینی شده، بافت مش را تولید کرده اند ---------- ۱۵
شکل ۱-۷- مقطع میکروسکوپی نازک از دونیت های در برگیرنده کرومیت ها ---------- ۱۵
شکل ۱-۸- مدل واکنش سنگ-ماگما برای تشکیل کرومیت های غنی از کروم و آلومینیوم و لایه دونیتی اطراف آنها. ---------- ۱۹
شکل ۱-۹- a- ذوب بخشی مواد در زون گسترش اقیاوس و مواد باقی مانده از ذوب. b- زون گسترش و مسیر حرکت مواد از اعماق مختلف- ---------- ۱۹
شکل ۱-۱۰- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد گابرویی ---------- ۲۱
شکل ۱-۱۱- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد سرپانتینیت ---------- ۲۱
شکل ۱-۱۲- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد دیابازی ---------- ۲۳
شکل ۱-۱۳- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد رودنگیتی. ---------- ۲۳
شکل ۱-۱۴- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد لیستونیتی ---------- ۲۳
شکل ۱-۱۵- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد بازالتی. ---------- ۲۷
شکل ۱-۱۶- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد آندزیت بازالت ---------- ۲۷
شکل ۱-۱۷- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد دیوریتی ---------- ۲۷
شکل ۱-۱۸- مقطع میکروسکوپی نازک از واحد ریوداسیتی ---------- ۲۸
شکل ۲-۱- راستای دو سیستم اصلی گسلی در منطقه و امتداد کشیدگی عدسی های کرومیتی ---------- ۳۶
شکل ۲-۲- موقعیت افیولیت ها براساس نقش پدیده به وجود آورنده ---------- ۴۴
شکل۳-۱- طرح ساده از موقعیت تونل های فعال در معدن گفت و بخش های فوقانی که به صورت روباز استخراج می شوند. ---------- ۴۸
شکل۳-۲- بافت انتشاری ---------- ۵۱

شکل ۳-۳- بافت واکنشی. مقطع صیقلی- نور انعکاسی ---------- ۵۳
شکل ۳-۴- بافت و ساخت تجمعی. نمونه دستی---------- ۵۳
شکل ۳-۵- بافت مشبک. مقطع صیقلی- نور انعکاسی ---------- ۵۳
شکل ۳-۶- بافت کرمی شکل (میرمیکیت). مقطع نازک---------- ۵۳
شکل ۳-۷- بافت نودولار ---------- ۵۵
شکل ۳-۸- بافت اسکلتی. مقطع نازک ---------- ۵۸
شکل ۳-۹- تشکیل بافت متراکم حاصل از تجمع نودولارها بر روی یکدیگر. نمونه دستی ---- ۵۸
شکل ۳-۱۰- a- بافت و ساخت لایه ای در نمونه دستی b- بافت نواری در مقطع میکروسکوپی- ---------- ۵۸
شکل ۳-۱۱- بافت کششی. در مراحل مختلف. مقطع صیقلی- ---------- ۶۱
شکل ۳-۱۲- بافت شلیرن. مقطع صیقلی- نور انعکاسی ---------- ۶۱
شکل ۳-۱۳- بافت وساخت چین خورده. خورده است. مقطع صیقلی---------- ۶۳
شکل ۳-۱۴- بافت و ساخت کاتاکلاستیکی و میلونیتی.. مقاطع صیقلی- نور انعکاسی، بزرگنمایی ---------- ۶۳
شکل ۳-۱۵- ساخت و بافت برشی. . مقطع صیقلی ---------- ۶۵
شکل ۳-۱۶- بافت سوپرژن (غنی شدگی) و نهایتا تشکیل بافت جزیره ای. مقطع صیقلی---- ۶۵
