



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

عنوان:

مدل تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیک اکتشافی ذخایر طلای لیستونیتی هنگران در جنوب بیرجند

دانشجو: حسین شاهی

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

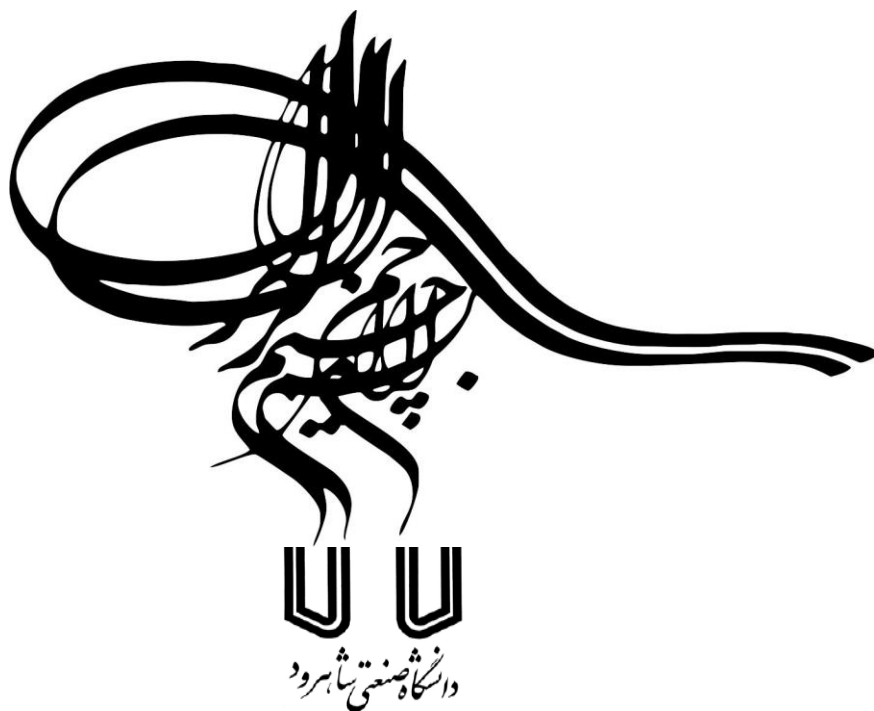
دکتر ابوالقاسم کامکار

استاد مشاور:

رضا منظمی باقرزاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۸۷



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

عنوان:

مدل تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیک اکتشافی ذخایر طلای لیستونیتی هنگران در جنوب بیرجند

دانشجو: حسین شاهی

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر ابوالقاسم کامکار

استاد مشاور:

رضا منظمی باقرزاده

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده :

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای / خانم

تحت عنوان:

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

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقديم به:

تمام عالمان، آزاد اندیشان و روشن دلان تاریخ

تشکر و قدردانی:

خداوند عالم لایعّلم را شاکرم که به من توفیق برداشتن گامی دیگر در مسیر علمی زندگی‌ام را عطا فرمود. بر درگاه کریمانه‌اش پیشانی خضوع را به خاک بندگی می‌سایم و به سپاس‌گزاری از تمام نعمت‌های بی‌بدیش می‌نشینم و از حضرتش توفیق انجام رسالت خویش در قبال جامعه‌ام را مسئلت دارم. از تمام اساتید، دوستان و همراهانی که مرا در نیل به اهداف مختلف علمی در طول زندگی‌ام یاری کردند صمیمانه سپاس‌گزارم. از خانواده مهربانم که همواره حامی و مشوقم بودند، از اساتید راهنمای این پایان‌نامه جناب دکتر ضیائی و جناب دکتر کامکار و استاد مشاور جناب مهندس منظمی باقرزاده و تمام دوستانی که مرا مورد حمایت و عنایت قرار دادند قدردانی می‌نمایم.

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

بهمن ماه 87

چکیده

ذخایر طلا دارای تیپ‌های متنوع و مختلفی می‌باشند. یکی از انواع ذخایر طلا، طلای لیستونیتی است که در مناطق افیولیتی دیده می‌شود. با توجه به گسترش متالوژنی تشکیلات افیولیت‌ملانژ در ایران، احتمال وجود این نوع کانی‌زایی طلا زیاد است. یکی از مناطق با پتانسیل برای کانی‌زایی طلای نوع لیستونیتی، مناطق

افیولیتی شرق و جنوب شرق ایران است. در این مطالعه به بررسی و تعیین مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی طلای لیستونیتی در منطقه مختاران در جنوب بیرجند، با استفاده از روش وزن‌های نشانگر در محیط GIS پرداخته شد. روش طبقه‌بندی وزن‌های نشانگر مبتنی بر فرمول بیزین بوده و روشی آماری و بسیار نیرومند برای تولید نقشه‌های پتانسیل مطلوب در مقیاس اکتشافات ناحیه‌ای می‌باشد. تلفیق لایه‌های اکتشافی از قبیل ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و دورسنجی در محیط GIS انجام شد. از تعداد ۲۸ اندیس کانی‌سازی شده در منطقه، در این محاسبات استفاده شده است. بعد از انجام محاسبات مختلف مربوط به روش وزن‌های نشانگر در محیط نرم‌افزار Arcview و excel و تعیین شاخص‌های با اهمیت از نظر اکتشافی و سپس تلفیق نتایج حاصل، در نهایت این منطقه از نظر اهمیت کانی‌زایی به چند دسته تقسیم می‌شود. پرتانسیل‌ترین و با اهمیت‌ترین منطقه از این نظر در جنوب مختاران قرار گرفته است. مساحت ناحیه مطلوب اکتشافی ۲۷ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱/۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. این قسمت از مختاران به عنوان منطقه مساعد جهت اکتشافات تفصیلی‌تر معرفی می‌گردد.

در انتها نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی که در مقیاس محلی در دو محدوده در منطقه هنگران انجام شده، مورد مدل‌سازی معکوس قرار گرفته و محل‌های مناسب جهت حفاری تعیین پیشنهاد گردیده است.

کلمات کلیدی: روش وزن‌های نشانگر (wofe)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، لیستونیت، دورسنجی، مدل‌سازی معکوس

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- مروری بر کارهای انجام شده قبلی ۴
- ۳-۱- تعریف موضوع تحقیق ۷

- ۴-۱- اهداف تحقیق ۸
- ۵-۱- روش انجام پایان نامه ۸

فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ۱۱
- ۲-۲- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه ۱۱
- ۳-۲- زمین شناسی منطقه ۱۲
- ۱-۳-۲- زمین شناسی منطقه مختاران ۱۴
- ۲-۳-۲- زمین شناسی منطقه هنگران ۱۷
- ۴-۲- زمین ساخت منطقه ۲۲
- ۵-۲- کانسارها و اندیس های معدنی منطقه ۲۳

فصل سوم: بررسی خصوصیات کانی شناسی، سنگ شناسی و زمین شناسی کانی زایی طلای

لیستونیتی

- ۱-۳- تعریف لیستونیت ۲۸
- ۲-۳- شرایط تشکیل لیستونیت ها ۲۹
- ۳-۳- ویژگی های زمین ساختی ۳۷
- ۴-۳- خصوصیات سنگ شناسی لیستونیت ها ۴۳
- ۵-۳- خصوصیات کانی شناسی لیستونیت ها ۴۸
- ۶-۳- وضعیت لیستونیت زایی در شرق ایران ۵۲

۷-۳- کانی‌شناسی لیستونیت‌های شرق ایران ۵۵

فصل چهارم: استخراج مشخصه‌های اکتشافی ذخایر طلای لیستونیتی در منطقه مختاران

۱-۴- مقدمه ۶۰

۲-۴- نقشه مناطق دگرسانی بدست‌آمده از دورسنجی ۶۰

۱-۲-۴- مقدمه ۶۰

۲-۲-۴- طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها و کاربرد آن‌ها در اکتشاف کانسارها ۶۱

۳-۲-۴- روش نسبت‌گیری طیفی ۶۴

۴-۲-۴- روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی ۶۴

۵-۲-۴- روش کروستا بر روی ۶ باند (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷) ۶۵

۶-۲-۴- روش کروستا بر روی چهار باند (۱، ۳، ۵، ۷) ۶۶

۷-۲-۴- استفاده از تصاویر رنگی کاذب (RGB) ۶۸

۳-۴- ژئوفیزیک (مغناطیس سنجی) هوایی در منطقه مختاران ۷۰

۴-۴- نقشه گسل‌های منطقه ۷۲

۵-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه ۷۳

فصل پنجم: تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی طلا

۱-۵- مقدمه ۷۶

۲-۵- احتمال مشروط و روش وزن‌های نشانگر ۷۷

۳-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی آلتراسیون‌های منطقه ۸۵

- ۴-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی گسل‌های منطقه ۸۷
- ۵-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی واحدهای زمین‌شناسی منطقه ۸۸
- ۶-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی شدت میدان مغناطیسی منطقه ۹۰
- ۷-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی آنومالی‌های ژئوشیمیایی ۹۱
- ۸-۵- تلفیق نتایج و ارائه نقشه پیش‌بینی مناطق امیدبخش معدنی ۹۳

فصل ششم: مدل‌سازی و تفسیر نتایج اکتشافات ژئوفیزیکی منطقه هنگران در مقیاس تفصیلی

- ۱-۶- مقدمه ۹۶
- ۲-۶- روش مقاومت ویژه الکتریکی ۹۶
- ۳-۶- روش پلاریزاسیون القایی ۹۷
- ۴-۶- مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوفیزیکی ۱۰۰
- ۱-۴-۶- مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوفیزیکی پروفیل شماره ۱ ۱۰۱
- ۲-۴-۶- مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوفیزیکی پروفیل شماره ۲ ۱۰۴

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱-۷- نتیجه‌گیری ۱۰۷
- ۲-۷- پیشنهادات ۱۰۸
- منابع و مراجع ۱۱۱
- فهرست منابع فارسی ۱۱۱

فصل دوم

- شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مختاران واقع در خراسان جنوبی ۱۲
- شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مختاران، مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ ۱۹
- شکل ۲-۳- راهنمای نقشه زمین‌شناسی منطقه مختاران ۲۰

فصل سوم

- شکل ۳-۱- یک مدل پتروژنتیکی ایده‌آل برای آلتراسیون‌های کربناتی _ سیلیکاتی ۳۶
- شکل ۳-۲- مدل شماتیک توسعه ذخایر رگه‌ای مزوترمال مرتبط با افیولیت‌ها ۳۹
- شکل ۳-۳- شرایط تشکیل کانی‌زایی طلای رگه‌ای حاصل از ترکیب سیالات ماگمایی و متامورفیکی ۴۲
- شکل ۳-۴- دگرسانی‌های سیلیسی- کربناتی در منطقه سارتوهای با رنگ نارنجی در بین افیولیت ملانژها و سرپانتین‌ها ۴۴
- شکل ۳-۵- مدل دگرسانی تولیدشده در سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی‌شده و توسعه طلای رگه‌ای در داخل و بالای گسل‌های معکوس، نرمال و رورانده ۴۶
- شکل ۳-۶- وضعیت کانی‌شناسی طلای لیستونیتی در معدن سارتوهای ۴۹

- شکل ۳-۷- پراکندگی لیستونیت‌ها در کمر بند افیولیتی شرق کشور ۵۳
- شکل ۳-۸- نمایی از باند طویل لیستونیت سیلیسی برشی با بافت کریپتوکریستالین و به رنگ قرمز که رخنمونی برجسته‌تر از لیتولوژی اطراف را نشان می‌دهد. - روستای کلات گردز ۵۴
- شکل ۳-۹- تصویری از لیستونیت سیلیسی به صورت رگه دایک مانند در میان سنگ دربرگیرنده اولترامافیک در حال آتیره شدن _ منطقه روم. ۵۴
- شکل ۳-۱۰- دگرسانی کالکوپیریت به کوولیت، کالکوسیت و اکسیدهای ثانویه آبدار آهن ۵۷
- شکل ۳-۱۱- کریستال‌های درشت آرسنوپیریت با حواشی دگرسان شده به اکسیدهای آبدار آهن ۵۷
- شکل ۳-۱۲- تبدیل کالکوپیریت به هماتیت در لیستونیت‌های جنوب شرق مختاران ۵۸
- شکل ۳-۱۳- حضور مالاکیت به صورت رگه‌ای در لیستونیت‌ها ۵۸

فصل چهارم

- شکل ۴-۱- نمودار طول موج‌های مختلف کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونتموریونیت و آلونیت ... ۶۲
- شکل ۴-۲- نمودار انعکاس- جذب اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ۶۲
- شکل ۴-۳- نمودار انعکاس- جذب کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژیپس و کانی‌های زون آرژلیک . ۶۳
- شکل ۴-۴- دگرسانی‌های حاوی یون هیدروکسیل حاصل از روش تجزیه مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۲،۳،۴،۵،۷ که با رنگ سفید دیده می‌شوند.(PC5)- ۶۶
- شکل ۴-۵- دگرسانی‌های حاوی یون هیدروکسیل حاصل از روش تجزیه مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۳،۵،۷ که با رنگ سفید دیده می‌شوند.(PC4) ۶۷
- شکل ۴-۶- دگرسانی‌های اکسید آهن حاصل از روش تجزیه مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۳،۵،۷ که با رنگ سفید دیده می‌شوند(PC3). ۶۸
- شکل ۴-۷- ترکیب رنگی کاذب (RGB) b7, b4, b1 _ لیستونیت‌ها به رنگ زرد طلایی دیده

می‌شوند. ۶۹

شکل ۴-۸- نقشه پراکندگی گسل‌ها در منطقه مختاران ۷۳

فصل پنجم

شکل ۵-۱- نقشه دگرسانی اکسید آهن و بافرهای مختلف با فواصل ۵۰۰ متری ۸۲

شکل ۵-۲- نقشه دگرسانی‌های آرژیلیک و سیریسیتیک و بافرهای مختلف با فواصل ۵۰۰ متری ۸۲

شکل ۵-۳- نقشه بافرهای مختلف بر روی گسل‌های منطقه با فواصل ۲۰۰ متری ۸۸

شکل ۵-۴- نقشه آماده‌سازی شده شدت میدان مغناطیسی منطقه جهت تلفیق ۹۰

شکل ۵-۵- مناطق آنومالی حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه‌ای ۹۲

شکل ۵-۶- نقشه نهایی پتانسیل معدنی ناشی از تلفیق لایه‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک، دورسنجی،

زمین‌شناسی و ساختاری با استفاده از روش وزن‌های نشانگر ۹۴

فصل ششم

شکل ۶-۱- نمایش نحوه اندازه‌گیری IP (الف)، بدست آوردن شبه مقطع (ب)، ترسیم منحنی‌های

میزان (پ)، ۱۰۰

شکل ۶-۲- مدل دو بعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های IP برداشت شده از پروفیل ۱ ۱۰۲

شکل ۶-۳- مدل دو بعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده از ۱۰۳

شکل ۶-۴- مقاطع حاصل از مدل‌سازی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه برداشت شده از پروفیل ۱ ۱۰۳

شکل ۶-۵- مدل دو بعدی حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده از پروفیل ۲ ۱۰۴

شکل ۶-۶- مدل دو بعدی حاصل از مدل سازی داده های IP برداشت شده از پروفیل ۲ ۱۰۵

شکل ۶-۷- مقاطع حاصل از مدل سازی داده های IP و مقاومت ویژه برداشت شده از پروفیل ۲ ۱۰۵

فصل دوم

جدول ۲-۱- برخی از اندیس های مهم کانی سازی شده منطقه مختاران ۲۴

فصل سوم

جدول ۳-۱- نظرات مختلف در مورد ژنز لیستونیت ها ۳۳

جدول ۳-۲- مجموعه دگرسانی لیستونیت ۴۶

فصل چهارم

جدول ۴-۱- نتایج حاصل از روش تجزیه مولفه های اصلی بر روی باندهای ۷، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ ۶۶

جدول ۴-۲- نتایج حاصل از روش تجزیه مولفه های اصلی بر روی باندهای ۷، ۵، ۳، ۱ ۶۸

فصل پنجم

جدول ۵-۱- لیست معادلات مورد استفاده در محاسبات روش وزن های نشانگر ۸۴

جدول ۵-۲- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه دگرسانی های

اکسید آهن ۸۵

جدول ۵-۳- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه دگرسانی های

آرژلیک و سربستیک ۸۷

جدول ۵-۴- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه بافر گسل ها ۸۸

جدول ۵-۵- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی واحدهای زمین شناسی

منطقه ۹۰۹

جدول ۵-۶- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه شدت میدان

مغناطیسی ۹۱

جدول ۵-۶- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه آنومالی

ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه ای ۹۳

۱-۱- مقدمه

نقش طلا به عنوان یک منبع تولید ثروت و همچنین اثر کنترلی آن در سیستم پولی جهان و اهمیت آن در قبال ناپایداری های اقتصادی ملی یا بین المللی به عنوان متعادل کننده نوسانات اقتصادی و نقش ضد تورمی آن در اقتصاد کشورها و همچنین قرارگیری آن به عنوان مبنای تمام مبادلات و معادلات اقتصادی در دنیا، مجموعه عواملی هستند که موجب اهمیت استراتژیکی آن و توجه ویژه و روزافزون دولت ها و دولت مردان به این عنصر با ارزش و تأثیرگذار شده است. از این رو، نحوه دستیابی به این عنصر، روش های اکتشافی و بهره برداری آن اهمیت زیادی پیدا می کند. لذا آشنایی با محیط تشکیل و شناخت انواع تیپ های کانسار طلا و روش های اکتشافی آنها به منظور دستیابی به این فلز، ضروری به نظر می رسد.

ذخایر طلا دارای تیپ های متنوع و مختلفی می باشند. یکی از انواع ذخایر طلا، طلای لیستونیتی است که در مناطق افیولیتی دیده می شود. لیستونیت ها^۱، آلتراسیون های حاصل از متاسوماتیسم دی اکسید کربن بر روی

^۱ - listweanite

سنگ‌های افیولیتی می‌باشند و یک مجموعه کانی‌ها را که از کربناتیزاسیون سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی شده به دست می‌آید، را شرح می‌دهند.

لیستونیت‌ها، به عنوان محصولات دگرسانی گرمابی سنگ‌های افیولیتی، در مناطق ضعیف پوسته یعنی در گسل‌ها و شکستگی‌ها، بیرون‌زدگی دارند. لیستونیت یک مجموعه سلیسی، کربناتی و سلیسی- کربناتی متشکل از کانی‌های کلسدوئن، اپال، کوارتز، کلسیت، دولومیت، منیزیت، سیدریت است، که تحت تأثیر محلول‌های اسیدی با دمای نسبتاً پایین به صورت رگه و رگچه‌هایی درون سنگ‌های فوق‌بازی سرپانتینی شده و مجموعه‌های افیولیتی یافت می‌شود. پدیده‌های کانی‌سازی طلا، جیوه، آرسنیک، سرب و نیکل معمولاً در این مجموعه سلیسی- کربناتی یافت می‌شوند. برخی از نهشته‌های طلای تیپ لیستونیتی در نقاط مختلف دنیا از جمله آمریکای شمالی، ایتالیا، ارمنستان، آذربایجان، روسیه، عربستان، مالی، بلغارستان و ... دیده می‌شوند. معادن مهم طلای زد^۲ در ارمنستان، بریزوسکی^۳، شولگینسکی^۴، میندیاکسکی^۵، مالویستوسکی^۶، بلاگوداتنی^۷ در اورال میانی و جنوبی در روسیه، معادن مهم جیوه آگیتاج^۸ در آذربایجان، چازادیر^۹، چونکوی^{۱۰}، تامواتنی^{۱۱} در آسیای میانه و معادن طلا در منطقه بریتیش کلمبیا^{۱۲} در کانادا همه از تیپ معادن لیستونیتی می‌باشند.

با توجه به این که متالورژی ایران در برخی موارد با آسیای میانه مشترک و از نظر زمین‌شناسی و ساختاری در بعضی مناطق مشابه است، احتمال وجود این نوع کانی‌زایی طلا، در ایران نیز زیاد است. یکی از مناطق با پتانسیل برای کانی‌زایی طلای نوع لیستونیتی، مناطق افیولیتی شرق و جنوب شرق ایران است. در این مطالعه به منظور تعیین مناطق با پتانسیل بالای کانی‌زایی طلای لیستونیتی در منطقه مختاران، از روش وزن‌های

² - Zod

³ - Berizovski

⁴ - Shulginski

⁵ - Mindyanski

⁶ - Maloistoski

⁷ - Blagodatni

⁸ - Agyatag

⁹ - Chazadir

¹⁰ - Chonkoi

¹¹ - Tamvatney

¹² - British Columbia

نشانگر^{۱۳} بر روی داده‌های مربوط به خصوصیات زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، ژئوشیمیایی، دورسنجی و ژئوفیزیکی استفاده شده است.

روش وزن‌های نشانگر یک روشی کمی بر اساس فرمول بیس است که بر اساس تلفیق لایه‌های وزن‌دار شده در محیط GIS^{۱۴} می‌توان یک الگوی پیش‌بینی‌کننده بهینه جهت اکتشاف ذخایر معدنی در مقیاس ناحیه‌ای بدست آورد. برای پیش‌بینی، از همبستگی فضایی محاسبه شده بین اندیس‌های معدنی شناخته شده و فاکتورهای وابسته (ساختاری، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک هوایی و ...) به عنوان یک معیار جهت شناسایی پتانسیل‌های جدید استفاده می‌شود.

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده قبلی

مطالعات گوناگونی بر روی مناطق لیستونیتی شرق کشور انجام شده است. برای اولین بار در شرق ایران، گسترش تشکیلات لیستونیتی توسط شرکت فرانسوی BRGM مورد بررسی قرار گرفت.

گزارش شماره ۲۲ سازمان زمین‌شناسی کشور در سال ۵۱ - ۱۳۵۰ که یک برنامه شناسایی مقدماتی از ذخایر شرق ایران بوده و توسط اشتوکلین، افتخارنژاد، هوشمندزاده و همکاران انجام شده و در آن کلیاتی از زمینه‌شناسی، ماگماتیسم، طبیعت ساختمانی و استعدادهای معدنی شرق ایران آورده شده است.

مطالعات مختلفی در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد توسط افراد مختلفی از جمله ضیائی (۱۳۶۹)، زرین کوب (۱۳۷۲)، غلامی (۱۳۷۴)، عابدی (۱۳۷۶)، فتوحی‌راد (۱۳۷۵) و ... بر روی این مناطق انجام شده است.

خطیب (۱۳۷۷) در پایان‌نامه دکتری خود به مطالعه ساختاری و بررسی هندسی فضای ایجاد شده برای نهشت لیستونیت‌های شرق ایران و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی پرداخته است. زرین کوب نیز در سال ۱۳۷۸ در غالب پایان‌نامه دکتری به بررسی پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت‌ملانژ و برخی

¹³ - Weight of Evidence (wofe)

¹⁴ -Geographic Information System

توده‌های ماگمایی دیگر در منطقه بیرجند پرداخت. امینی و زرین کوب در سال ۱۳۷۸ پتانسیل‌های معدنی لیستونیت‌های شرق ایران را از دیدگاه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی و حضور عناصر کمیاب مورد بررسی قرار دادند. همچنین مطالعات اکتشافی بر روی لیستونیت‌های حاصل از سرپانتینیت‌ها در منطقه جنوب بیرجند توسط عابدی و ضیائی در سال ۱۳۷۸ انجام شد که در این بررسی، بر اساس تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی، ناحیه جنت‌آباد به عنوان اندیس حاوی طلا و عناصر گروه پلاتین معرفی گردید. همچنین مهمترین کانی‌های فلزی موجود در سنگ میزبان لیستونیت‌ها شناسایی و شاخص‌های عنصری مختلفی جهت شناسایی رگه‌های لیستونیتی پتانسیل‌دار شرق کشور معرفی گردیده است [عابدی، ۱۳۷۶]. در سال ۱۳۸۰ بررسی‌های اکتشافی تحت عنوان، "اولین طرح اکتشاف سیستماتیک طلا در برونزدهای لیستونیتی در پهنه شرق کشور" توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در قالب طرح اکتشافات مواد معدنی در جنوب خراسان انجام گرفته است. در این راستا طرح اکتشاف طلا در لیستونیت‌های محور بیرجند _ نهبندان آغاز شد و طی دو مرحله کار صحرایی و آزمایشگاهی به انجام رسید. جهت دستیابی به مقدار طلا و عناصر گرانبه‌های همراه آن مانند نقره، آرسنیک، جیوه و ... نمونه‌برداری از رسوبات دانه‌ریز رودخانه (نمونه‌برداری ژئوشیمیایی)، نمونه‌برداری از رخنمون‌های سنگی لیستونیتی و نمونه‌برداری از بخش کنگلومرای رودخانه (نمونه‌برداری کانی سنگین) صورت گرفت. همچنین مقاطع نازک و صیقلی از بخش‌های مختلف لیستونیت‌ها برای مطالعه کانی‌های فلزی و غیرفلزی، بافت و ارتباط کانی‌ها با یکدیگر تهیه شد. با توجه به گسترش عمده برونزدهای لیستونیتی در پهنه جنوب مختاران، این منطقه با توجه بیشتری مورد پی‌جویی قرار گرفت. در این کار تحقیقی با استفاده از نمودارهای آماری تا حدودی ارتباط ژئوشیمیایی طلا و عناصر همراه بالاخص آرسنیک در سطح، مشخص شده است و چنین برآورد می‌شود که زون‌های با آرسنیک بالا که با حضور کانی آرسنوپیریت مشخص می‌شوند، احتمالاً می‌توانند به عنوان بخش‌های حاوی طلا در عمق مد نظر قرار گیرند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].

در سال ۱۳۸۲ اکتشافات نیمه تفصیلی بر روی مناطق مختاران و سهل‌آباد توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفت. در این مرحله از اکتشاف، از بخش‌های مختلف لیستونیت‌ها نمونه‌برداری

صورت گرفت تا با انجام آنالیز شیمیایی، پی به چگونگی انتشار طلا در زون‌های مختلف لیستونیتی و همچنین دستیابی به نحوه ارتباط طلا و عناصر همراه (آرسنیک، نقره، جیوه، آنتیموان، مس و باریوم) به لحاظ توزیع در بخش‌های مختلف صورت گیرد. بیشترین عیار طلا در مناطق هنگران، گزدز و جنت‌آباد به ترتیب ۲۹۰، ۱۷۰ و ۶۰ میلی گرم در تن اندازه‌گیری شده است که اکثراً مربوط به رگه‌های کوارتز کریپتوکریستالین برشی شده حاوی کانی‌های سولفیدی و آهن‌دار می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی در مراحل اکتشاف مقدماتی و نیمه تفصیلی و بررسی دقیق‌تر، رگه‌های لیستونیتی سیلیسی سولفیدان به عنوان زون‌های طلادار معرفی گردیده و در عمق، مبادرت به انجام عملیات ژئوفیزیکی در دو محدوده آنومال از منطقه اکتشافی هنگران ۱ گردید و متعاقب آن بر اساس نقشه‌های شدت شارژبیلیته و مقاومت ظاهری ویژه بدست‌آمده از این مناطق، در ۳ نقطه عملیات حفاری صورت گرفت. با توجه به مطالعه سنگ‌شناسی و مینرالوگرافی مغزه‌های ۳ چاه حفاری اکتشافی و همچنین آنالیز شیمیایی عنصری آنها، چاه شماره ۱ از نظر بخش‌های سیلیسی سولفیددار (زون طلادار) نسبت به چاه‌های حفاری اکتشافی دیگر به مراتب غنی‌تر تشخیص داده شد [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

شهابی نیز با همکاری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور به بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی لیستونیت‌های منطقه چاه زاغو واقع در جنوب شرق مختاران پرداخته است. نتایج این مطالعه به صورت زیر عنوان شده است:

با توجه به نتایج صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، لیستونیت‌های این منطقه به سه گروه اصلی کربناتی، سیلیسی _ کربناتی و سیلیسی تقسیم می‌شود. سنگ میزبان لیستونیت‌ها در این منطقه دیاباز است. در بعضی از رگه‌ها آثار سولفید (کالکوپیریت، پیریت و ...)، مالاکیت، آزوریت و هیدروکسیدهای آهن به وفور دیده می‌شود. هماتیت نیز به صورت ثانویه همراه با کالکوپیریت در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. به منظور مطالعه رگه‌های لیستونیتی و هاله دگرسانی اطراف آنها، تعداد ۱۲ ترانشه و یک گمانه اکتشافی حفر گردید. تعداد ۷۲ نمونه از ترانشه‌ها برای سه عنصر طلا، مس و نقره و ۱۱ نمونه از گمانه اکتشافی برای طلا و

عناصر همراه به روش جذب اتمی توسط سازمان زمین‌شناسی مورد تجزیه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که طلا در رگه‌های لیستونیت سیلیسی برشی سولفیددار با دگرسانی بالا از عیار بیشتر و رگه‌های لیستونیتی کربناته فاقد سولفید از عیار کمتری برخوردار است. به طور کلی با توجه به پایین بودن عیار طلا و مس در رگه‌های مذکور، پراکنده بودن، غیرممتد بودن و ضخامت کم رگه‌ها، چشم‌انداز مناسبی از کانی‌سازی اقتصادی را در این رگه‌ها نوید نمی‌دهد [شهابی چشمه‌موسی، ۱۳۸۶].

۱-۳- تعریف موضوع تحقیق

منطقه مختاران یکی از مناطق با اهمیت از نظر کانی‌زایی طلا ی لیستونیتی است. مطالعات مختلفی از جمله بررسی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی با روش‌های سنتی در گذشته بر روی این منطقه انجام شده است ولی در این مطالعه به منظور بهینه کردن عملیات اکتشافی، استفاده کامل و مناسب از تمامی داده‌های اکتشافی بدست‌آمده، و رسیدن به یک نتیجه قابل قبول، برای اولین بار از روش‌های مدرن اکتشافی در این منطقه استفاده می‌کنیم. این روش یکی از روش‌های است که بر اساس کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در اکتشاف ذخایر معدنی بنا نهاده شده است و به نام روش وزن‌های نشانگر^{۱۵} معروف است که الگوی تشخیص در این روش فرمول بیس می‌باشد. به این منظور جهت بدست آوردن مناطق با پتانسیل کانی‌سازی بالا، از تلفیق نتایج داده‌های زمین‌شناسی، ساختاری، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی و با در نظر گرفتن اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی‌شده موجود در منطقه، در محیط GIS بهره می‌گیریم.

¹⁵ - weights-of-Evidence (wofe)

۴-۱- اهداف تحقیق

این تحقیق که به منظور تعیین و شناسایی یک تشخیص الگوی جدید و کارآمد جهت مشخص کردن مناطق با اهمیت کانی‌سازی طلای لیستونیتی استفاده شده است، اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- تشریح چگونگی توزیع نهشته‌های کانی‌سازی‌شده طلا در منطقه مختاران و ارتباط آن با کنترل‌کننده‌های زمین‌ساختی.

- ارائه نقشه‌هایی از شواهد و نشانگرهای اصلی زمین‌شناختی اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی‌شده طلا در منطقه مختاران.

- بررسی و شناسایی ارتباط بین خصوصیات زمین‌شناسی و واحدهای مختلف لیتولوژیکی با کانی‌زایی، با استفاده از روش وزن‌های نشانگر و با بهره‌گیری از اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی‌شده طلا در منطقه مختاران.

- تعیین میزان اهمیت شاخص‌های مختلف داده‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی در اکتشاف طلای لیستونیتی و ارائه نقشه پتانسیل مطلوب آن‌ها.

- ارائه یک مدل جامع بر اساس روش وزن‌های نشانگر و تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانی‌سازی طلای لیستونیتی در منطقه مختاران با استفاده از تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و دورسنجی.

- تعمیم مدل فوق برای تشکیلات لیستونیتی گسل نهبندان در مقیاس ناحیه‌ای با هدف اکتشاف ذخایر مشابه در کمربند متالوژنی شمالی _ جنوبی به طول ۵۰۰ کیلومتر.

۵-۱- روش انجام پایان‌نامه

روش کلی تحقیق به منظور شناسایی یک تشخیص الگوی جدید یا ارائه یک مدل اکتشافی بهینه در سه مرحله اصلی زیر خلاصه می‌شود:

الف) استخراج مشخصه‌ها با استفاده از تکنولوژی GIS برای داده‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و دورسنجی منطقه مختاران که شامل مراحل زیر است:

۱- رقومی‌سازی نقشه زمین‌شناسی منطقه مختاران در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰

۲- رقومی‌سازی مشخصه‌های ساختاری در مقیاس ناحیه‌ای

۳- بدست آوردن مناطق مختلف آلتراسیونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست) در منطقه مختاران و رقومی‌سازی آن

۴- تهیه و آماده‌سازی نقشه توزیع اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی شده در منطقه مورد مطالعه

۵- تهیه نقشه نهایی برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی در مقیاس ناحیه‌ای و رقومی‌سازی آن

۶- بدست آوردن آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر در منطقه و رقومی‌سازی نقشه حاصل

ب) استفاده از روش تحلیلی وزن‌های نشانگر به منظور طبقه‌بندی مشخصه‌ها که شامل مراحل زیر است:

۱- منظم کردن و سازمان‌دهی اطلاعات رقومی‌شده مربوط به داده‌های ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و دورسنجی

۲- تعیین مناسب‌ترین مؤلفه‌ها و شاخص‌ها بر اساس وزن‌های تخصیص یافته برای هر لایه اطلاعاتی، و ترکیب و تلفیق لایه‌ها بر اساس این فاکتورها جهت بدست آوردن نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌زایی طلای لیستونیته در این منطقه

۳- تحلیل و تفسیر مدل اکتشافی نهایی (نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی) براساس اطلاعات موجود و کارهای اکتشافی قبلی انجام شده در منطقه با هدف انتخاب و اولویت‌بندی زون‌های اکتشافی و معرفی مناطق با اهمیت جهت اکتشافات تفصیلی.

ج) اکتشافات ژئوفیزیکی در مقیاس محلی برای زون‌های اکتشافی با اولویت برتر.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مختاران در شرق ایران و در جنوب استان خراسان (جنوب بیرجند) واقع می‌باشد. به لحاظ موقعیت، این منطقه در محدوده جغرافیایی $59^{\circ} 00'$ تا $59^{\circ} 30'$ طول شرقی و $32^{\circ} 00'$ تا $32^{\circ} 30'$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۲-۱). بلندترین نقطه این منطقه با ارتفاع ۲۷۹۰ متر در کوه شاه و پست‌ترین این نقطه با ارتفاع ۱۳۰۰ متر در گوشه جنوب غربی این منطقه واقع هستند. منطقه هنگران نیز در استان خراسان جنوبی و در قسمت جنوبی ورقه ۱,۱۰۰,۰۰۰ مختاران واقع شده است و موقعیت جغرافیایی آن در محدوده $59^{\circ} 10'$ تا $59^{\circ} 15'$ طول شرقی و $32^{\circ} 04'$ تا $32^{\circ} 07'$ عرض شمالی قرار دارد.

۲-۲- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه

آب و هوای منطقه گرم و خشک و از نوع کویری تا نیمه کویری است. بالاترین درجه دمای آن در تابستان تا ۵۰ درجه بالای صفر و پایین‌ترین دمای آن تا ۲۱ درجه زیر صفر نیز می‌رسد. بارندگی در منطقه پایین است و رودخانه‌های موجود در منطقه تنها در بخشی از زمستان آب‌دار است. که این آب‌ها به صورت سرگردان در منطقه حرکت و در زمین نفوذ می‌کنند. پوشش گیاهی در این منطقه کم بوده و بیشتر این پوشش از نوع بوته‌های کوتاه کویری می‌باشد. در قسمت‌های مرتفع بیشتر گیاهان کوتاه ریشه مثل ریواس دیده می‌شوند و در مناطق کویری و بیابانی گیاهان دارای ریشه عمیق مثل گون، خارشتری و ... وجود دارد.



