





دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه زمین شناسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین شناسی گرایش پترولوژی

مطالعات کانی شناسی و خاستگاه اسکارن
خونی - انارک (شمال شرق نایین، استان اصفهان)

استاد راهنما:
دکتر موسی نقره‌ئیان

استاد مشاور:
دکتر محمد علی مکی زاده

پژوهشگر:
معصومه درویش

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
اصفهان است.

قدردانی

خداوند قادر علیم را شکر کنم که در تمامی مراحل زندگی بنده‌ی عاجز خویش را مورد لطف و رحمت خویش قرار داد و یاری نمود تا از وی دریغ ننمودم؛
بخط مشرف و کامیابی خویش را در زندگی بدیون فدکاری باو از خود گذشتگی‌های پر و ما را مهربانم می‌دانم و از صمیم قلب شکر و قدردانی خویش را انشاالله می‌نمایم. از خداوند
متعال سعادت دنیا و آخرت و سلامتی ایشان را خواستارم. همچنین از زحمات بی‌دریغ همسر شکر و قدردانی می‌نمایم چرا که اگر همراه و مشوقم نبودند و بار سختی‌های تحصیل مرا به جان نمی
خریدند، رسیدن به این مرحله برایم بس دشوار بود.

از یکایک اساتید محترم گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان که در دوره کارشناسی ارشد افتخار نگار و ایشان را داشته‌ام صمیمانه قدردانی نموده و توفیق روزافزونشان را از خداوند منان خواستارم.
از رابنهایی‌های استاد فرزانه، جناب آقای دکتر نقره‌نیا، شکر می‌نمایم. یاری‌ها، بهرایی‌ها و پیشنهادات ایشان همیشه موجب پیشرفت امور تحصیل بوده است. از رابنهایی‌های استاد
مشاور متین و فهیم جناب آقای دکتر کی زاده شکر ویژه می‌نمایم.

از زحمات بی‌دریغ، مهربانی‌ها و کوشش‌های پراننده جناب آقای دکتر ترابی که مرا قدم به قدم در بر سر رساندن این پژوهش جهت مساعدت در انجام آنالیزهای میکروپروب یاری نمودند بی
نیات پاسگزارم.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر شمس پور جهت رابنهایی‌های ارزنده‌شان در مطالعه معالط صیقلی، جناب آقای دکتر باقری جهت انجام مطالعات میان‌بارسیال نهایت شکر
را دارم.

قدردانی فراوان خویش را انشاالله اساتید محترم گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان به ویژه اساتید بخش پتروژئولوژی، آقای دکتر نقره‌نیا، آقای دکتر خلیلی، آقای دکتر طباطبائی‌نیش،
آقای دکتر ترابی، آقای دکتر کی زاده و آقای دکتر شریفی نموده و سربلندی ایشان را از خداوند خواستارم. از آقای دکتر طباطبائی‌نیش مدیر گروه محترم زمین شناسی به خاطر تسهیل
امور اداری و پذیرایی امور دانشجویان تحصیلات تکمیلی پاسگزاری می‌نمایم.

از صمیمی‌ترین و مهربان‌ترین بزرگان دوران تحصیل، خانم‌های مهندس فاضلی، رنجبر، نعم‌نات، شانی زاده، قره‌چایی، کارکران، اسلامی، و خانم دکتر بیات شکر نموده و آرزوی
کامیابی برایشان دارم. صمیمانه از خانم باناسیری، ساجدی، احمدی و ابن نصیر و آقایان هموری، انحصام پور، آروین، منتدیری زاده و صبوری پاسگزاری می‌کنم.
از همسر مجید و برادرم صادق جهت بهرایی‌های در برسی‌های صحرائی و نمونه برداری بسیار شکر می‌نمایم. از کلیه اعضای خانواده عزیزم نیز قدردانی می‌نمایم.