شکل ۴-۱ موقعیت و طیف نقطه ۱ درون سرپانتینیت های احاطه کننده دانه کرومیت- مقطع V72-1 ---------- ۶۹
شکل ۴-۲ موقعیت و طیف نقطه ۲ درون سرپانتینیت ،نزدیکتر به حاشیه واکنشی- مقطع V72- ---------- ۷۰
شکل ۴-۳ طیف نقطه ۳ از حاشیه واکنشی کرومیت- مقطع V72-1---------- ۷۱
شکل ۴-۴ طیف نقطه ۱ از حاشیه واکنشی احاطه کننده کرومیت- مقطع V72-2 -------- ۷۳
شکل ۴-۵ موقعیت و طیف نقطه ۴ از درون کانی کرومیت- مقطع V72-1---------- ۷۴
شکل ۴-۶ موقعیت و طیف نقطه ۱ از مگنتیت های درون سرپانتینیت ها و حالت جریانی آنها- مقطع V72-3 ---------- ۷۵
شکل ۴-۷ موقعیت و طیف نقطه ۱ درون سزپانتینیت در فاصله نزدیک به دانه کرومیت دارای حاشیه واکنشی و بافت غنی شده- مقطع V74-1---------- ۷۷
شکل ۴-۸ موقعیت و طیف نقطه ۲ از بخش سولفیدی جانشین شده در حاشیه کرومیت- مقطع V74-1 ---------- ۷۸
شکل ۴-۹ موقعیت و طیف نقطه ۳ از درون بخش سولفوری جانشین شده در کرومیت- در مقطع V74-1---------- ۸۰

شکل ۴- ۱۰ موقعیت و طیف نقطه ۴ از بخش کرومیتی باقیمانده از کرومیت اولیه- مقطع V74 ---------- ۸۱
شکل ۴-۱۱ موقعیت و طیف نقطه ۵ از بخش مگنتیتی شده دانه کرومیت- مقطع V74-1- ۸۲
شکل ۴-۱۲ موقعیت و طیف نقطه ۱ از سولفور های جانشین شده در حاشیه دانه کرومیت- مقطع V74-2 ---------- ۸۳
شکل ۴-۱۳ – شکل ساده از مقطع V74، که دگرسانی کرومیت اولیه به اکسید های آهن و سولفور آهن و نیکل را نشان می دهد ---------- ۸۴
شکل ۴- ۱۴ موقعیت و طیف نقطه ۱ از درون سرپانتینیت با فاصله نزدیک به حاشیه واکنشی- مقطع V74-3 ---------- ۸۵
شکل ۴-۱۵ موقعیت و طیف نقطه ۱ از درون حاشیه مگنتیتی- مقطع V74-4 ---------- ۸۸
شکل ۴-۱۶ موقعیت و طیف نقطه ۱ از درون دنباله سولفیدی- مقطع V74-5 ---------- ۸۹
شکل ۴-۱۷ موقعیت وطیف نقطه ۳ از سطح کرومیت در بافت نودولار- مقطع VA1 ------- ۹۰
شکل ۴-۱۸ موقعیت و طیف نقطه ۱ از ذرات ریز سولفیدی پر کننده حفرات در بافت نودولار- مقطع VA1 ---------- ۹۲
شکل ۴-۱۹ موقعیت و طیف نقطه شماره ۱ از سطح دانه کرومیت در نزدیکی شکستگی پر شده توسط مواد ثانویه- مقطع VA2 ---------- ۹۳
شکل ۴-۲۰ a- موقعیت و طیف نقطه ۳ از درون مواد پر کننده رگه ها و شکستگیها- مقطع VA2 ---------- ۹۴
شکل ۴-۲۰-b- موقعیت و طیف نقطه ۲ از حاشیه دیواره شکستگی- مقطع VA2 ---------- ۹۵
شکل ۴-۲۱- موقعیت و طیف نقطه ۱ از سطح توده سولفیدی- مقطع VS2---------- ۹۷
شکل ۴-۲۲-a موقعیت و طیف نقطه ۱ از بخش سولفیدی مقطع VS4---------- ۹۸
شکل ۴-۲۲-b موقعیت و طیف نقطه ۱ از بخش سولفیدی پر کننده فضای خالی توده های سولفیدی-مقطع VS3 ---------- ۹۹
شکل ۴-۲۳ موقعیت و طیف نقطه ۱ از بخش اکسیدی مقطع VS 1 ---------- ۱۰۰