۲-۳- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از شرق کشور را به خود اختصاص داده است. این بخش در ایران در اکثر تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی - رسوبی تحت عنوان ایالت ساختاری سیستان معرفی شده است. از جمله عناوین به کار رفته برای این ناحیه می‌توان « به واحد و مرکز شرق ایران ، زون فلیش - آمیزه‌رنگین، و زون سیستان » اشاره داشت.

فازهای کوهزایی آلپی که از اوایل دوران سوم آغاز شده و تا دوران چهارم ادامه یافته، کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا را تشکیل داده است. این کمربند از کوه‌های آلپ در اروپای غربی تا شرق آسیای دور کشیده شده و به کوه‌های هیمالیا در شمال شبه قاره هند می‌رسد و در روند تقریباً شرقی - غربی خود، ایران را در بر گرفته و آن را به طور کلی تحت تأثیر قرار داده و به عبارتی مورفولوژی کنونی کشور ما را پایه‌ریزی نموده است. این کمربند که حاصل برخورد دو کمربند گندوانا در جنوب و اوراسیا - اوراسیا در شمال می‌باشد، در مراحل مختلف کوهزایی آلپی ایجاد شده و در محل برخورد باعث ایجاد چین‌خوردگی‌ها، گسل‌ها و روراندگی‌های عظیم گردیده است که در این راستا، پوسته فلات ایران زمین نیز در مسیر گذر آن از شرق به غرب قرار گرفته و شدیداً متأثر شده است هرچند عوامل دیگری نیز در این امر شرکت داشته‌اند (زرین کوب ۱۳۷۲). اکنون ایران به صورت پهنه گرفتار شده در بین صفحات مختلف لیتوسفری قرار داشته و در اثر فرایند همگرایی قطعات گندوانا و اوراسیا از چند جهت تحت تأثیر یک رژیم تکتونیکی فشاری قرار گرفته است.

مرز شرقی زون سیستان با گسل هیروود تقریباً بر مرز جغرافیای کشورهای همسایه (افغانستان و پاکستان) منطبق است و مرز غربی توسط گسل نهبندان، مشخص می‌گردد که این پهنه را از پهنه لوت جدا می‌کند.

مرز جنوبی آن با زون مکران در تماس بوده و با گسل بشاگرد از همدیگر جدا می‌گردند. مرز شمالی آن با ایران مرکزی نیز یک گسل است که امتداد آن شمال غربی - جنوب شرقی است [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

ایالت ساختاری سیستان دارای روند کلی شمالی - جنوبی است و بخش انتهایی آن در شمال غرب بصورت بین انگشتی وارد پهنه لوت می‌گردد. و بخش انتهایی آن در جنوب شرق، در راستای گسل بشاگرد به داخل کشور پاکستان کشیده می‌شود و در انتهای جنوب شرقی و شمال غربی روند تقریباً شرقی - غربی به خود می‌گیرد [زرین‌کوب، ۱۳۷۲].

یک زون از گوه‌های به هم فزاینده^{۱۶} دگر شکلی یافته و یک حوضه پیش‌کمانی^{۱۷} مجاور آن که از بیرجند تا زاهدان در جنوب شرق ایران ادامه دارند، ثبت کننده از بین رفتن شاخه‌ای از نفوتتیس در طی زمان سنونین - پالتوس و متعاقباً برخورد بلوک‌های کراتونی افغان و لوت می‌باشد.

زون گوه‌های بهم‌فزاینده در عرض جغرافیایی ۳۲N شمالی به دو کمربند "ان شلان" با روند شمال غربی تقسیم می‌گردد که به ترتیب موسوم به کمپلکس‌های "راتوک" و "نه" می‌باشند. در شرق، کمپلکس "راتوک" با یک آمیزه متشکل از بلوک‌های افیولیتی و یا آمیزه با ماتریکس سرپانتینیتی و قطعات بزرگ با کنتاکت گسلی از تکنونیت‌های شیست آبی حاوی اپیدوت مشخص می‌گردد. در کمپلکس "نه" علاوه بر آمیزه افیولیتی، سنگ‌های رسوبی دریایی کمی دگرگون شده نیز وجود دارند که در یک کمربند گسترده محصور شده با گسل‌های پرشیب قرار دارد [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

۲-۳-۱- زمین‌شناسی منطقه مختاران

این منطقه منحصر به کمربند آمیزه رنگین و فلیش در شرق ایران تعلق دارد و تنوع زیادی از سنگ‌های با سن کرتاسه پایانی و ترشیاری را نشان می‌دهند. تنها در حاشیه جنوبی منطقه، چند برونزد از سنگ‌های

1- Accretionary prisms
2- Fore-arc basin

با سن ژوراسیک در زون باریک شدیداً فلسی شده رخ داده است به طوری که اتصال بین فلیش و زون آمیزه و بلوک لوت مشخص می‌باشد. این بخش از سنگ آهک اوولیتی و به طور هم شیب در زیر شیل ماسه‌ای قرار گرفته است. شیل مذکور به لحاظ دارا بودن بقایای گیاهی فقیر بوده و برابر با تشکیلات شمشک با سن ژوراسیک پایینی - میانی در مرکز و شمال ایران است. سنگ آهک‌های فوق‌الذکر مشخصه ژوراسیک بلوک لوت می‌باشند. کمپلکس‌های فلیش و آمیزه‌رنگین در این ناحیه معمولاً بر اساس مشاهده فسیل فرامینیفر با سن کرتاسه پایانی در بعضی از سنگ‌ها و عدم حضور فسیل‌های قدیمی‌تر، به کرتاسه بالایی نسبت داده می‌شوند.

بخش اعظم تپه‌های جنوبی از آمیزه‌رنگین تشکیل شده است. ظاهراً این بخش از لیتولوژی این منطقه، مجموعه‌ای از بلوک‌ها را نشان می‌دهد که بر روی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگون رانده شده‌اند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

به طور بسیار واضح و برجسته، در آمیزه‌های بخش جنوبی، لیستونیت‌های زرد، نارنجی و قرمز -

قهوه ای (افی کربنات) مشاهده می‌شوند که معمولاً در مجاورت بلافصل با اولترابازیک‌ها یا دیابازها قرار گرفته‌اند. در زیر میکروسکوپ، باقیمانده‌هایی از ساخت مش مانند سرپانتین در لیستونیت‌ها می‌تواند دیده شود. سنگ‌های رسوبی داخل آمیزه‌های رنگین متشکل از شیل‌های سیلیسی و آرژیلی و ماسه‌سنگ می‌باشد و پس از این‌ها، رادیولاریت‌ها، شیل‌های رادیولاریتی و سنگ آهک پلاژیک از تشکیل دهنده‌های فرعی می‌باشند.

آمیزه تپه‌های جنوب تا بلوک لوت ادامه دارد و این آمیزه‌ها داخل یک مجموعه از سنگ‌های با دگرگونی درجه پایین تا متوسط قرار گرفته است. ظاهراً این دگرگونی با فشار بالا صورت گرفته است. فراوان‌ترین انواع سنگ‌ها عبارت‌اند از: شیست‌های فیلیتی، کالک شیست، کوارتز - سربیسیت - کلریت شیست، کوارتزیت و شیست‌های کوارتزیتی، متادیاباز و به مقدار کمتر متاگابرو، آمفیبولیت و آمفیبولیت شیست و نهایتاً مرمر.

در بخش جنوبی منطقه برک - سلطانی، یک عدسی گسترده از پلاژیوگرانیت - گنیس غنی از بیوتیت که در کنتاکت تکتونیکی با شیست کوارتزیتی وجود دارد و به طرف شمال بر روی سرپانتینیت رانده شده است. این گنیس و شیست‌ها یادآور گرانیت شاه کوه (قبل از کرتاسه) و دگرگونی‌های ده‌سلم بلوک لوت است به طوری که در بخش جنوبی این منطقه، گرانیت دارای یک کنتاکت نفوذی با دگرگونی‌ها است. تشکیلات کوارتزتری بسیار وسیع به صورت مخروط‌های گراولی پهناور در دشت‌های رودخانه‌های دیسک و تاق وجود دارد. پهنه‌های نمکی و گلی (کویر، دق) تپه‌های ماسه‌ای و آبرفت‌های عهد حاضر به عنوان جوان‌ترین تشکیلات در نظر گرفته می‌شوند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

بخش آذرین ناحیه مختاران متشکل از سنگ‌های اولترابازیک (عمدتاً پریدوتیت سرپانتینی‌شده و سرپانتینیت)، دیابازها و توف‌های دیابازی است. اولترابازیک‌ها چند توده عدسی‌شکل با طول بیش از چند کیلومتر و توده‌های کوچکتر متعددی را تشکیل می‌دهند. دیابازها به مراتب فراوان‌تر و همچنین همگون‌تر از اولترابازیک‌ها هستند و علاوه بر تپه‌های جنوبی، بخش شرقی رشته‌کوه شاه را تشکیل داده‌اند جایی که دایک‌های گرانیتی بزرگ به صورت عرضی آن‌ها را قطع می‌کنند. همچنین دیاباز و توف‌های دیابازی بین توالی لایه‌ای فلیش بویژه در جبهه شمالی برک - بصیران یافت می‌شود. تشکیلات ترشیاری پایینی (پالئوژن) در رشته‌کوه شاه و در بخش غربی تپه‌های جنوبی به شدت توسعه یافته است. این‌ها عمدتاً متشکل از سنگ‌های آتشفشانی و آواری هستند و در بخش پایینی از یک توالی رسوبی - توفی تشکیل شده‌اند. توالی شیل - ماسه‌سنگ با کنتاکت‌های اکثراً گسلی، بالای پهنه وسیعی از دیابازها در بخش جنوب شرقی کوه شاه قرار گرفته است و به کرتاسه بالایی نسبت داده می‌شود. این دیابازها در یک الگوی شبکه‌ای شکل توسط دایک‌های اسیدی ضخیم مورد هجوم قرار گرفته و بعضی از آن‌ها حتی به داخل ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های ائوسن توسعه یافته‌اند.

توالی ولکانیک - رسوبی پالئوژن در بخش غربی این منطقه، با یک واحد کنگلومرایی شروع می‌شود که با دگرشیبی مشخصی، بالای شیل‌های فیلیتی‌شده با سن کرتاسه بالایی و فیلیت‌های مشابه در بخش غربی تپه‌های جنوبی قرار گرفته است.

در بخش‌های مرکزی و غربی کوه شاه، کنگلومرای موجود در تحتانی‌ترین بخش توالی پالئوژن به طور جانبی و به طرف بالا به داخل سنگ‌های آواری با ۱۰۰۰ متر ضخامت عبور کرده است. این سنگ‌ها شامل توف قرمز، مارن توفی و ماسه‌سنگ در بخش پایینی و برش‌های ولکانیکی ضخیم، کنگلومراها و آگلومراها در بخش بالایی می‌شود. در ناحیه شادان - زید، توف‌ها و برش‌ها با لاوای آندزیتی همراه هستند و به طرف شمال، به صورت هم‌شیب توسط داسیت‌ها پوشیده می‌شوند.

سنگ‌های از تیپ آتشفشانی و رسوبی با سن نئوژن به صورت غیر هم‌شیب بالای توالی پالئوژن قرار گرفته‌اند. به لحاظ پتروگرافی، چند نوع آندزیت مانند آندزیت پورفیری، پیروکسن آندزیت و هورنبلند آندزیت شناخته شده‌اند جوان‌ترین عضو توالی آتشفشانی که احتمالاً سن کواترنری را داراست، بازالت بوده و چند توده خروجی کوچک در داخل و جنوب کوه شاه را بوجود آورده است. همچنین میکرودیوریت‌های با سن بعد از پالئوژن با رخساره حاشیه‌ای آندزیتی تشکیل یافته است که به صورت خروجی‌های برجسته‌ای تشکیل کوه گلرک و آغول کوه را داده‌اند. یک توده مدور شکل از جنس میکروگرانیتی تا میکروگرانودیوریتی ظاهراً متعلق به فاز نیمه عمیق جوان به صورت یک برآمدگی در آندزیت و توف با سن پالئوژن در شادان یافت شده است [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

۲-۳-۲- زمین شناسی منطقه هنگران

به لحاظ زمین شناسی، سنگ‌های موجود در منطقه عبارت‌اند از:

گرانیت، دیاباز، اولترابازیک، گنیس، مجموعه شیل - ماسه سنگ - دیاباز و برونزدهای عظیم لیستونیتی. بجز گرانیت که دارای سن ترشیاری است بقیه لیتولوژی‌ها دارای سن کرتاسه و یا قدیمی‌تر می‌باشند. حجم زیادی از رخنمون‌های سنگی توسط سنگ‌های لیستونیتی تشکیل شده است. این سنگ‌ها از نقطه نظر سنگ‌شناسی به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

الف) لیستونیت‌های سیلیسی سولفید- آرسنیک دار

ب) لیستونیت‌های نوع سیلیسی بدون سولفید و آرسنیک

ج) لیستونیت‌های نوع سیلیسی - کربناتی

د) لیستونیت‌های نوع کربناتی

در محدوده اکتشاف هنگران، بیشترین حجم لیستونیت‌ها از نوع کربناته و سیلیسی _ کربناته تشکیل شده و در بعضی از کربنات‌ها که بیشتر در محل گسل‌های موجود در منطقه است، نوع سیلیسی در منطقه دیده می‌شود. نوع اخیر اکثراً سخت و شکننده، برشی و خوردشده هستند و می‌تواند با و یا بدون سولفیدهای موجود (پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، کالکوزیت، کوولیت و سینابر) باشد. این بخش اکثراً با رنگ قرمز، قهوه‌ای، قرمز سوخته تا سیاه مشخص می‌شود که این رنگ ظاهری می‌تواند حاکی از وجود سولفیدهای دگرسان‌شده و اکسیدهای آهن منتج از آن‌ها باشد. این بخش سیلیسی به دلیل داشتن سولفیدها، می‌تواند به لحاظ دارا بودن طلا و عناصر همراه از جمله نقره، آرسنیک، جیوه، آنتیموان، تلوریم و باریم از انواع دیگر لیستونیت‌ها غنی‌تر باشد و معمولاً در بخش‌های بالایی نوعی کربناته تشکیل شده است.

کانی‌های اصلی تشکیل دهنده لیستونیت‌های نوع سیلیسی عبارت‌اند از:

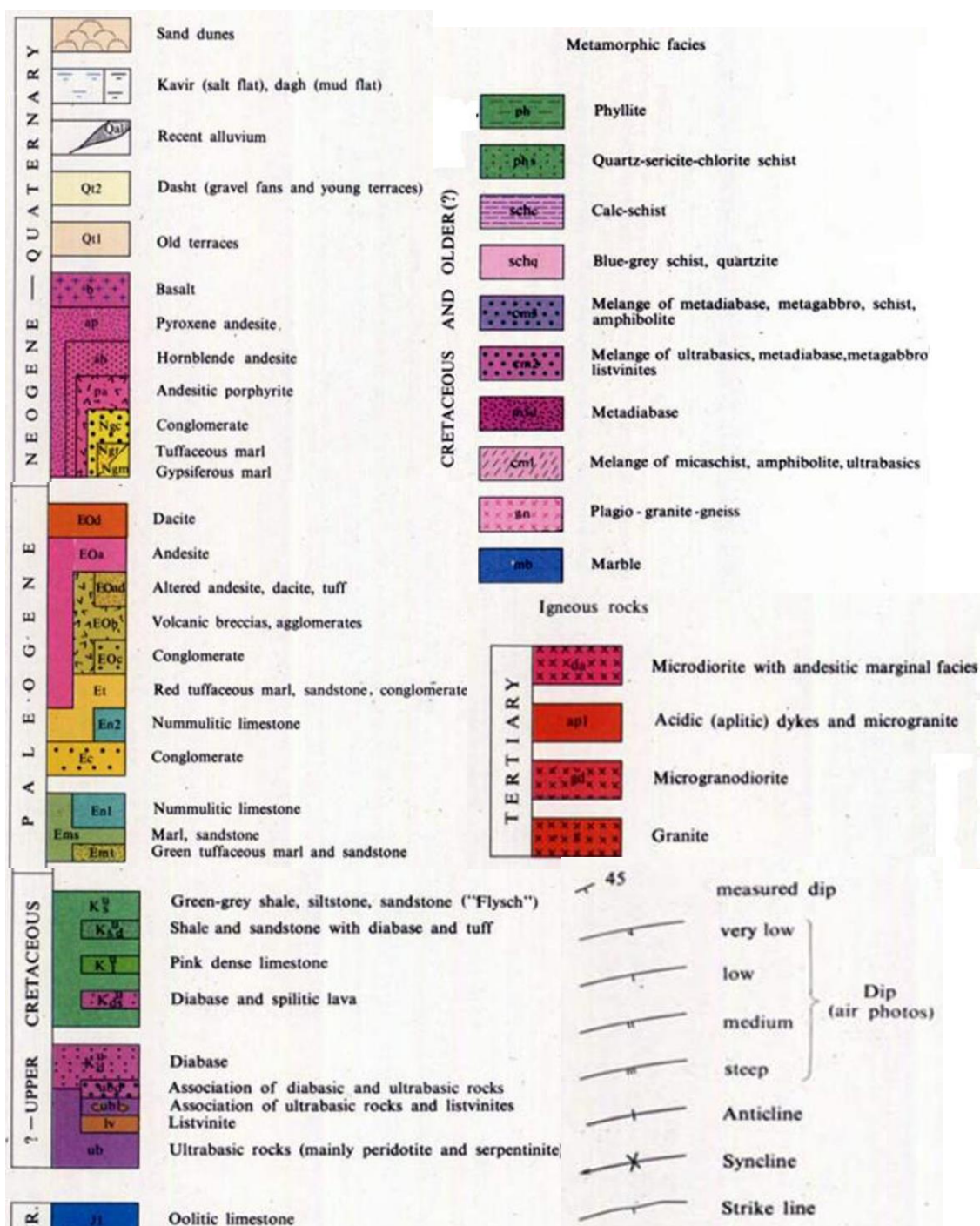
کوارتز نهان بلور اکثراً به شکل ژاسپیروئید و اپال.

کانی‌های فرعی در این نوع از سنگ‌ها، غیر از کلسیت و دولومیت، کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، کوولیت، کالکوزیت، پیروکسن، کرومیت، مگنتیت، هماتیت و لیمونیت یافته می‌شود. بیشترین گسترش این نوع لیستونیت‌ها در محدوده هنگران ۱ دیده می‌شود. در محدوده هنگران ۲ برونزدهای کوچکی از این نوع لیستونیت‌ها همراه با سولفیدها و اکسیدهای آهن در سنگ میزبان کربناته و در محل گسل‌های اصلی تشکیل شده‌اند.

لیستونیت‌ها اکثراً به شکل رگه‌های با پهنای کم (حداکثر ۲۰ متر) و طول‌های مختلف دایک مانند و با ظاهری برجسته نسبت به سنگ‌های دگرگون‌شده مجاور خود و در درون شکستگی‌های زون‌های برشی در

The geological map of the Khatanga area is a detailed representation of the region's geology. It features a variety of geological units, each represented by a unique color and pattern. The units are labeled with codes such as Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q26, Q27, Q28, Q29, Q30, Q31, Q32, Q33, Q34, Q35, Q36, Q37, Q38, Q39, Q40, Q41, Q42, Q43, Q44, Q45, Q46, Q47, Q48, Q49, Q50, Q51, Q52, Q53, Q54, Q55, Q56, Q57, Q58, Q59, Q60, Q61, Q62, Q63, Q64, Q65, Q66, Q67, Q68, Q69, Q70, Q71, Q72, Q73, Q74, Q75, Q76, Q77, Q78, Q79, Q80, Q81, Q82, Q83, Q84, Q85, Q86, Q87, Q88, Q89, Q90, Q91, Q92, Q93, Q94, Q95, Q96, Q97, Q98, Q99, Q100. The map also shows topographic features such as the Khatanga River, Khatanga Lake, and the Khatanga River delta. A scale bar and a north arrow are included for reference.

شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مختاران، مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].



شکل ۲-۳- راهنمای نقشه زمین‌شناسی منطقه مختاران

در مقابل لیستونیت‌های کربناتی با رنگ‌های سفید تا زرد نخودی و متمایل به کمی قرمز و خاکستری مشخص می‌شوند و اکثراً از کانی‌های اصلی کلسیت، دولومیت، منیزیت، و به مقدار کمتر سیدریت و اسمیت‌زونیت، هماتیت، کوارتز، مگنتیت، مالاکیت، پیروکسن و سرپانتین تشکیل شده‌اند. در برخی از نقاط محدوده هنگران ۲، رگه‌های منیزیتی با گسترش کم دیده می‌شوند. سطح این نمونه‌ها معمولاً خشن و متخلخل است و این مورفولوژی در اثر انحلال سنگ آهک در مقابل آب‌های سطحی و اسیدی ایجاد شده است. بافت غالب در این نمونه‌ها، کریستالین بوده و ژئودهای کلسیتی و دولومیتی نیز به چشم می‌خورد.

سنگ‌های دربرگیرنده لیستونیت‌ها در محدوده‌های مورد مطالعه، اکثراً سنگ‌های اولترابازیک (دونیت، سرپانتینیت و هارزبورژیت) دگرسان‌شده به سرپانتین، کلریت و تالک می‌باشد. از دیگر سنگ‌های دربرگیرنده که درصد کمی را به خود اختصاص می‌دهند، دیابازها می‌باشند که مخصوصاً در محدوده هنگران ۱ و در بخش شمالی و مرکزی آن دیده می‌شوند. مرز لیستونیت‌ها با این سنگ‌ها دربرگیرنده گسله است. روند کلی رشته کوه‌های لیستونیتی، شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد که تبعیت از روند کلی شکستگی‌های منطقه را نشان می‌دهد.

از دیگر سنگ‌ها با برونزدهای نسبتاً قابل توجه در منطقه شمال غرب و جنوب شرق محدوده هنگران ۱، سنگ‌های گرانیتی و رگه‌های کوارتز _ فلدسپاتیک با دگرسانی متوسط و شدید است و کنتاکت آن‌ها با لیستونیت‌ها و اولترابازیک‌ها به صورت گسله است. کانی‌های فلدسپات تا حد زیادی به کانی‌های رسی (دگرسانی آرژیلیک) و بیوتیت به هورنبلند دگرسان شده‌اند. کانی‌های اوپک از جمله سولفیدها و اکسیدهای آهن نیز مشاهده می‌شوند. از نظر سنی، گرانیت در این مجموعه جوان‌تر است و می‌تواند به عنوان یک عامل در فرآوری محلول‌های هیدروترمال سیلسی و همراه با پتانسیل‌های طلا و عناصر همراه و در کنار اولترابازیک‌ها در نظر گرفته و مهم پنداشته شود. البته این موضوع نیاز به تحقیقات بیشتر و وسیع‌تر دارد.

در مجاورت گسل‌ها و سنگ‌های سیلیسی، زون‌های دگرسانی تشکیل شده‌اند. بافت این قسمت اکثراً متخلخل و اسفنجی بوده و غالباً از هماتیت، لیمونیت و گوتیت همراه با مقدار کمی مگنتیت تشکیل شده‌اند.

۴-۲- زمین ساخت منطقه

بخش‌های زیادی از ناحیه مختاران توسط کمربند فلیش و آمیزه‌رنگین مربوط به شرق ایران پوشیده شده است به ویژه کوه شاه و شاخه‌های برک _ بصیران از این کمربند، به طوری که در جهت شمال غرب و غرب، دور برآمدگی شاه کوه خمیده شده است. زون شدیداً دگرگونی آمیزه رنگین در بخش جنوبی این

ناحیه، اتصال گسلی با بلوک لوت را نمایان می‌سازد. به طرف غرب و به طور بخشی، کمپلکس‌های فلیش و آمیزه‌رنگین به زیر پوشش آتشفشانی ترشیاری میل پیدا کرده است.

کمپلکس آمیزه در جنوب این ناحیه، فلس شدگی قوی با تمایل به شمال در مکان‌های خردشدگی و به هم آمیختگی سنگ‌های مختلف را نشان می‌دهند. این آمیزه‌ها به طور یکجا و بر روی فلیش‌های کرتاسه منطقه برک رانده شده‌اند به طوری که چین‌خوردگی فلسی شکلی را بوجود آورده‌اند. دگرگونی بخشی این آمیزه به نظر می‌رسد که در نتیجه حرکات فشارشی همسان صورت گرفته، به طوری که باعث تغییر شکل مکانیکی شده است. به لحاظ زمانی، این حرکات به اواخر کرتاسه تا اوایل ترشیاری نسبت داده می‌شوند و حرکات بعد از ائوسن میانی باعث چین‌خوردگی با شدت کمتر شده ولی گسلش و شکستگی‌ها در خور توجه است به طوری که در تشکیلات آتشفشانی پالئوژن و راندگی فلیش‌های فیلیتی شده در جهت جنوب با سن کرتاسه در کوه شاه بر روی مارن و ماسه‌سنگ ائوسن تظاهر کرده است. چین‌خوردگی متوسطی در اواخر ترشیاری رخ داده است به طوری که یک سری تاقدیس و ناودیس‌های ملایم در رسوبات نئوژن دیده می‌شود. در این منطقه گسل‌ها و شکستگی‌های متعددی به وجود آمده است که نقش مهمی در تشکیل لیستونیت در منطقه داشته‌اند. ارتباط بین لیستونیت‌ها و اولترابازیک‌ها و حتی سنگ‌های گرانیتی، گسلی است. این شکستگی‌ها که دنباله سرشاخه‌های سیستم گسل "نه" هستند از روند شمالی جنوبی تبعیت می‌کنند. نقش این گسل و دیگر گسل‌ها و درزه و شکستگی‌های ناشی از آن‌ها در سیمای ژئومورفولوژی جوان منطقه از اهمیت بالایی برخوردار بوده و باعث شده که این منطقه جزء مناطق تکتونیکی قلمداد شود. شناسایی عناصر ساختاری و به طور کلی تشخیص ساختار هر ناحیه کمک بسیار ارزنده‌ای در جهت شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌نماید.

در بررسی‌هایی که بر روی درزه‌های موجود در برونزدهای لیستونیتی منطقه هنگران صورت گرفته است، دو فاز اصلی درزه‌های منطقه روند NNW-SSE (۱۵ درجه شرقی) و NW-SE (۱۳۵ درجه شرقی) هم روند با شاخه غربی گسل "نه" و متعاقب آن گسل‌های تراستی منطقه می‌باشند و بعلاوه سیستم‌های فرعی شکستگی‌ها در روند غالب E-W، NE-SW (۶۵ درجه شرقی) شکل گرفته‌اند. کلیه درزه‌ها و شکستگی‌های

اندازه‌گیری شده مربوط به بخش‌های مختلف لیستونیت‌ها و بالاخص رگه‌های سیلیسی تکتونیزه (sb)، رگه‌های کوارتز - فلدسپات (Q)، بخش‌های گرانیتی، سنگ میزبان اولترابازیکی سرپانتینی شده (ub) و زون‌های اکسیدان حاوی اکسیدهای آهن و سولفیدهای دگرسان شده می‌باشند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

۲-۵- کانسارها و اندیس‌های معدنی منطقه

اندیس‌های کانی‌سازی شده زیادی که دارای کانی‌های فلزی مختلفی هستند، در منطقه شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تعداد ۲۸ اندیس مهم، از کل اندیس‌های منطقه برای انجام محاسبات در روش وزن‌های نشانگر مورد استفاده قرار گرفته است. بعضی از اندیس‌های مهم منطقه در جداول صفحات بعد آمده است.

جدول ۲-۱- برخی از اندیس‌های مهم کانی‌سازی شده منطقه مختاران [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].

Au (ppb)	دگرسانی	کانی‌سازی	موقعیت جغرافیایی
۰/۵	اکسیدهای آهن	مگنتیت	۵۹°۰۰'۲۹" طول ۳۲°۰۰'۳۸" شرقی عرض شمالی
۱۴	لیمونیت	مگنتیت	۵۹°۰۰'۵۵" طول ۳۲°۰۷'۵۲" شرقی عرض شمالی

۱/۴	لیمونیت	مالاکیت	۵۹°۰۰'۳۳ طول ۳۲°۰۸'۲۹ شرقی عرض شمالی
۲/۳	لیمونیتی، هماتیتی	گالن، منگنز	۵۹°۰۴'۰۲ طول ۳۲°۰۴'۲۴ شرقی عرض شمالی
۱/۴	لیمونیت	کالکوپیریت	۵۹°۰۷'۱۳ طول ۳۲°۰۱'۱۸ شرقی عرض شمالی
۰/۶۴	اکسید آهن، سیلیسی	گالن، مگنتیت	۵۹°۰۶'۰۵ طول ۳۲°۰۰'۵۳ شرقی عرض شمالی
۱۲	اکسیدهای آهن	کالکوپیریت، پیریت	۵۹°۰۸'۰۱ طول ۳۲°۰۲'۲۰ شرقی عرض شمالی
۰/۸	اکسید آهن، سیلیسی	کالکوپیریت	۵۹°۰۸'۴۸ طول ۳۲°۰۳'۰۰ شرقی عرض شمالی
۱/۲	لیمونیتی، سیلیسی	مگنتیت	۵۹°۰۹'۳۰ طول ۳۲°۰۳'۱۱ شرقی عرض شمالی

ادامه جدول ۲-۱- برخی از اندیس‌های مهم کانی‌سازی شده منطقه مختاران

Au (ppb)	دگرسانی	کانی‌سازی	موقعیت جغرافیایی
۰/۶	اکسیدهای آهن، سیلیسی	مگنتیت، سیدریت، لیمونیت	۵۹°۱۰'۰۲" طول ۳۲°۰۳'۳۳" شرقی عرض شمالی
۰/۸	لیمونیت، سیلیسی، گوتیتی	بورنیت، پیریت	۵۹°۰۹'۴۵" طول ۳۲°۰۳'۱۹" شرقی عرض شمالی
۶/۱	اکسیدهای آهن	منگنز، سینابر	۵۹°۱۱'۳۴" طول ۳۲°۰۴'۳۳" شرقی عرض شمالی
۰/۸	لیمونیتی، هماتیتی کلریتی، سیلیسی	مگنتیت	۵۹°۱۱'۵۹" طول ۳۲°۰۴'۵۲" شرقی عرض شمالی
۵	اکسیدهای آهن، کلریت، سرپانتینیت	مگنتیت، سینابر	۵۹°۰۹'۰۸" طول ۳۲°۰۹'۳۵" شرقی عرض شمالی
۲۵	لیمونیت، گوتیت	گالن، مگنتیت، پیریت، مالاکیت	۵۹°۱۰'۳۶" طول ۳۲°۰۶'۴۹" شرقی عرض شمالی

۱/۸	لیمونیت، سرپانتینیت	کالکوپیریت، پیریت	۵۹°۱۰'۰۷" طول ۳۲°۰۲'۲۷" شرقی عرض شمالی
۲/۳	لیمونیت، گوتیت سیلیسی	مگنتیت، ملاکیت	۵۹°۱۱'۲۵" طول ۳۲°۰۶'۳۰" شرقی عرض شمالی
۱۴	لیمونیتی، سیلیسی، هماتیتی	کالکوپیریت، پیریت، ملاکیت، آرسنوپیریت	۵۹°۱۲'۱۸" طول ۳۲°۰۶'۱۵" شرقی عرض شمالی

ادامه جدول ۲-۱- برخی از اندیس‌های مهم کانی‌سازی شده منطقه مختاران

۳-۱- تعریف لیستونیت

لیستونیتی شدن بیشتر در اصطلاحات علمی مکتب زمین‌شناسی شرق (کشورهای شوروی سابق) بکار می‌رود و برای اولین بار توسط رز^{۱۸} در حدود ۱۵۰ سال قبل معرفی شد. لیستونیت نوعی آلتراسیون می‌باشد که در

شرایط خاص محلول گرمابی با PH معین و حرارت - فشار و سنگ منشأ و ساختار تکتونیکی مناسب در

Au (ppb)	دگرسانی	کانی سازی	موقعیت جغرافیایی
۱۰	کلریتی، هماتیتی_لیمونیتی	مگنتیت	۵۹°۱۲'۰۱ طول شرقی ۳۲°۰۶'۲۹ عرض شمالی
۵	لیمونیتی، هماتیتی	لیمونیت، گوتیت، هماتیت	۵۹°۱۲'۰۹ طول شرقی ۳۲°۰۶'۲۵ عرض شمالی
۵/۲	لیمونیتی، هماتیتی	اکسیدهای آهن، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت، ملاکیت	۵۹°۱۳'۲۵ طول شرقی ۳۲°۰۶'۰۵ عرض شمالی
۲	لیمونیتی، هماتیتی آرژلیک، سیلیسی	کالکوپیریت، پیریت، لیمونیت، هماتیت	۵۹°۱۳'۴۱ طول شرقی ۳۲°۰۵'۰۶ عرض شمالی
۶/۸	هماتیت	پیریت، کالکوپیریت	۵۹°۱۳'۴۸ طول شرقی ۳۲°۰۵'۲۴ عرض شمالی
۰/۶۴	آرژلیک، اکسیدآبدار آهن	سولفیدها، اکسید آهن	۵۹°۱۳'۵۲ طول شرقی ۳۲°۰۴'۴۵ عرض شمالی
۰/۵۲	سیلیسی، لیمونیتی	هماتیت، لیمونیت، گالن، مگنتیت	۵۹°۱۴'۰۷ طول شرقی ۳۲°۰۴'۴۷ عرض شمالی
۰/۶۴	-	پیریت، هماتیت، مگنتیت	۵۹°۱۴'۰۲ طول شرقی ۳۲°۰۴'۴۴ عرض شمالی
۰۱/۵۶	سیلیسی	پیریت، کالکوپیریت	۵۹°۱۴'۲۲ طول شرقی ۳۲°۰۴'۵۵ عرض شمالی

سنگ های بازیک، اولترابازیک و آهکی ایجاد می شود [عابدی، ۱۳۷۶].

به منظور شناسایی فرایندهای کنترل کننده کانی‌سازی طلا همراه با لیستونیت‌ها، لازم است تا فرایند لیستونیت‌زایی را بشناسیم. به هر حال، اصطلاح لیستونیت برای توصیف یک نوع از سنگ‌های غنی از کربنات که به وسیله آلتراسیون سنگ‌های اولترامافیک به دست می‌آید به کار می‌رود [Halls, 2003].

لیستونیت یک مجموعه آلتراسیونی مشخص است که معمولاً همراه با رگه‌های کربنات - کوارتز بوده و دارای پتانسیل کانی‌سازی طلای رگه‌ای می‌باشد. ذخایر طلای رگه‌ای لیستونیتی شناخته‌شده دارای خصوصیات زیر می‌باشند:

- ذخایر اپی‌ژنتیک که بوسیله ساختارها کنترل می‌شوند.

- یافت شدن در مناطق اقیانوسی به هم پیوسته و همراه با سنگ‌های اولترامافیک افیولیتی که به صورت تکتونیکی تجزیه شده‌اند.

- به طور کلی دارای عیار بالا، ذخایر با توناژ پایین و با پراکندگی نامنظم طلا می‌باشند [Ash, Arksey, 1991].