این نوشته را ارزشی اگر هست، تقدیم می دارم به

پدر دلسوز و مادر فداکار و مهربانم
پدر دلسوز و مادر فداکار و مهربانم

و همسر گرامی ام
و همسر گرامی ام

چکیده

اسکارن خونی در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال شرق انارک و در زون زمین ساختی ایران مرکزی و در زیر زون انارک-خور قرار دارد. این اسکارن در اثر نفوذ چند زبانه مونزودیوریتی تا کواتز مونزودیوریتی در قسمت شمال کوه خونی به درون واحدهای (کربناته) دولومیتی پرکامبرین بالایی شکل گرفته است. نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی و مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که سنگ‌های این منطقه دارای ترکیب سنگ شناختی مونزونیت، کوارتز مونزونیت تا مونزودیوریتی می‌باشد و از عناصر K, Rb, Th, U غنی شدگی و از عناصر HFSE (Nb, Ti) تهی شدگی نشان می‌دهند که این خصوصیات شاخص مناطق فرورانش و حاشیه قاره‌ای فعال می‌باشد. این سنگ‌ها مشخصات یک ماگمای کالک آلکالن پتاسیم بالا، متآلومینوس و تیپ I را نشان می‌دهد. نمودارهای متمایز کننده محیط‌های زمین ساختی نیز جایگاه گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی (VAG) را برای آن تایید می‌نماید. تشکیل این توده مرتبط با ماگماتیسم سنوزوئیک ایران مرکزی بوده و با توجه به فاصله از نوار ماگمایی ارومیه-دختر و سایر شواهد پترولوژیکی و ژئوشیمیایی محیط تشکیل آن پشت قوس در نظر گرفته شده است. این توده دارای چند بخش با لیتولوژی متفاوت بوده که بخش مونزودیوریت پیروکسن دار آن در شمال توده مسبب ایجاد اسکارن از سنگ کربناته می‌باشد. اسکارن‌ها از هر دو نوع درون اسکارن و برون اسکارن هستند. حضور مجموعه کانی‌هایی همچون سرپانتین، فلوگوپیت، وزوویانیت، گارنت، تالک، اپیدوت و کلینوپیروکسن نشان دهنده اسکارن منیزیم و کلسیم دار می‌باشد. مشاهده روابط بافتی و همچنین توجه به پاراژنهای کانی‌ها این نکته را می‌رساند که این اسکارن‌ها چند مرحله ای است. مطالعات کانی شناسی و مشاهدات صحرایی نشان دهنده ۲ مرحله اصلی دگرگونی پیش‌رونده و پس‌رونده می‌باشد. مرحله دگرگونی مجاورتی که مرحله تشکیل اسکارن متاسوماتیک می‌باشد. در طی آن کانی‌های بدون آب مانند گارنت، کلینوپیروکسن و الیون تشکیل شده‌اند. که با توجه به مجموعه کانی‌های تشکیل شده در این مرحله می‌توان دمایی بیش از ۵۰۰ °C را برای آن بیان کرد. مرحله دگرگونی پس رونده شامل دو مرحله جداگانه است: در مرحله پس‌رونده پیشین کانی‌های بدون آب مرحله قبل به کانی‌های آبدار مانند سرپانتین، فلوگوپیت، وزوویانیت و کانی‌های تیره تبدیل شده‌اند. این مرحله در دمای کمتر از ۴۷۰ °C رخ می‌دهد و در نهایت در مرحله پس‌رونده پسین مجموعه سیلیکات‌های منیزیم-کلسیم آبدار و بی آب دچار دگرسانی شده و در محدوده دمایی ۳۰۰ °C به کانی‌هایی مانند کلریت، تالک و اپیدوت تبدیل می‌شوند. با توجه به مجموعه کانی‌های منیزیم‌دار مانند فلوگوپیت، دیوپسید، سرپانتین و تالک و کانی‌های کلسیم‌دار مانند وزوویانیت و گارنت، سنگ میزبان از نوع کلسیتی-دولومیتی است و لذا این اسکارن در رده کلسیمی-منیزیمی قرار می‌گیرد. از مقایسه داده‌های مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه با توده‌های آذرین مولد اسکارن‌های دنیا می‌توان دریافت که انطباق خوبی میان اکسیدهای عناصر اصلی این سنگ‌ها با توده‌های مولد اسکارن مس، طلا و آهن برقرار است. در نمودارهای عناصر فرعی به خوبی خویشاوندی بین توده نفوذی منطقه و نوع کانه‌زایی مشاهده می‌گردد. در نهایت با مقایسه عناصر جزئی این گرانیتوئید با سایر گرانیتوئیدهای مرتبط با اسکارن‌های کانه دار، شباهت آن‌ها با گرانیتوئیدهای اسکارن مس و آهن بیش از پیش آشکار می‌گردد. مطالعات میکروترموتری انجام شده روی این مقاطع، محدوده دمایی بین ۱۶۰-۳۹۸ °C، با بیشترین فراوانی در محدوده دمایی ۱۵۰-۲۰۰ °C و شوری حدود ۱۳-۲۲ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهد. مقدار چگالی سیالات نیز بین ۰/۸-۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب محاسبه شد. همچنین ترکیب داده‌های دمای همگن شدن و شوری سیالات نشان داد که مکانیسم ته نشینی کانه، مخلوط شدن دو سیال جوی و ماگمایی است. بررسی مینرالوگرافی نشان می‌دهد که کانی سازی طی دو مرحله رخ داده است. کانه‌های سولفیدی و اکسیدی شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، هماتیت و مگنتیت در مرحله اول تشکیل شده‌اند و کانی‌های گوئتیت، کوپریت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن در مرحله بعدی بوجود آمده‌اند. بر اساس شواهد موجود توده نفوذی خونی و سیالات جوی می‌توانند منشا کانی زایی در این سامانه باشد. **واژه های کلیدی:** کانی شناسی، خاستگاه، اسکارن، خونی، انارک، ایران مرکزی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: کلیات
۱-۱-۱	مقدمه..... ۱
۲-۱-۲	اهداف پژوهش..... ۳
۳-۱-۳	موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه..... ۴
۴-۱-۴	آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه..... ۵
۵-۱-۵	ژئومورفولوژی..... ۵
۶-۱-۶	پیشینه مطالعاتی منطقه مورد مطالعه..... ۸
۷-۱-۷	توان معدنی و کانه‌زایی در منطقه خونی..... ۱۳
۸-۱-۸	روش‌های مطالعه و تحقیق..... ۱۴
	فصل دوم: زمین شناسی عمومی
۱-۲-۱۶	موقعیت منطقه در ساختار ایران مرکزی..... ۱۶
۲-۲-۱۷	زمین شناسی عمومی منطقه..... ۱۷
۳-۲-۱۹	زمین شناسی محلی..... ۱۹
۴-۲-۱۹	واحدهای سنگی محدوده نقشه خونی..... ۱۹
۱-۴-۲-۲۰	سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین..... ۲۰
۲-۴-۲-۲۱	واحدهای سنگ آهک کرتاسه..... ۲۱
۳-۴-۲-۲۲	واحدهای ولکانیک ائوسن..... ۲۲
۴-۴-۲-۲۲	واحدهای کواترنری..... ۲۲
۵-۲-۲۴	زمین شناسی ساختمانی..... ۲۴
	فصل سوم: پتروگرافی و ژئوشیمی توده نفوذی
۲۶	مقدمه..... ۲۶
۱-۳-۲۷	بررسی واحدهای سنگی شمال خونی..... ۲۷
۲-۳-۲۸	بافت..... ۲۸
۳-۳-۳۰	کانی شناسی بخش پیروکسن مونزودیوریت دگرسان شده به عنوان مولد اسکارن منطقه..... ۳۰
۴-۳-۳۷	ژئوشیمی توده نفوذی و بررسی ارتباط آن با اسکارن زایی..... ۳۷
۵-۳-۳۷	طبقه بندی سنگ‌های منطقه شمال خونی در مقایسه با کالکافی..... ۳۷
۶-۳-۳۹	تعیین سری‌های ماگمایی منطقه خونی در مقایسه با منطقه کالکافی..... ۳۹
۷-۳-۴۱	طبقه بندی ژنتیکی..... ۴۱
۸-۳-۴۱	تعیین محیط تکتونیکی..... ۴۱
۹-۳-۴۴	بررسی نقش توده نفوذی منطقه به عنوان مولد اسکارن خونی با تکیه بر عناصر اصلی و فرعی..... ۴۴
۱۰-۳-۴۸	بررسی نمودارهای بهنجار سازی..... ۴۸
۱-۱۰-۳-۴۹	الگوی عناصر خاکی کمیاب..... ۴۹