شکل ۴- ۲۴ موقعیت و طیف نقطه ۱ از بخش کرومیتی و نزدیک به سولفید در مقطع2- V42 ---------- ۱۰۱
شکل ۴-۲۵ موقعیت و طیف نقطه ۲ از درون انباشتگی سولفید های نیکل پر کننده فضای خالی در کانی کرومیت- مقطع V42 ---------- ۱۰۲
شکل ۴-۲۶- موقعیت و طیف نقطه ۱ از آرسنید های نیکل همراه با کانی کرومیت- مقطع V42- ---------- ۱۰۳
شکل ۴-۲۷ موقعیت و طیف نقطه شماره ۱ در کانی کرومیت در مجاورت سولفید ها – مقطع V42 ---------- ۱۰۵

شکل ۴-۲۸ موقعیت و طیف نقطه شماره ۲ از کانی کرومیت در نزدیکی سولفید های بین دانه ای- مقطعV42 ---------- ۱۰۶
شکل ۴- ۲۹ -a موقعیت و طیف نقطه ۱ از بخش سولفیدی نیکل پر کننده فضای خالی از مقطع V42 ---------- ۱۰۷
شکل ۴-۲۹- b موقعیت نقطه ۳ در بخش دیگری از کانی سولفیدی نیکل-مقطعV42 ----- ۱۰۸
شکل ۴-۳۰- بقایای کانی پنتلاندیت با قدرت تشعشع الکترونی پائین به صورت سه لکه و با درخشندگی کمتر از کانی میزبان (ژوزفینیت)- ---------- ۱۰۹
شکل ۴-۳۱ – مقایسه ۴ طیف حاصل از کرومیت با بافت متفاوت . a– متراکم ، b-دارای حاشیه واکنشی ، c- غنی شده با سولفید ها و d- ندولار ---------- ۱۱۳
شکل ۴-۳۲- تصویر الکترونی اسکن شده از بخش سولفیدی مقطع V42 ---------- ۱۱۵
شکل ۴-۳۳- تصویر الکترونی از بخش سولفیدی دارای بافت اکسولوشن مقطع V42-2 ----- ۱۱۵
شکل ۴-۳۴- تصویر الکترونی از جدایش فاز ارسنید از سولفید---------- ۱۱۵
شکل ۴-۳۵- تصویر الکترونی از ذرات ریز طلا در کرومیت---------- ۱۱۵
شکل ۴-۳۶- طیف حاصل از آنالیز کیفی ذرات احتمالی طلا در زمینه سرپانتینیت.مقطع V42-4---------- ۱۱۶
شکل ۴-۳۷- تصویر الکترونی از بافت کاتاکلاستیکی ---------- ۱۱۸
شکل ۴-۳۸- تصویر الکترونی از دانه کرومیت و بافت واکنشی ---------- ۱۱۸
شکل ۴-۳۹- تصویر الکترونی از جدایش فاز سولفیدی از اکسیدی---------- ۱۱۸
شکل ۴-۴۰- تصویر ۴-۳۹ با بزرگنمائی بیشتر ---------- ۱۱۸
شکل ۴-۴۱- تصویر الکترونی از ارتباط سه فاز کرومیتی، مگنتیتی و سولفوری ---------- ۱۲۰
شکل ۴-۴۲- تصویر الکترونی از بلور منفی در سطح نودول کرومیتی---------- ۱۲۰
شکل ۴-۴۳-تصویر الکترنی از بافت جانشینی در شکستگی های یک نودول کرومیتی ------ ۱۲۰
شکل ۴-۴۴- تصویر الکترونی از پر شدگی حفرات با کالکوپیریت در زمینه پیروتیت -------- ۱۲۰
شکل ۵-۱- تصویر اولیه هریک از باندهای دریافتی از ماهواره (قبل از تلفیق). ---------- ۱۲۵
شکل ۵-۲- تصویر ماهواره ای حاصل تلفیق باندهای ۵،۳،۱ و ۳،۲،۱ = RGB---------- ۱۲۹
شکل ۵-۳- برخی از گسل های شاخص بر روی تصویر ماهواره ای. ---------- ۱۳۰
شکل ۵-۴- تصویر ماهواره ای حاصل تلفیق باندهای ۵،۳،۱ و ۱،۲،۳ = RGB---------- ۱۳۲
شکل ۵-۵- تصویری از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ دیجیتالی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه. ------- ۱۳۴