سنگ‌های لیستونیتی در طول برزیتی‌شدن سنگ‌های اولترابازیک تشکیل می‌شوند این مؤلف بیان کرد که این‌ها سنگ‌هایی هستند که از کوارتز و کربناتهای Fe - Mg و فوکسیت^{۱۹} و پیریت ترکیب یافته و با رگه‌های معدنی همراه‌اند [Kunov, 2007].

۳-۲- شرایط تشکیل لیستونیت‌ها

آلتراسیون لیستونیتی - برزیتی تیپیک متعلق به مراحل آخر تکامل نوارهای کوهزایی بوده و یا در پریودهایی از فعالیت‌های ماگمایی و تکتونیکی که شامل کافتی‌شدن می‌باشد، صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد که، موقعیت زمین‌شناسی این نوع آلتراسیون بیشتر به تشکیلات توانالیت، گرانودیوریت، گابرو - گرانیت، و یا

¹⁹ - fuchsite

دایک‌های پورفیری و ساب‌ولکانیک‌های اسیدی وابسته باشد. این متاسوماتیسم یا آلتراسیون در یک سیستم بسته و گاهی اوقات باز اتفاق می‌افتد. شرایط سیال ایجادکننده این نوع آلتراسیون $P = 0.6-1/8 \text{ kbar}$ ، $T = 250-400^\circ\text{C}$ ، $\text{PH} < 5$ و سیال از نوع کلریدی غنی از Co_2 ($M_{\text{Co}_2} > 0.1$)، S ، K می‌باشد.

مطالعات پترولوژیکی، مینرالوژیکی، ژئوشیمیایی و رادیومتری (مدل پتاسیوم-آرگون) نشان داده که محلول‌های ایجادکننده آلتراسیون نوع لیستونیتی-بریزیتی به طور اصلی، از ماگماتیسم اسیدی به عمل آمده است.

پاراژنز تیپیک برای این تشکیلات عبارت است از همراهی کانی‌های کوارتز، میکا، کربنات، که بسته به نوع سنگ منشا، کربنات می‌تواند از نوع دولومیت، آنکریت، کلسیت و میکا از نوع فوکسیت، پاراگونیت و مسکویت باشد.

در کل، ذخایر معدنی ایجاد شده در آلتراسیون‌های تیپ لیستونیتی - بریزیتی، در عمق بین ۴ - ۲٫۵ کیلومتر تشکیل شده‌اند، فقط تعداد کمی از آنها در عمق بیشتر از ۴ کیلومتر (حداکثر ۵ کیلومتر) و بعضی نیز در اعماق کمتر از ۲٫۵ کیلومتر (حداقل ۲ - ۱٫۵ کیلومتر) تشکیل شده‌اند.

تغییرات ایجاد شده در فرایند آلتراسیون لیستونیتی - بریزیتی عبارتند از:

- ۱- نفوذ S ، K ، CO_2
- ۲- حمل Na (بجز در موارد تشکیل مسکویت)
- ۳- جدا شدن برخی عناصر (Cr ، Mg ، Ca ، Al) در قسمتی از سیستم متسوماتیک
- ۴- حمل Si ، بجز در مواردی که سیلیس پایین بوده و یا عمق کم باشد، افزایش Si نیز معمول است [عابدی، ۱۳۷۶].

تحرك کمربندهای کوهزایی حاصل از تصادم مانند رشته کوه‌ها، نقش اساسی در ذخایر طلای رگه‌ای همراه با لیستونیت دارند. فرایندهای تکتونیکی حاشیه صفحه‌ای باعث فرورانش، ضخیم شدن پوسته‌ای و ذوب بخشی شده و در نتیجه موجب متامورفیسم و پلوتونیسم می‌شوند. اثرات ترکیبی این فرایندها یک شماری از مکانیزم‌ها

را فراهم می‌کند که ممکن است به تولید سیالات کانه‌زا کمک کند. از جمله این‌ها، فعالیت ماگمایی عمیق، واکنش‌های آبرای متامورفیک و گردش عمیق آب‌های متئوریتی می‌باشند [Bohlke, 1989].

داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سیالات اصلی تشکیل‌دهنده ماده معدنی در ابتدا بوسیله آبرایی دگرگونی تحت شرایط دگرگونی با درجه آمفیبولیت و با همراهی منابع ماگمایی و متئوریتی ایجاد می‌شوند. نسبیت^{۲۰} و همکاران (۱۹۸۶) پیشنهاد کرده‌اند که ذخایر طلای مزوترمال در کانادا از چرخش و گردش عمیق آب‌های متئوریک در ساختارهای همراه با زون‌های گسلی اصلی بوجود آمده‌اند [Ash and Arksey, 1991].

لیستونیت‌ها، هنگامی که سیالات غنی از دی‌اکسیدکربن نفوذ کرده و سنگ‌های اولترامافیک (معمولاً سرپانتین) را دگرسان می‌کنند، بوجود می‌آیند. به طور مشخص کربنات‌های آهن - منیزیم و میکای کروم‌دار (ماریپوسیت در آمریکای شمالی یا فوکسیت در اروپا و روسیه) تشکیل می‌شوند.

کانی‌های کربناتی که جانشین سنگ‌های اولترامافیک می‌شوند بوسیله هیدرولیز سیلیکات‌های آهن، منیزیم، کلسیم و منگنز به کربنات‌ها در جایی که سنگ‌های دیواره یون‌های مثبت فلزی دو ظرفیتی را از دست می‌دهند، بوجود می‌آیند.

سرسیتی‌شدن به عنوان یک نتیجه متامورفیسم پتاسیم معمولاً بوسیله تشکیل ماریپوسیت در جایی که کرومیت از سنگ میزبان اولترامافیکی بدست آمده و بوسیله کربنات قابل جذب نیست، بوجود می‌آید. به نظر می‌رسد یک ارتباط سازگاری بین سنگ‌های اولترامافیک کربناتی و ذخایر طلا وجود داشته باشد.

پیک^{۲۱} (۱۹۷۶) همراهی سنگ‌های ولکانیکی اولترامافیک کربناتی را با ذخایر رگه‌ای کوارتز - کربنات آرکئن در انتاریو^{۲۲} شمالی بیان کرد. طلای رگه‌ای موجود در منطقه آتلین^{۲۳} در ذخایر طلای اریکسون^{۲۴} در کانادا تناسب مکانی مشابهی را نشان می‌دهند. بعضی از مؤلفین بیان کردند که سنگ‌های اولترامافیک منبع طلا

²⁰ -Nesbitt

²¹ - Pike

²² - Ontario

²³ - Atlin

²⁴ -Erickson

هستند. اما این یک پذیرش کلی ندارد. به طور کلی فرضیه جاری برای ذخایر طلا در داخل و یا نزدیک لیستونیت‌ها پذیرفته شده‌است. که سیالات هیدروترمال با شوری پایین و غنی در دی‌اکسید کربن، طلا را به عنوان یک کمپلکس بیوسولفیدی Au (Hs)_2 حمل می‌کنند [Bohlke, 1989].

مکانیزم‌های مختلفی بوسیله کریچ^{۲۵} (۱۹۸۹) برای ته‌نشست طلا پیشنهاد شده‌است. که عبارتند از:

- تغییر در فشار سیال در منطقه تغییر حالت سایز میک و اسایز میک، دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن را به طور اختلاط ناپذیری با ذخایر طلای همراه، افزایش می‌دهد.

- کاهش سیال کانی‌زا بوسیله سنگ‌های گرافیتیک

- ته‌نشست سولفیدی بوسیله لیتولوژی غنی از آهن افزایش می‌یابد.

مکانیزم دومی بوسیله Dussel (1986) برای محاسبه ته‌نشست طلا در معدن اریکسون در نزدیکی کاسیاری^{۲۶}، بریتیش کلمبیا^{۲۷} در کانادا پیشنهاد شد که محلول‌های اسیدی حاوی طلا، سیلیس و پیریت و آرسنید و طلا را ته‌نشست می‌کند [Ash and Arksey, 1991].

نظرات مختلف در مورد ژنز لیستونیت‌ها در جدول ۳-۱ آورده شده است.

²⁵ - Kerrich
²⁶ - Cassiar
²⁷ - British Columbia

جدول ۳-۱- نظرات مختلف در مورد ژنز لیستونیت‌ها [عابدی، ۱۳۷۶].

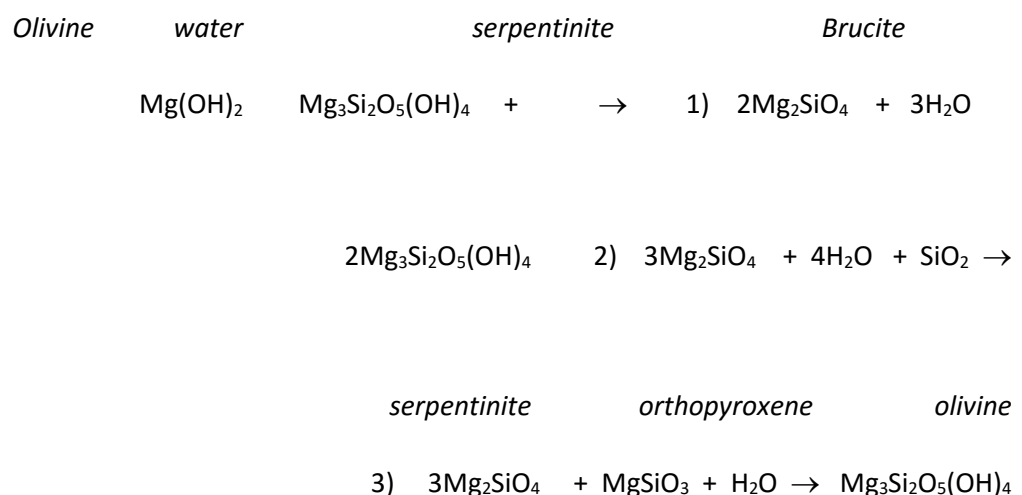
منابع	ژنز لیستونیت‌ها
G.Roze (1842) A. Arzruni (1885), Miklucho – Maklay (1885). A. A. Schtukenberg (1889) , N. I. Dingelshtegt (1933). A. Zaytcev (1884, 1887).	لیستونیت سنگی کوارتز – کربناتی همراه با برینریت است و تشکیلات لیستونیتی از اسلیت‌ها (شیست‌های) تالک‌دار است.

F. N. Chernishef (1889) , Winschenk (1907). D. Misharef (1917) , B. P. Krotov (1915). G. Ferguson & W. Gannet (1932) , E. A.Kuzneicov (1928). A. G. Betekhtin (1937, 1953) , P. M. Tatarinov (1940). N. P. Mikhailof & V. N. Moskaleva (1956).	لیستونیت‌ها همان محصولات آلتراسیون سرپانتین‌ها در کنتاکت با آهک‌ها می‌باشند.
Zirke (1984) , Grubenmann (1907) , G. Rozenbursh (1923).	لیستونیت‌ها در کنتاکت پریدوتیت با آهک تشکیل شده است.
V. N. Nikitin (1907) , A. M. Zavaritcki (1927). N. I. Baradayeovski & M. B. Baradayevskaia (1947 – 1961).	لیستونیت‌ها بر اثر جانشینی سنگ‌های با ترکیب پتروشیمی مختلف از اولترابازیک تا حدواسط و نیز از ترکیبات مشابه سنگ‌های رسوبی و متامورفیک می‌توانند ایجاد شوند.
Kashkaii (1939 , 1947)	لیستونیت‌ها می‌توانند در هاله‌ها و یا در بین نفوذی‌های هیپربازیت و بازیت تشکیل شوند.

V.N. Sazonov 1989	آلتراسیون نوع لیستونیتی - بریزیتی در ۲ حالت متاسوماتیک و بی‌متاسوماتیک می‌تواند ایجاد شود. در حالت متاسوماتیک، اگر شرایط لازم برای این نوع آلتراسیون فراهم باشد، در هر نوع سنگی از اسیدی تا حد واسطه، بازیک، اولترابازیک و رسوبی می‌تواند ایجاد شود. در بی‌متاسوماتیک تغییرات در کنتاکت ۲ نوع سنگ با ترکیب پتروشیمیایی مختلف صورت می‌گیرد.
-------------------	---

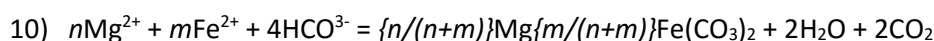
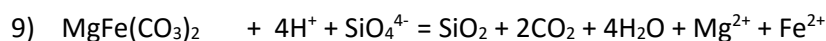
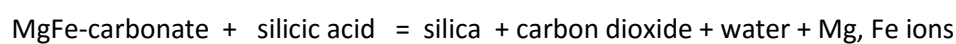
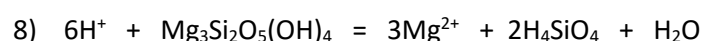
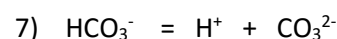
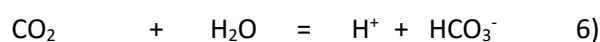
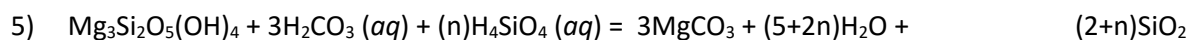
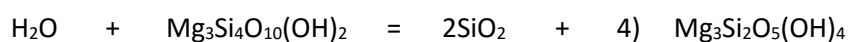
واکنش‌های شیمیایی مربوط به تشکیل سرپانتین‌ها و لیستونیت‌ها در زیر آورده شده است.

واکنش‌های مربوط به سرپانتینی شدن [O'Hanley, 1996] :



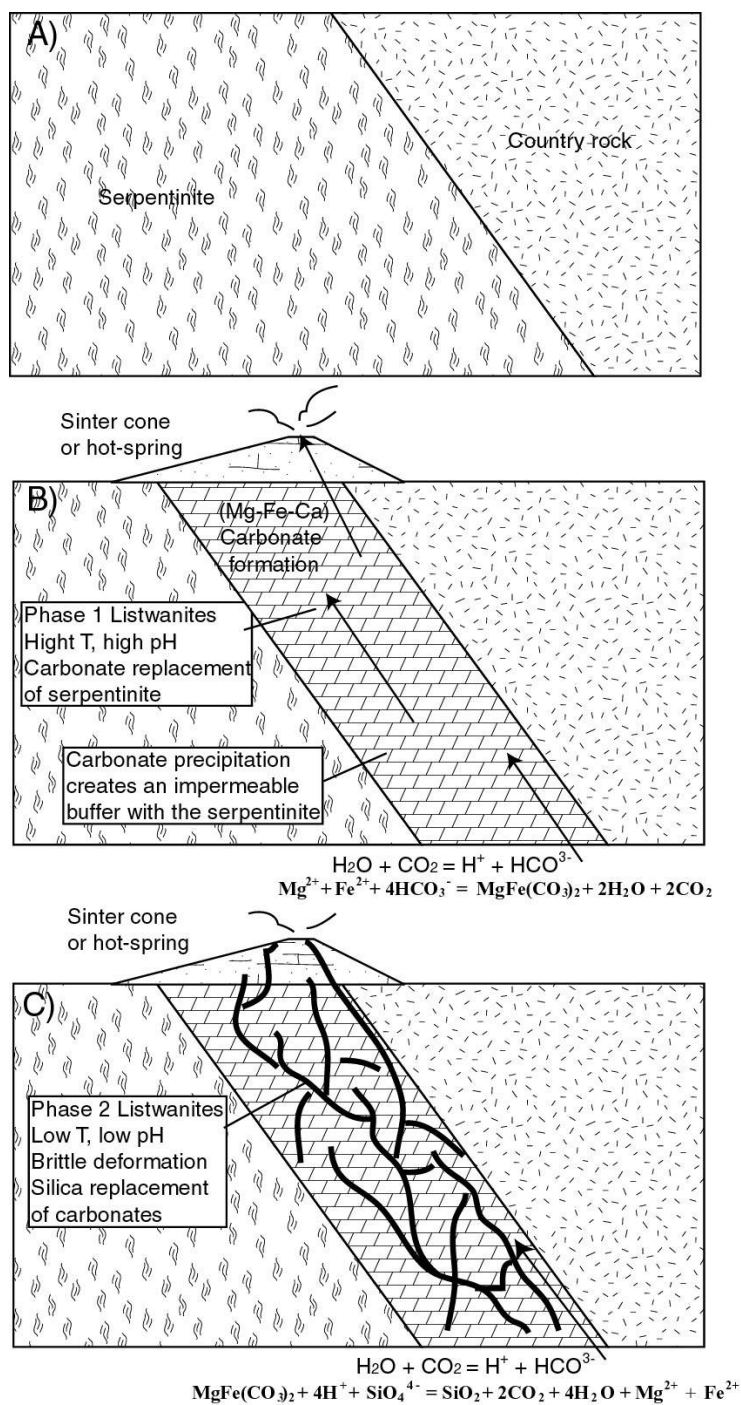
واکنش‌های مربوط به لیستونیتی شدن سرپانتین‌ها [O'Hanley, 1996] :





یک مدل پتروژنتیکی ایده‌آل برای آلتراسیون‌های کربناتی _ سیلیکاتی بر اساس مشاهدات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی در شکل ۱-۳ دیده می‌شود. (A) پروتولیت سرپانتینی اولیه را نشان می‌دهد. (B) لیستونیت‌های غنی از کربنات، در اثر نفوذ سیالات هیدروترمالی غنی از CO_2 در شکستگی‌های سرپانتین‌ها بوجود می‌آید و باعث ته‌نشین شدن کربنات‌های Mg-Fe-Ca در آن‌ها می‌شوند. در این مرحله طلا به صورت کمپلکس‌های سولفیدی در این محلول پراکنده می‌شوند. (C) لیستونیت‌های غنی از سیلیس تشکیل می‌شوند زیرا سیالات هیدروترمال از داخل سرپانتین‌ها عبور کرده و در مرحله اول آلتراسیون کربنات‌ها را ته‌نشین می‌کنند و در

نتیجه سیالات به طور پیش‌رونده‌ای اسیدی شده و باعث تجزیه کربنات‌ها و ته‌نشین شدن سیلیس، سولفیدها و طلا می‌شوند [Kunov et al., 2007].



شکل ۳-۱- یک مدل پتروژنتیکی ایده آل برای دگرسانی‌های کربناتی - سیلیکاتی. (A) پروتولیت سرپانتینی اولیه (B) تشکیل لیستونیت‌های غنی از کربنات، در اثر نفوذ سیالات هیدروترمالی غنی از CO_2 در شکستگی‌های سرپانتین‌ها و تهنشین شدن کربنات‌های (C Mg-Fe-Ca) تشکیل لیستونیت‌های غنی از سیلیس [Kunov et al., 2007].

تحقیقات در مورد مجموعه‌های طلا - آرسنید نیکل در سرپانتین‌های کمپلکس‌های افیولیتی در زارناگورا^{۲۸}، تشکیل کانی‌ها را حداقل در سه مرحله نشان داد. مرحله اول شامل کریستالی‌شدن فازهای اولیه از قبیل اسپینل کروم‌دار و احتمالاً سولفیدهای Ni - Fe جبه‌ای، می‌باشد. مرحله دوم در ارتباط با سرپانتینی شدن است و باعث ایجاد تشکیلات مگنتیت و سولفیدهای نیکل می‌شود. طلا در طول سرپانتینی شدن بوجود نیامده و یا حجم سولفیدهای حاوی طلای جبه‌ای خیلی کم بوده و از این رو به صورت فقدان سولفیدهای نیکل حاوی طلا در سرپانتین‌ها مطرح می‌شود. مرحله سوم از کانی‌زایی، جانشین شدن در طول لیستونیتی شدن سرپانتین‌ها است. که البته این فرایند گسترش زیادی ندارد. فازهای ماچریت^{۲۹} - ارسلیت^{۳۰} و کانی‌های کربناته همراه با طلا در این مرحله تشکیل می‌شوند. موراو^{۳۱}، حجم زیاد طلا در نزدیکی کرومیت‌های کربناتی شده (17 ppb) را مهاجرت طلا با سیالات اشباع از CO_2 بیان کرد. فقدان اینکلوزن‌های طلا در آرسنیدهای نیکل و حضور ذرات طلا در حاشیه ذرات ارسلیت نشان داد که Au در فاز نهایی لیستونیتی شدن به وجود می‌آید [Delura, 2004].

۳-۳- ویژگی‌های زمین ساختی

کانی‌زایی طلای نوع لیستونیتی در گسل‌های با شیب ملایم و زون‌های گسلی قرار گرفته و با تکتونیزم حاشیه قاره‌ای ارتباط دارد. زون‌های گسلی، شکستگی‌های اصلی گسلی‌اند که بوسیله آثار افیولیتی تجزیه شده بین مجموعه‌های جزایر اقیانوسی، کمپلکس‌های سابداکشن و حاشیه‌های شکسته شده اقیانوسی مشخص می‌شوند.

²⁸ - Czarna Gora

²⁹ - maucherite

³⁰ - orcelite

³¹ - Moreover

در کوردیلرا^{۳۲} در آمریکای شمالی، رگه‌های طلا بلافاصله بعد از به هم پیوستن نواحی اقیانوسی به حاشیه قاره‌ای بوجود آمده‌اند [Ryan, 2002].

لسیتونیت حاوی ذخایر طلا در سرپانتینیت‌ها و سنگ‌های اولترامافیک کربناتی شده، از مشخصه‌های سکانس‌های افیولیتی به صورت تکتونیکی منقطع شده در نواحی اقیانوسی به هم پیوسته شده است. سیستم‌های گسلی، روراندگی و انباشتگی این واحدها را بوجود می‌آورند [Ash and Arksey, 1991].

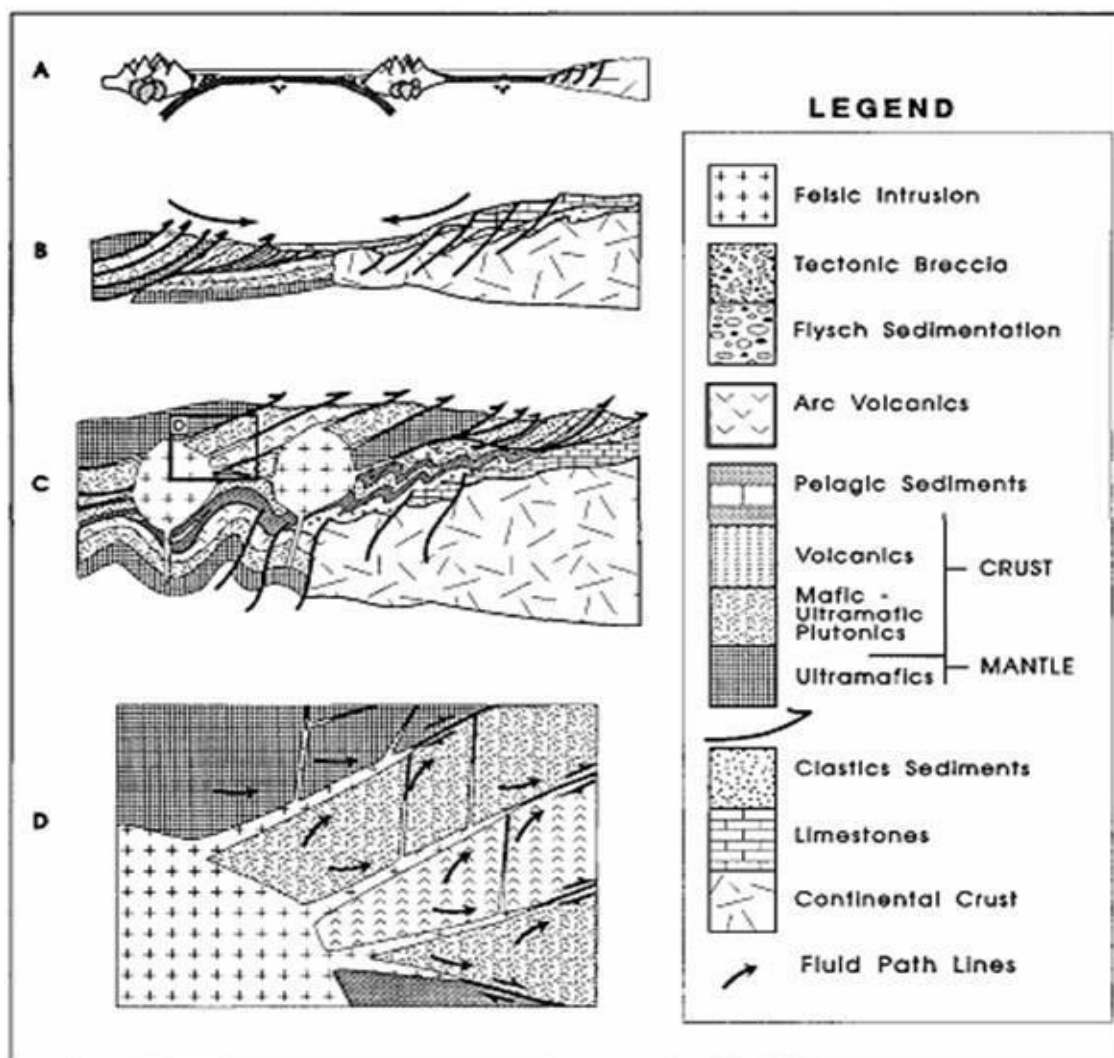
ذخایر رگه‌ای هیدروترمالی که در داخل یا مجاور پوسته اقیانوسی قرار دارند دارای شرایط زیراند:

۱- به طور تیپیک در به هم پیوستگی‌ها بوده و یا در ارتباط با ساختارهایی هستند که به طور هماهنگ با پلوتونیک‌های افیولیتی یا لیتولوژی متاسوماتیکی (که معمولاً میزبان‌اند و یا با سیستم رگه‌ای همراه‌اند) قرار دارند.

۲- همراهی زمانی و مکانی با سنگ‌های نفوذی فلسیکی که به طور ساختاری کنترل شده‌اند و احتمالاً به وسیله ذوب پوسته‌ای در طول یک تصادم یا به هم پیوستگی به وجود آمده‌اند.

مدل شماتیک توسعه ذخایر رگه‌ای مزوترمال مرتبط با افیولیت‌ها در شکل ۳-۲ نشان داده شده است [Ash, 1991].

³² -Cordillera



شکل ۳-۲- مدل شماتیک توسعه ذخایر رگه‌ای مزوترمال مرتبط با افیولیت‌ها (A) توسعه پوسته اقیانوسی (B) تجزیه لیتوسفر اقیانوسی و شروع آبداکشن با توسعه رسوبات فلیشی (C) ضخیم‌شدگی پوسته‌ای باعث ذوب بخشی و تولید سیالات کانی‌ساز شده است. (D) حرکت سیالات هیدروترمال در طول ساختارها و تشکیل ذخایر فلزی [Ash, Macdonald, 1991].

ذخائر طلای رگه‌ای در داخل و یا حاشیه سنگ‌های افیولیتی در بریتیش کلمبیا در کانادا در یک دوره تصادم اقیانوسی تولید شده‌اند. آن‌ها به صورت مکانی همراه با پوسته اقیانوسی و لیتولوژی جبهه‌ای می‌باشند. سنگ میزبان در اثر توده‌ی فلسیکی که در طول حادثه‌ی به هم پیوستگی به وجود آمده، شکسته می‌شود.

مواد مذاب حرارتی به وسیله حرارت توده‌های نفوذی رانده می‌شوند. این سیالات فلزات را از پوسته اقیانوسی می‌شویند. ذخائر طلا در هر منطقه‌ای که به وسیله ساختارهایی در داخل و یا حاشیه با افیولیت‌ها میزبان می‌شوند، در اعماق ۶-۱۲ کیلومتر پوسته اقیانوسی تشکیل شده‌اند. این ساختارها اغلب در طول تصادم و جدایش (آبداکشن) افیولیتی فعال می‌شوند و نیاز به محاسبه میزان جابه‌جایی عمودی دارند.

لایه‌های کانی‌سازی شده طلا از طریق شکستگی‌ها به صورت لایه‌های نسبتاً صاف جایگزین شده و تجزیه شده و قسمتی از کمپلکس افیولیتی را پوشانده است. ماگمای فلسیکی به طور زمانی و مکانی در ارتباط با کانی‌زایی و تکتونیزم است. بیشترین مناطق آلتراسیون لیستونیتی در مجاورت و نزدیکی استوک و یا دایک فلسیکی قرار دارند.

هم در برالورن^{۳۳} و هم در روزلند^{۳۴} واقع در کانادا ذخائر طلا به طور مکانی در ارتباط با توده فلسیکی که به صورت ساختاری کنترل شده‌اند، می‌باشند که با کانی‌زایی همزمان هستند. نقشه‌برداری سیستماتیک سطحی که بر روی مکان‌های تکتونیک و پراکندگی مکانی آلتراسیون‌های لیستونیتی متمرکز می‌شود بسیار مفید است. اجتماع آلتراسیون‌های لیستونیتی در یک آرایه‌ی خطی اتفاق می‌افتد که بازتاب کنترل‌کننده‌های ساختاری بر روی سیستم کانی‌زایی است. مکان هندسی کانی‌زایی‌های مهم به طور تیپیک همراه با زون‌های سیلیسی شده است (رگه‌ها یا استوک‌ورک‌ها). بیشترین ارتباط فیزیکی بین سنگ‌های افیولیتی و کانی‌زایی است که جانشین تکتونیک افیولیت‌ها به وسیله آبداکشن (دورشدگی) جهت کانی‌زایی اتفاق می‌افتد. این واحد یک بخش پلوتونیک مافیک از یک دورشدگی (اجتماع افیولیتی تجزیه شده) است که به عنوان

³³ - Bralorne

³⁴ - Rossland

قسمتی از پوسته اقیانوسی تشکیل شده و به مکان فعلی انتقال یافته است. این نتایج با مدل‌های رایج برای گسترش ذخائر رگه‌ای مزوترمال در کمربند سنگ سبز آرکئن هماهنگ هستند [Ash, Macdonald, 1991].

نمونه‌های دیگری از ذخایر طلای لیستونیتی در مناطق اقیانوسی به هم پیوسته در آمریکای شمالی اغلب به طور برجسته در نواحی از کالیفرنیا دیده می‌شوند. ذخیره مونت‌ورنون^{۳۵} در واشنگتن شمالی و کمربند افیولیتی در منطقه دونیج^{۳۶} در نیوفونلند نیز مجموعه طلای لیستونیتی را نشان می‌دهند. لیستونیت‌های مرتبط با طلا در نواحی اقیانوسی به هم پیوسته در عربستان، مالی (غرب آفریقا)، ماریتایم‌الپس^{۳۷} در شمال غربی ایتالیا و موروکو^{۳۸} نیز دیده می‌شود [Buisson, Leblanc, 1985].

در مناطق کاراکوز^{۳۹} و کونس^{۴۰} دو نوع لیستونیت سیلیسی-کربناتی و کربناتی یافت می‌شود. این دو نوع لیستونیت در منطقه کاراکوز و لیستونیت کربناتی در منطقه کونس در طول گسل‌های معکوس تشکیل شده‌اند. گسل‌های معکوس محل عبور سیالات آلتزه‌کننده و کانی‌ساز می‌باشند [Ucurum, Larson, 2004].

درکوه آیتی^{۴۱} (یونان مرکزی)، لیستونیت‌ها معمولاً در مناطق برشی یا گسلی یافت می‌شوند که مسیر جریان‌های هیدروترمال را بوجود می‌آورند [Tsikouras, et al, 2006].

در بیابان‌های شرقی مصر، طلای لیستونیتی در طول مرحله کوهزایی و با آلتزه‌شدن سرپانتین‌های افیولیتی بوجود می‌آید. این کانی‌زایی طلا با ذخایر نفوذی (احتمالاً ذخایر مس پرفیری) و همچنین رگه‌های کوارتز حاوی طلا در محل تماس گابروهای جوان و گرانیته‌ها، همراه هستند. کانی‌سازی طلا در مرحله کوهزایی به صورت رگه‌ای در لیتولوژی‌های مختلف، در کنتاکت‌های برشی سرپانتین‌های افیولیتی قرار گرفته است. کانی‌سازی طلا در مرحله کوهزایی عمدتاً در سنگ‌های متامورفیک و یا سنگ‌های گرانیته احاطه‌کننده آن‌ها، قرار می‌گیرند [Botros, 2002]. به نظر می‌رسد که درجه متامورفیکی مهم باشد زیرا رگه‌های کوارتزی حاوی

³⁵ - Mount Vernon

³⁶ - Dunnage

³⁷ - Maritime Alps

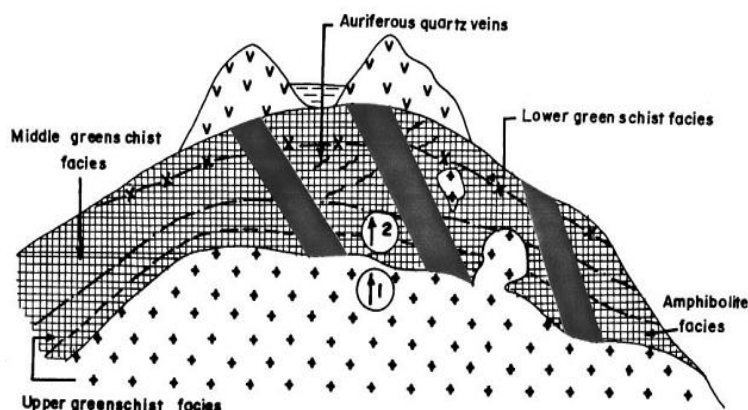
³⁸ - Morocco

³⁹ -Karakuz

⁴⁰ -Guvenc

⁴¹ -Iti

طلا در سنگ‌هایی که درجه متامورفیکی آنها زیر شیست سبز - آمفیبولیت است، تشکیل می‌شوند [Botros, 2002]. این شرایط دما و فشار برای تشکیل ساختارهای میزبان این رگه‌ها مناسب است. شکل ۳-۳ شرایط تشکیل این رگه‌ها را نشان می‌دهد [Botros, 2002].



شکل ۳-۳- شرایط تشکیل کانی‌زایی طلای رگه‌ای [Botros, 2002].

رگه‌های کانی‌سازی شده بوسیله آلتراسیون‌های هیدروترمال که حدود ۱-۲ متر بر روی عرض رگه گسترش پیدا کرده‌اند، احاطه شده‌اند. انواع مهم آلتراسیون‌های سنگ دیواره عبارتند از:

سرسیتی، برزیتی، سیلیسی، سولفیدی، کربناتی، لیستونیتی، کلریتی و کائولینیتی

لیستونیت‌های شرق ایران، به عنوان محصولات دگرسانی گرمابی سنگ‌های اولترامافیکی، در مناطق ضعیف پوسته یعنی در گسل‌ها و شکستگی‌ها بیرونزدگی دارند. بخش عمده لیستونیت‌ها در ابتدای تشکیل آن‌ها، در درون سنگ‌های مجموعه نه^{۴۲} و آتشفشانی‌های ائوسن شکل گرفته‌اند و در مراحل بعدی، بیشتر به صورت رگچه‌های سیلیسی و کربناته، سنگ‌های عنوان شده را تحت تأثیر قرار داده‌اند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].