۳-۱۰-۲- بررسی نمودارهای نرمالایز به کندریت ۵۱

۳-۱۰-۳- بررسی نمودارهای نرمالایز به گوشته اولیه ۵۲

فصل چهارم: شیمی کانی ها

مقدمه ۵۴

۴-۱- مرمرها ۵۴

۴-۲- اسکارن ها ۵۵

۴-۲-۱- تعاریف اسکارن ۵۵

۴-۲-۲- چگونگی پیدایش و تکوین اسکارن ۵۷

۴-۲-۳- فرایند شکل گیری اسکارن خونی ۵۸

۴-۳- کانی شناسی اسکارن های منطقه خونی ۵۹

۴-۴- روابط پاراژنتیکی در اسکارن خونی ۶۸

۴-۵- سنگ شناسی اسکارن ۶۹

فصل پنجم: شیمی کانی ها

مقدمه ۷۰

۵-۱- شیمی کانی های توده نفوذی ۷۱

۵-۲- شیمی کانی های اسکارن ۷۷

فصل ششم: بررسی سیالات درگیر و کانه زایی

مقدمه ۹۲

۶-۱- بررسی سیالات درگیر ۹۲

۶-۱-۱- نحوه آماده سازی نمونه ها ۹۵

۶-۱-۲- سنگ شناسی سیالات درگیر ۹۵

۶-۲- مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر ۹۷

۶-۲-۱- گرمایش ۹۷

۶-۲-۲- سرمایش و محاسبه شوری ۹۸

۶-۲-۳- تعیین چگالی و درجه پرشدگی سیالات درگیر ۹۹

۶-۲-۴- تعیین عوامل فیزیکو شیمیایی اسکارن ۱۰۰

۶-۲-۵- تعیین تیپ کانسار ۱۰۱

۶-۳- مینرالوگرافی و کانی سازی در اسکارن خونی ۱۰۳

۶-۳-۱- کانی های یافت شده در زون های کانه زایی ۱۰۴

۶-۳-۲- پتروژنز کانه زایی ۱۰۴

فصل هفتم: پتروژنز اسکارن ها

مقدمه ۱۰۸

۷-۱- رخساره های تشکیل اسکارن خونی ۱۰۹

۷-۲- واکنش های دگرگونی ۱۰۹

۱۱۴	۳-۷- واکنش‌های دگرسانی (قهقراپی).....
۱۱۶	۴-۷- پتروژنز اسکارن‌های منطقه.....
۱۱۶	۵-۷- مدل پیشنهادی جهت پتروژنز اسکارن منطقه خونی.....
۱۱۹	فصل هشتم: نتیجه گیری.....
۱۲۳	پیشنهادات.....
۱۲۴	پیوست.....
۱۴۱	منابع و مأخذ.....

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱-۱- نمای کلی منطقه..... ۳
- شکل ۱-۲-۱- موقعیت زمین شناسی منطقه..... ۶
- شکل ۱-۳-۱- راه‌های دسترسی به منطقه..... ۶
- شکل ۱-۴-۱- شکل کلی منطقه دید از پایین..... ۷
- شکل ۱-۴-۲- شکل کلی منطقه دید از بالا..... ۷
- شکل ۱-۵-۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه..... ۷
- شکل ۱-۶-۱- نمایی از واحدهای سنگ شناسی منطقه..... ۷

فصل دوم: زمین شناسی عمومی

- شکل ۱-۲-۱- پهنه رسوبی - ساختاری ایران و نمایش موقعیت منطقه مورد مطالعه..... ۱۷
- شکل ۲-۲-۱- رخداد رگچه‌های هیدروکسید آهن در مرمرها..... ۲۱
- شکل ۳-۲-۱- نمایی از واحدهای مرمری خاکستری رنگ..... ۲۱
- شکل ۴-۲-۱- نمایی از رخنمون نفوذی با ترکیب موزونیت در واحدهای ولکانیک..... ۲۳
- شکل ۵-۲-۱- تشکیل اسکارن منطقه در مرز بین توده و سنگ کربناته..... ۲۴

فصل سوم: پتروگرافی و ژئوشیمی توده نفوذی

- شکل ۱-۳-۱- بافت پورفیروئید..... ۳۰
- شکل ۱-۳-۲- مرز ناپایدار بیوتیت و پیروکسن..... ۳۰
- شکل ۲-۳-۱- ماگل پلی سینتتیک پلاژیوکلاز..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۲- بافت پوئی کلیتیک..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۳- بافت اینترسرتال..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۴- ماگل کارلسباد ارتوکلازها..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۵- بافت پورفیروئید..... ۳۵
- شکل ۲-۳-۶- آمفیبول دارای رشد پوششی از بیوتیت و پیروکسن..... ۳۵
- شکل ۳-۳-۱- پیروکسن دارای زونینگ..... ۳۶
- شکل ۳-۳-۲- پیروکسن دارای ماگل نواری..... ۳۶
- شکل ۳-۳-۳- اپیدوت اولیه همراه کوارتز..... ۳۶
- شکل ۳-۳-۴- کانی اولیه و ثانویه اسفن..... ۳۶
- شکل ۳-۳-۵- گارنت در نور ppl در مرز اندو اسکارن..... ۳۶
- شکل ۳-۳-۶- گارنت در نور xpl در مرز اندو اسکارن..... ۳۶
- شکل ۴-۳- نمودار AQP..... ۳۸
- شکل ۵-۳- نمودار مجموعه آلکالی در برابر سیلیس..... ۳۸
- شکل ۶-۳- طبقه بندی سنگ‌های مورد مطالعه..... ۳۹