شکل ۵-۶- تصویری از نقشه ۱/۲۰۰۰۰ تهیه شده از منطقه گفت. ---------- ۱۳۵
شکل ۵-۷- پراکندگی گسترهٔ آلتراسیون سرپانتینی.---------- ۱۳۸
شکل ۵-۸- پراکندگی گسترهٔ آلتراسیون اسپیلتی. ---------- ۱۳۰
شکل ۵-۹- پراکندگی گسترهٔ آلتراسیون کائولینیتی. ---------- ۱۴۲

شکل ۵-۱۰- مقطع نازک از آلتراسیون ها پروپلتیک (اپیدوتی). سرسیت و آرژیلی در سنگ های ولکانیکی (کوه دوک). ---------- ۱۴۴
شکل ۵-۱۱- تأثیر آلتراسیون های پروپلتیک بر ظاهر بیرونی سنگ ها در اطراف دهانه های استخراجی مس در کوه دوک. ---------- ۱۴۵
شکل ۶-۱- نسبت Cr/Al در نمونه های مختلف کرومیتیت. ---------- ۱۵۸
شکل ۶-۲- نسبت Cr/ Cr+Al (عدد کرومی) در نمونه های مختلف کرومیتیت. ---------- ۱۵۸
شکل ۶-۳- موقعیت کرومیتیت های سبزوار نسبت به انواع استراتیفرم و پودیفرم با توجه به نسبت های کاتیونی. ---------- ۱۶۰
شکل ۶-۴- دو جمعیت متفاوت از کرومیتیت ها در مناطق مورد مطالعه با توجه به ارتباط عدد کرومی با مقدار Ti ---------- ۱۶۱
شکل ۶-۵- نسبت Ni/Co در نمونه های مختلف کرومیتیت. ---------- ۱۶۱
شکل ۶-۶- تغییرات نسبت Ni/Co در مقابل Pd/Ir در نمونه های کرومیتیت ---------- ۱۶۳
شکل ۶-۷- تغییرات اکسید عناصر اصلی در مقابل افزایش Cr_2O_3 ---------- ۱۶۴
شکل ۶-۸- مقدار Ni در نمونه های کرومیتیت. ---------- ۱۶۵
شکل ۶-۹- تغییرات مقدار Co در مقابل Ni در نمونه های کرومیتیت. ---------- ۱۶۷
شکل ۶-۱۰- تغییرات مقدار گوگرد با Ni در نمونه های کرومیتیت. ---------- ۱۶۷
شکل ۶-۱۱- نسبت MgO/MgO+FeO در مقابل TiO_2 و تفکیک محدودهٔ کانسارهای کرومیت ---------- ۱۶۸
شکل ۶-۱۲- محدودهٔ کرومیت های منطقه مورد مطالعه در مقابل کانسارهای کرومیت نوع پودیفرم و استراتیفرم بر اساس نسبت های کاتیونی (نتایج آنالیز نقطه ای کانی کرومیت).---- ۱۷۳
شکل ۶-۱۳- تغییرات مقدار عناصر اصلی نسبت به نوع بافت و موقعیت آنالیز (حاشیه یا مرکز بلور). ---------- ۱۷۴
شکل ۶-۱۴- تغییرات مقدار MgO در مقابل LOI در سنگ های پریدوتیتی. ---------- ۱۸۱
شکل ۶-۱۵- تغییرات SiO_2 در مقابل MgO در سنگ های پریدوتیتی. ---------- ۱۸۲
شکل ۶-۱۶- مقایسه شدت متوسط سرپانتینی شدن پریدوتیت ها در سه منطقه مشهد، سبزوار و تربت حیدریه. ---------- ۱۸۳
شکل ۶-۱۷- تغییرات مقدار سه اکسید Al_2O_3, CaO, Na_2O در مقابل MgO و Fe_2O_3 در پریدوتیت های سرپانتینی شده. ---------- ۱۸۳
شکل ۶-۱۸- ارتباط میزان Ni با گوگرد در پریدوتیت ها. همانگونه که ملاحظه می شود هیچ گونه ارتباط منظمی بین مقدار این دو عنصر وجود ندارد. ---------- ۱۸۴
شکل ۶-۱۹- واقع شدن ترکیب پریدوتیت های منطقه در محدودهٔ تولئیتی بر اساس FeO و FeO/MgO ---------- ۱۸۶