۳-۴- خصوصیات سنگ‌شناسی لیستونیت‌ها

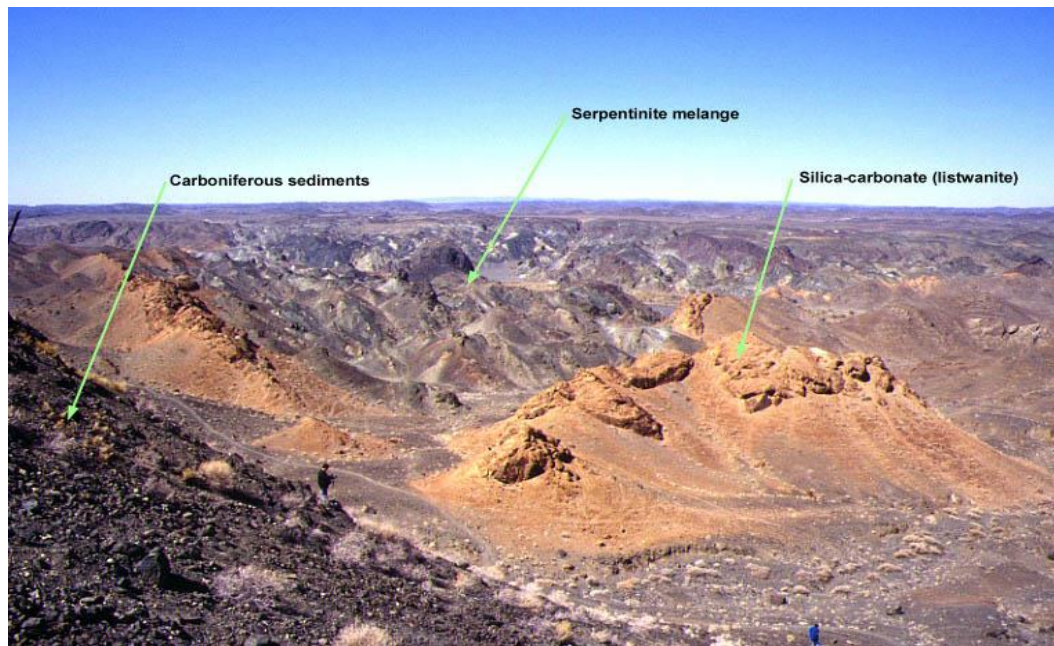
لیستونیت‌ها شامل انواع زیادی از سنگ‌های حاوی کربنات همراه با کانی‌های فیلوسیلیکات مختلف مانند سنگ‌های کربنات - سرپانتین، سرپانتین - تالک - کربنات، تالک - کربنات، تالک - کربنات - کلریت، کوارتز - کربنات (سنگ‌های سیلیکات - کربنات)، کلریت - کوارتز - کربنات، فلوگوپیت - کوارتز - کربنات، فوکسیت - کوارتز - کربنات، فوکسیت - کوارتز و سنگ‌های کربناتی می‌شوند.

تالک در لیستونیت‌ها به رنگ سبز و یا معمولاً کمتر به رنگ سفید - زرد دیده می‌شود و معمولاً در شیست‌های جدا شده یا توده‌های پولکی گرانولر در کوارتز یافت می‌شود. با این وجود گاهی اوقات همراه با کوارتز تشکیل می‌شود و یک توده فشرده سبز را به وجود می‌آورد. به علت ترکیب با آنکریت منیزیت سفید، سنگ یک ظاهر سفید و سبز گرانولر را به دست می‌آورد. اگر منیزیت با اسید حل شود سنگ به صورت یک توده متخلخل از کوارتز و تالک سبز دیده خواهد شد. بعضی اوقات در تالک شیست معمولی، آنکریت منیزیت در اثر هوازدگی به لیمونیت تبدیل می‌شوند و سنگ قهوه‌ای می‌شود. تالک سبز در این لیستونیت‌ها در حقیقت به مسکویت کروم‌دار سبز اشاره دارد که بعداً فوکسیت نام گرفت. سنگ‌های سرپانتین - کربنات، سرپانتین - تالک - کربنات، تالک - کربنات، تالک - کربنات - کلریت، کوارتز - کربنات (سیلیکات - کربنات)، کلریت - کوارتز - کربنات و غیره به طور محض لیستونیت واقعی نیستند [Halls, Zhao, 2003].

تمام لیستونیت‌هایی که در منطقه بریتیش کلمبیا در کانادا مورد مطالعه قرار گرفتند، افیولیت‌ها، هارربورژیت، متامورفیک جبهه بالایی، دونیت پلوتونیک پوسته‌ای تا اولترامافیک‌های ورلیتی می‌باشند. این سنگ‌های اولترامافیک معمولاً در کنتاکت گسل‌ها در پلوتونیک‌های مافیکی و اجزاء ولکانیکی یافت شده و به صورت دنباله‌های افیولیتی تجزیه می‌شوند. این سنگ‌های پوسته‌ای به نظر مهم می‌آیند.

سنگ‌های نفوذی فلسیک اغلب گرانودیوریت‌اند. هر چند برخی تغییرپذیری‌های ترکیبی، شواهدی از دیوریت و مونزودیوریت را نیز نشان داده‌اند. توده نفوذی و تزریق ماگما با توجه به ساختارها کنترل می‌شود. در منطقه روزلند، توده‌های نفوذی با کانی‌زایی و مونزونیت همراه است [Ash et al., 1991].

وضعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی معدن طلای لیستونیتی سارتوهای^{۴۳} واقع در بریتیش کلمبیا در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. در این شکل دگرسانی‌های سیلیسی - کربناتی با رنگ نارنجی در بین افیولیت ملانژها و سرپانتین‌ها دیده می‌شود.



شکل ۳-۴- دگرسانی سیلیسی - کربناتی در منطقه سارتوهای با رنگ نارنجی در بین افیولیت ملانژها و سرپانتین‌ها

سنگ‌های اولترامافیک (سرپانتینی شده با درجه‌های مختلف) اغلب به صورت هارزبورژیت‌های باقیمانده جبهه نشان داده می‌شوند.

سنگ‌های پوسته اقیانوسی بوسیله متابازالت‌ها احاطه شده‌اند و معمولاً جزء سنگ‌های سبز محسوب می‌شوند. سنگ‌های پلوتونیک پوسته اقیانوسی شامل توده‌های اولترامافیک، گابرو، دیوریت و تروندجمیت ممکن است به صورت محدود حضور داشته باشند. واحدهای رسوبی شامل چرت‌های آب‌های عمیق و آرژیلیت‌های شبیه به آهک‌های آب‌های کم عمق می‌باشند.

⁴³ -Sartuohai

ویت کوپ^{۴۴} (۱۹۸۳)، بوهلک^{۴۵} (۱۹۸۹)، کیستلر^{۴۶} (۱۹۸۶) بیان کردند که رگه‌های کوارتز مینرالی در ذخایر طلای رگه‌ای کالیفرنیا یک وابستگی مکانی با کانسارهای سرپانتینی نشان می‌دهند. و غلظت‌های بالایی از طلای آزاد در داخل و یا نزدیک تقاطع رگه‌ها با سنگ‌های اولترامافیک کربناتی شده وجود دارند [Ash and Arksey, 1991]

معمولاً زون‌ها شامل باریکه‌هایی از سنگ‌های اولترامافیکی کربناته‌شده، بوده و لیتولوژی ناهمگن دارند. و ملانژهای تکتونیکی شامل همه یا بعضی از قسمت‌های مجموعه اقیانوسی می‌شوند. در این زون‌ها هم آلتراسیون و هم تغییر شکل یافتن‌ها، به صورت ناهمگن توسعه یافته‌اند. کربناتی شدن معمولاً در سنگ‌های مافیکی شدیدتر انجام می‌شود. بیشتر سنگ‌های توده‌ای مثلاً ولکانیک‌ها، چرت و آهک اغلب برشی می‌شوند. به نظر می‌رسد سنگ‌های رسوبی کلاستیک دانه ریز قسمت زیادی از فشارها را دریافت می‌کنند و معمولاً به طور شدیدی دچار شکستگی می‌شوند. زون‌های گسلی در معدن طلا - نقره اریکسون و در طلای اسنوبرد^{۴۷} در تماس ساختاری بین متابازالت‌ها و رسوبات آرژیلیتی تعریف می‌شوند.

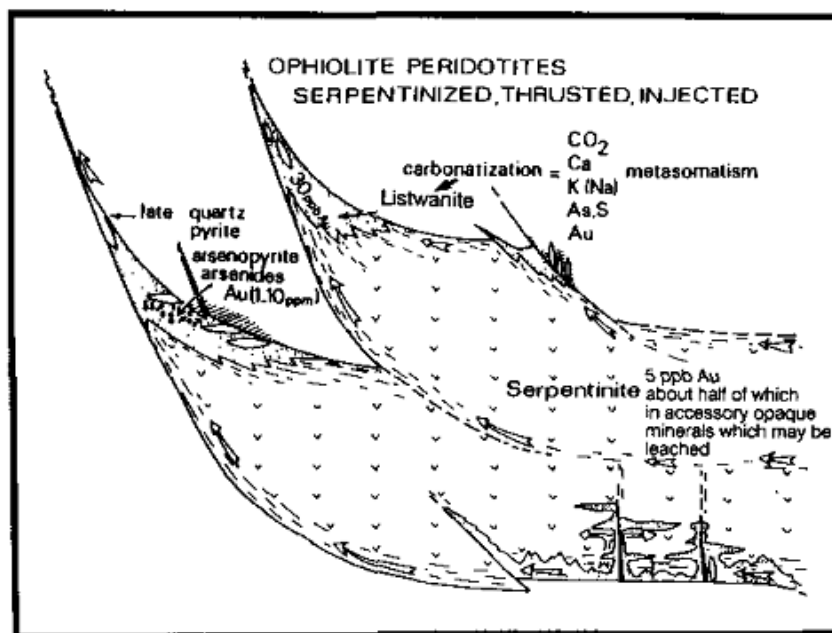
زون‌های لیستونیکی در امتداد گسل‌های اصلی یا حاشیه پریدوتیت‌های سرپانتینی‌شده افیولیتی تشکیل می‌شوند (شکل ۳-۵). دگرسانی به طور شدیدی اغلب در داخل و بالای ساختارهای کانی‌سازی شده قرار دارد. در جایی که سنگ‌های ماریپوسیت/ منیزیت آهن بوسیله شبکه‌ای از رگه‌های کوارتز کربنات قطع شده است، شدت کربناتی شدن سنگ‌های اولترامافیکی سرپانتینی‌شده به سمت خارج گسل‌ها قرار گرفته و یک آلتراسیون مشخص ایجاد کرده است (جدول ۳-۲) [Ash and Arksey, 1991].

⁴⁴ - Wittkopp

⁴⁵ - Bohlke

⁴⁶ - Kistler

⁴⁷ - Snowbird



شکل ۳-۵- مدل دگرسانی تولیدشده در سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینی‌شده و توسعه طلای رگه‌ای در داخل و بالای گسل‌های معکوس، نرمال و رورانده [Ash and Arksey, 1991].

جدول ۳-۲- مجموعه دگرسانی لیستونیت [Ash and Arksey, 1991].

Increase in Intensity of Alteration			
HOST			FAULT
Serpentinite	Talc Carbonate	Quartz (veinlets) Talc Carbonate	Quartz Carbonate Malposite Au, Ag Sulphides

محدوده نادالین^{۴۸} واقع در کانادا شامل واحدهای اولترامافیکی سرپانتینی‌شده و زون‌های کربناتی - کوارتزی

می‌باشد.

واحدهای سرپانتینیتی معمولاً به ذرات سبز رنگ ریز هوازده می‌شوند و اغلب شامل تالک، سرپانتین و مقدار کمی واحدهای مافیکی حفظ شده از قبیل مگنتیت می‌باشند. در بیشتر مواقع بافت اولیه بوسیله فرایند سرپانتینی شدن از بین می‌روند. واحدهای مقاوم کوارتز - کربنات - فوکسیت که به عنوان یک فاز آلتراسیونی سنگ‌های اولترامافیکی محسوب می‌شوند در حدود ده‌ها متر توسعه دارند [Jutras, 2003].

در مناطق اطراف روستای دیزلیک^{۴۹} در شمال بریتیش کلمبیا سنگ‌های اولترامافیک به صورت کانسارهای کشیده و یا باریکه‌های نازک در طول گسل‌ها قرار دارند. این سنگ‌ها به سه نوع زیر تقسیم می‌شوند:

(۱) پریدوتیت‌های آلتره‌شده و سیاه رنگ با دانه‌های ریز، با وجود این که پریدوتیت‌های آلتره‌نشده قسمت

کوچکی از سنگ‌های اولترامافیک را تشکیل می‌دهند.

(۲) سرپانتینیت‌های مومی شکل سبز تیره که قسمت عمده‌ای از سنگ‌های اولترامافیکی را تشکیل

می‌دهند.

(۳) سنگ‌های آلتره‌شده کوارتز - کربنات - ماریپوسیت (لیستونیت). سیلیکات‌ها کانی‌های آلتره‌شده

اصلی در سنگ‌اند. ماریپوسیت‌های سبز رنگ نیز دارای مقادیر مختلفی بوده و کلسیت و کربنات‌های

سفید مقدار کمی دارند. در رگه‌های کوارتزی کانی‌های پیریت و آرسنوپیریت نیز دیده می‌شوند.

اولترامافیک‌ها اغلب به سرپانتین‌ها و لیستونیت‌ها آلتره می‌شوند و سنگ‌های گرانیته منطقه شامل دیوریت،

گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت می‌باشند [Kowalchuk, 2000].

توالی تغییرات لیتولوژیکی در منطقه کاستامن^{۵۰} در ترکیه به قرار زیر است:

سرپانتینیت ← سرپانتین تالکی شده ← تالکیت ← سنگ کربنات ← کوارتز ← لیستونیت ←

سنگ کربناتی

منطقه کاگیزمن^{۵۱} واقع در قسمت شرقی ترکیه از پریدوتیت، سرپانتین، گابرو، بازالت و بلوک‌های آهکی با

⁴⁹ - Dease Lake

⁵⁰ -kastamnu

⁵¹ - Kagizman

اندازه‌های مختلف در ماتریکس‌های پیروکلاستیک و اپی کلاستیک، تشکیل شده است. لیستونیت‌ها به صورت لنز و باند در داخل سرپانتین‌ها قرار دارند. ترکیب تونالیت‌ها از کوارتز دیوریت تا نفوذی‌های تونالیت متفاوت است. ضخامت رگه‌های کوارتز از میلی‌متر تا ۴ تا ۵ متر متغیر است. بعضی از ذرات طلا با چشم غیر مسلح قابل دیدن است [Panteleyev, 1996].

۳-۵- خصوصیات کانی‌شناسی لیستونیت‌ها

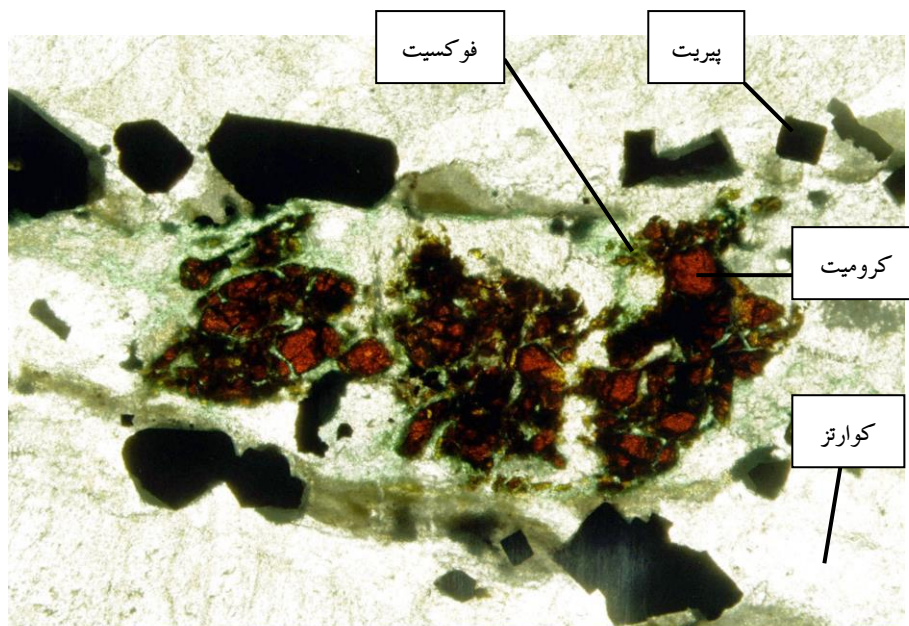
فرآیند لیستونیتی‌شدن یک سکانس‌های مختلفی از دگرسانی را که بسته به شدت دگرسانی است ایجاد می‌کند. بنابراین یک لیستونیت شامل سری‌های آلتراسیونی با واحدهای مستقل که در مینرالوژی آنها به خوبی قابل توصیف است، می‌شود. این سلسله دنباله‌ها معمولاً بر اساس افزایش دگرسانی شامل: تالک، سرپانتین دگرسان شده، تالک - کربنات، کوارتز - تالک - کربنات، کوارتز - کربنات، ماریپوسیت و کوارتز - کربنات ماریپوسیت - سولفیدهای حاوی طلا، می‌شود [Ash et al., 1991].

علاوه بر طلا، کانی‌های فلزی همراه طلا در مطالعات دیده شده‌اند که شامل انواع مختلف سولفیدها (Sb, Co) (Ni, Zn, Cu, Pb, As, Fe) بوده و معمولاً همراه آرسنیدها و تلوریدها می‌باشند. انواع و فراوانی فلزات روی ذخایر مختلف و مقیاس ناحیه‌ای تغییر می‌کند [Ash and Arksey, 1991].

بنابراین طبق توضیحاتی که توسط رز داده شد لیستونیت از کربنات (منیزیت یا آنکريت)، کوارتز همراه با پیریت پراکنده و شماری از کانی‌های دیگر ترکیب یافته است [Halls, Zhao, 2003].

در شکل ۳-۶ نیز وضعیت کانی‌شناسی معدن طلای لیستونیتی سارتوهای واقع در بریتیش کلمبیا دیده می‌شود.

ماتریکس از منیزیت و کوارتزهای ریز تشکیل شده و فوکسیت‌های سبز اطراف ذرات کرومیت (قهوه‌ای تیره که در مرکز قرمز رنگ‌اند) را احاطه کرده و کانی‌های کوبیک نیز پیریت می‌باشند.



شکل ۳-۶- وضعیت کانی شناسی طلای لیستونیته در معدن سارتوهای

مجموعه دگرسانی‌های لسیتونیتی شدیداً متغیراند. به نظر می‌رسد این به فراوانی کانی‌های دگرسانی و پراکندگی محصولات مختلف تولید شده که بوسیله فشارهای ناهمگن تولید می‌شوند، بستگی دارد. به هر حال ممکن است سنگ‌ها از ماسیو به شیبست تا برشی در یک تغییرات وسیعی از مجموعه دگرسانی وجود داشته باشند.

در منطقه آتلین در کانادا یک تغییرات وسیعی از سولفیدهای فلزی پایه شامل گالن، کالکوپیریت، اسفالریت، پیریت، آرسنوپیریت، کرسدورفیت ((Fe,Ni)AsS)، پیرآرژیریت (Ag_3SbS_3) دیده می‌شود [Ash and Arksey, 1991].

سنگ‌های متاسوماتیسمی که در کوه‌های آیتی در یونان یافت شده‌اند لیستونیت‌های سیلیکات - کربنات با مجموعه زیر می باشند:

کوارتز، کلسیت، منیزیت، هماتیت +/- تالک +/- آنکریت و مقدار کمی اسپینل کروم‌دار.

در لیستونیت‌های موجود در اوفیولیت‌ملانژ کوه آیتی در یونان، مقاطع نازک در یک میکروسکوپ پلاریزه مطالعه شده‌اند.

در زیر میکروسکوپ لیستونیت‌ها بافت مشبک و هورکلاس^{۵۲} نشان می‌دهند. مجموعه کانی‌های لیستونیت عبارت‌اند از: کوارتز، کلسیت، مگنتیت، گوتیت، هماتیت، تالک و آنکريت. فاز غالب کوارتز است (۷۰-۵۵ درصد حجمی) که جانشین سرپانتین‌ها شده است.

گوئیت و مگنتیت که به هماتیت تبدیل شده‌اند، مقدار کمی نشان می‌دهند. رگچه‌های مگنتیت و گوئیت به صورت ذراتی به عنوان اینکلوزن در کوارتزها دیده می‌شوند و کلسیت به صورت ذرات پراکنده در مرکز سلول‌های شبکه دیده می‌شود. مقدار کمی آنکريت و مقداری از دانه‌های ریز و پراکنده پنتلاندیت، پیروتیت و کالکوپیریت نیز وجود دارند.

اثرات اسپینل‌های کروم‌دار در لیستونیت‌ها دیده می‌شوند. که به طور جزئی به وسیله گوئیت در طول شکستگی‌ها و حاشیه‌ها شناسایی شده‌اند. در موارد کمی اسپینل به کرومیت آهنگار تبدیل می‌شود که این در سرپانتین‌های با منشا هارزبورژیته دیده می‌شود. رگچه‌های کمی از کلریت و اکتینولیت در این لیستونیت‌ها دیده می‌شوند. براساس مجموعه کانی‌های اصلی، لیستونیت آیتی از نوع لیستونیت کوارتز - کربنات است [Tsikouras et al., 2006]

آلتراسیون‌های کانسارهای سرپانتینی در افیولیت‌ملانژهای دیوریج^{۵۳} و کولونکاک^{۵۴} در ترکیه، دو نوع لیستونیت را بوجود آورده است. نوع اول لیستونیت سیلیکات - کربنات است که از سیلیکات + کلسیت + دولومیت + آنکريت +/- منیزیت تشکیل شده است. نوع دوم، لیستونیت کربناتی است که از کلسیت + دولومیت + آنکريت + منیزیت تشکیل شده است. مقدار کانی‌های جانبی مانند پیریت، هماتیت، لیمونیت، گرسدورفیت، مارکاسیت،

⁵² - hourglass

⁵³ - Divrigi

⁵⁴ - Kuluncak

کارولیت، لانگیسیت^{۵۵} و کرومیت در لیستونیت‌های نوع سیلیسی - کربناتی بیشتر از نوع کربناتی است [Ucurum, Larson, 2004].

در بیابان‌های شرقی مصر رگه‌های کانی‌زایی به طور اصلی شامل کوارتز و کربنات با مقادیر پایین از کانی‌های سولفیدی می‌باشند. عمدتاً کانی سولفیدی، پیریت است که با مقدار کمی کالکوپیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، تتراهدريت، گالن، پیروتیت و گرسودورفیت همراه است. کانی‌های سولفیدی به عنوان پرکننده شکستگی‌ها در کوارتز قرار دارند [Botros, 2002].

مطالعات جزئی روی کانی‌زایی در بلغارستان تنها در مناطق اسوتکس‌مارینا^{۵۶} و یامکیت^{۵۷} انجام شده است. در سال ۱۹۹۷-۱۹۹۸ مطالعات سیستماتیک بر روی تشکیلات طلا درمتاسوماتیسم‌های منطقه اسردناگورا^{۵۸} انجام گرفت. مقدار طلا در لیستونیت‌ها در بازه وسیعی در هر یک از آن‌ها تغییر می‌کند.

حضور کربنات آهن (آنکريت، سیدريت، برونیت) یک شاخص مهم تفکیک است. آلتراسیون لیستونیتی روی مرمرها همراه با منگنوکلسیت، کوارتز، ترولیت، هماتیت و تالک در منطقه معدنی مادان^{۵۹} گزارش شده است. مطالعات بر روی منطقه اسوتولکا^{۶۰} نشان داد که فعالیت‌های هیدروترمال بر روی سرپانتین‌های مرکب از لیزاردیت، آنتی‌گوریت و کریزوتیل منجر به تشکیل لیستونیت شده است. آن‌ها یک کانساری را به عنوان یک هاله در شمال اولترابازیک‌ها به وجود می‌آورند و می‌توانند در بیش از دو نوع از سنگ‌هایی دنبال شوند که ترکیب متفاوتی دارند و کانی‌های تشکیل شده سنگ اصلی بوسیله کربنات‌های حاوی آهن و کلسدون حضور می‌یابند.

⁵⁵ -Langisite

⁵⁶ - svetx marina

⁵⁷ - yamkite

⁵⁸ - Sredna Gora

⁵⁹ - Madan

⁶⁰ -Svetulka

لیستونیت‌های این منطقه ترکیبات متغییری تا بیش از ۹۰ درصد SiO_2 یا بیش از ۹۰ درصد کانی‌های کربناتی را نشان می‌دهند. در کانسار معدنی یامکیت دگرسانی شدید بوسیله سیلیسی‌شدن، کوارتز = ماریپوسیت و کانی‌های سولفیدی مشخص می‌شوند. روند متوالی برای متامورفیست‌های هیدروترمال به ترتیب زیر است: سیلیسی‌شدن ← کوارتز - ماریپوسیت ← کوارتز - سریسیت ← سنگ‌های آلتره‌شده نوع پروفیلیت [Kunov et al., 2007].

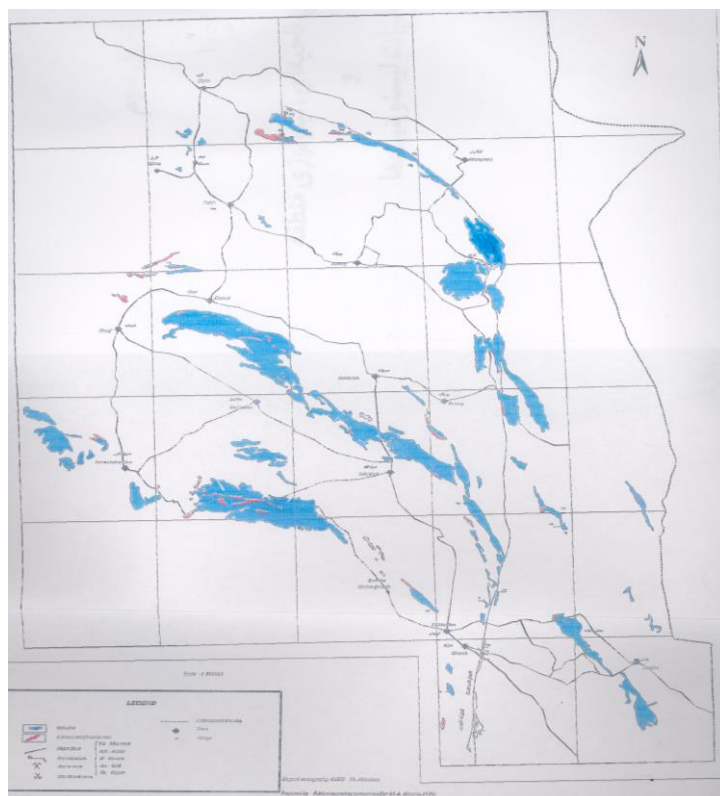
۳-۶- وضعیت لیستونیت‌زایی در شرق ایران

وضعیت زمین‌شناسی افیولیت‌ها و لیستونیت‌های شرق ایران نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. مجموعه‌های افیولیتی در ایران تجمعی از سنگ‌های ماگماتیک، رسوبی و دگرگونی می‌باشند. عمده‌ترین سازندهای این مجموعه در شرق ایران شامل سنگ‌های فوق بازیک و بازیک از جمله هارزبورژیت، لرزولیت، دونیت، سرپانتین، پیروکسنیت، دایک‌های گابرویی و دیابازی، بازالت‌های بالشی (اسپیلیت‌ها)، کمی سنگ‌های آذرین اسیدی از جمله پلاژیوگرانیت‌ها و سنگ‌های رسوبی مانند آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت‌ها و شیل‌ها که غالباً سنی مربوط به اواخر دوره کرتاسه دارند، می‌باشند. همراه این مجموعه، سنگ‌های دگرگونی غالباً از نوع شیست‌سبز و آمفیبولیت‌ها دیده می‌شوند. بطور کلی مجموعه کالرملانژ بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را با روند شمال غرب - جنوب شرق را تشکیل می‌دهند و اجزای متشکله آن اکثراً با تشکیلات مجاور خود دارای مرز تکتونیکی می‌باشند [باقرزاده، ۱۳۸۰].

شکل ۳-۷ پراکندگی لیستونیت‌ها در کمربند افیولیتی شرق کشور را نشان می‌دهد.

توده‌های نفوذی مربوط به ترشیری (بعد از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن) شامل گرانیت‌های با ترکیب مونزوگرانیت تا گرانودیوریت می‌باشند، نفوذ این توده‌ها در سنگ‌های قبلی (سنگ‌های مجموعه افیولیتی و آتشفشان‌های ائوسن در منطقه) و عدم انقطاع این توده‌ها توسط لیستونیت‌ها، سن نسبی بعد از آتشفشانی‌های ائوسن و لیستونیت‌زایی عمده را برای این توده‌ها متصور می‌سازد. در تعیین نحوه شکل‌گیری لیستونیت‌ها در

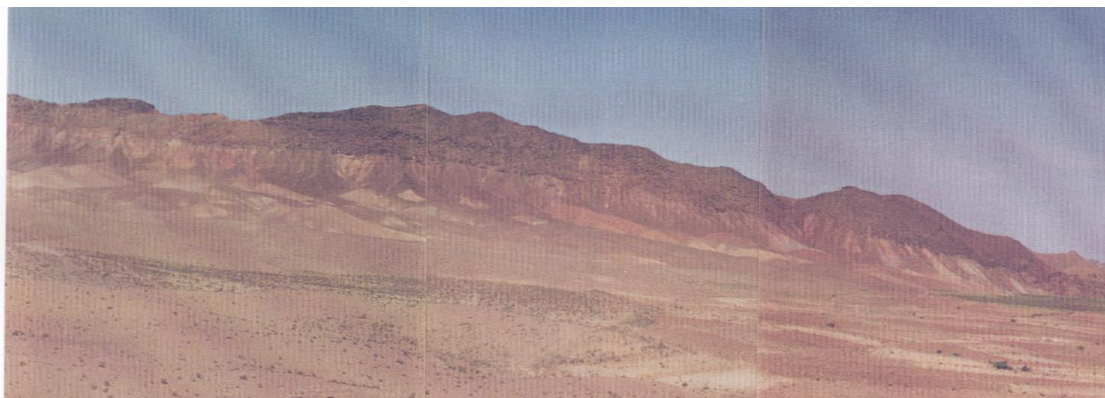
منطقه باید عنوان کرد که، وجود توده‌های نفوذی بعد از ائوسن، احتمال تأثیر این توده‌ها را به عنوان منبع گرمایش سیالات قبلی (دگرگونی، جوی، دریایی و...) موجود در سنگ‌های منطقه و یا به عنوان منبع مستقیم سیالات گرمایی مؤثر در دگرسانی لیستونیتی متذکر می‌شود اگل محمدی، ۱۳۸۲].



شکل ۳-۷- پراکندگی لیستونیت‌ها در کمربند افیولیتی شرق کشور [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].

لیستونیت‌های نوع سیلیسی اکثراً سخت و شکننده، برشی و خردشده هستند و معمولاً با رنگ قرمز، قهوه‌ای، قرمز سوخته تا سیاه مشخص می‌شوند که این رنگ ظاهری می‌تواند ناشی از وجود سولفیدهای دگرسان‌شده و اکسیدهای آهن باشد. در شکل ۳-۸ نمایی از یک باند طویل لیستونیت سیلیسی برشی، واقع در روستای کلات گردز با بافت کریپتوکریستالین و به رنگ قرمز که رخنمونی برجسته‌تر از لیتولوژی اطراف دارد، دیده

می‌شود. شکل ۳-۹ نیز، تصویری از لیستونیت سیلیسی در منطقه روم که به صورت رگه دایک‌مانند، در میان سنگ دربرگیرنده اولترامافیک در حال آلتزه شدن قرار دارد، را نشان می‌دهد [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].



شکل ۳-۸- نمایی از باند طویل لیستونیت سیلیسی برشی با بافت کریپتوکریستالین و به رنگ قرمز که رخنمونی برجسته‌تر از لیتولوژی اطراف را نشان می‌دهد. - روستای کلات گزدز [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].



شکل ۳-۹- تصویری از لیستونیت سیلیسی به صورت رگه دایک‌مانند در میان سنگ دربرگیرنده اولترامافیک در حال آلتزه شدن _ منطقه روم. [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].

۳-۷- کانی‌شناسی لیستونیت‌های شرق ایران

مطالعه میکروسکوپی و تجزیه‌های شیمیایی و شواهد صحرایی بر روی افیولیت‌ها در شرق ایران، سه نوع لیستونیت سیلیسی، سیلیسی - کربناته و کربناته را در منطقه مشخص نموده است. اگر چه با توجه به تقسیم‌بندی‌های دیگر، می‌توان به وجود انواع ارتولیستونیت‌ها، اپی‌لیستونیت‌ها، پارالیستونیت‌ها و لیستونیت‌های اتومتامورفیک دارای پتاسیم کم، اشاره کرد.

در محدوده اکتشافی هنگران، بیشترین حجم لیستونیت‌ها از نوع کربناته و سیلیسی - کربناته تشکیل شده و در بعضی مکان‌ها که بیشتر در محل گسل‌های موجود در منطقه است، نوع سیلیسی دیده می‌شود. این بخش سیلیسی بدلیل داشتن سولفیدها، می‌تواند به لحاظ دارا بودن طلا و عناصر همراه از جمله نقره، آرسنیک، جیوه، آنتیموان، تلوریوم و باریم از انواع دیگر لیستونیت‌ها غنی‌تر باشد. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده لیستونیت سیلیسی، شامل کوارتزهای نهان بلور اکثراً به شکل ژاسپروئید و اپال می‌باشند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰].

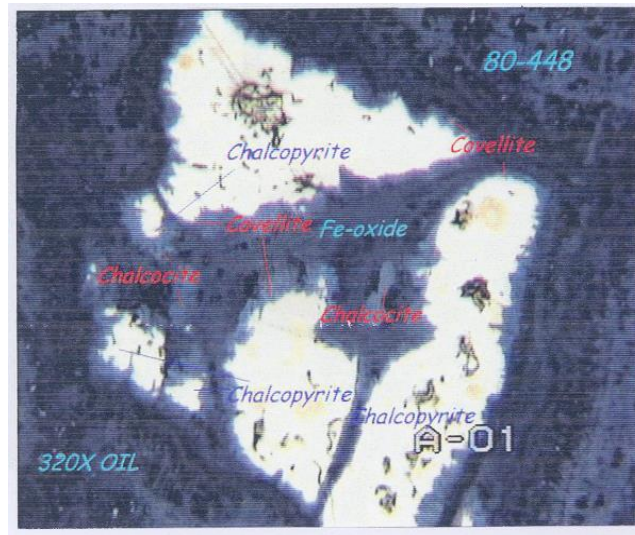
کانی‌های موجود در لیستونیت‌های شرق ایران شامل انواع غیر فلزی (منیزیت، دولومیت، آنکريت، کلسیت، سیدریت، کوارتز، کلسدون، اپال) و انواع فلزی (مگنتیت، هماتیت، کرومیت و...) می‌گردد. کانی‌زایی فلزی در منطقه به دو حالت مشخص است که با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی این موضوع تأیید شده است. کانی‌زایی‌ها بصورت مرتبط با لیستونیت‌زایی و غیر مرتبط با لیستونیت‌زایی می‌باشد. کانی‌زایی مرتبط با لیستونیت‌زایی که شامل مگنتیت و هماتیت می‌باشد، بیشتر از سنگ‌های میزبان اولترامافیک و مافیک منشأ می‌گیرند. کانی‌زایی غیرمرتبط با لیستونیت‌زایی به صورت تأخیری و پس از لیستونیتی‌شدن عمده در منطقه صورت گرفته است و شامل مالاکیت، آرسنوپیریت و پیریت همراه کوارتز می‌باشد. آنومالی طلا در برخی نمونه‌های لیستونیتی (۷) نمونه بالای ۱۲ ppb) مشاهده شده است که بیشتر از نوع سیلیسی می‌باشند.