- شکل ۳-۷- نمودار ایزوپروپن و باراگار..... ۴۰
- شکل ۳-۸- نمودار تفکیک سنگ‌های آذرین آلکالن از ساب آلکالن..... ۴۰
- شکل ۳-۹- نمودار SiO_2 در برابر K_2O ۴۰
- شکل ۳-۱۰- نمودار اندیس اشباع شدگی آلومینیوم..... ۴۱
- شکل ۳-۱۱- نمودار تعیین موقعیت تکتونیکی نمونه‌های خونی و کالکافی بر اساس عناصر نادر..... ۴۲
- شکل ۳-۱۲- دیاگرام سه تایی وود..... ۴۲
- شکل ۳-۱۳- قرار گیری نمونه‌ها در محدوده شوشونیتی- کالک آلکالن..... ۴۳
- شکل ۳-۱۴- A- نمودار Zr/Y در برابر Zr ۴۴
- شکل ۳-۱۴- B- نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb ۴۴
- شکل ۳-۱۵- نمودار Y در برابر Zr ۴۴
- شکل ۳-۱۶- رابطه انواع اسکارن‌ها با توده نفوذی بر مبنای عناصر اصلی..... ۴۶
- شکل ۳-۱۷- رابطه انواع اسکارن‌ها با توده نفوذی بر مبنای عناصر فرعی..... ۴۷
- شکل ۳-۱۸- نمودار تعیین موقعیت تکتونیکی نمونه‌های خونی و کالکافی بر اساس عناصر نادر..... ۴۷
- شکل ۳-۱۹- نمودار عنکبوتی نرمالایز نسبت به کندریت..... ۵۲
- شکل ۳-۲۰- نمودار عنکبوتی نرمالایز نسبت به گوشته اولیه..... ۵۲

فصل چهارم: شیمی کانی ها

- شکل ۴-۱- تشکیل اسکارن در مرز بین توده نفوذی و سنگ میزبان (کربناته)..... ۵۵
- شکل ۴-۲- تشکیل اسکارن در اثر تزریق توده نفوذی به سنگ‌های کربناته..... ۵۶
- شکل ۴-۳- A- گارنت تیتان دار در مرز اندواسکارن در نور ppl..... ۶۲
- شکل ۴-۳- B- گارنت اندو اسکارن در نور xpl..... ۶۲
- شکل ۴-۳- C- تحلیل رفتن کانی‌های کلسیت و پیروکسن توسط گارنت برای تشکیل گارنت..... ۶۲
- شکل ۴-۳- D- گارنت‌های دانه‌ای با شکل منظم در زمینه‌ای از کلسیت در نور xpl..... ۶۲
- شکل ۴-۳- E- گارنت رگه‌ای در نور ppl..... ۶۱
- شکل ۴-۳- F- گارنت رگه‌ای در نور xpl..... ۶۲
- شکل ۴-۴- A- فلوگوپیت با بافت لپیدوبلاستیک..... ۶۳
- شکل ۴-۴- B- فلوگوپیت همراه با کلسیت و کلینوپیروکسن..... ۶۳
- شکل ۴-۵- A- پیروکسن با ماکل نواری همراه وزوویانیت..... ۶۵
- شکل ۴-۵- B- بافت پوئی کیلیتیک پیروکسن ریز در زمینه‌ای از کلسیت..... ۶۵
- شکل ۴-۵- C- تغییر رنگ پیروکسن..... ۶۵
- شکل ۴-۵- D- تحلیل رفتن پیروکسن و کلسیت برای تشکیل وزوویانیت..... ۶۵
- شکل ۴-۶- A- جایگیری سرپانتین به جای الیون..... ۶۸
- شکل ۴-۶- B- سرپانتین با بافت لانه زنبوری..... ۶۸
- شکل ۴-۶- C- سرپانتین و تالک مرز ناپایدار و با کربنات مرز پایدار دارند..... ۶۸