مطالعاتی که بر روی مقاطع صیقلی لیستونیت‌ها در منطقه مختاران انجام شد، نشان داد که این لیستونیت‌ها شامل کانی‌های فلزی زیر می‌باشند:

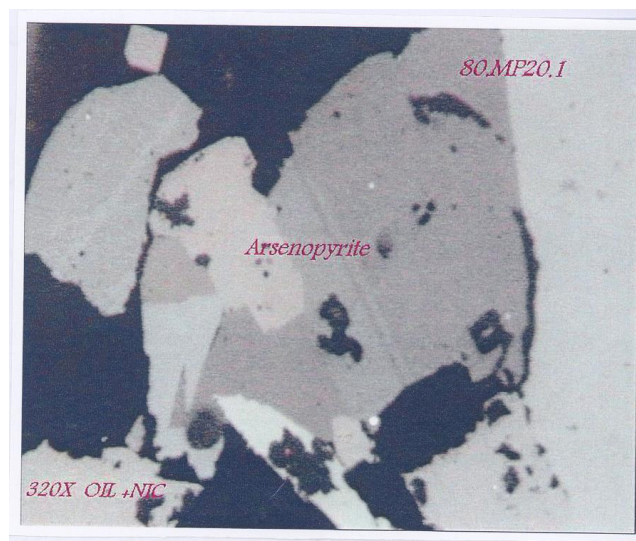
مالاکیت، پیریت، کالکوپیریت، کالکوزیت، کوولیت، آرسنوپیریت، پیروتیت، ایلمنیت و مگنتیت.

همچنین در نتیجه دگرسانی سولفیدها، کانی‌های ثانویه آهن مانند هماتیت، لیمونیت و گوتیت نیز تشکیل شده‌اند.

شکل ۳-۱۰ یک نمونه از این مقاطع صیقلی است. در این شکل کوولیت به صورت کریستال‌های ریز در اطراف ذرات کالکوپیریت کانی‌سازی دارد. این کانی منشأ ثانویه داشته و ابعاد کریستال‌های سوزنی شکل آن در حدود ۱۰ تا ۳۰ میکرون است. درصد فراوانی کوولیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود یک درصد است. همچنین کالکوسیت ثانویه نیز در اطراف لکه‌های کالکوپیریت تشکیل شده است و ابعادی حدود ۱۰ تا ۴۰ میکرون دارد. در نمونه دیگری که در شکل ۳-۱۱ مشاهده می‌شود در یکی دو نقطه از نمونه اجتماع کریستال‌های آرسنوپیریت لکه درشتی را ایجاد کرده است که با چشم غیر مسلح قابل رویت است. شکل کریستال‌ها اتومورف بوده و اندازه آن‌ها از ۲۰ تا حدود ۷۰۰ میکرون می‌رسد. اکثر کریستال‌ها از اطراف و حواشی در حال دگرسانی به اکسیدهای آبدار آهن می‌باشند. کریستال‌های کوچک و اتومورف پیریت در اندازه حداکثر ۱۰ میکرون با تراکم بسیار کم تشکیل شده است. هیدروکسیدهای ثانویه آهن به صورت لکه‌هایی کوچک در حفرات سنگ میزبان استقرار یافته است. علاوه بر آن آغشتگی به لیمونیت نیز نسبتاً فراوان دیده می‌شود. مقدار کمی از اکسیدهای منگنز، هیدروکسیدهای آهن را همراهی می‌کنند. رتیل نیز به صورت کریستال‌های کوچک و فراوان در متن نمونه پراکنده است [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۲].



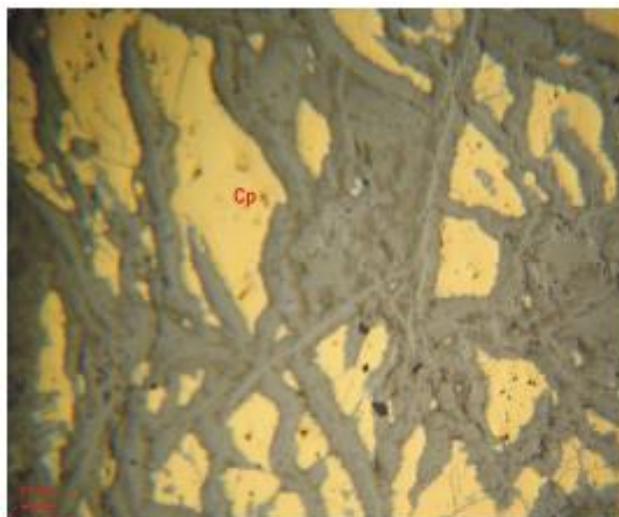
شکل ۳-۱۰- دگرسانی کالکوپیریت به کوولیت، کالکوسیت و اکسیدهای ثانویه آبدار آهن [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰]



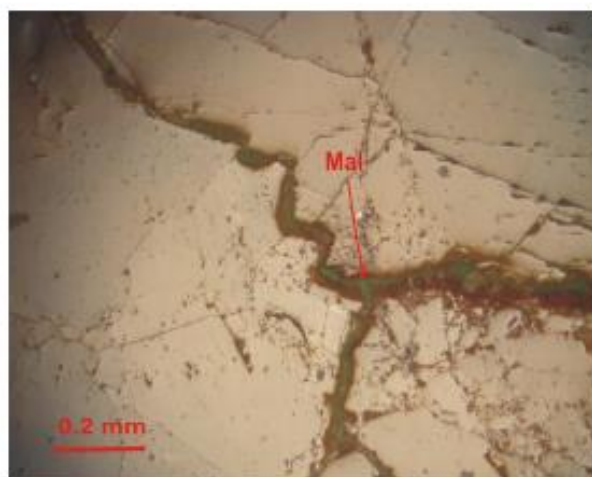
شکل ۳-۱۱- کریستال‌های درشت آرسنوپیریت با حواشی دگرسان‌شده به اکسیدهای آبدار آهن [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰]

در مطالعه‌ای که بر روی لیستونیت‌های جنوب شرق مختاران و در منطقه زاغو انجام شده است نیز نتایج مختلفی بدست آمده است. کانی‌های اصلی لیستونیت‌ها سیلیسی _ کربناتی، کانی‌های کربناتی و سیلیسی‌اند

و در نمونه دستی عمدتاً به رنگ زرد تا خاکستری دیده می‌شوند. کانی‌های فرعی این لیستونیت‌ها که در نمونه دستی دیده می‌شوند، اکسیدهای آهن و مالاکیت است. کانی‌های سولفیدی نیز به طور پراکنده در بعضی نمونه‌ها دیده می‌شود. کانی‌های فلزی مشاهده شده در مجموع مطالعات میکروسکوپی و مشاهدات صحرایی عبارتند از: سولفیدهای مس به همراه هیدروکسید و اکسیدهای آهن. رخداد سولفیدهای مس به صورت اولیه یعنی کالکوپیریت و پیریت و کانی‌های ثانویه آهن به صورت هیدروکسید و اکسیدهای این عنصر می‌باشد. هماتیت به صورت ثانویه همراه با کالکوپیریت در مقطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۲). همچنین رخداد کانی‌های اکسیدی _ کربناتی مس به صورت مالاکیت و آزوریت هم به صورت میکروسکوپی و هم ماکروسکوپی قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۳) [شهابی چشمه‌موسی، ۱۳۸۶].



شکل ۳-۱۲- تبدیل کالکوپیریت به هماتیت در لیستونیت‌های جنوب شرق مختاران [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰]



شکل ۳-۱۳- حضور ملاکیت به صورت رگه‌ای در لیستونیت‌ها [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰]

۴-۱- مقدمه

در این مطالعه به منظور تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌زایی طلای لیستونیتی در منطقه مختاران و تعیین محل‌های کانی‌سازی‌شده، از لایه‌های اکتشافی مختلفی شامل داده‌های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی، ساختاری و نقشه دگرسانی بدست‌آمده از دورسنجی استفاده شده است. با توجه به روش وزن‌های نشانگر، جهت تعیین شاخص‌ها و ویژگی‌های سودمند مبنی بر احتمال بالای وجود کانی‌سازی در

هر یک از این لایه‌های اطلاعاتی، بعد از رقومی‌سازی و آماده‌سازی این لایه‌ها برای ورود به نرم‌افزار، محاسبات با توجه به پراکندگی اندیس‌ها بر روی این داده‌ها انجام شده است.

در این فصل نحوه و چگونگی تهیه، آماده‌سازی و پردازش هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مزبور مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۴- نقشه مناطق دگرسانی بدست‌آمده از دورسنجی

۴-۲-۱- مقدمه

دورسنجی علم بدست آوردن، پردازش و تفسیر تصاویر است و داده‌های مربوطه که از طریق هواپیما و ماهواره‌ها بدست می‌آیند ارتباط بین ماده و انرژی الکترومگنتیک را ضبط می‌کنند. تصاویر حاصل از دورسنجی برای دو منظور در اکتشاف مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (۱) ترسیم نقشه زمین‌شناسی و گسل‌ها و شکستگی‌ها که محدوده منطقه کانی‌سازی را مشخص می‌کند. (۲) تشخیص سنگ‌های دگرسان‌شده گرمابی با استفاده از خصوصیات طیفی آن‌ها.

عکس‌های TM^{۶۱} ماهواره لندست^{۶۲} به‌طور وسیعی برای تفسیر آلتراسیون گرمابی و ساختارها بکار می‌رود. عکس‌های پردازش شده TM می‌توانند دو مجموعه از آلتراسیون‌های گرمابی یعنی کانی‌های آهن، رس‌ها و آلونیت را تشخیص بدهند.

جهت بدست آوردن مناطق دگرسانی در این محدوده از داده‌های رقومی ۶ باند سنجنده TM لندست ۵ استفاده شده است. به این منظور ابتدا مناطق دگرسانی از طریق روش‌های مختلف پردازش داده‌های رقومی نظیر ترکیب رنگی کاذب^{۶۳} و کروستا^{۶۴} بدست آمده و سپس این نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. و سپس نتایج

61 -Thematic Mapper

62 -Landsat

63 - False color composite image (RGB)

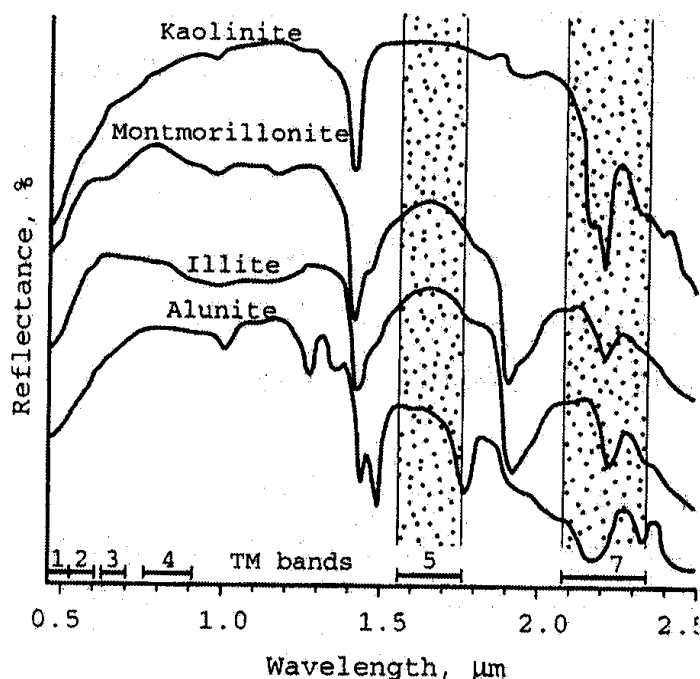
64 - crosta

حاصل از این روش‌ها به عنوان لایه ورودی برای سیستم GIS انتخاب و به منظور تعیین مناطق کانی‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

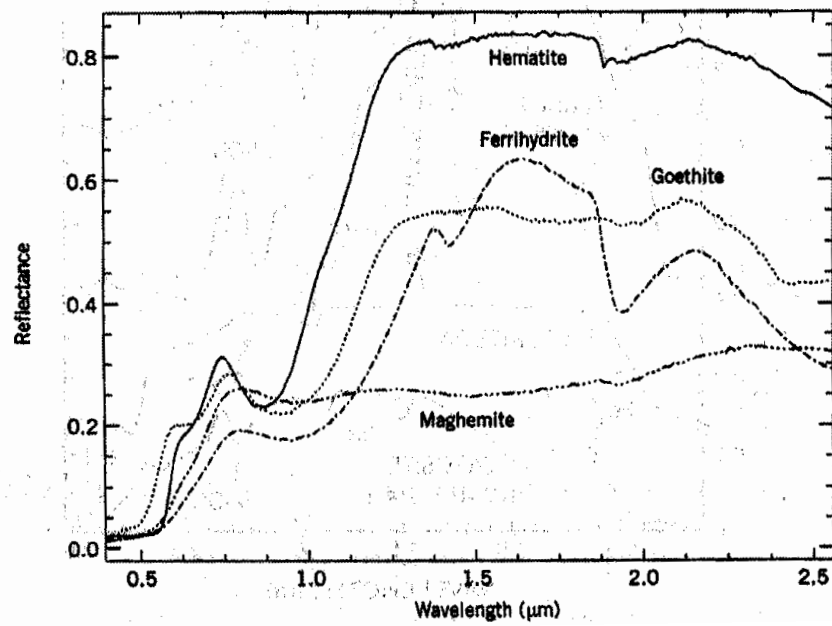
۴-۲-۲- طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها و کاربرد آن‌ها در اکتشاف کانسارها

امواج الکترومغناطیسی هنگام برخورد با سطح زمین بر اساس نوع سنگ، خاک، آب و یا پوشش گیاهی طول موج‌های خاصی را جذب می‌کنند و طول موج‌های دیگر منعکس می‌شوند. از آنجایی که سنگ‌ها از کانی‌های متفاوت تشکیل شده‌اند و خاصیت جذب و انعکاس کانی‌ها با یکدیگر متفاوت است، بنابراین با پردازش داده‌های ماهواره‌ای می‌توان سنگ‌ها و برخی از کانی‌های آن‌ها را تشخیص داد [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

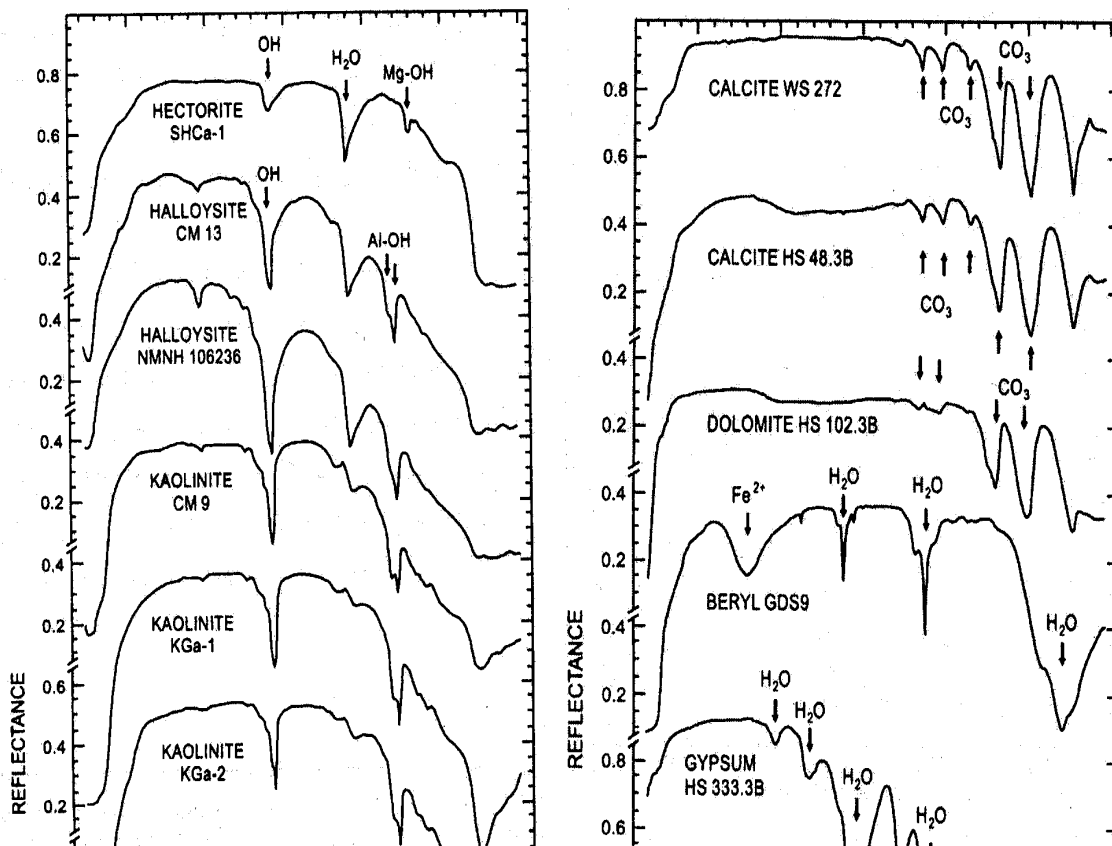
طیف انعکاسی جذبی تعدادی از کانی‌های مهم که در اکتشاف ذخایر معدنی می‌توانند مفید واقع شوند در زیر آمده است.



شکل ۴-۱- نمودار طول موج‌های مختلف کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریونیت و آلونیت [کریم‌پور، ۱۳۸۴].



شکل ۲-۴- نمودار انعکاس- جذب اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن [کریم‌پور، ۱۳۸۴].



شکل ۴-۳- نمودار انعکاس- جذب کانی‌های کلسیت، دولومیت، ژئپس و کانی‌های زون آرژیلیک [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

۴-۲-۳- روش نسبت‌گیری طیفی^{۶۵}

نتیجه تقسیم مقادیر درجه روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی قابل انطباق دیگر را تصاویر نسبت‌گیری طیفی گویند. نسبت‌گیری طیفی برای متمایز ساختن تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی در تک باندها

ممکن نیست، به کار می‌رود. علت اینکه با این عمل بسیاری از پدیده‌هایی که در حالت تک باندی قابل تفکیک نیستند، می‌توان متمایز ساخت این است که نسبت‌گیری، تغییرات شیب منحنی بازتاب‌های طیفی بین دو باند را به تصویر می‌کشد. این روش برای آشکارسازی پدیده‌ها مفید بوده و برای کاهش اثر زاویه تابش خورشید و پستی و بلندی مؤثر است [علوی‌پناه، ۱۳۸۲].

۴-۲-۴ روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۶۶} (PCA)

روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی در تفسیر داده‌های رقومی سنجش از دور از اهمیت زیادی برخوردار است. از این روش به منظور شناخت باندهایی که دارای اطلاعات بیشتر بوده و حداکثر واریانس تغییرات را پوشش می‌دهند، استفاده می‌شود.

تشابه و ارتباط بین باندها، باعث بوجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چند طیفی نیاز است، به صورت فشرده در می‌آیند [Floyd Sabin, 2007].

روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای متراکم ساختن اطلاعات موجود در تعدادی از باندها به کار رود که از نظر صرف وقت و احیاناً هزینه حائز اهمیت است [علوی‌پناه، ۱۳۸۲].

در روش PCA، دستیابی به شاخص‌های مستقل (غیر همبسته) بسیار مفید است، زیرا عدم همبستگی نشان می‌دهد شاخص‌ها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را در خود جای داده‌اند. به عبارتی بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که متغیرهای اولیه همبستگی بسیار بالایی داشته باشند. با توجه به اینکه قالب داده‌های باندهای طیفی سنجنده‌ها در مناطق خشک و بیابانی همبستگی بالایی دارند، بنابراین کارایی این روش در این گونه مناطق زیاد است [علوی‌پناه، ۱۳۸۲].

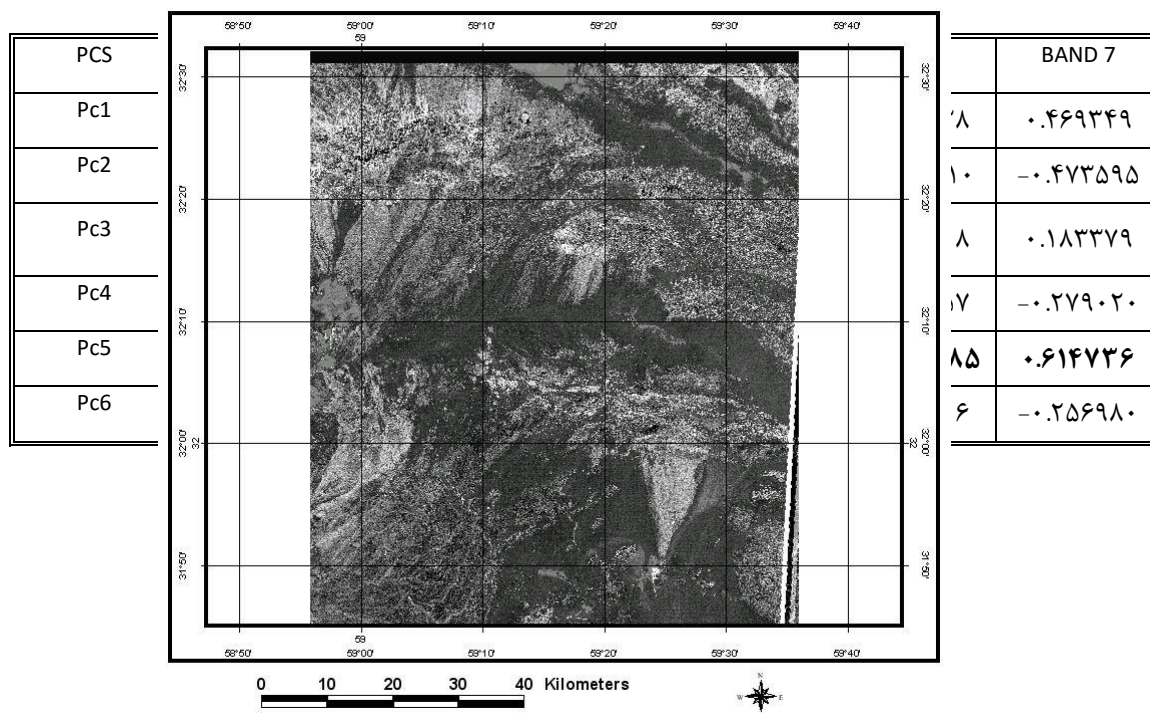
در این روش تنها به اطلاعات مقدماتی درباره خواص طیفی کانی‌ها و پوشش گیاهی نیاز است و مبتنی بر توانایی تبدیل مؤلفه اصلی در به نقشه درآوردن جزئیات واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های متوالی است. روش کروستا بر اساس ۶ باند لندست و همچنین ۴ باند انتخاب شده بر اساس ویژگی‌های طیفی کانی‌های دگرسان شده و پوشش گیاهی، استوار است [Crosta, Moore, 1989].

۴-۲-۵- روش کروستا بر روی ۶ باند (۷،۱،۲،۳،۴،۵)

جدول ۴-۱ نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (مقادیر ویژه بردارها) را بر روی ۶ باند (۱،۲،۳،۴،۵،۷) نشان می‌دهد. با توجه به علامت و بزرگی اندازه مقادیر ویژه بردارها و خواص مناطق دگرسانی و پوشش گیاهی باید مؤلفه اصلی مناسب را جهت تشخیص مناطق دگرسان‌شده انتخاب کنیم. هیدروکسیل‌ها در باند ۷ بیشترین جذب (علامت منفی) و در باند ۵ بیشترین انعکاس (علامت مثبت) و اکسید آهن در باند ۱ بیشترین جذب و در باند ۳ بیشترین انعکاس را دارند [Suarez Rojas, 2003].

همان‌طور که در جدول دیده می‌شود در مؤلفه اصلی پنجم بالاترین مقادیر بردار ویژه مربوط به باند ۵ و ۷ است. که نشان می‌دهد اطلاعات طیفی مربوط به هیدروکسیل‌ها به‌طور عمده در این مؤلفه متمرکز است. باند ۵ یعنی باندی که در آن هیدروکسیل‌ها انعکاس بالایی دارند بارگذاری منفی و باند ۷ که هیدروکسیل‌ها در آن بیشترین جذب را دارند بارگذاری مثبت دارد. از این‌رو به منظور اینکه مناطق دگرسانی هیدروکسیل در نقشه به رنگ روشن دیده شوند از نگاتیو مؤلفه اصلی پنجم استفاده شده است (شکل ۴-۴). از نگاتیو مؤلفه اصلی سوم نیز جهت شناسایی اکسید آهن استفاده کردیم ولی هیچ اثری از این دگرسانی دیده نشد.

جدول ۴-۱- نتایج حاصل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۷، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱

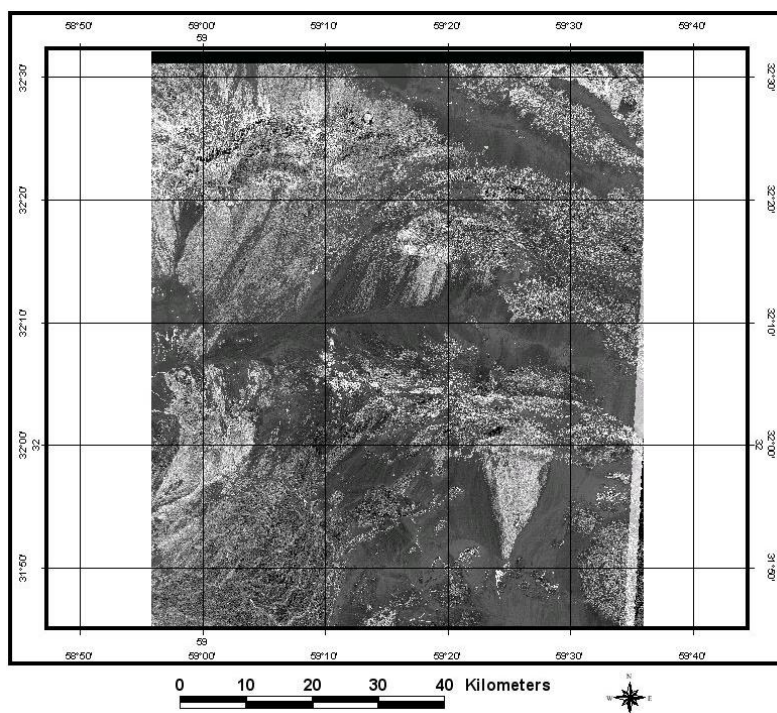


شکل ۴-۴- دگرسانی‌های حاوی یون هیدروکسیل حاصل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸ که با رنگ سفید دیده می‌شوند. (PC5-)

۴-۲-۶- روش کروستا بر روی چهار باند (۱، ۳، ۵، ۷)

با توجه به اینکه پوشش گیاهی در محدوده باند ۴ سیمای انعکاسی قوی دارد [Suarez Rojas, 2003]. لذا جهت از بین بردن اثر پوشش گیاهی روی دگرسانی‌های منطقه با حذف باند ۴ مجدداً روش کروسا را روی ترکیب باندی ۱،۳،۵،۷ انجام می‌دهیم. جدول ۲-۴ نتایج حاصل از این روش را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر بردار ویژه مربوط به باندهای ۵ و ۷ در مؤلفه اصلی چهارم مخالف علامت بوده و مقادیر بالایی دارند، از این مؤلفه جهت تعیین مناطق حاوی کانی‌های هیدروکسیلی و رسی استفاده می‌شود. در تصویر حاصل از مؤلفه اصلی چهارم، مناطق دگرسانی با پیکسل‌های روشن نمایش داده می‌شوند (شکل ۴-۵).

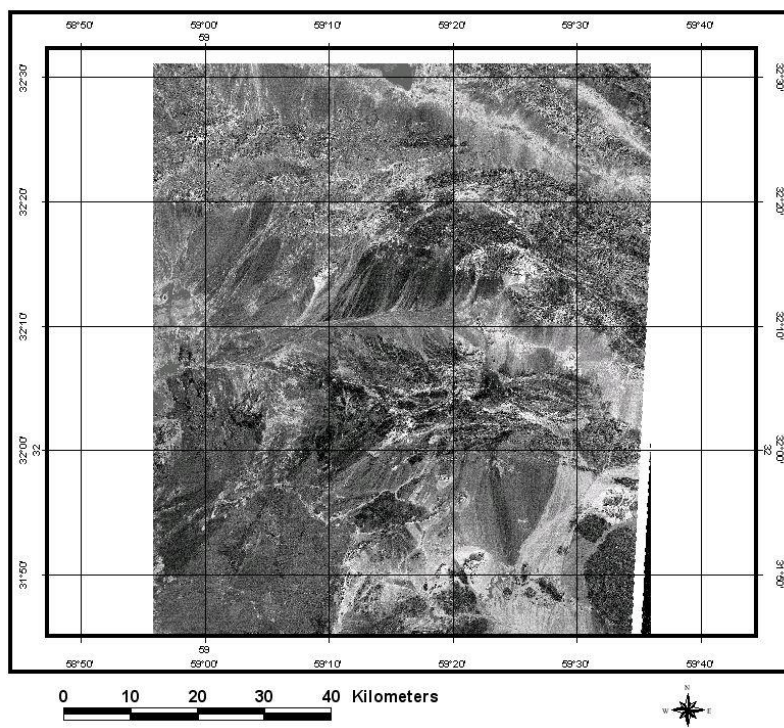
در مؤلفه اصلی سوم بالاترین مقادیر بردار ویژه مربوط به باند ۱ و ۳ است. این نشان می‌دهد اطلاعات طیفی مربوط به مناطق حاوی اکسید آهن به طور عمده در این مؤلفه متمرکز است. در تصویر حاصل از این مؤلفه، برخلاف روش قبلی، مناطق دگرسانی اکسید آهن با پیکسل‌های روشن قابل مشاهده هستند (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۵- دگرسانی‌های حاوی یون هیدروکسیل حاصل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۳،۵،۷ که با رنگ سفید دیده می‌شوند. (PC4)

جدول ۴-۲- نتایج حاصل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۳،۵،۷

PCS	BAND 1	BAND 3	BAND 5	BAND 7
Pc1	۰.۳۶۰۶۵	۰.۵۰۲۲۶۵	۰.۵۳۴۵۱۹	۰.۵۷۶۱۵۱
Pc2	۰.۷۱۸۳۱۶	۰.۳۸۷۷۶۱	-۰.۴۰۳۷	-۰.۴۱۳۱۴۵
Pc3	-۰.۵۸۸۸۶۷	۰.۷۶۱۹۴۲	-۰.۲۶۴۹۴۹	-۰.۰۴۹۸۱۷
Pc4	-۰.۰۸۴۷۸۵	۰.۱۲۹۶۷۳	۰.۶۹۳۶۲۶	-۰.۷۰۳۴۷۶

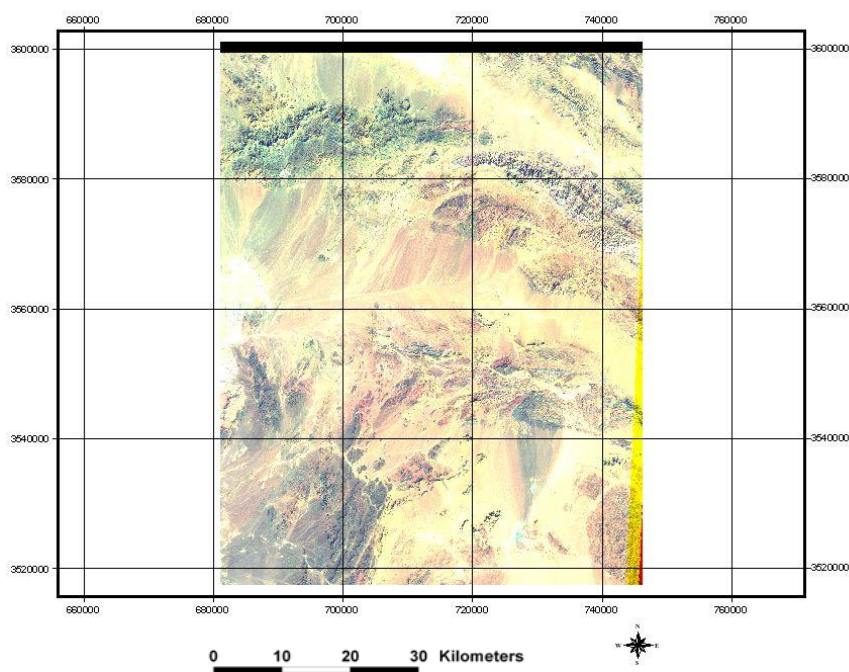


شکل ۴-۶- دگرسانی‌های اکسید آهن حاصل از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱،۳،۵،۷ که با رنگ سفید دیده می‌شوند (PC3).

۴-۲-۷- استفاده از تصاویر رنگی کاذب (RGB)

از ترکیب سه باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته می‌شود. اگر تصاویر رنگی کاذب به طور صحیح و مناسب تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله خوش ترکیب و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده‌های کم‌ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید می‌باشد. ترکیب باندهای مختلف، تصاویری می‌سازد که ممکن است هر ترکیب باندی دارای توانایی خاص برای مطالعه و جداسازی پدیده خاصی باشد [علوی پناه، ۱۳۸۲].

با استفاده از ترکیب رنگی کاذب (RGB) b7, b4, b1 می‌توان لیتولوژی را مشخص کرد. در این ترکیب رنگی، سنگ‌های ولکانیکی که در ارتباط با کانی‌های مافیک‌اند به رنگ خاکستری تیره تا سیاه، رسوبات آبرفتی به رنگ زرد و سفید، توده‌های نفوذی به رنگ سبز زیتونی و زرد، سنگ‌های دیاباز به رنگ قرمز، کمپلکس‌های رسوبی به رنگ صورتی و زرد و لیستونیت‌ها به رنگ زرد طلایی خاصی دیده می‌شوند (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- ترکیب رنگی کاذب (b1, b4, b7- لیستونیت‌ها به رنگ زرد طلایی دیده می‌شوند).

۴-۳- ژئوفیزیک (مغناطیس سنجی) هوایی در منطقه مختاران

مقایسه نقشه‌های معدنی و نقشه‌های مغناطیس‌سنجی از یک منطقه این حقیقت را نشان می‌دهد که اکثر معادن همراه ناهنجاری مغناطیسی بوده و یا در مجاورت آن قرار دارند. نمونه‌های آن را در استرالیا و کانادا که دارای نقشه‌های مغناطیسی با کیفیت خوب هستند، می‌توان به خوبی مشاهده کرد. داده‌های مغناطیسی با کیفیت بالا در اکتشاف کانسارها در مقیاس‌های مختلف می‌تواند مؤثر باشد. در مقیاس کوچک (۱:۱۰۰,۰۰۰)، نقشه‌های مغناطیسی اطلاعات سودمندی از منطقه وسیع را آشکار ساخته و ساختارهای زمین‌شناسی بزرگ را مشخص می‌کنند. نقشه‌های مغناطیسی متوسط مقیاس (۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰) برای بدست آوردن اطلاعات منطقه‌ای مفید بوده و می‌توان مناطق با پتانسیل معدنی را برای اکتشاف بیشتر انتخاب کرد. مقیاس‌های بزرگ (۱:۲۵۰,۰۰۰) و بزرگتر نقشه‌های مغناطیسی برای کارهای تفصیلی و مشخص کردن نقاط حفاری مؤثر هستند. معادن قابل رؤیت در سطح یا نزدیک سطح زمین از مدت‌ها قبل شناخته و کشف شده‌اند. در زمان حال و آینده اکتشاف باید در مناطقی انجام شود که مواد معدنی پوشیده بوده و در

اعماق بیشتری قرار دارند. این امر نیازمند به کارگیری روش‌های غیرمستقیم ژئوفیزیکی از جمله مغناطیس‌سنجی است که قادر به فراهم ساختن اطلاعات زمین‌شناسی از اعماق است [کریم پور، ۱۳۸۴].

منبع ناهنجاری‌های مغناطیسی در زمین کانی‌های فرومغناطیسی هستند که به سه گروه تقسیم می‌شوند:

(۱) کانی‌های فرومغناطیس واقعی، مانند آهن، نیکل و کبالت خالص که ممان‌های اتمی در آن‌ها همگی در یک جهت قرار می‌گیرند.

(۲) کانی‌های آنتی‌فرومغناطیس، مانند هماتیت و لیمونیت که در آن‌ها ممان‌های اتمی به طور مساوی در یک یا دو جهت مخالف هم قرار می‌گیرند و در واقع از نظر خاصیت مغناطیسی خنثی می‌شوند.

(۳) کانی‌های فری‌مغناطیس، مانند مگنتیت، ایلمنیت یا پیروتیت که در آن‌ها ممان‌های حوزه‌های مغناطیسی به صورت نامساوی و در خلاف جهت یکدیگر قرار می‌گیرند و در یک جهت دارای خاصیت مغناطیسی قوی‌تری هستند.

در اکتشاف مواد معدنی به کمک روش مغناطیس‌سنجی در واقع کانی‌های فری‌مغناطیس کانسار نقش اصلی را دارند.

روش‌های مغناطیس‌سنجی برای اهداف زیر به کار می‌روند:

(۱) کشف امتداد ساختمانی و روندهای گسلی

(۲) تعیین و تحلیل منابع ناهنجاری خاص مانند تعیین موقعیت ذخایر پنهان، شکل، گسترش، عمق و ... کانساری که دارای کانی‌های فرومغناطیس است.

معادنی که دارای مقادیر قابل توجهی کانی‌های فرومغناطیس مانند مگنتیت و یا پیروتیت هستند، ناهنجاری‌های مغناطیسی خود را بر روی نقشه‌های مغناطیس‌هوایی در مقیاس ناحیه‌ای نشان می‌دهند. بررسی‌های مغناطیسی دقیق توأم با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی و دگرسانی، اطلاعاتی راجع به موقعیت دقیق ذخیره، شکل کانی‌سازی، گسترش، شیب، امتداد و حتی عمق می‌تواند در اختیار بگذارد [زنده‌دل، ۱۳۸۶].

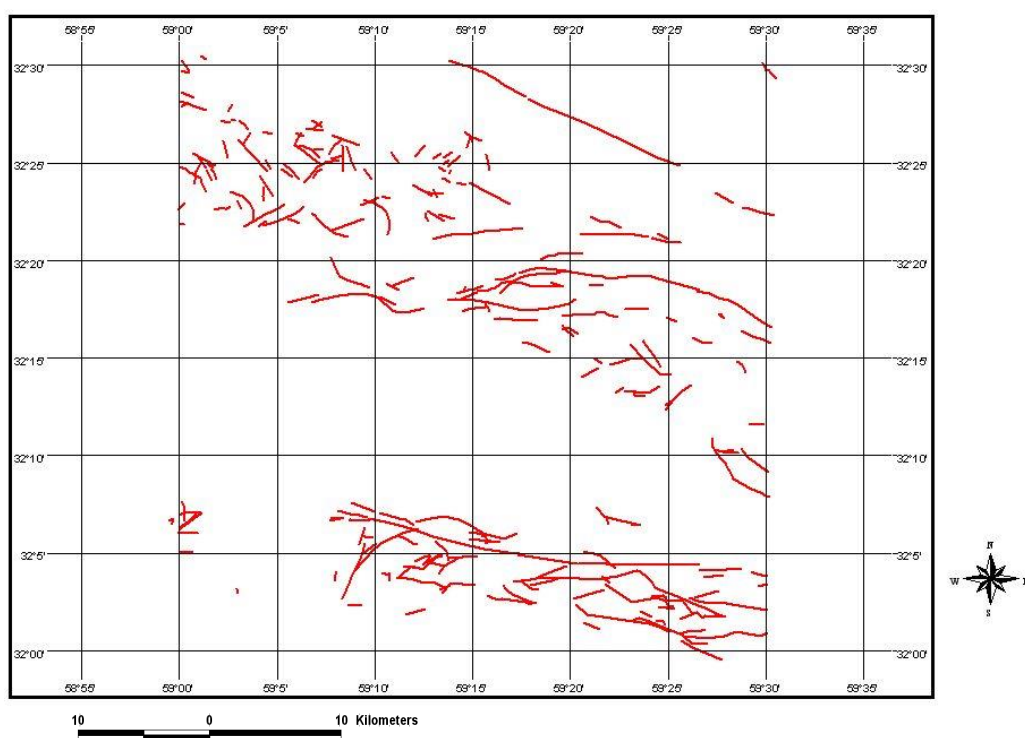
در ایران سازمان زمین‌شناسی به عنوان مسئول اجرایی تهیه اطلاعات زیربنایی زمین‌شناسی، در دهه ۱۹۶۰ با همکاری شرکت‌های خارجی از تمامی کشور نقشه‌های مغناطیس‌هوایی تهیه نموده است. در این نقشه‌ها فواصل خطوط برداشت ۷/۵ کیلومتر و ارتفاع پرواز ۲ تا ۳ کیلومتر بوده است و به منظور تقویت زون‌های زمین‌شناسی و ساختارهای وسیع تهیه شده است.

یک تغییرات وسیع زیادی در شدت مغناطیسی منطقه مختاران دیده می‌شود. آنومالی‌ها می‌تواند مرتبط با سنگ‌های نفوذی اولترابازیک، ولکانیک‌ها و آمیزه‌های رنگین باشد. از این نقشه مغناطیسی به عنوان یک لایه اطلاعاتی جهت تعیین مناطق مهم کانی‌سازی شده در منطقه مختاران استفاده شده است.

۴-۴- نقشه گسل‌های منطقه

گسل‌ها و شکستگی‌ها محل‌های مناسبی برای عبور سیالات گرمایی و در نتیجه ته‌نشست مواد معدنی می‌باشند. کانی‌زایی طلای نوع لیستونیتی نیز در محل درزه و شکاف‌ها و زون‌های گسلی که مسیر جریان‌های گرمایی است، قرار گرفته و با تکتونیزم حاشیه قاره‌ای ارتباط دارد [Ryan, 2002].

لیستونیت‌های شرق ایران، به عنوان محصولات دگرسانی گرمایی سنگ‌های اولترامافیک، در مناطق ضعیف پوسته یعنی در گسل‌ها و شکستگی‌ها بیرونزدگی دارند [عابدی، ۱۳۷۶]. بنابراین با توجه به اهمیت بالای زون‌های گسلی در تشکیل این نوع کانی‌زایی، از نقشه توزیع گسل‌های منطقه که در شکل ۴-۸ دیده می‌شود و از نقشه زمین‌شناسی بدست آمده است، به عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم جهت تعیین نقشه پتانسیل مطلوب استفاده شده است.



شکل ۴-۸- نقشه پراکندگی گسل‌ها در منطقه مختاران

۴-۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه

همان‌طور که قبلاً بیان شد، لیستونیت‌ها در شرایط خاص زمین‌شناسی تشکیل می‌شوند به طوری که هنگامی که سیالات غنی از دی‌اکسیدکربن نفوذ کرده و سنگ‌های اولترامافیک (معمولاً سرپانتین) را دگرسان می‌کنند، بوجود می‌آیند. به نظر می‌رسد یک ارتباط سازگاری بین سنگ‌های اولترامافیک کربناتی و ذخایر طلا وجود داشته باشد [Ash and Arksey, 1991].

افیولیت‌ها و لیستونیت‌های شرق ایران نیز که از نظر کانی‌زایی طلا با اهمیت‌اند، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. مجموعه‌های افیولیتی در ایران تجمعی از سنگ‌های ماگماتیک، رسوبی و دگرگونی می‌باشند. عمده‌ترین سازندهای این مجموعه در شرق ایران شامل سنگ‌های فوق بازیک و بازیک از جمله هارزبورژیت، لِرزولیت، دونیت، سرپانتین، پیروکسنیت، دایک‌های گابرویی و دیابازی، بازالت‌های بالشی (اسپیلیت‌ها)، کمی سنگ‌های آذرین اسیدی از جمله پلاژیوگرانیت‌ها و سنگ‌های رسوبی مانند آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت‌ها و شیل‌ها که غالباً سنی مربوط به اواخر دوره کرتاسه دارند، می‌باشند. همراه این مجموعه، سنگ‌های دگرگونی غالباً از نوع شیست‌سبز و آمفیبولیت‌ها دیده می‌شوند. به‌طور کلی مجموعه آمیزه رنگین بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه را با روند شمال غرب - جنوب شرق تشکیل می‌دهند و اجزای متشکله آن اکثراً با تشکیلات مجاور خود دارای مرز تکتونیکی می‌باشند [منظمی باقرزاده، ۱۳۸۰]. نقشه زمین‌شناسی منطقه در فصل‌های قبلی آورده شده است. بعد از رقوم‌سازی واحدهای مختلف زمین‌شناسی، از این اطلاعات به عنوان یک لایه سودمند و مهم در تهیه نقشه نهایی پتانسیل‌یابی کانی‌سازی طلا در منطقه مختاران استفاده شده است.

۵-۱- مقدمه

یکی از روش‌های تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، استفاده از روش وزن‌های نشانگر است. وزن‌های نشانگر روشی کمی و مشتق‌شده از داده‌ها برای ترکیب مجموعه داده‌ها بر اساس تئوری بیزین است. در این روش با توجه به مشخصات و ویژگی‌های نقاط کانی‌سازی شده معلوم می‌توان به جستجوی مناطق کانی‌سازی شده جدید پرداخت. روش وزن‌های نشانگر این مزیت را دارد که کمی‌سازی همراهی‌کننده‌های مکانی مستقیماً به وزن‌دهی نقشه‌های شاهد منجر می‌شود تا برای به نقشه درآوردن پتانسیل کانی‌سازی ترکیب گردند. در مطالعه حاضر به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی طلای لیستونیتی در منطقه مختاران در استان خراسان جنوبی از این روش استفاده شده است. با توجه به اینکه در این منطقه تعداد ۲۸ اندیس معدنی شناخته‌شده، وجود دارد، استفاده از روش وزن‌های نشانگر با بهره‌گیری از این اندیس‌ها کارایی کافی را خواهد داشت. در این مطالعه از نتایج داده‌های مربوط به مطالعات ژئوفیزیک هوایی، زمین‌شناسی، گسل، دورسنجی و ژئوشیمیایی برای پتانسیل‌یابی طلا بهره‌گرفته شده و مناطق احتمالی کانی‌زایی به ترتیب اولویت بر حسب مقدار احتمال متأخر بدست آمده از روش وزن‌های نشانگر، مشخص شده است.

۵-۲- احتمال مشروط و روش وزن‌های نشانگر

به منظور کاهش انحراف‌های ذهنی در تعیین همراهی‌کننده‌های مکانی بین کانسارهای معدنی و ویژگی‌های زمین‌شناختی، باید یک روش کمی کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. روش وزن‌های نشانگر روشی کمی و مشتق‌شده از داده‌ها برای ترکیب مجموعه داده‌ها می‌باشد. این روش فرم لگاریتمی _ خطی مدل احتمال بیزین جهت تخمین اهمیت نسبی شواهد با ابزار آماری است. این روش برای ترکیب شواهد در موارد مختلفی مانند تشخیص‌های کمی پزشکی، اقتصادشناسی و زمین‌شناسی کاربرد دارد [Bonham, 1994].

در کاربردهای اکتشافی مواد معدنی یک سری از نقشه یا لایه‌های نشانگر که از مجموعه داده‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی بدست می‌آیند، برای تهیه نقشه‌ای امیدبخش معدنی استفاده می‌شود. وابستگی فضایی هر لایه نشانگر نسبت به موقعیت ذخایر یا اندیس‌های شناخته‌شده، تعیین می‌شود و به عنوان نقاط آموزش استفاده می‌شود [Kemp et al., 1999].

برای تبیین بهتر این روش به بیان یک مثال عملی می‌پردازیم.

اگر فرض شود که در منطقه‌ای به مساحت ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع، ۲۰۰ ذخیره معدنی شناخته‌شده وجود دارد و منطقه به سلول‌های واحدی به مساحت یک کیلومتر مربع تقسیم شود و فرض در هر سلول واحد فقط یک ذخیره قرار گیرد در این صورت اگر یک سلول واحد به طور اتفاقی انتخاب شود، احتمال وجود ذخیره در آن $200/10000 = 0.02$ (۲ درصد) می‌باشد. زمانی که اطلاعات دیگری وجود نداشته باشد، نسبت مذکور، احتمال متقدم وجود یک ذخیره ($P\{D\}$) نامیده می‌شود. حال اگر یک نقشه شاخص دوتایی نظیر نقشه آنومالی ژئوفیزیکی از همان ناحیه موجود باشد و ۱۸۰ ذخیره از ۲۰۰ ذخیره موجود، در محل این آنومالی قرار داشته باشد. واضح است که احتمال یافتن یک ذخیره با در نظر گرفتن آنومالی ژئوفیزیکی بسیار زیادتر از ۰/۰۲ خواهد شد. بنابراین میزان مطلوبیت برای کشف یک ذخیره معدنی مانند D در حضور شواهدی مانند B را می‌توان با احتمال شرطی رابطه (۵-۱) بیان نمود:

$$P(D|B) = \frac{P(D \cap B)}{P(B)} \quad (5-1)$$

که در این رابطه $P(D|B)$ احتمال وجود یک ذخیره معدنی به شرط حضور الگوی دوتایی B است. اما $P(D \cap B)$ برابر با نسبت مساحت کل اشغال شده توسط D و B به کل مساحت است یا $P(D \cap B) = N\{D \cap B\} / N\{T\}$ و به همین ترتیب $P(B) = N\{B\} / N\{T\}$ که در آن $P(B)$ احتمال و $N\{B\}$ مساحت (تعداد سلول واحد الگوی دوتایی B) و $N\{T\}$ تعداد سلول‌های واحد در کل منطقه می‌باشند. به طور کلی در رابطه‌های فوق $N\{\}$ نشان‌دهنده تعداد سلول‌های واحد و $P(\)$ نشان‌دهنده احتمال است. با جانشین کردن این عبارات در رابطه (۵-۱)، رابطه (۵-۲) به صورت زیر به دست خواهد آمد.

$$P(D|B) = \frac{N\{D \cap B\}}{N\{B\}} \quad (۵-۲)$$

احتمال شرطی $P(D|B)$ ، برابر نسبتی از الگوی دوتایی B می‌باشد که توسط ذخایر پوشیده شده است. اگر در مثال فعلی ۱۸۰ ذخیره بر روی الگوی B وجود داشته و مساحت B، ۳۶۰۰ کیلومتر مربع باشد احتمال مشروط وجود ذخیره در حضور آنومالی ژئوفیزیکی، برابر $۱۸۰/۳۶۰۰ = ۰/۰۵$ خواهد شد، یعنی ۲/۵ برابر ۰/۰۲. بنابراین اکتشاف برای ذخایر جدید از همان نوع، متمرکزتر و منسجم‌تر شده است. زیرا اگر نشانه ژئوفیزیکی به عنوان شاخص مهمی به کار رود، ناحیه جستجو از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع به ۳۶۰۰ کیلومتر مربع کاهش پیدا می‌کند. به منظور به دست آوردن عبارتی مربوط به احتمال متأخر یک ذخیره بر حسب احتمال متقدم، توجه شود که احتمال مشروط نقشه دوتایی B با حضور یک ذخیره به صورت رابطه (۵-۳) تعریف می‌شود:

$$P(B|D) = \frac{P(B \cap D)}{P(D)} \quad (۵-۳)$$

که برای مورد فعلی مقدارش برابر است با $۱۸۰/۲۰۰ = ۰/۹$ از آنجایی که $P(B \cap D)$ با $P(D \cap B)$ مشابه است، معادله‌های (۵-۱) و (۵-۳) می‌توانند برای حل کردن $P(D|B)$ ترکیب شده و رابطه (۵-۴) را بوجود آورند.

$$P(D|B) = P(D) \frac{P(B|D)}{P(B)} \quad (۵-۴)$$

این رابطه نشان می‌دهد که احتمال مشروط (متأخر) یک ذخیره معدنی با حضور الگوی دوتایی برابر است با احتمال متقدم ذخیره $P(D)$ ضرب در عامل $P(B|D)/P(B)$. صورت کسر این عامل $0/9$ و مخرج آن $0/36$ است. بنابراین عامل مذکور برابر است با $2/5$. در نتیجه با حضور آنومالی ژئوفیزیکی احتمال متأخر یک ذخیره $2/5$ برابر بیشتر از احتمال متقدم است. اطلاعات درباره صورت کسر اغلب از مطالعه آماری ذخایر و اطلاعات درباره مخرج کسر از بررسی‌های اکتشافی مربوط به محل وجود ذخایر مورد انتظار که ویژگی‌های آن‌ها مورد نظر می‌باشد، به دست می‌آید. با استفاده از معادله $(4-5)$ به دست می‌آید، $P(D|B) = 0/05$ که همان مقدار به دست آمده توسط رابطه $(2-5)$ است. همچنین می‌توان عبارتی مشابه برای احتمال متأخر ذخیره‌ای که با عدم حضور آنومالی شاخص (یک نقشه نشانگر دوتایی) مشخص می‌شود، به صورت رابطه $(5-5)$ به دست آورد.

$$P(D|\bar{B}) = P(D) \frac{P(\bar{B}|D)}{P(\bar{B})} \quad (5-5)$$

و برای مثال با جانشین کردن اعداد خواهیم داشت: $P(\bar{B}) = \frac{10000 - 3600}{10000} = 0.64$ و

$$P(\bar{B}|D) = \frac{0.1}{200} = 0.1 \quad \text{و در نتیجه} \quad P(\bar{B}|D)/P(\bar{B}) = \frac{0.1}{0.64} = 0.15625$$

بنابراین احتمال متأخر وجود یک ذخیره در هر واحد مساحت (هر سلول)، در محل‌هایی که آنومالی ژئوفیزیکی وجود ندارد، $0/15625$ برابر کمتر از احتمال متقدم است. در مثال فعلی $0/03125 = 0/2 \times 0/15625$ و $P(D|B) = 0$ بنابراین

وجود یک نقشه به عنوان یک شاهد (به عنوان مثال آنومالی ژئوفیزیکی) برای اکتشاف معدن به مقدار زیادی مساحت جستجو را از 10000 کیلومتر مربع به 3600 کیلومتر مربع کاهش می‌دهد. زیرا شانس پیدا کردن ذخیره‌ای که در آن آنومالی ژئوفیزیکی وجود نداشته باشد به مقداری قابل توجه، کمتر (حدود 50 برابر) از جایی است که این آنومالی وجود دارد. با توجه به این که $N(T)$ تعداد کل سلول‌های واحد و $N(D)$ تعداد نقاط مورد نظر در داخل محدوده مورد مطالعه می‌باشد، $N(D)$ عددی صحیح است. اگر کلاس با ارزش 1 نقشه دوتایی را با B و تعداد سلول‌هایی را که اشغال می‌کند با $N(B)$ و همچنین تعداد سلول‌هایی را که با کلاس صفر نقشه دوتایی پوشیده می‌شود، با $N(\bar{B})$ نشان داده شود رابطه $(5-6)$ به دست خواهد آمد.

$$N(B) + N(\bar{B}) = N(T) \quad (6-5)$$

با توجه به آن می‌توان وزن‌هایی را تحت عنوان W^+ و W^- محاسبه کرد که می‌توانند ملاکی برای همراهی یا عدم همراهی بین نقاط (اندیس‌های شناخته شده) و بخش‌های مختلف نقشه شاهد دوتایی باشند. این وزن‌ها برای تمام کلاس‌های نقشه شاهد محاسبه می‌شوند. مقادیر مثبت برای وزن محاسبه شده بیانگر این واقعیت است که نقاط مورد نظر (معدنی) بیشتری، داخل کلاس مورد نظر از کل نقشه قرار دارد و به طور معکوس، مقادیر منفی برای وزن محاسبه شده نمایانگر این است که نقاط کمتری در آن کلاس خاص از نقشه قرار دارند. مقدار صفر یا خیلی نزدیک به صفر بیانگر این است که نقاط مورد نظر به صورت تصادفی بین کلاس مورد نظر و بخش‌های دیگر نقشه دوتایی توزیع شده‌اند. W^+ وزنی است که معرف حضور و همراهی مثبت نقاط مورد نظر با هر کلاس خاص و W^- معرف عدم حضور یا همراهی منفی مکانی نقاط مورد نظر با آن کلاس خاص است. تفاضل این دو وزن (C)، تباین یا کنتراست⁶⁷ پارامتری است که معرف وضعیت کلی همراهی یا عدم همراهی نقاط مورد نظر با کلاس‌های خاص از نقشه می‌باشد. به طور کلی وزن‌های W^+ و W^- محاسبه شده بین ۰ تا ۰/۰۵ معمولاً چندان پیش‌گویی‌کننده نیستند و مقادیر بین ۱ و ۲ پیش‌گویی‌کننده خوبی هستند. اگر مقادیر محاسبه شده این وزن‌ها بیش از ۲ باشد پیش‌گویی‌کننده قوی هستند. به طور کلی وزن‌های مربوط به کلاس‌های یک نقشه دوتایی با نسبت‌های احتمالات شرطی رابطه‌های (۷-۵) و (۸-۵) بیان می‌شوند که در آن‌ها $P(\cdot)$ معرف احتمال می‌باشد.

$$W^+ = \ln \frac{P(B|D)}{P(B|\bar{D})} = \ln \frac{\{B \cap D\}/D}{\{B \cap \bar{D}\}/\bar{D}} \quad (7-5)$$

$$W^- = \ln \frac{P(\bar{B}|D)}{P(\bar{B}|\bar{D})} = \ln \frac{\{\bar{B} \cap D\}/D}{\{\bar{B} \cap \bar{D}\}/\bar{D}} \quad (8-5)$$

⁶⁷ -Contrast

$(B \cap D)$ اشتراک دو مجموعه B (بخش‌های پوشیده شده از کلاس خاص نقشه دوتایی) و D (معرف مجموعه نقاط مورد نظر) است. بنابراین می‌توان رابطه (۹-۵) را به صورت زیر نوشت.

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D)/N(D)}{[N(B) - N(B \cap D)]/[N(T) - N(D)]} \quad (۹-۵)$$

طریقی مشابه می‌توان رابطه W^- را نیز بازنویسی کرد. در صورتی که مساحت سلول واحد خیلی کاهش یابد، رابطه (۹-۵) برای W^+ را می‌توان به صورت رابطه ساده شده (۱۰-۵) نوشت [Yousefi, Kamkar, 2005].

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D)/N(D)}{N(B)/N(T)} \quad (۱۰-۵)$$

واریانس‌های اوزان می‌تواند به ترتیب به صورت زیر محاسبه شود [Bonham-carter, 1994]:

$$S^2(W^+) = \frac{1}{N\{B \cap D\}} + \frac{1}{N\{B \cap \bar{D}\}} \quad (۱۱-۵)$$

$$S^2(W^-) = \frac{1}{N\{\bar{B} \cap D\}} + \frac{1}{N\{\bar{B} \cap \bar{D}\}} \quad (۱۲-۵)$$

کنتراست معیاری از همراهی‌کننده‌های مکانی بین طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده و نقاط کانسار معدنی بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = W^+ - W^- \quad (۱۳-۵)$$

مقدار استیودنت^{۶۸} کنتراست، SigC، مقیاس مفیدی از قطعیتی است که کنتراست با آن سنجیده می‌شود. مقادیر ۱/۵ یا حتی ۲ برای SigC ایده‌آل است. مقدار استیودنت C، SigC، نسبت کنتراست به جذر مجموع

واریانس‌های W^+ و W^- است، یا [Bonham-carter, 1994]:

$$SigC = C / \sqrt{S^2(W^+) + S^2(W^-)} \quad (۱۴-۵)$$

⁶⁸ -Studentized value

احتمال متأخر کانسار با فرض حضور دو طرح پیش‌بینی‌کننده B_1 و B_2 می‌تواند با قانون بیزین بیان گردد:

$$P(D|B_1 \cap B_2) = \frac{P(D \cap B_1 \cap B_2)}{P(B_1 \cap B_2)} = \frac{P(B_1 \cap B_2|D)P(D)}{P(B_1 \cap B_2)} \quad (15-5)$$

$$= \frac{P(B_1 \cap B_2|D)P(D)}{P(B_1 \cap B_2|D)P(D) + P(B_1 \cap B_2|\bar{D})P(\bar{D})}$$

اگر B_1 و B_2 نسبت به مجموعه کانسارهای معدنی، مستقل شرطی از یکدیگر باشند، معادله ۱۵-۵ می‌تواند

ساده شود. زیرا رابطه $P(B_1 \cap B_2|D) = P(B_1|D)P(B_2|D)$ برقرار می‌باشد:

$$P(D|B_1 \cap B_2) = P(D) \frac{P(B_1|D)P(B_2|D)}{P(B_1)P(B_2)} \quad (16-5)$$

معادله ۱۶-۵ همان معادله ۴-۵ است، با این تفاوت که عوامل ضرب‌کننده برای دو نقشه به منظور به روز

کردن احتمال مقدم جهت به دست آوردن احتمال متأخر به کار رفته است. با استفاده از فرمول‌بندی تساوی

نشان داده می‌شود که:

$$\log_e O(D|B_1 \cap B_2) = \text{Logit}\{D\} + W_1^+ + W_2^+ \quad (17-5)$$

$$\log_e O(D|B_1 \cap \bar{B}_2) = \text{Logit}\{D\} + W_1^+ + W_2^- \quad (18-5)$$

$$\log_e O(D|\bar{B}_1 \cap B_2) = \text{Logit}\{D\} + W_1^- + W_2^+ \quad (19-5)$$

$$\log_e O(D|\bar{B}_1 \cap \bar{B}_2) = \text{Logit}\{D\} + W_1^- + W_2^- \quad (20-5)$$

نهایتاً، عبارت کلی برای ترکیب "n" نقشه به صورت زیر است:

$$\log_e O(D|B_1^k \cap B_2^k \cap B_3^k \cap \dots B_n^k) = \sum_{j=1}^n W_j^k + \log_e O(D) \quad (21-5)$$

که اگر طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده، حاضر یا غایب باشد، k به ترتیب (+) یا (-) است. مقادیر احتمال وقوع

متأخر می‌توانند بر مبنای معادله زیر به احتمالات متأخر تبدیل گردند و آن درجه پتانسیل کانی‌سازی را

بیان می‌کند.

$$O = P/(1-P) \quad (5-22)$$

در روابط بالا علامت O به عنوان احتمال وقوع و لوجیت‌ها^{۶۹} لگاریتم‌های طبیعی احتمالات وقوع بوده و در مدل‌سازی وزن‌دهی شواهد به کار می‌روند [palomera, 2004].

پس از انجام محاسبات مربوط به تجزیه و تحلیل وزن‌های نشانگر و انتخاب بالاترین کنتراست‌ها، برای هر نقشه شاهد یک نقشه دوتایی تهیه شده و پس از تلفیق آن‌ها و به دست آوردن مقادیر محاسبه شده $P(D|B)$ ، برای همه سلول‌ها، می‌توان نقشه‌ای تهیه کرد که نشان دهنده توزیع احتمال تجربی وجود یک اندیس معدنی در واحد مساحت (هر سلول) ناحیه مورد مطالعه باشد. در نهایت پس از مطالعه بر روی نقشه اخیر و انتخاب نواحی دارای بالاترین احتمالات کانی‌سازی می‌توان بهترین مناطق را جهت متمرکز کردن عملیات اکتشافی تفصیلی مشخص نمود [Yousefi, Kamkar, 2005].

تمامی معادلات مورد استفاده در بخش‌های بعد به صورت فشرده و عملی، در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. علائم اختصاری به کار رفته در این جدول به صورت زیر است:

انحراف معیار: Std، کل پیکسل‌های محدوده مورد مطالعه: npixt، پیکسل‌های کانسار: npixd، پیکسل‌های طرح رقومی حاضر یا کلاس بافر تجمعی کانسار: npixb، پیکسل‌های طرح رقومی حاضر یا کلاس بافر تجمعی کانسار: npixbd. نقشه‌های پیش‌بینی‌کننده (وزنی): $(m_1, m_2, \dots, m_n)$ ، نقشه احتمال متأخر: Postpro، تعداد کانسار پیش‌بینی‌شده: $N\{D\}pred$ ، احتمال متأخر هر پیکسل در نقشه احتمال متأخر: Pp، تعداد پیکسل‌ها با قطعیت احتمال متأخر: npix [palomera, 2004].

جدول ۵-۱- لیست معادلات مورد استفاده در محاسبات روش وزن‌های نشانگر [palomera, 2004].

۵-۳- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی دگرسانی‌های منطقه

⁶⁹ -Logit

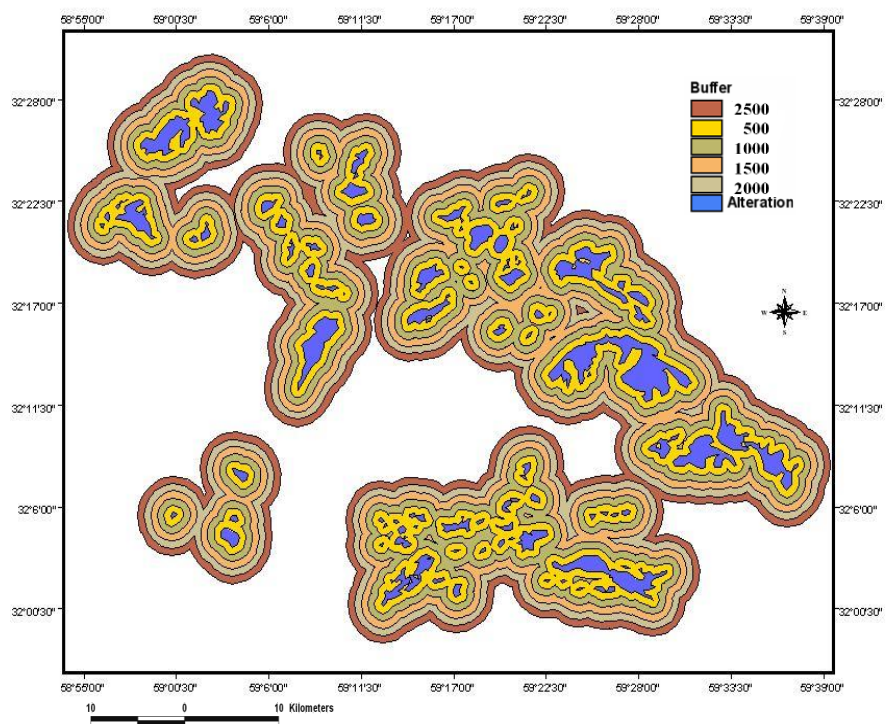
معادله		مفهوم	مورد استفاده در																																																					
$W^{+} = Ln \frac{npixbd \times (npixt - npixd)}{(npixb - npixbd) \times npixd}$		وزن مثبت	محاسبات W-of-E																																																					
$W^{-} = Ln \frac{(npixd - npixbd) \times (npixt - npixd)}{(npixt - npixd - (npixb - npixbd)) \times npixd}$		وزن منفی	محاسبات W-of-E																																																					
$C = W^{+} - W^{-}$		تفاوت وزن‌ها	ارزیابی همراهی کننده‌های مکانی																																																					
$SigC = \frac{C}{\sqrt{(StdW^{+})^2 + (StdW^{-})^2}}$		حساسیت C	ارزیابی همراهی کننده‌های مکانی بهینه																																																					
$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \frac{(Observed_i - Expected_i)^2}{Expected_i}$		مجذور کای	آزمون استقلال شرطی دوگانه																																																					
$P(D) = N\{D\} / N\{T\}$		احتمال مقدم کانسار	محاسبه نقشه احتمال متأخر																																																					
$Priorodds = Priorprob / (1 - Priorprob)$		تبدیل به احتمال رخدادها	محاسبه نقشه احتمال متأخر																																																					
$Logit\{D\} = Ln(PriorO) = LnO\{D\}$		محاسبه لجوجیت‌ها	محاسبه نقشه احتمال متأخر																																																					
		<table><tr><th>Buffer(m)</th><th>Area(km2)</th><th>Point</th><th>W+</th><th>W-</th><th>C</th><th>SigC</th></tr><tr><td>نقشه</td><td>محاسبه نقشه احتمال</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">پیش‌بینی کننده</td><td>۵۰۰</td><td>۳۳۲.۳۹</td><td>۵</td><td>۰.۰۶۱</td><td>۰.۴۰۳۱</td><td>۰.۸۹۱۲</td></tr><tr><td>متأخر</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">آزمون استقلال</td><td>۱۰۰۰</td><td>۳۲۰.۰۷</td><td>۲</td><td>۰.۵۳۸</td><td>۰.۵۶۴</td><td>۰.۸۰۲۲۷</td></tr><tr><td>محاسبه کانسارهای</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">شرطی کلی</td><td>پیش‌بینی کننده نهایی ۱۵</td><td>۳</td><td>۰.۰۱۸</td><td>۰.۰۰۲۲</td><td>۰.۰۲۰۸</td><td>۰.۰۳۴۳۹</td></tr><tr><td>۱۵۰۰</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Buffer(m)	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC	نقشه	محاسبه نقشه احتمال						پیش‌بینی کننده	۵۰۰	۳۳۲.۳۹	۵	۰.۰۶۱	۰.۴۰۳۱	۰.۸۹۱۲	متأخر						آزمون استقلال	۱۰۰۰	۳۲۰.۰۷	۲	۰.۵۳۸	۰.۵۶۴	۰.۸۰۲۲۷	محاسبه کانسارهای						شرطی کلی	پیش‌بینی کننده نهایی ۱۵	۳	۰.۰۱۸	۰.۰۰۲۲	۰.۰۲۰۸	۰.۰۳۴۳۹	۱۵۰۰						
Buffer(m)	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC																																																		
نقشه	محاسبه نقشه احتمال																																																							
پیش‌بینی کننده	۵۰۰	۳۳۲.۳۹	۵	۰.۰۶۱	۰.۴۰۳۱	۰.۸۹۱۲																																																		
	متأخر																																																							
آزمون استقلال	۱۰۰۰	۳۲۰.۰۷	۲	۰.۵۳۸	۰.۵۶۴	۰.۸۰۲۲۷																																																		
	محاسبه کانسارهای																																																							
شرطی کلی	پیش‌بینی کننده نهایی ۱۵	۳	۰.۰۱۸	۰.۰۰۲۲	۰.۰۲۰۸	۰.۰۳۴۳۹																																																		
	۱۵۰۰																																																							
دگرسانی‌ها در		۲۰۰۰	۲۵۲.۴۹	۰	-	-	-	منطقه به دو صورت																																																
دو صورت		۲۵۰۰	۲۲۲.۳۸	۲	۰.۰۱۷۳	۰.۰۱۴۷	۰.۰۱۸۸		۰.۰۲۵۴۱																																															

این منطقه به

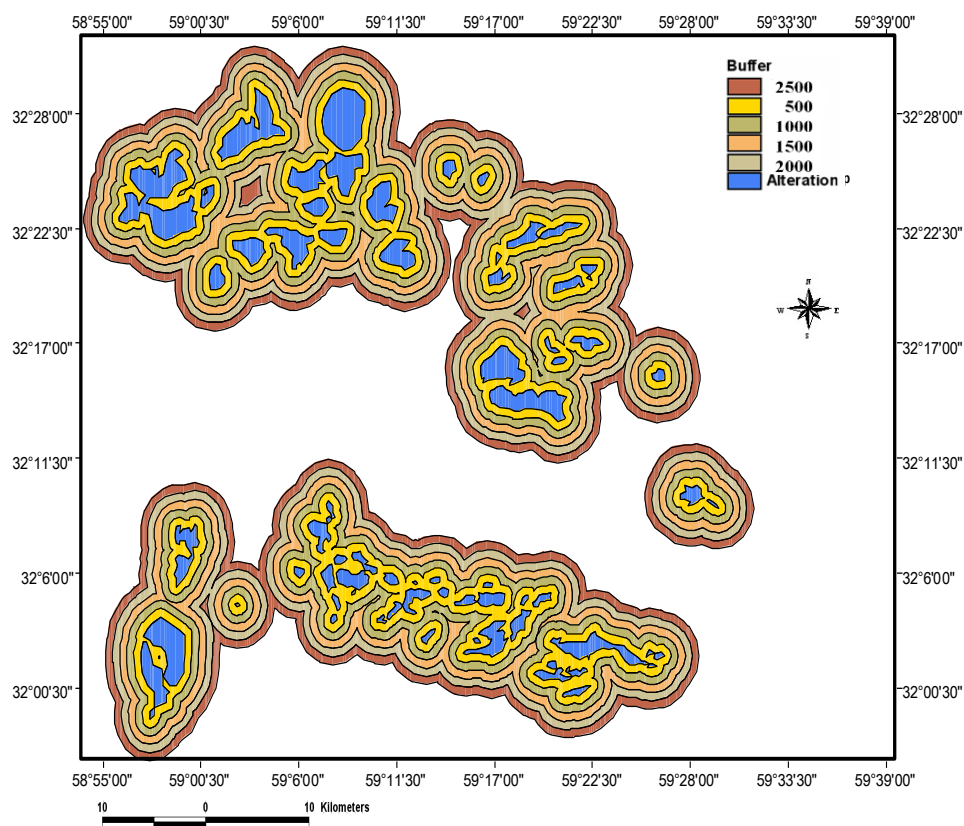
دگرسانی	-۰.۲۳۸۵	-۰.۲۵۰	۰.۰۱۰	-۰.۲۴۰	۱	۱۱۸.۸	Alteration	اکسید آهن و
دگرسانی								آرژلیک و

سریسیتیک مشخص شده‌اند که به منظور تعیین نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌زایی از هر سه نوع این دگرسانی‌ها استفاده شده است. از این رو ابتدا عملیات بافرینگ به فواصل ۵۰۰ متر بر روی این مناطق انجام گرفته است (در اشکال ۱-۵ و ۲-۵ قابل مشاهده است). سپس فرمول‌ها و روابط مربوط به روش وزن‌های نشانگر بر روی این داده‌ها اعمال شده و شاخص‌ها و نتایج مختلف تعیین گردیده که این نتایج در جداول ۵-۲ و ۵-۳ آورده شده است. در جدول ۲-۵ مقادیر کنتراست و W+ مربوط به بافر ۵۰۰ متر نسبت به دیگر مناطق بالا بوده، که این فاصله به عنوان منطقه مطلوب انتخاب می‌شود. در جدول ۳-۵ نیز مقادیر کنتراست و W+ در منطقه دگرسانی و فواصل بافری ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر بالا بوده و این مناطق به عنوان مناطق مطلوب تعیین می‌شوند. که با توجه به این مناطق و وزن‌های بدست آمده، نقشه نهایی دگرسانی، جهت تلفیق با دیگر لایه‌های اطلاعاتی فراهم می‌شود. این امر از طریق نسبت دادن وزن‌های مثبت به مناطقی که به عنوان نواحی مطلوب تعیین شده و همچنین اختصاص دادن وزن‌های منفی به مناطقی که در آن‌ها الگوی مرتبط به نواحی مطلوب دیده نشده است، فراهم می‌گردد.