فصل پنجم: شیمی کانی ها

- شکل ۵-۱- آمفیبول‌های توده نفوذی منطقه ۷۲
- شکل ۵-۲- ترکیب آمفیبول‌های توده نفوذی خونی ۷۲
- شکل ۵-۳- موقعیت ترکیبی آمفیبول‌های توده نفوذی خونی ۷۲
- شکل ۵-۴- تعیین ترکیب بیوتیت‌های توده نفوذی منطقه خونی ۷۳
- شکل ۵-۵- نمودار تغییرات ترکیب شیمیایی میکاهای گروه بیوتیت ۷۴
- شکل ۵-۶- در نمودار تفکیک پیروکسن‌های Ca- Mg- Fe ۷۴
- شکل ۵-۷- نمودار تغییرات اکسیدها و اعضاء انتهایی زونینگ یک کانی پیروکسن ۷۵
- شکل ۵-۸- نمودار تغییرات اکسیدها و اعضاء انتهایی زونینگ یک کانی پیروکسن ۷۶
- شکل ۵-۹- نمایش ترکیب فلدسپارها ۷۷
- شکل ۵-۱۰- نمودار تغییرات ترکیب شیمیایی میکاهای گروه بیوتیت ۷۷
- شکل ۵-۱۱- نمودار تغییرات ترکیب شیمیایی میکاهای منطقه خونی ۷۸
- شکل ۵-۱۲- کلینوپیروکسن‌های اسکارن منطقه خونی ۷۹
- شکل ۵-۱۳- موقعیت مکانی کلینوپیروکسن بر روی نمودار Q-J ۸۰
- شکل ۵-۱۴- ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های اسکارن منطقه در مقایسه با پیروکسن‌های انواع اسکارن های جهان ۸۱
- شکل ۵-۱۵- تغییرات اکسیدها و تغییرات اعضاء انتهایی زونینگ یک کانی پیروکسن ۸۱
- شکل ۵-۱۶- مدل ارائه شده در مورد نحوه تشکیل آندرادیت- گروسولار ۸۳
- شکل ۵-۱۷- تصویر اعضای نهایی گارنت‌های خونی و مقایسه آن‌ها با ترکیب گارنت در کانسارهای شناخته شده اسکارنی ۸۵
- شکل ۵-۱۸- تغییرات اکسیدها و تغییرات اعضاء انتهایی گارنت در مرکز و حاشیه ۸۷
- شکل ۵-۱۹- ترکیب آمفیبول‌های اسکارن خونی ۸۷
- شکل ۵-۲۰- ترکیب آمفیبول‌های توده نفوذی خونی ۸۸
- شکل ۵-۲۱- ترکیب کلریت اسکارن خونی از نوع کروندوفیلیت ۸۸
- شکل ۵-۲۲- تعیین درجه حرارت با استفاده از ماکل‌های کلسیت ۹۰
- شکل ۵-۲۳- A- بازمانده (Relict) کلینوپیروکسن و گارنت در امتداد تیغه‌های فلوگوپیت ۹۱
- شکل ۵-۲۳- B- بازمانده الیوین و تشکیل سرپانتین از الیوین همراه کلسیت با ماکل نوع IV ۹۱
- شکل ۵-۲۳- C- تشکیل گارنت شکل‌دار از کلینوپیروکسن در زمینه کلسیت با ماکل نوع IV ۹۱
- شکل ۵-۲۳- D- پیروکسن‌های کلسیت‌های گرد شده و تشکیل وزوویانیت همراه کلسیت‌ها با ماکل نوع III ۹۱

فصل ششم: بررسی سیالات درگیر و کانه زایی

- شکل ۶-۱: نمونه‌هایی از سیالات درگیر در اسکارن خونی ۹۶
- شکل ۶-۲: هیستوگرام مربوط به دمای همگن شدن سیالات درگیر در اسکارن خونی ۹۸
- شکل ۶-۳: هیستوگرام مربوط به شوری سیالات درگیر در اسکارن خونی ۹۹

- شکل ۴-۶: چگالی میان‌بارهای مورد مطالعه ۱۰۰
- شکل ۵-۶: تعیین درجه پرشدگی میان‌بارها ۱۰۱
- شکل ۶-۶: نمودار شماتیکی جهات اصلی دمای همگن شدن- شوری ۱۰۱
- شکل ۷-۶: نمودار دمای همگن شدن- شوری سیالات درگیر در اسکارن خونی ۱۰۱
- شکل ۸-۶: نمودار دمای همگن شدن- شوری انواع ذخایر معدنی ۱۰۲
- شکل ۹-۶: تصویر دمای همگن شدگی در برابر شوری ۱۰۲
- شکل ۱۰-۶: تعیین عمق جوشش با استفاده از منحنی های جوشش $H_2O-NaCl$ ۱۰۳
- شکل ۱۱-۶-A- مگنتیت و هیدروکسید آهن قرمز رنگ در اطراف آن همراه با مالاکیت ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-B- گوئتیت همراه مالاکیت ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-C- تبدیل بورنیت به کالکوپیریت ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-D- کوپریت و اکسید آهن ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-E- بافت افشان تیغه‌های هماتیت ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-F- تبدیل پیریت به کالکوپیریت ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-G- بافت بادبزی تیغه‌های هماتیت (اسپیکولاریت) ۱۰۵
- شکل ۱۱-۶-H- بافت جعبه‌ای تیغه‌های هماتیت (اسپیکولاریت) ۱۰۵
- شکل ۱۲-۶: نمودار تاثیر تغییرات $LogaS_2 - LogaO_2$ ۱۰۶

فصل هفتم: پتروژنز اسکارن‌ها

- شکل ۱-۷: نمودار T-P لازم برای تشکیل کانی‌های اسکارن‌های منیزیم‌دار ۱۱۳
- شکل ۲-۷: نمودار P-T تشکیل وزوویانیت ۱۱۳