جدول ۲-۵- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن‌های نشانگر بر روی نقشه دگرسانی اکسید آهن



شکل ۵-۱- نقشه دگرسانی اکسید آهن و بافرهای مختلف با فواصل ۵۰۰ متری



Buffer(m)	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC
۵۰۰	۳۱۱.۵۷	۱۳	۱.۳۶۸	-۰.۴۹۸	۱.۸۶	۶.۴۱۱
۱۰۰۰	۲۹۷.۳۷	۵	۰.۴۵۳	-۰.۰۷۶۳	۰.۵۳	۱.۱۲۹
۱۵۰۰	۲۶۶.۰۶	۱	-۱.۰۴۷	۰.۰۷۱۰	-۱.۱۱	-۱.۰۶۶
۲۰۰۰	۲۳۲.۳۷	۱	-۰.۹۱۲	۰.۰۵۶۷	-۰.۹۶	-۰.۹۲۳
۲۵۰۰	۲۰۰.۱۸	۱	-۰.۷۶۲۷	۰.۰۴۳۳	-۰.۸۰	-۰.۷۶۸
Alteration	۱۷۵.۲۲	۳	۰.۴۷۲	-۰.۰۴۴۱	۰.۵۱	۰.۸۵۲

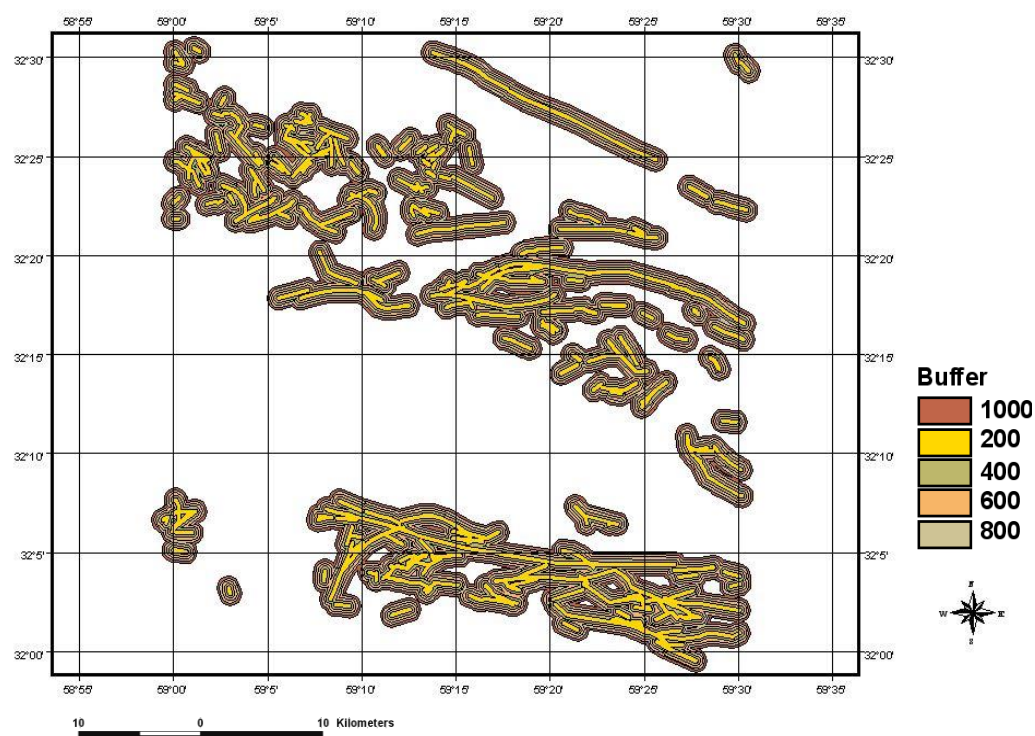
شکل
۵-۲-
نقشه

دگرسانی‌های آرژلیک و سیرسیتیک و بافرهای مختلف با فواصل ۵۰۰ متری

جدول ۵-۳- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن‌های نشانگر بر روی نقشه دگرسانی‌های آرژلیک و سیرسیتیک

۵-۴- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی گسل‌های منطقه

به منظور مشخص شدن ارتباط فضایی بین اندیس‌های کانی‌سازی شده و اندیس‌های معدنی با گسل‌های منطقه، از عملیات بافرینگ بر روی گسل‌ها استفاده شده است. این مناطق با توجه به میزان فواصل از گسل به محدوده‌های ۰ تا ۲۰۰ متر، ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر، ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر، ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر و ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر تقسیم شده است (شکل ۵-۳). با توجه به محاسبات صورت گرفته، مساحت هر یک از مناطق فوق، تعداد اندیس‌های معدنی شناخته شده در هر بافر و مقادیر وزن‌ها، کنتراست و استیودنت کنتراست آن‌ها در جدول ۵-۴ آمده است. مقادیر کنتراست و وزن مثبت در مناطق با فاصله ۰ تا ۲۰۰ متر و ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر از گسل، بالا است و این دو محدوده به عنوان مناطق مطلوب شناسایی می‌شوند. و وزن‌های بدست آمده از این دو بافر را بر روی مناطق مختلف لایه گسلی طبق روابط بیان شده اعمال می‌کنیم.



شکل ۵-۳- نقشه بافرهای مختلف بر روی گسل‌های منطقه با فواصل ۲۰۰ متری

جدول ۵-۴- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن‌های نشانگر بر روی نقشه بافر گسل‌ها

Buffer(m)	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC
۲۰۰	۲۱۸.۴۴۵	۷	۱.۱۰۲	-۰.۲۰۱	۱.۳۰۳	۳.۲۸۵
۴۰۰	۲۰۲.۴۸۲	۳	۰.۳۲۶	-۰.۰۳۲	۰.۳۵۹	۰.۵۹۳۸

۶۰۰	۱۸۴.۱۴۸	۵	۰.۹۳۵	-۰.۱۲۴	۱.۰۵	۲.۲۵۷
۸۰۰	۱۶۵.۶۰۶۱	۳	۰.۵۲۸	-۰.۰۴۸	۰.۵۷۶	۰.۹۵۲
۱۰۰۰	۱۴۸.۲۹۵	۱	-۰.۴۶۲	۰.۰۲۲	-۰.۴۸۴	-۰.۴۶۱

۵-۵- تجزیه و تحلیل روش وزن‌های نشانگر بر روی واحدهای زمین‌شناسی منطقه

در مقیاس اکتشافات ناحیه‌ای، جدایش محیط‌های زمین‌شناسی می‌تواند موجب افزایش نسبت موفقیت تکنیکی شود. با شناخت و جدایش مناسب‌ترین محیط‌های زمین‌شناسی موفقیت تکنیکی اکتشاف تا ۴۰ درصد قابل افزایش خواهد بود [De Geoffroy, Wingall, 1985]. در این مطالعه نیز با بررسی پراکندگی اندیس‌های مختلف کانی‌سازی‌شده و مطالعه ارتباط مکانی آن‌ها با واحدهای زمین‌شناسی، تعداد ۹ واحد زمین‌شناسی در مرحله اول انتخاب شدند که با انجام روش وزن‌های نشانگر بر روی این مناطق و محاسبه فاکتورهای مختلف از جمله مساحت، تعداد اندیس‌ها، وزن‌های مثبت و منفی و کنتراست، در نهایت ۶ واحد زمین‌شناسی با توجه به میزان بالای مقادیر کنتراست و وزن مثبت به عنوان مناطق مطلوب شناسایی شدند و در نتیجه با توجه به وزن‌های مثبت و منفی این واحدها، عملیات وزن‌دهی بر روی لایه زمین‌شناسی انجام گرفته است. در جدول ۵-۵، نتایج حاصل از محاسبات روش وزن‌های نشانگر بر روی واحدهای زمین‌شناسی منطقه آورده شده است. واحدهای زمین‌شناسی نهایی انتخاب شده عبارتند از:

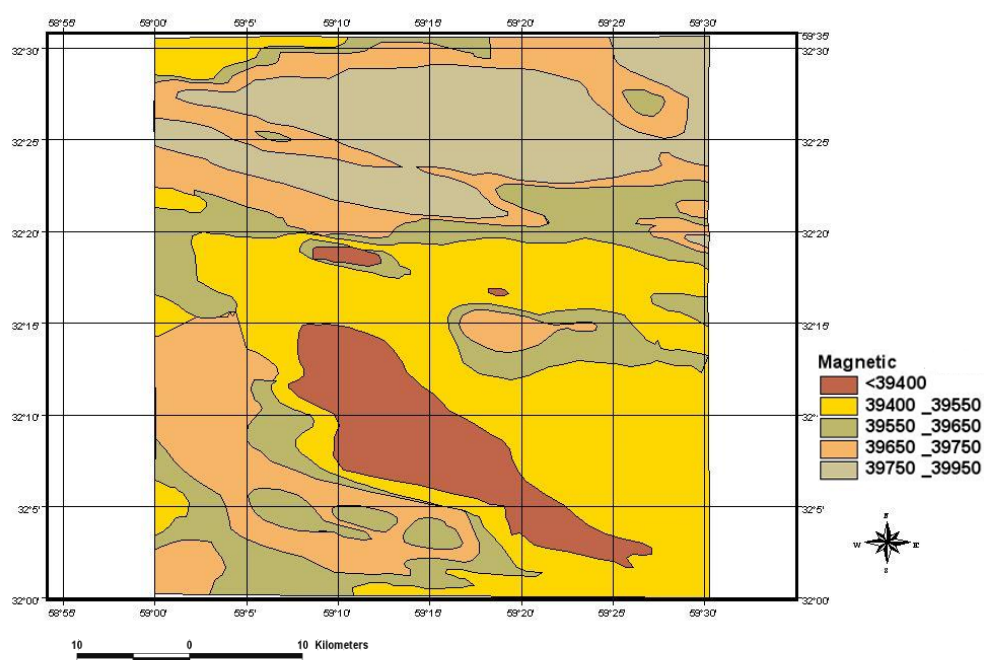
لیستونیت (Lv)، دیاباز (Kud)، مجموعه سنگ‌های اولترابازیک و لیستونیت (Ubl)، سنگ‌های اولترابازیک و به طور عمده پریدوتیت و سرپانتینیت (Ub)، پلاژیو-گرانیت-گنایس (gn) و میکرودیوریت با رخساره‌های آندزیتی (da).

جدول ۵-۵- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی واحدهای زمین شناسی منطقه

geology	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC
Lv	۳۴.۹۴۹	۵	۲.۶۲۷	-۰.۱۸۳	۲.۸۱	۵.۹۶۸
Kud	۱۶۳.۲۶۱	۶	۱.۲۴۰۸	-۰.۱۷	۱.۴۱	۳.۳۰۸۱
Ub	۲۵.۶۷۳۴	۵	۲.۹۴۹۰	-۰.۱۸۷	۳.۱۳	۶.۶۴۹
Ubl	۳۰.۷۶۲	۲	۴.۲۸۲۰	-۰.۰۷۳	۴.۳۵	۵.۷۶۲۴
ap	۱۱۹.۱۲۲	۱	-۰.۲۴۲	۰.۰۱۰۲	-۰.۲۵۳	-۰.۲۴۱
Eoa	۵۲.۹۸۶	۱	۰.۵۶۹۸	-۰.۰۱۵	۰.۵۸۵	۰.۵۵۸
gn	۱۶.۷۰۰	۱	۱.۷۳۴۸	-۰.۰۳۰	۱.۷۶	۱.۶۷۹
da	۱۴.۷۵۰	۱	۱.۸۶۱۰	-۰.۰۳۰	۱.۸۹	۱.۸۰۰
schq	۲۷.۵۲۲	۱	۱.۲۲۹	-۰.۰۲۵	۱.۲۵	۱.۱۹۵

تجزیه و تحلیل روش وزن های نشانگر بر روی شدت میدان مغناطیسی منطقه

به منظور استفاده از نقشه شدت کل میدان مغناطیسی به عنوان یک لایه اطلاعاتی در روش وزن‌های نشانگر، منطقه را به ۵ محدوده مغناطیسی مهم تقسیم کردیم و تمام مراحل آماده‌سازی لایه را بر روی آن انجام دادیم. این لایه به صورت رقومی شده در شکل ۴-۵ دیده می‌شود. سپس عملیات مختلف محاسباتی مربوط به روش وزن‌های نشانگر را بر روی آن انجام دادیم که نتایج آن در جدول ۵-۶ آورده شده است. با توجه به میزان کنتراست و مقدار وزن مثبت، دو محدوده مربوط به میدان‌های مغناطیسی ۳۹۶۵۰-۳۹۵۵۰ و ۳۹۶۵۰-۳۹۷۵۰ به عنوان مناطق مطلوب انتخاب شده‌اند.



شکل ۴-۵- نقشه آماده‌سازی شده شدت میدان مغناطیسی منطقه جهت تلفیق

جدول ۵-۶- نتایج بدست آمده از محاسبات روش وزن های نشانگر بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی

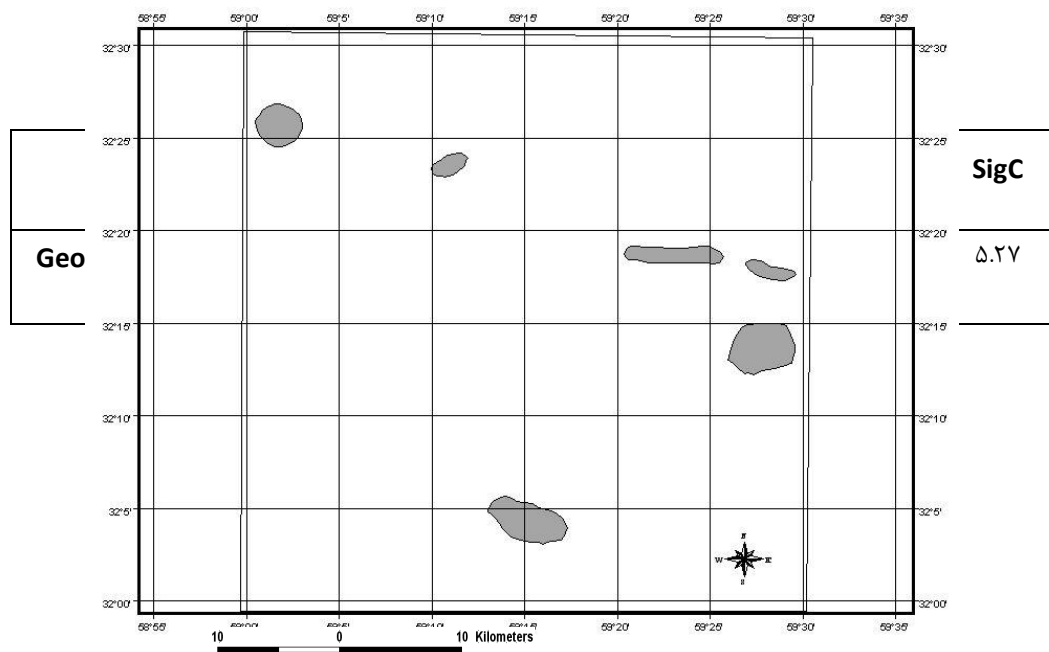
۵-۷- تجزیه و تحلیل روش وزن های نشانگر بر روی آنومالی های ژئوشیمیایی

مطالعات ژئوشیمیایی آبراهه ای با نمونه برداری از بخش رسی و سیلتی رسوبات رودخانه ای و همچنین بخش کنگلومرایی انجام گرفته است. بعد از تهیه نقشه توپوگرافی و طراحی آبراهه های موجود، نمونه برداری بر اساس مدخل خروجی آبراهه ها صورت گرفته است. مناطق آنومال حاصل از این بررسی های ژئوشیمیایی نیز تعیین گردیده و در شکل ۵-۵ آورده شده است.

بعد از تعیین محل آنومالی ها، مراحل مختلف آماده سازی بر روی این لایه اطلاعاتی، به منظور ورود به GIS انجام می گیرد. سپس پارامترهای مورد نیاز را از نقشه استخراج کرده و تمام شاخص های موجود در روش وزن های نشانگر را طبق فرمول های بیان شده محاسبه می کنیم. نتایج بدست آمده در جدول ۵-۷ بیان شده

magnetic	Area(km2)	Point	W+	W-	C	SigC
<۳۹۴۰۰	۲۳۲.۱۸	۱	-۰.۹۱۱	۰.۰۵۶۶	-۰.۹۶۷	-۰.۹۲۲
۳۹۴۰۰-۳۹۵۵۰	۸۵۶.۲۷	۷	-۰.۲۶۹	۰.۱۰۸۷	-۰.۳۷۸	-۰.۹۵۳
۳۹۵۵۰-۳۹۶۵۰	۴۸۱.۴۳	۹	۰.۵۶۰۳	-۰.۱۸۴	۰.۷۴۵	۲.۱۳۰۷
۳۹۶۵۰-۳۹۷۵۰	۵۶۸.۵۵	۱۰	۰.۴۹۹	-۰.۱۹۷	۰.۶۹	۲.۰۹۹۰
۳۹۷۵۰-۳۹۹۵۰	۴۴۱.۲۰	۱	-۱.۵۵	۰.۱۴۸۶	-۱.۷۰۲	-۱.۶۲۳

است. حال با توجه به این نتایج تصمیم گیری نهایی را انجام می دهیم. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، مقدار کنتراست و میزان وزن مثبت لایه مقادیر بالایی را نشان می دهند که این نشان می دهد این لایه تأثیر بسیار خوبی در تعیین مناطق مطلوب کانی زایی در منطقه خواهد داشت. از این رو از مجموعه آنومالی های ژئوشیمیایی به عنوان یک لایه اطلاعاتی جهت تلفیق استفاده خواهد شد.



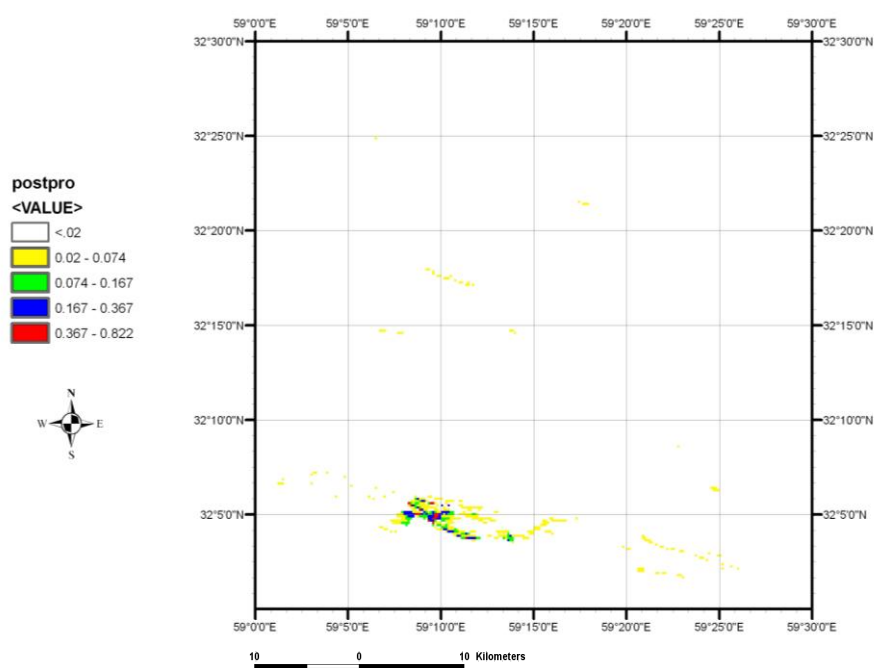
شکل ۵-۵- مناطق آنومالی حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی بر روی رسوبات رودخانه‌ای

جدول ۵-۶- نتایج بدست‌آمده از محاسبات روش وزن‌های نشانگر بر روی نقشه آنومالی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای

۵-۸- تلفیق نتایج و ارائه نقشه پیش‌بینی مناطق امیدبخش معدنی

هدف نهایی در اکثر پروژه‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ترکیب داده‌های مختلف از منابع گوناگون به منظور توصیف و آنالیز پدیده‌ها یا ایجاد نقشه‌هایی جدید است که می‌توانند نهایتاً در تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. ترکیب و تلفیق نتایج حاصل از همه اطلاعات بدست آمده کارایی بیشتری نسبت به بررسی تک‌تک اطلاعات مختلف دارد و ما را به بهینه‌ترین جواب نزدیک می‌کند. همان‌طور که قبلاً بیان شد، در روش وزن‌های نشانگر با محاسبه مساحت‌های مناطق مورد بررسی بر حسب سلول واحد و محاسبه تعداد نقاط کانی‌سازی‌شده در داخل این محدوده‌ها، شاخص‌هایی از جمله کنتراست، وزن‌های مثبت و منفی

محاسبه می‌شوند که معرف میزان اهمیت و مطلوبیت لایه اطلاعاتی مورد نظر می‌باشند. سپس نقشه‌های دوتایی بر این اساس تهیه و با هم ترکیب می‌شوند و در نهایت یک نقشه معرف احتمال متأخر وقوع کانسار محاسبه و بدست می‌آید. اگر احتمال اولیه حضور یک کانی‌سازی در مساحت سلول واحد را عددی ثابت و برابر چگالی توزیع نقاط فرض کنیم، در این صورت احتمال متأخر با توجه به مقدار احتمال اولیه و همچنین بر اساس یک سری قوانین ریاضی برای تمام سلول‌ها محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب با ترسیم این تصاویر محاسبه شده احتمال متأخر برای تمامی سلول‌ها، نقشه‌ای تهیه می‌شود که نحوه توزیع این احتمال متأخر را در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در شکل ۵-۶ نقشه نهایی پتانسیل‌دار معدنی ناشی از تلفیق لایه‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک، دورسنجی، زمین‌شناسی و ساختاری با استفاده از روش وزن‌های نشانگر نشان داده شده است.



شکل ۵-۶- نقشه نهایی پتانسیل معدنی ناشی از تلفیق لایه‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک، دورسنجی، زمین‌شناسی و ساختاری با استفاده از روش وزن‌های نشانگر

که در آن مهمترین منطقه از نظر میزان پتانسیل کانی‌زایی طلای لیستونیته شناسایی شده و بر روی نقشه قابل مشاهده است. این منطقه دارای احتمال اکتشاف بالایی بوده به طوری که میزان احتمال متأخر تا ۰/۸۴ نیز می‌رسد. مساحت این منطقه مطلوب ۲۷ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱/۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود.

۶-۱- مقدمه

ژئوفیزیک علمی است که قادر است بعضی از خصوصیات فیزیکی زمین از قبیل خواص الکتریکی و خواص مغناطیسی و ... را تعیین کند. لذا با استفاده از ژئوفیزیک می‌توان قسمت‌هایی از زمین را که دارای خصوصیات

فیزیکی متفاوت از محیط اطراف هستند، مانند زون‌های کانی‌سازی شده را شناسایی کرد. ذخایر لیستونیتی نیز از نظر کانی‌شناسی با محیط اطراف متفاوت‌اند و شامل کانی‌های مگنتیت، هماتیت، هیدروکسید آهن، پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، گالن، آرسنوپیریت، سولفیدهای نیکل، آرسنیدهای نیکل و فلزات می‌شوند. از این‌رو می‌توان محل این نوع کانی‌سازی‌ها را با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مشخص کرد. روش‌های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف این نوع کانی‌سازی در مقیاس تفصیلی در منطقه هنگران استفاده شده‌اند، روش‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت‌ویژه می‌باشند که در این فصل به تفسیر آن می‌پردازیم.

۶-۲- روش مقاومت ویژه^{۷۰} الکتریکی

دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها بسیار وسیع می‌باشد. در بیشتر سنگ‌ها هدایت جریان الکتریسیته به صورت الکترولیتی توسط محلول‌های موجود در خلل و فرج سنگ‌ها و بین دانه‌ها صورت می‌گیرد. بیشتر کانی‌های فلزی جریان الکتریسیته را به صورت الکترونیکی هدایت می‌کنند. برای انجام این روش معمولاً جریان مستقیم DC (که متناوباً جهتش عکس می‌شود) و یا جریان متناوب AC با فرکانس خیلی کم (معمولاً کمتر از ۱ هرتز) را توسط الکترودهای جریان وارد زمین می‌کنند و اختلاف پتانسیل را توسط یک جفت الکترودهای پتانسیل اندازه‌گیری می‌نمایند [کلاگری، ۱۳۷۱].

سوندینگ الکتریکی قائم فرایندی است که توسط آن تغییرات عمقی مقاومت‌ویژه لایه‌های زیر سطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرند و پروفایلینگ افقی فرایندی است که توسط آن تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه سنگ‌های زیر سطحی اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه از آرایش الکترودی دوقطبی - دوقطبی استفاده شده و عملیات پروفایلینگ افقی و سوندینگ الکتریکی قائم به طور هم‌زمان انجام شده است.

⁷⁰ - Resistivity

در این روش جریان الکتریکی به داخل زمین به وسیله الکتروود منبع حرکت می‌کند و تمرکز بارهای الکتریکی در جاهای مختلف ایجاد می‌شود. با قطع جریان ورودی این بارها به وضعیت اولیه توزیع خود در زمین بر می‌گردند. در مدت زمانی که تمرکز بارها از بین می‌رود، پتانسیل الکتریکی تداوم می‌یابد که این پدیده به قطبش القایی یا همان IP نسبت داده می‌شود.

وقتی جریان الکتریکی به داخل زمین وارد می‌شود، تعادل طبیعی بین بارهای الکتریکی به هم می‌خورد. بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و زمین مانند یک باتری شارژ شده عمل می‌کند. مناطقی که مقاومت الکتریکی کمتری دارند معمولاً راحت‌ترین قابلیت مجدد شارژ را دارند.

از این خاصیت برای اکتشاف مواد معدنی مثل کانسارهای فلزات پایه استفاده می‌شود. در مناطقی که تمرکزی از کانی‌های فلزی و یا سولفیدی وجود داشته باشد، پتانسیل القایی بزرگی در این مناطق با ورود جریان به زمین گسترش خواهد یافت که این اساس اکتشاف خواهد بود. معمولاً در این مناطق مقاومت ویژه الکتریکی پایین است ولی همیشه این اصل صادق نیست. مثلاً ممکن است کانی مس‌دار در داخل یک زون سیلیسی باشد که در این صورت هم مقاومت ویژه الکتریکی و هم IP بالاست.

از مزایای روش IP این است که اگر کانی‌ها به صورت ریز داخل سنگ‌ها پراکنده باشند IP قویتری ظاهر می‌کنند. زیرا در موقعی که جریان در زمین برقرار می‌شود یون‌ها در موقع حرکت وقتی به یک دانه کانی می‌رسند در دو طرف آن به صورت یون‌های مثبت و منفی جمع می‌شوند و در حقیقت در اثر جریان الکتریکی کانی پلاریزه می‌شود و بعد از قطع جریان یون‌ها تخلیه شده و IP ظاهر می‌شود.

IP بدست آمده از یک نقطه در واقع نتیجه عوامل طبیعی موثر در IP است. این عوامل شامل نوع ماده معدنی، درصد ماده معدنی، اندازه دانه‌ها، مقاومت الکتریکی سنگ دربرگیرنده و غیره است. مثلاً هر چه ماده معدنی هادی‌تر، درصد آن زیادتر و دانه‌های آن کوچک‌تر باشد مقدار IP بیشتر است. از طرفی مواردی مانند کانی‌های

⁷¹ - Induced polarization (IP)

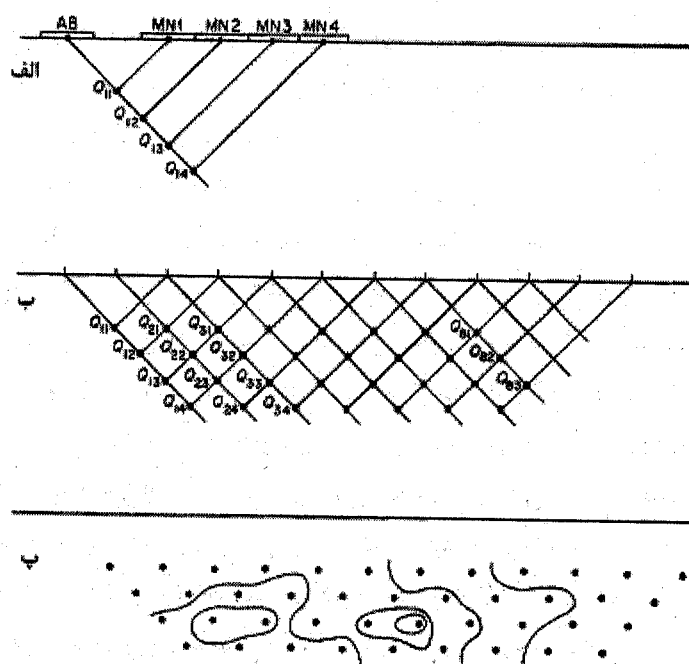
رسی و یا گرافیت نیز IP بالا از خود نشان می دهند. این امر موجب بروز مشکلاتی در تفسیر نتایج IP در برخی از مناطق می شود. به عنوان مثال در یک کانسار فلزات پایه که با آلتراسیون آرژلیک بالا همراه است، ممکن است همه آنومالی های IP مربوط به کانی های فلزی نباشد و تفسیر و تحلیل دچار اشتباه شود. [کریم پور، ۱۳۸۴]

آرایش های متداول الکتروگذاری مورد استفاده در مقاومت الکتریکی برای اندازه گیری پتانسیل های القایی نیز استفاده می شود. بعضی مواقع مشکلاتی در آرایش ونر و یا شلومبرژه به علت سیگنال الکترومغناطیسی القاء شده به وسیله عبور جریان در سیم هایی که الکترودها را به هم وصل می کنند وجود دارد. بنابراین روش دوقطبی، قطبی برای برداشت IP ترجیه داده می شود.

در کارهای برداشت IP به مدار بین الکترودهای منبع و مخزن به عنوان مدار فرستنده و به مدار الکترودهای پتانسیل به عنوان مدار گیرنده اطلاق می شود. در آرایش دوقطبی - دوقطبی الکترودهای فرستنده و گیرنده یک فاصله داشته و فاصله بین نقاط وسط دو آرایه مضربی از این فاصله است [رابینسون، ۱۳۸۴].

برداشت های IP معمولاً در طول پروفیل انجام می شود. متداول ترین روش شروع با الکترودهای فرستنده در یک انتهای پروفیل است. قرائت ها با الکترودهای گیرنده در موقعیت های متوالی در فواصل مساوی فواصل الکترودی انجام می شود. فرستنده سپس به موقعیت بعدی منتقل شده و این روش تکرار می گردد. این روش برداشت در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. در این شکل موقعیت های فرستنده و گیرنده به ترتیب با اعداد اول و دوم نشان داده شده است. نمودار الف موقعیت یک فرستنده را با یک خط از نقطه وسط ممتد به پایین به طرف گیرنده تحت زاویه ۴۵ درجه نشان می دهد. آن خطوط رسم شده تحت زاویه ۴۵ درجه از موقعیت های گیرنده تعریف شده با نقطه وسط هر الکتروود گیرنده را قطع می کند. مقادیر اندازه گرفته شده با گیرنده ها در موقعیت های مختلف در محل های تلاقی مربوط این خطوط شیب دار علامت گذاری شده است. مشاهده کنید که مقادیر رسم شده به این طریق در زیر نقاط وسط خطوط فرستنده گیرنده که در طول آن، آن ها اندازه گیری می شوند قرار می گیرد. علاوه بر آن عمق این نقاط با افزایش فاصله بین گیرنده و فرستنده افزایش می یابد [ای.اس. رابینسون، کورو].

منحنی میزان‌ها در دیاگرام پایینی در شکل ۶-۱ طرحی را بوجود می‌آورد که تمایل به تصویر کردن محل‌های نسبی منابع IP دارد. این تصاویر منحنی میزان نباید به عنوان نشان دهنده محل‌های واقعی منابع تفسیر شوند اما آن‌ها تخمینی از محل در طول پروفیل که یک منبع ممکن است قرار داشته و این که آیا آن نسبتاً کم‌عمق یا عمیق است را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱- نمایش نحوه اندازه‌گیری IP (الف)، بدست آوردن شبه مقطع (ب)، ترسیم منحنی‌های میزان (پ)، (حیدریان، ۱۳۸۴)

روش معمول به دست آوردن اندازه‌گیری‌های مقاومت در همان زمانی است که اندازه‌گیری‌های IP انجام می‌شود. داده‌های مقاومت می‌تواند در همان منحنی که برای نتایج IP استفاده می‌شود، نشان داده شود. در اینجا می‌توان تصاویر منحنی میزان را برای دیدن این که آیا منابع مشترک IP و تغییرات مقاومت وجود دارد، مقایسه کرد.

اکثر برداشت‌های IP برای مقاصد شناسایی اولیه و تشخیص مناطقی انجام می‌شود که بیشتر با حفاری یا سایر برداشت‌های ژئوفیزیکی بتواند آزمایش شود.

۶-۴- مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوفیزیکی

هدف نهایی تمامی اکتشافات ژئوفیزیک کاربردی، رسیدن به تصویری دقیق از ویژگی‌های زیرزمینی است. اما ساختارهای واقعی اغلب خیلی پیچیده هستند. بنابراین سعی می‌شود مدل ساده‌تری که توسط تعداد پارامترهای متنهای کنترل می‌شود، طرح گردد [Dey , Morrison, 1979].

مدل‌سازی به فرایند شبیه‌سازی بی‌هنجاری بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها، به وسیله روش‌های عددی و تحلیلی از یک مدل فرضی در زیر زمین و تخمین پارامترهای هندسی و فیزیکی آن از آنومالی اطلاق می‌گردد [Hinze, 1990].

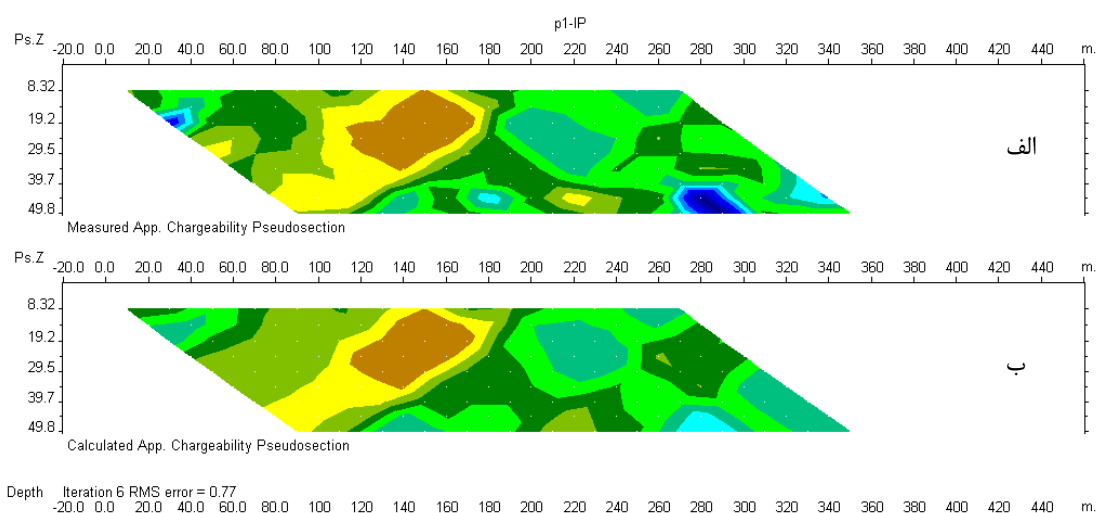
در این مطالعه برای تفسیر داده‌های IP و مقاومت‌ویژه از مدل‌سازی معکوس، با استفاده از نرم‌افزار Res2DINV استفاده شده است. اساس تئوری معکوس‌سازی به این صورت است که در معکوس‌سازی ژئوفیزیکی ما یک مدلی را جستجو می‌کنیم که پاسخی شبیه مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی به ما بدهد. این مدل نمایش ریاضی دلخواه از یک مقطع زمین است. مدل شامل مجموعه‌ای از پارامترهای فیزیکی قابل مدل‌سازی است که ما می‌خواهیم با توجه به مقادیر مشاهده‌ای آن‌ها را تخمین بزنیم. همه روش‌های معکوس‌سازی به طور اساسی سعی دارند تا مدل را برای فضایی تعیین کنند که پاسخ آن با محدودیت‌های معین موافق با مقادیر اندازه‌گیری

باشد. ارتباط ریاضی بین پارامترهای مدل و پاسخ مدل برای مدل‌سازی‌های دو بعدی و سه بعدی به وسیله روش‌های تفاوت‌های محدود یا اجزای محدود انجام می‌شود [Loke, 2000].

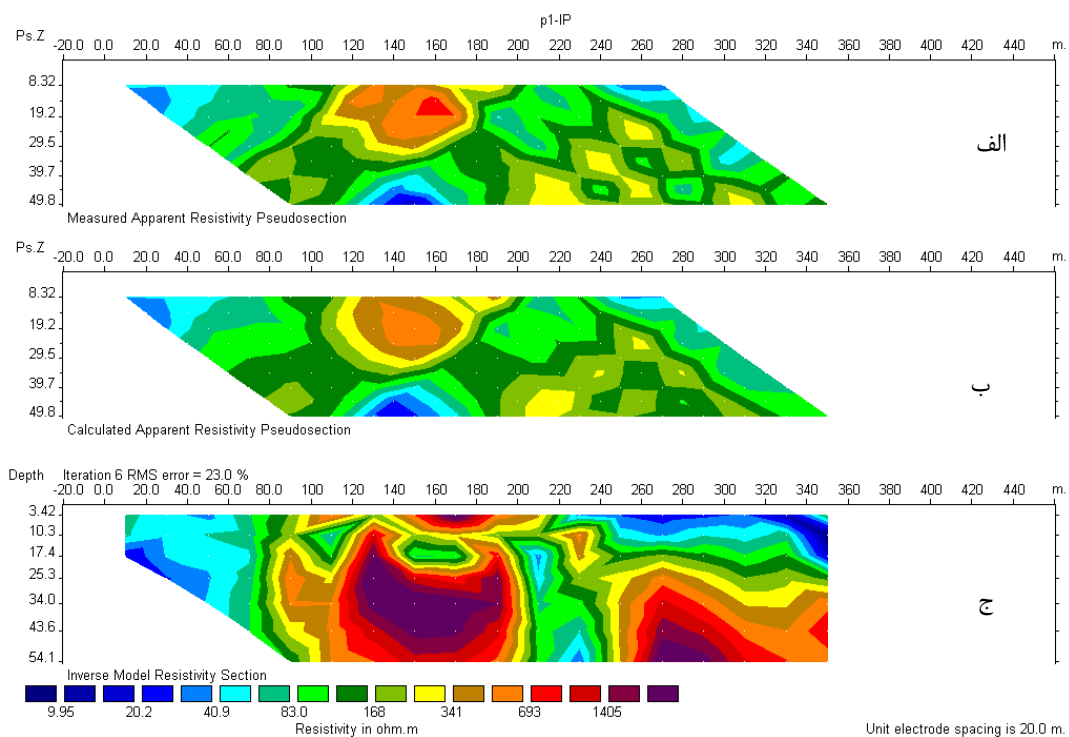
۶-۴-۱- مدل‌سازی معکوس ژئوفیزیکی پروفیل شماره ۱

براشته‌ها بر روی این پروفیل در منطقه هنگران ۱ (واقع در محدوده جغرافیایی $59^{\circ}13'30''$ تا $59^{\circ}15'$ طول شرقی و $32^{\circ}04'35''$ تا $32^{\circ}05'15''$ عرض شمالی) انجام شده است. در اشکال ۶-۲ و ۶-۳، مقاطع مدل‌سازی شده و شبه مقطع مربوط به نتایج IP و مقاومت‌ویژه نشان داده شده است. همان طور که در این تصاویر مشاهده می‌شود نتایج مربوط به امتداد، اندازه، محل و میزان آنومالی‌ها در تصاویر مدل‌سازی شده و شبه مقطع با هم متفاوت است و نمی‌توان برای تفسیر از شبه مقطع استفاده کرد. بنابراین استفاده از مدل‌سازی یک امر ضروری و غیرقابل اجتناب به نظر می‌رسد.

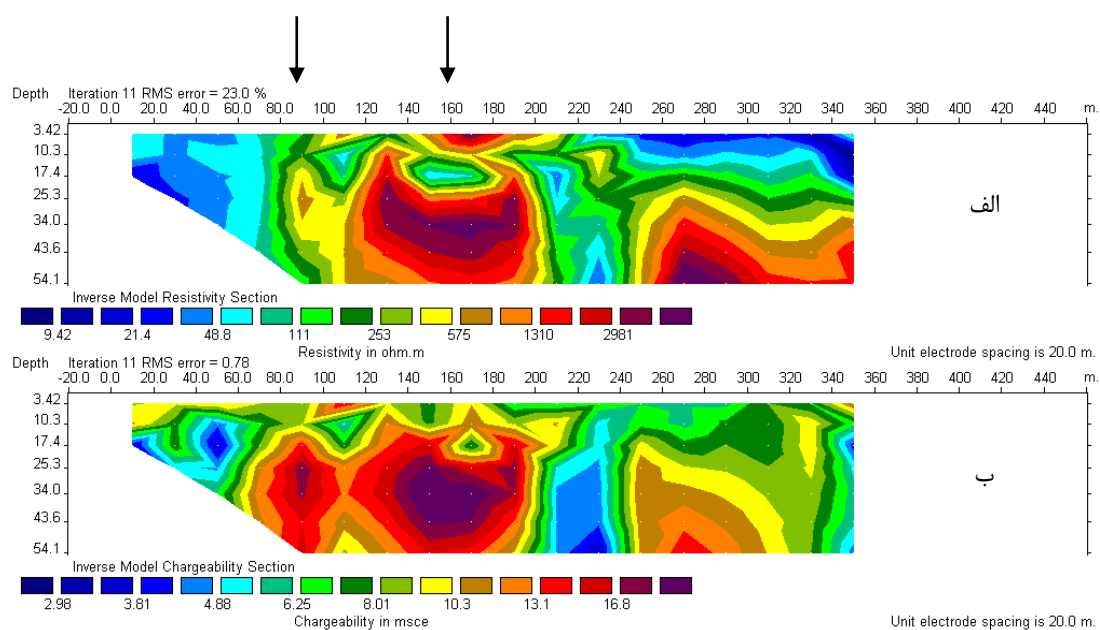
حضور کانی‌های سولفیدی به صورت پراکنده در سنگ از قبیل کالکوپیریت، پیریت و به ندرت گالن و همچنین اکسیدهایی از قبیل مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت در رگه‌های لیستونیتی سیلیسی برشی کریپتوکریستالین مقدار IP را افزایش می‌دهد و به دلیل سیلیسی بودن نوع این لیستونیت‌ها مقاومت‌ویژه نیز مقدار بالایی نشان خواهد داد. بنابراین مکان‌هایی که مقدار IP و مقاومت‌ویژه بالایی نشان می‌دهند، محل‌های کانی‌سازی شده می‌باشند. همان طور که در شکل ۶-۴ دیده می‌شود دو آنومالی در نقاط ۱۶۰ و ۹۰ داریم که آنومالی دوم ضعیف‌تر است و بهترین نقطه جهت حفاری نقطه ۱۶۰ است. که این آنومالی در عمق ۲۵ تا ۵۴ متر قرار دارد.



شکل ۶-۲- مدل دو بعدی حاصل از مدل سازی داده های IP برداشت شده از پروفیل ۱: الف) شبه مقطع بارپذیری ب) مقطع محاسبه شده از روی شبه مقطع بارپذیری ج) مدل دو بعدی بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس داده ها



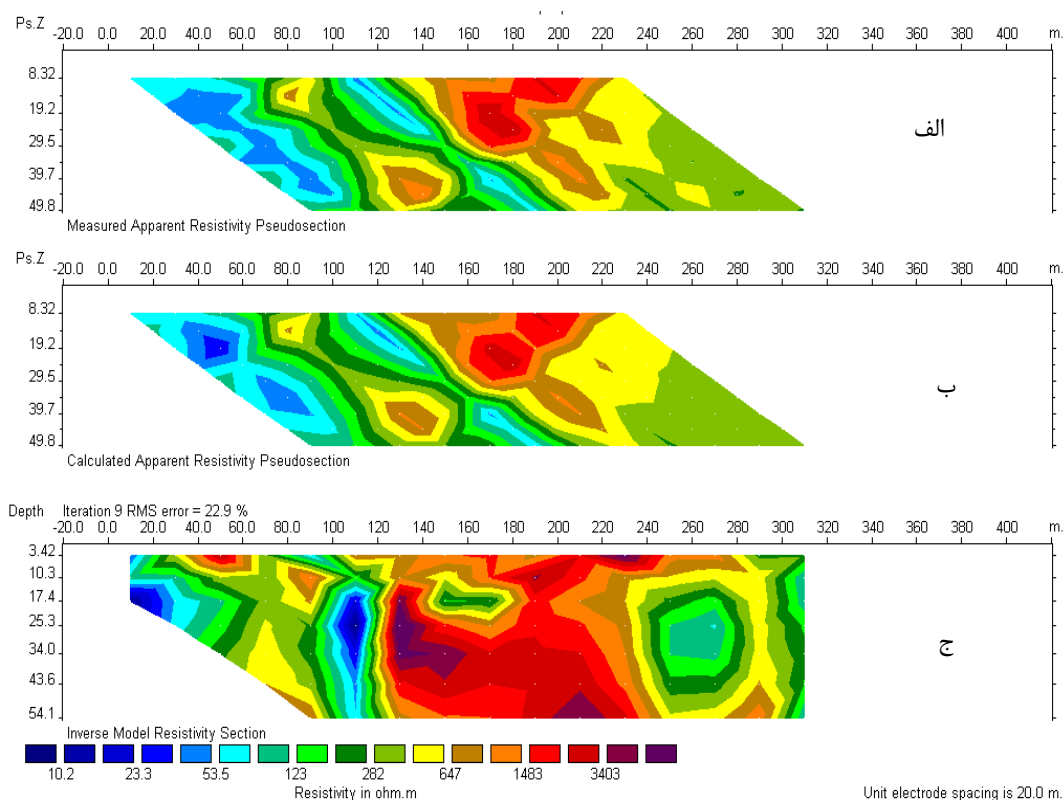
شکل ۶-۳- مدل دو بعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه برداشت شده از پروفیل (الف) شبه مقطع مقاومت ویژه (ب) مقطع محاسبه شده از روی شبه مقطع مقاومت ویژه (ج) مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس داده ها



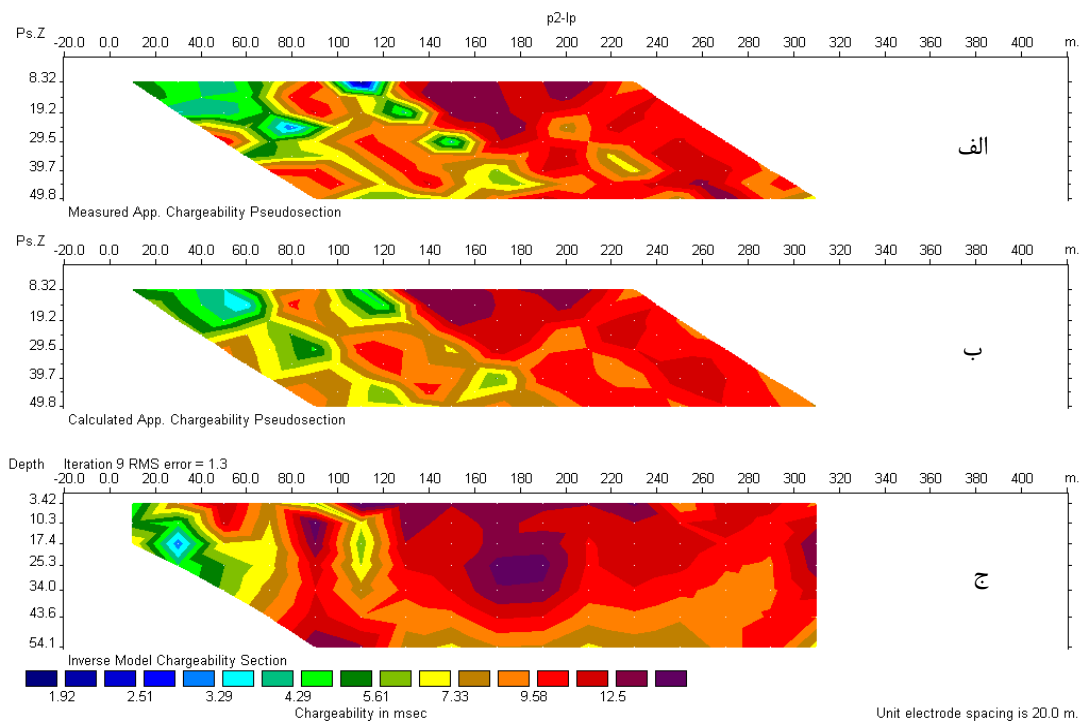
شکل ۶-۴- مقاطع حاصل از مدل سازی داده های IP و مقاومت ویژه برداشت شده از پروفیل (الف) مدل دو بعدی مقاومت ویژه (ب) مدل دو بعدی IP

۶-۴-۲- مدل سازی معکوس داده های ژئوفیزیکی پروفیل شماره ۲

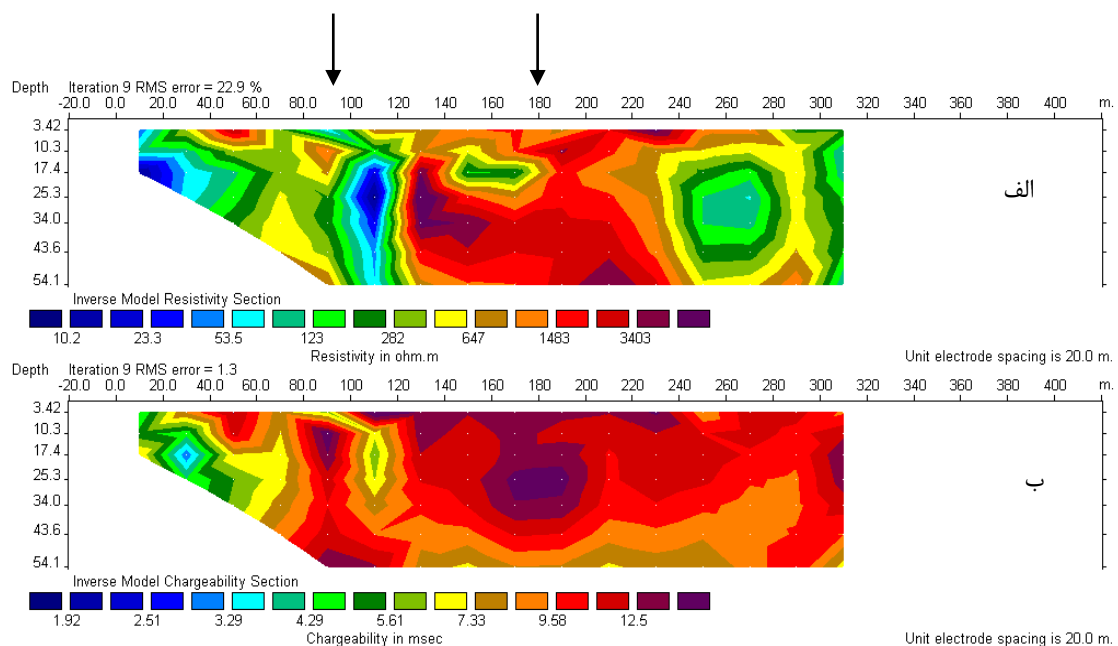
پیمایش این برداشت نیز در منطقه هنگران ۱ انجام شده است. در اشکال ۵-۶ و ۶-۶، مقاطع حاصل از مدل سازی داده های IP و مقاومت ویژه نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶-۷ در نقاط ۱۸۰ و ۹۰ مقادیر IP و مقاومت ویژه بالایی دیده می شود که نشان دهنده حضور کانی سازی است. آنومالی اول اهمیت بیشتری دارد و عمق آن نیز از ۱۷ تا ۳۶ متر می باشد. این نقطه جهت حفاری پیشنهاد می شود.



شکل ۶-۵- مدل دو بعدی حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه برداشت شده از پروفیل ۲: الف) شبه مقطع مقاومت ویژه ب) مقطع محاسبه شده از روی شبه مقطع مقاومت ویژه ج) مدل دو بعدی مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس داده ها



شکل ۶-۶- مدل دو بعدی حاصل از مدل سازی داده های IP برداشت شده از پروفیل ۲: الف) شبه مقطع بارپذیری ب) مقطع محاسبه شده از روی شبه مقطع بارپذیری ج) مدل دو بعدی بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس داده ها



شکل ۶-۷- مقاطع حاصل از مدل سازی داده های IP و مقاومت ویژه برداشت شده از پروفیل ۲ الف) مدل دو بعدی مقاومت ویژه ب) مدل دو بعدی IP

۷-۱- نتیجه گیری

منطقه مختاران یکی از مناطق با اهمیت از نظر کانی زایی طلای لیستونیتی است که در قسمت شرقی ایران و در جنوب بیرجند واقع شده است. این مطالعه جهت ارزیابی استعدادهای کانی سازی و یافتن محدوده های مستعد و دارای پتانسیل بالای ذخایر طلای لیستونیتی در این منطقه انجام شده است. به این منظور از روشی مدرن به نام روش وزن های نشانگر که روشی متکی بر داده است، استفاده شده است. وزن های نشانگر یک روش کمی است که شامل فرمول های خطی _ لگاریتمی قوانین احتمالات بیز می باشد. در کاربردهای اکتشافی مواد معدنی یک سری از نقشه ها یا لایه های نشانگر که از مجموعه داده های مختلف اکتشافی بدست آمده اند، برای تهیه نقشه امیدبخش معدنی استفاده می شود. مراحل انجام این کار در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بر مبنای استفاده همه جانبه و کامل از اطلاعات اکتشافی و داده های علوم زمین صورت گرفته است.

لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده در این مطالعه شامل داده‌های اکتشافی ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و دورسنجی بوده است. از تعداد ۲۸ اندیس کانی‌سازی شده در منطقه، برای انجام محاسبات در این روش استفاده شده است. پس از پردازش و آماده‌سازی لایه‌های اکتشافی موجود در منطقه و انجام محاسبات مختلف مربوط به روش وزن‌های نشانگر و تعیین شاخص‌های با اهمیت از نظر اکتشافی، تلفیق این نتایج در محیط GIS صورت گرفته و نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی برای این منطقه مشخص شده و یک مدل برای آنومالی‌های طلای لیستونیتی معرفی گردیده است. در ادامه، این منطقه از نظر اهمیت کانی‌زایی به چند دسته تقسیم شده که مساعدترین قسمت منطقه از این نظر، که در جنوب مختاران قرار گرفته، شناسایی شده است. این منطقه دارای احتمال اکتشاف بالایی بوده به طوری که این احتمال متأخر تا ۰/۸۴ نیز می‌رسد. مساحت منطقه مطلوب ۲۷ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱/۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. این قسمت از مختاران به عنوان منطقه مساعد جهت اکتشافات تفصیلی‌تر معرفی می‌گردد. نتایج حاصل از این روش انطباق خوبی با نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف اکتشافی که توسط سازمان زمین‌شناسی انجام شده، نشان می‌دهد که با توجه به هزینه مالی کم، زمان مورد نیاز کوتاه و نتایج قابل قبول، اهمیت و کارایی این روش به خوبی مشخص می‌شود.

در انتها نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی که در مقیاس محلی در دو محدوده در منطقه هنگران انجام گرفته است، مورد مدل‌سازی معکوس قرار گرفته و نقاط کانی‌زایی احتمالی مشخص شده و محل‌های مناسب جهت حفاری تعیین گردیده است.

۷-۲- پیشنهادات

با توجه به مطالعات، بررسی‌ها و نتایج بدست آمده در این پایان‌نامه، پیشنهادات زیر جهت کامل شدن مطالعات اکتشافی در این منطقه به طور مختصر ارائه می‌گردد.

۱- انجام مطالعات اکتشافی مراحل تفصیلی و نیمه تفصیلی، برداشت‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های بزرگ مانند ۱:۱۰۰۰ بر روی مناطق آنومالی بدست آمده در این پایان‌نامه.

۲- مطالعات کامل ژئوشیمیایی از قبیل برداشت نمونه‌های خاک، سنگ و کانی سنگین با شبکه نمونه‌برداری متمرکزتر در منطقه هنگران.

۳- شناسایی و تعیین شاخص‌های مختلف اکتشافی در این نوع کانی‌زایی از قبیل کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی و مقایسه آن با معادن طلای لیستونیتی در مناطق مختلف دنیا و بدست آوردن یک الگو، مدل و ایده در خصوص میزان اهمیت و حجم کانی‌سازی در منطقه.

۴- تعیین تیپ کانی‌شناسی _ ژئوشیمیایی (MGT) اندیس‌های طلادار در مقیاس ناحیه‌ای در منطقه مختاران و تهیه نقشه MGT ناحیه‌ای در محیط GIS.

۵- تخمین و ارزیابی میزان سطح از فرسایش و تعیین میزان ارزش اقتصادی هر یک از اندیس‌های طلادار در منطقه با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی اکتشافی به خصوص از روش زونالیت و متالومتری.

۶- استفاده از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی در مقیاس محلی مانند روش الکترومغناطیس و مغناطیس با فاصله پروفیل‌های کم، جهت تعیین مناطق کانی‌سازی شده در منطقه.

۷- تلفیق لایه‌های اکتشافی بدست آمده در مطالعات تفصیلی از قبیل ژئوشیمیایی (برداشت نمونه‌های خاک، سنگ و کانی سنگین)، ژئوفیزیکی (روش الکترومغناطیس، مغناطیس، مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی) و زمین‌شناسی با انواع روش‌های مدل‌سازی GIS برای تهیه نقشه امیدبخش معدنی در مناطق آنومال.

فهرست منابع فارسی

امینی ص، زرین کوب م، (۱۳۷۸)، "بررسی پتانسیل‌های معدنی در لیستونیت‌های شرق ایران"، همایش شناخت توانمندی‌های معدنی شرق کشور، ص ۹، دانشگاه صنایع و معادن ایران _ بیرجند.

خطیب م.م، (۱۳۷۷)، رساله دکتری: "هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز با نگرشی ویژه به گسل‌های شرق ایران"، دانشگاه شهید بهشتی.

رابینسون ای.اس، (۱۳۸۴)، "مبانی اکتشافات ژئوفیزیک"، حیدریان شهری م، چاپ اول، انتشارات فردوسی مشهد.

زرین کوب م، (۱۳۷۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی مواد معدنی با تاکید بر واکنش‌های آبرو و پدیده لیستونیتی‌شدن در منطقه سهل‌آباد بیرجند"، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

زرین کوب م، (۱۳۷۸)، رساله دکتری: "پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت‌ملانژ و برخی توده‌های ماگمایی دیگر در منطقه بیرجند با تاکید بر پتانسیل معدنی آن‌ها"، دانشگاه تربیت معلم تهران.

زنده‌دل ا، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تلفیق داده‌های اکتشافی با استفاده از GIS به منظور ارزیابی آنومالی‌های طلادار اندیس گندی در ناحیه معلمان"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شهابی چشمه‌موسی م، شهاب‌پور ج، زرین‌کوب م و عسکری ع، (۱۳۸۶)، "ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی لیستونیت‌های منطقه چاه زاغو، شرق ایران"، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

شهبازی م، (۱۳۷۸)، "مطالعات و بررسی‌های دورسنجی در منطقه دیهوک (۱:۱۰۰۰۰۰)"، همایش شناخت توانمندی‌های معدنی شرق کشور، ص ۲۳۹، دانشگاه صنایع و معادن ایران _ بیرجند.

طهماسب پور ح، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تعیین مناطق امیدبخش برای اکتشاف فلورین در جنوب مازندران با استفاده از دورسنجی"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

عابدی آ، (۱۳۷۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مطالعات ژئوشیمیایی به منظور ارائه مدل اکتشافی روی لیستونیت‌های منطقه سهل‌آباد، جنوب شرق بیرجند"، دانشگاه تربیت معلم تهران.

عسکری م، (۱۳۸۳)، "کاربرد منطق فازی در اکتشاف کانسارهای سرب و روی کربناته با استفاده از پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای در استان سمنان"، کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس.

علوی پناه ک، (۱۳۸۲)، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

غلامی غ، (۱۳۷۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی پتانسیل های معدنی در منطقه خشک قائن"، دانشگاه تربیت معلم تهران.

فتوحی راد غ، (۱۳۷۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعه پترولوژی، پتروگرافی و ژئوشیمی افیولیت ملانژ منطقه شمال غرب درج (جنوب شرق بیرجند) با نگرش پتانسیل اقتصادی منطقه"، دانشگاه تربیت معلم تهران.

کاظمی ح، (۱۳۸۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "اکتشاف کانسار مس پرفیری با استفاده از GIS و دورسنجی در منطقه تروود - معلمان"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کریم پور م، ملک زاده آ، حیدریان م، (۱۳۸۴)، "اکتشاف ذخایر معدنی (مدل های زمین شناسی، ژئوشیمیایی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی)"، چاپ اول، دانشگاه فردوسی مشهد.

کلاگری ع، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، کلاگری.

گل محمدی ع، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "اکتشاف طلا در لیستونیت های جنوب بیرجند"، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

منظمی باقرزاده ر، (۱۳۸۰)، "گزارش اکتشاف طلا در لیستونیت های محور بیرجند - نهبندان (فاز مطالعاتی اول و دوم)"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

منظمی باقرزاده ر، ۱۳۸۲، "گزارش اکتشاف طلا در لیستونیت های مناطق مختاران و سهل آباد (مرحله اکتشاف نیمه تفصیلی)"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فهرست منابع انگلیسی

Adal D, (1990), "Gold-bearing listwaenites in the Arac Massif, Kastamonu, Turkey", vol. 2, Royaume-uni, pp.43-52.

Ash C.H., Arksey R.L., (1991), "The listwanite- lode gold association in British Columbia", **Geological Fieldwork**, pp 359.

Ash, C.H. Macdonald R.W.J. and Arksey R.L., (1991), "Towards a deposit model for ophiolite related mesothermal gold in British Columbia", **Geological Fieldwork**, pp. 253.

Bohlke J.K. (1989), "Comparison of Metasomatic Reaction Between a Common CO₂-rich Vein Fluid and Diverse Wall Rocks: Intensive Variables, Mass Transfers, and Au Mineralization at Alleghany, California", **Economic Geology**, Vol 84, pp 291-327

Bonham-carter, G. F., (1994), "**Geographic information systems for geoscientists. Modeling with GIS. Computer methods in the geosciences**", Vol. 13. pergamon, New York. Pp 398.

Botros NS, (2002), "Metallogeny of gold in relation to the evolution of the Nubian Shield in Egypt", **Ore Geology Reviews** , Vol.19, No.3, pp137–164.

Botros NS, (2004), "A new classification of the gold deposits of Egypt", **Ore Geology Reviews** , Vol. 25, **pp 1-37**.

Buisson G, Leblanc M, (1985), "Gold in carbonitized ultramafic rocks from ophiolite complex", **Economic Geology**, Vol. 88, pp 221-239.

Crosta, A., Moore, M., (1989), "Enhancement of landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil".

De Geoffroy J and Wingall T.K, (1985), "**Designing Optimal Strategies for Mineral Exploration**", Plenum Press, New York, Wingall, T.K. , 364p.

Delura K, (2004), "native gold-Ni-Arsenides assemblage in serpentinites from Czarna Gora, Silesia ophiolite complex", *Zeszyt 24*, Vol. 24.

Dey A , Morrison H.F. (1979), "Kriging modeling for arbitrarily shaped three – dimensional structures", **Geophysics** 44, pp753 – 780.

Floyd Sabin, J. R., (2007), **"Remote Sensing: Principles and Interpretation"**, Waveland Pr Inc, pp 512.

Halls, C.R. Zhao R, ,2003, "Listvenite and related rocks: perspectives on terminology and mineralogy with reference to an occurrence at Cregganbaun, Co. Mayo, Republic of Ireland", **J. of. Mineralium Deposita.**, 3, vol. 30, pp303

Hinze , W.J., (1990), "The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In :Ward (Ed),Geotechnical and environmental geophysics", The society of exploration Geophysicists , pp75 –126.

Jutras, J.-P., (2003), "Ultramafic nickel-bearing magmas of the Nadaleen River map area (106C/3) and associated listwaenites: New exploration targets in the Mayo Mining District, Yukon". In: Yukon Exploration and Geology 2002, D.S. Emond and L.L. Lewis (eds.), Exploration and Geological Services Division, Yukon Region, Indian and Northern Affairs Canada, pp 261-266.

Kempton L., Bonham-carter G. F., and Raines G. L., (1999), "Arc-Wofe: Arcview extension for weights of evidence mapping". <http://gis.nrcan.gc.ca/software/Arcview/wofe>.

Kowalchuk J. M., (2000), "assessment report of detailed mapping and soil geochemistry conducted on the keystone property liard mining division British Columbia".

Kunov A, Tsintsov Z , Banushev B, (2007), "Listwaenite type wall-rock alterations in Bulgaria – peculiarities and gold ore perspectives", **Geosciences**, pp75.

Loke M.H, (2000), **"Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies – a practical guide to 2-D, 3-D surveys"**, pp68.

O'Hanley D. S., (1996), **"Serpentinites. Records of Tectonic and Petrological History, Oxford Monographs on Geology and Geophysics**, vol. 34, Oxford University Press, New York - Oxford, pp1-277

Palomera, R. P, (2004), M.S.C Thesis, "Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for mineral Predictive Mapping, Deseado Massif, Southern Argentina". International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, the Netherlands, pp75.

Panteleyev A, (1996), "**Stibnite Veins and Disseminations, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles**", Volume 2 - Metallic Deposits, Lefebure, D.V. and Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, pp 77-80.

Ryan B, (2002), "geological characteristics, example(British Columbia- Canada/International)".

Suarez Rojas A., (2003), M.S.C thesis, "Predictive mapping of massive sulphid potential in the western part of the Escmbray Terrain ,Cuba", International institute for Geo – information science and earth observation Enschede , the Netherlands, pp24 – 32.

Tirrul rt al, (1983), "The sistan suture zone of eastern Iran", G.S.A.B, Vol. 94, pp134-150.

Tsikouras B, Karipi S, Grammaticopoulos T, Hatzipanagiotou K, (2006), "Listwaenite evolution in the ophiolite melange of Iti Mountain (continental Central Greece)", **European J. of. Mineralogy**; Vol. 18; no. 2; pp 243-255

Ucurum A, Larson LT, (2004), "Geology, base-precious metal concentration and genesis of the silica-carbonate alteration (listwaenites) from late Cretaceous ophiolitic melanges at central east Turkey.

Wilde A., Simpson L and Hanna S, (2002), "Preliminary study of Cenozoic hydrothermal alteration and platinum deposition in the Oman Ophiolite", In: Jessell, M. J. 2002. General Contributions: 2002. **J. of. Virtual Explorer**, 6, pp7-13.

Yousefi M. and Kamkar-Rouhani A., (2005), "Modelling of mineral potentials of gold and base metals using GIS in Mahneshan area, Iran", New Zealand Minerals Conference Proceedings.