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۲۵.....	جدول ۱-۳: مخفف نام کانی‌ها برگرفته از کرتز.....
۱۲۶.....	جدول ۲-۳: نتایج آنالیز عناصر اصلی و جزئی.....
۱۲۷.....	جدول ۳-۳: محاسبه کانی‌های ساخته شده در نورم سنگ‌های آنالیز شده توده نفوذی منطقه شمال خونی به روش CIPW.....
۱۲۸.....	جدول ۴-۳: مقایسه میزان عناصر جزئی توده نفوذی خونی با توده‌های مرتبط با اسکارن‌های.....
۱۲۹.....	جدول ۱-۴: روابط پاراژنتیکی کانی‌ها بر مبنای برداشت‌های بافتی کانی‌ها در زیر میکروسکوپ.....
۱۳۰.....	جدول ۱-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب کانی آمفیبول توده نفوذی.....
۱۳۱.....	جدول ۲-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب بیوتیت توده نفوذی منطقه خونی.....
۱۳۲.....	جدول ۳-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب پیروکسن‌های توده نفوذی منطقه خونی.....
۱۳۳.....	جدول ۴-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب فلدسپار از اندواسکارن، مربوط به توده نفوذی منطقه خونی.....
۱۳۳.....	جدول ۵-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب ۳ نمونه از فلوگوپیت‌های اسکارن‌های منطقه و ۲ نمونه از بیوتیت‌های اندواسکارن منطقه خونی.....
۱۳۴.....	جدول ۶-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب کانی پیروکسن اسکارن منطقه خونی.....
۱۳۵.....	جدول ۷-۵: آنالیز مایکروپروب گارنت‌های اسکارن منطقه خونی.....
۱۳۵.....	جدول ۸-۵: آنالیز مایکروپروب گارنت‌های اندواسکارن منطقه خونی.....
۱۳۶.....	جدول ۹-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب آمفیبول اسکارن خونی.....
۱۳۷.....	جدول ۱۰-۵: نتایج آنالیز مایکروپروب کلریت اسکارن خونی.....
۱۳۷.....	جدول ۱۱-۵: اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی کانی‌های کلسیت.....
۱۳۷.....	جدول ۱۲-۵: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی کانی آپاتیت.....
۱۳۸.....	جدول ۱۳-۵: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی کانی پرنیت.....
۱۳۸.....	جدول ۱۴-۵: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی کانی ایدوکراز (وزوویانیت).....
۱۳۸.....	جدول ۱۵-۵: درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده‌ی کانی‌های اوپاک.....
۱۳۹.....	جدول ۱-۶: دمای همگن شدگی (Th)، ذوب یخ (Tm) و شوری معادل در مجموعه سیالات درگیر رگه‌های کلسیتی قطع کننده اسکارن خونی.....
۱۴۰.....	جدول ۲-۶: روابط پاراژنتیکی کانه‌ها بر مبنای برداشت‌های بافتی.....
۱۴۱.....	منابع و مؤاخذ.....

فصل اول

کلیات

۱-۱ - مقدمه

واژه اسکارن اولین بار در سوئد به عنوان یک اصطلاح معدنی، برای توصیف گانگ کالک سیلیکاته نسبتاً درشت همراه با بعضی از ذخایر آهن به کار گرفته می‌شد. به همین دلیل تصور بر این بود که همه سنگ‌های اسکارنی همراه با کانه‌زایی هستند. گذشت زمان و بررسی‌های بیشتر بر روی این دسته از سنگ‌های دگرگونه نشان داد که همه اسکارن‌ها دارای کانه‌زایی اقتصادی نبوده و تنها اسکارن‌هایی که دارای کانه‌زایی باشند، کانسار اسکارن نامیده می‌شوند. اولین کاربرد منتشر شده از اسکارن به زمان تورن بام^۱، (۱۸۷۵) بر می‌گردد. تورن بام سنگ‌های پر مایه از پیروکسن را اسکارن سبز و سنگ‌های پر مایه از گارنت را هم اسکارن قهوه‌ای نامید. به گفته زاریکوو^۲، (۱۹۷۰) سنگ‌های متاسوماتیکی که از کانی‌های منیزیم‌دار حرارت بالا ساخته شده‌اند و در زون‌های حرارت بالای هاله‌ی همبری توده‌های نفوذی بر اثر تاثیر متقابل دولومیت و دیگر سنگ‌های کربناته منیزیم‌دار با ماگما یا با آلومینوسیلیکات‌ها بوسیله محلول‌های ماگمایی بوجود می‌آیند، به اسکارن‌های منیزیم‌دار معروفند. کانی‌های این نوع اسکارن‌ها عبارتند از: فلوگوپیت، سرپانتین، ترمولیت - اکتیلولیت، تالک و بعضی از کانی‌های منیزیم‌دار دیگر می‌باشد. گرم شدن سنگ آهک و اضافه شدن سیلیس، آلومینیوم و دیگر عناصر از ماگما تزریق شده به پیدایش هاله همبری با کانی‌های کالک سیلیکاته و تشکیل اسکارن می‌انجامد. از جمله تعاریف واژه اسکارن این

¹ Törnebohm

² Zharikov

است که، به سنگ‌های حاوی سیلیکات‌های کلسیم، آهن، منیزیم و منگنز که بر اثر فرایندهای متاسوماتیسم همبری^۱ در اثر تزریق توده‌های نفوذی در سنگ‌های کربناته یا سایر سنگ‌ها پدیدار می‌شود، اسکارن می‌گویند [حلمی، ۱۳۸۸]. واژه اسکارن به سنگ‌هایی اطلاق می‌شود که از کانی‌های سیلیکاته Mg, Ca, Fe دار تشکیل شده‌اند و در نتیجه جانشینی Mg, Fe, Al, Si در سنگ‌های غنی از کربنات آهک یا دولومیت حاصل می‌شوند. اسکارن‌ها غالباً در نزدیکی توده‌های نفوذی تشکیل می‌شوند و دارای انواع مختلفی می‌باشند. تعاریف و کاربردهای مختلفی برای اسکارن وجود دارد. اسکارن طی دگرگونی ناحیه‌ای و یا مجاورتی و طی فرایند متاسوماتیسم توسط سیال‌هایی همانند سیالات ماگمایی، دگرگونی، متوریتی و یا دریایی تشکیل می‌شود. این سنگ‌ها در مجاورت توده‌های پلوتونی، در امتداد گسل‌ها و زون‌های برشی، در سیستم‌های ژئوترمال کم عمق، در قاعده کف دریا و در اعماق کم پوسته‌ای حوضه‌های مدفون شده دگرگونی دیده می‌شوند و به طور کلی اسکارن‌ها در مرز تماس یا در مجاورت توده نفوذی در عمق کم، جایی که فشار هیدرواستاتیک بر فشار لیتواستاتیک غلبه می‌کند و با هر سنی (پرکامبرین تا ترشیاری) یافت می‌شوند. اسکارن‌ها شامل تنوع وسیعی از کانی‌های کالک سیلیکاته و دیگر کانی‌های مربوطه می‌باشند که معمولاً گارنت و پیروکسن غالب‌اند. بنابراین وجود اسکارن الزاماً نشانگر یک جایگاه زمین شناسی خاص یا ترکیب سنگی ویژه نمی‌باشد اما تشکیل و توسعه آن نشان می‌دهد که حرارت، فشار، ترکیب سیال و سنگ میزبان برای تشکیل کانی‌های اسکارنی مناسب بوده‌اند. اسکارن‌های واقعی از واکنش بین محلول‌های ماگمایی یا گرمابی در حرارت بالا با سنگ‌های کربناته بوجود می‌آیند و نوع کانی‌های تشکیل شده در آن‌ها بستگی به عوامل زیر دارد:

۱- ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی سنگ کربناته

۲- ترکیب شیمیایی محلول‌های ماگمایی یا گرمابی

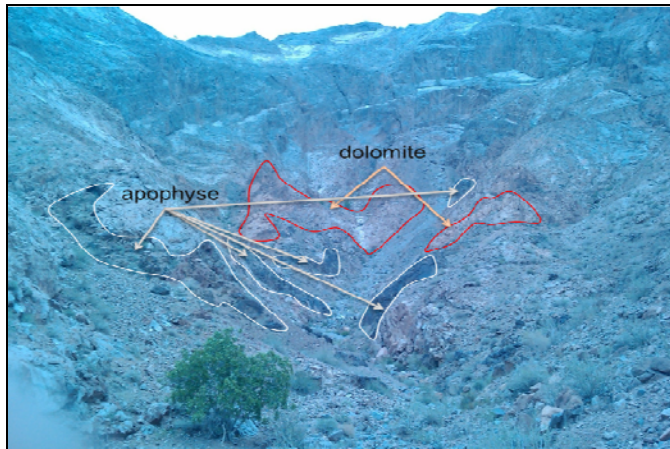
۳- درجه حرارت محلول‌ها و عمق آن‌ها

از طرف دیگر گسترش زون اسکارنی ناشی از واکنش فوق بستگی به حجم محلول‌ها، تخلخل مفید، میزان خرد شدگی و درزه شدگی و واکنش پذیري سنگ کربناته دارد.

در ایران با توجه به فعالیت گسترده ولکانیکی سنوزوئیک و شکل‌گیری کمر بند ولکانوپلوتونیک ارومیه-دختر و نفوذ آن به درون واحدهای رسوبی پالئوزوئیک و مزوزوئیک، رخدادهای متنوع اسکارنی را در امتداد این کمر بند می‌توان یافت. بسیاری از این اسکارن‌ها حاوی کانسار بوده و امروزه مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. از نظر زمانی مهمترین اسکارن‌ها متعلق به مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند. از نظر مکانی اکثر اسکارن‌ها بر

¹ Contact metasomatism

کمربند کوهزایی منطبق می‌شوند و رابطه نزدیکی با کمربند های کوهزایی دارند. نحوه تشکیل کانی‌های خاص اسکارن، پاراژنز آن‌ها و مراحل شکل‌گیری هر یک از مجموعه کانی‌ها و کانسارهای اسکارن از دیر باز توسط پترولوژیست‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به همراهی کانسارهای اقتصادی و کانی‌های فلزی با اسکارن‌ها، سنگ شناسان و زمین شناسان اقتصادی تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی نحوه تشکیل این سنگ‌ها و کانسارهای همراه با آن‌ها انجام داده‌اند. بنابراین بررسی اسکارن‌ها و فرایندهای تشکیل آن از دیدگاه اقتصادی نیز مهم است. اسکارن‌های واقع شده در شمال منطقه خونی از جمله جالب توجه‌ترین اسکارن‌ها از دیدگاه مسائل کانی‌شناختی و سنگ‌شناسی می‌باشد و با توجه به اینکه تا کنون مطالعاتی کامل بر روی این اسکارن‌ها صورت نگرفته و با توجه به وجود هر دو نوع اسکارن منیزیم‌دار و کلسیم‌دار در منطقه مورد مطالعه، مطالعه این سنگ‌ها از دیدگاه پتروژنز و کانه‌زایی جالب توجه به نظر می‌رسید (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: نمایی کلی از منطقه مورد مطالعه (شمال کوه خونی) دید از پایین. در این شکل تزریق توده‌های نفوذی منطقه خونی داخل واحدهای کربناته نشان داده شده‌است.

۱-۲- اهداف پژوهش

پترولوژی اسکارن‌ها از مباحث جالب سنگ‌شناسی است که از دیر باز مورد توجه پترولوژیست‌ها قرار گرفته است.

این پژوهش کوششی است جهت دستیابی به اهداف زیر:

- ۱- بررسی کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی و ژئوشیمی توده نفوذی
- ۲- نقش توده نفوذی خونی در اسکارن‌سازی و کانی‌سازی همراه
- ۳- بررسی کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی و ژئوشیمی اسکارن

- ۴- بررسی مجموعه کانی‌های اسکارنی، روابط پاراژنتیکی میان آن‌ها و مراحل اسکارن زایی
- ۵- کوشش جهت تبیین پتروژنز اسکارن و سنگ‌های نفوذی منطقه
- ۶- مطالعه واکنش‌های دگرگونی بر مبنای مشاهدات کانی‌شناسی
- ۷- کوشش در برآورد پتانسیل اقتصادی اسکارن‌ها بر مبنای مطالعات سیالات در گیر و مینرالوگرافی

۱-۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق استان اصفهان، در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شهرستان اصفهان، ۷۶ کیلومتری شمال شرقی شهرستان نایین، ۶۰ کیلومتری شمال شرق انارک و در فاصله ۴۰ کیلومتری شرق معدن سرب و روی نخلک قرار گرفته است. این منطقه در حاشیه جنوبی دشت کویر (کویر مرکزی)، بین طول‌های جغرافیایی ۵۴-۵۵ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳-۳۴ درجه شمالی واقع شده است. ارتفاع شهر انارک از سطح دریا ۱۲۲۰ متر است. منطقه شمال کوه خونی در محدوده طول شرقی ۷° و ۵۴° و عرض شمالی ۲۸' و ۳۳° قرار دارد (شکل ۱-۲). این ناحیه از نظر ساختاری جزئی از زون ایران مرکزی، زیر زون انارک-خور و بلوک یزد در نظر گرفته می‌شود [آقانباتی، ۱۳۸۵]. این منطقه جزء ناحیه عروسان-کبودان می‌باشد. ناحیه عروسان-کبودان در نزدیکی محل برخورد دو ساختار مهم گسلی (گسل درونه و ده شیر بافت) و در حاشیه جنوبی کویر مرکزی واقع شده است. منطقه عروسان کبودان در ۷۵ کیلومتری شمال شرق انارک (جنوب چوپانان) واقع شده است. سنگ‌های این منطقه مربوط به زمان اتوسن بوده و شامل گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری می‌باشد. ولکانیک‌های ناحیه عروسان کبودان از نظر شیمیایی به ۲ دسته اسیدی و حدواسط-بازیک تقسیم می‌شوند. سنگ‌های اسیدی (داسیتی) ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی و سنگ‌های حدواسط-بازیک سرشت شوشونیتی دارند. این منطقه بالغ بر ۴۹ کیلومتر مربع وسعت دارد و از نظر جغرافیای سیاسی تابع استان اصفهان می‌باشد [بهادران، ۱۳۸۶]. دسترسی به این منطقه تقریباً دشوار بوده و دارای ارتفاع زیادی است. وسعت محدوده حدود ۰/۴ کیلومتر مربع است و به نظر می‌آید کانی‌سازی اصلی در عمق و در بخش کوچکی از آن در سطح رخنمون دارد. منطقه مورد مطالعه در حاشیه‌ی جنوب غربی یک فرازمین با روند شرقی-غربی که بین دو منطقه فروزمین دشت نخلک و دشت چوپانان جای دارد، واقع شده است.

دسترسی به منطقه مورد مطالعه (شمال کوه خونی) از طریق جاده آسفالت نایین-انارک-خور امکان پذیر است (شکل ۱-۳). بدین طریق که از شهرستان نایین به طرف انارک حرکت نموده و پس از طی ۷۵ کیلومتر به انارک می‌رسیم. سپس به طرف چوپانان ادامه مسیر داده و پس از طی ۶ کیلومتر از دوراهی معدن نخلک از جاده آسفالت

انارک چوپانان، یک جاده خاکی به سمت راست منشعب می‌گردد. این جاده که در حدود ۳۰ کیلومتر طول دارد به معدن خونی منتهی می‌شود.

۱-۴- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه

این ناحیه جزء مناطق بیابانی ایران می‌باشد و دارای آب و هوای خشک و بسیار گرم می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در تابستان ۴۸ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در زمستان ۵- تا ۱۵- درجه سانتی‌گراد است و میزان بارندگی سالیانه به حدود ۱۰۰ میلیمتر در سال می‌رسد. بیشترین میزان بارش برف و باران در ماه بهمن تا اردیبهشت بوده و میزان بارندگی سالیانه بسیار کم (کمتر از ۱۰ میلی‌متر در سال) می‌باشد. متوسط بارش نزولات جوی ۱۰۸ میلیمتر در سال است. ارتفاع شهر انارک از سطح دریا ۱۲۲۰ متر است. حداقل ارتفاع آن در بخش‌های کوهپایه‌ای و دشت حدود ۱۰۰۰ متر است. سیستم‌های آبراه‌های آن دارای روند شرق-شمال شرق، غرب-جنوب غربی است و رودخانه دائمی در این منطقه وجود ندارد. بزرگترین رودخانه فصلی رودخانه خونی است که از شمال منطقه می‌گذرد. این رودخانه در اکثر فصول سال خشک بوده و فقط در هنگام بارندگی در آن سیلاب جاری می‌شود. آب و هوای منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی آب و هوای کویری و بیابانی دارد.

۱-۵- ژئومورفولوژی

بطور کلی از دیدگاه ژئومورفولوژی ۳ نوع توپوگرافی در منطقه دیده می‌شود (شکل ۱-۴):

۱- **کوه‌های مرتفع:** در قسمت غربی و شرقی توده‌های نفوذی به شکل‌های کوه‌های مرتفع دارای مورفولوژی خشن مشاهده می‌شود.

۲- **تپه‌های کم ارتفاع:** سنگ‌های آتشفشانی این ناحیه به صورت تپه‌های کم ارتفاع با مورفولوژی ملایم دیده می‌شوند.

۳- **دشت‌های هموار:** در مجاورت بخش‌های بالا آمده که توپوگرافی ناهموار را بوجود آورده است، دشت‌های مسطح و کم ارتفاعی قرار دارد که اغلب از رسوبات منفصل دانه ریز تا دانه متوسط تشکیل شده‌است. با توجه به زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم در این منطقه فرسایش مکانیکی به صورت شدید عمل کرده و باعث شده‌است که فرآیندهای خردشدگی و هوازدگی فیزیکی به صورت شدید در منطقه عمل کند. حاصل این نوع فرسایش به همراه فرسایش سیلابی در این منطقه دره‌های نیمه عمیقی را بوجود آورده است. منطقه مورد بررسی از نظر پوشش گیاهی فقیر می‌باشد. از نظر مورفولوژی رودخانه‌ها و آبراه‌های منطقه که فصلی نیز می‌باشند پس از ورود به دشت کویر در فاصله کوتاهی ناپدید گشته و به زمین فرو می‌رود. محدوده مورد مطالعه