

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک  
گروه اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

# تلفیق داده‌های اکتشافی با استفاده از GIS به منظور ارزیابی آنومالی‌های طلا دار اندیس گندی در ناحیه معلمان، استان سمنان

ارائه دهنده:

**امیر زنده‌دل**

اساتید راهنما:

**دکتر منصور ضیایی**

**دکتر آرزو عابدی**

استاد مشاور:

**مهندس قیسی بدخشان ممتاز**

شهریور ۱۳۸۶



## چکیده:

فرمول بیزین یکی از توابع ممیز بوده که پایه بسیاری از روش‌های بازشناسی الگو را تشکیل می‌دهد. در روش طبقه‌بندی بیزین که امروزه کاربرد وسیعی پیدا کرده است، از تخمین احتمالاتی برای تعیین عضویت طبقات استفاده می‌شود. کانسار اپی‌ترمال گندی در استان سمنان و جنوب شرق دامغان، در زون متالوژنی ترود-چاه‌شیرین از کمربند ماگمایی البرز، درون تشکیلات ولکانیک پالئوسن واقع شده است. در این تحقیق از الگوی طبقه‌بندی انتخابی بیزین برای تفکیک آنومالی‌های طلادار در اندیس گندی (مقیاس اکتشافی محلی) و روش طبقه‌بندی وزن‌های نشانگر بیزین در مطالعه زون متالوژنی ترود-چاه‌شیرین (مقیاس اکتشافی ناحیه‌ای) استفاده گردید.

الف) در روش طبقه‌بندی انتخابی بیزین، پس از استفاده از الگوها، بردار احتمالی تعلق به یک طبقه خاص تخمین زده می‌شود. تجزیه عناصر ناخالص کانی‌های اصلی اسفالریت، پیریت و گالن (با ابعاد ۱۰۰ میکرونی) در نمونه‌هایی از مغزه‌های حفاری معدن گندی برای کانی گالن تیپ طلائی پلی‌متال، برای اسفالریت تیپ کوارتز-سولفیدی پلی‌متال و برای کانی پیریت، تیپ کوارتز-سولفیدی حاصل شد. این در حالیست که کانی‌های اسفالریت و گالن از کانی‌های اصلی معدن طلائی گندی و کانی پیریت (با نسل‌های متفاوت)، کانی فرعی محسوب می‌شود. بنا به مطالعات قبلی، تیپ کانی‌شناسی-ژئوشیمیایی منطقه گندی از نوع اپی‌ترمال-فلزات پایه و سولفیدی حد واسط می‌باشد که سه مرحله اصلی کانی‌سازی را متحمل شده است. مراحل اول و دوم از نظر کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها دارای اهمیت اقتصادی هستند، در حالی که مرحله پایانی با حضور مقادیر بالای کوارتز و کلسیت مشخص می‌گردد. مقایسه کاربرد روش بیزین با روش‌های تجربی در اندیس طلائی گندی نشان می‌دهد که برای عناصر ناخالص کانی‌های اصلی گالن، اسفالریت و پیریت تشابه خاصی از نظر

تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی (MGT) وجود دارد. بنابراین در اکتشافات نیمه‌تفصیلی و تفصیلی کاربرد این مدل می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک و هزینه‌های اکتشافی و افزایش بازدهی پروژه‌های اکتشافی، محاسبه سطح از فرسایش و نمونه‌برداری بهینه داشته باشد.

ب) روش طبقه‌بندی وزن‌های نشانگر بیزین، روشی آماری و بسیار نیرومند برای تولید نقشه‌های پتانسیل مطلوب در مقیاس اکتشافات ناحیه‌ای است، لذا با استفاده از این روش در محدوده زون ترود- چاه‌شیرین با مساحتی در حدود ۸۶۰ کیلومتر مربع فقط ۱۴۲ کیلومتر مربع، یعنی ۱۶ درصد آن، به عنوان مناطقی مساعد برای کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال شناخته شد. بازدید صحرایی و مقایسه نتایج به دست آمده از کاربرد روش فوق، تطابق مناسبی را با مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین در منطقه نشان داده است.

با توجه به مشخصات ژئوشیمیایی پیچیده عنصر طلا که در درجه حرارت متغیر و تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی متفاوت ظاهر می‌گردد، تلفیق دو روش طبقه‌بندی وزن‌های نشانگر در مقیاس ناحیه‌ای و انتخابی بیزین در مقیاس محلی که هر دو از فرمول ریاضی بیزین حاصل شده‌اند، می‌تواند در تهیه نقشه متالوژنی الکترونی (در محیط GIS) بسیار مفید واقع گردد و جهت اکتشاف و شناسایی ذخایر طلا دار در هر مقیاسی به کار برده شود.

## فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- مروری بر کارهای انجام شده قبلی.....	۳
۳-۱- تعریف موضوع تحقیق.....	۹
۴-۱- اهداف تحقیق.....	۱۰
۴-۱- روش کلی تحقیق.....	۱۰

## فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

۱-۲- موقعیت جغرافیای منطقه.....	۱۴
۲-۲- راههای دسترسی به منطقه.....	۱۴
۳-۲- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه معلمان.....	۱۶
۴-۲- جغرافیای انسانی.....	۱۶
۵-۲- زمین شناسی منطقه معلمان.....	۱۶
۱-۵-۲- واحدهای زمین شناسی منطقه معلمان.....	۲۰
۲-۵-۲- زمین شناسی منطقه گندی.....	۲۷
۶-۲- فرآیندهای تکتونیکی در منطقه.....	۲۹
۱-۶-۲- گسل های منطقه.....	۲۹
۲-۶-۲- چین های منطقه.....	۳۱
۳-۶-۲- سیستم های شکستگی و ارتباط آنها با تشکیل کانسارهای منطقه.....	۳۱
۷-۲- کانسارها و اندیس های معدنی منطقه.....	۳۳

## فصل سوم: مطالعات کانی شناسی - ژئوشیمیایی منطقه گندی، تعیین تیپ کانی سازی

۱-۳- مقدمه.....	۳۹
-----------------	----

۴۰	۲-۳- مطالعه مقاطع فلزی.....
۴۵	۳-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها.....
۵۱	۴-۳- روش بیزین.....
۵۵	۵-۳- کانسارهای اپی ترمال.....
۵۷	۳-۵-۱- کانسارهای اپی ترمال طلا و نقره.....
۶۰	۳-۵-۲- رده بندی نوین تیپ های کانسارهای اپی ترمال.....
۶۲	۳-۶-۱- مدل کانساری سیستم کانی سازی اپی ترمال سولفیداسیون حد واسط منطقه گندی.....
۶۲	۳-۶-۱- معیارهای شناخت ISED.....
۶۵	۳-۶-۲- خصوصیات سیستم کانی سازی ISED در منطقه گندی.....

#### فصل چهارم: استخراج مشخصه های اکتشافی ذخایر طلای اپی ترمال منطقه معلمان

۶۸	۴-۱- مقدمه.....
۶۹	۴-۲- نقشه مناطق آلتراسیون بدست آمده از دورسنجی.....
۷۰	۴-۲-۱- سنجش از دور (RS).....
۷۲	۴-۲-۱-۱- طیف های جذب و انعکاس کانی ها و سنگ ها و کاربرد آنها در اکتشاف کانسارها.....
۷۵	۴-۲-۱-۲- باندهای مناسب جهت شناسایی کانی ها با استفاده از سنجنده ETM <sup>+</sup> .....
۷۷	۴-۳- نقشه های ژئوشیمیایی غنی شدگی عناصر.....
۷۹	۴-۳-۱- نقشه های ژئوشیمیایی غنی شدگی عناصر در منطقه معلمان.....
۸۳	۴-۴- نقشه ژئوفیزیک هوایی به روش مغناطیس سنجی.....
۸۶	۴-۴-۱- نقشه ژئوفیزیک هوایی به روش مغناطیس سنجی در منطقه معلمان.....
۸۷	۴-۵- نقشه گسل های منطقه.....
۸۸	۴-۶- نقشه واحدهای زمین شناسی منطقه.....

فصل پنجم: تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی طلای منطقه معلمان

۹۱	۱-۵- مقدمه.....
۹۲	۲-۵- روش وزن‌های نشانگر (W-of-E).....
۹۳	۱-۲-۵- فرمول‌بندی احتمالات در روش وزن‌های نشانگر.....
۹۸	۲-۲-۵- آزمون‌های استقلال شرطی.....
۱۰۱	۳-۵- تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلای معلمان.....
۱۰۱	۱-۳-۵- خصوصیات زمین‌شناختی یا همراهی‌کننده‌های مکانی کانسارهای طلای معلمان.....
۱۰۷	۲-۳-۵- نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلای معلمان.....
۱۰۹	۴-۵- بررسی اعتبار نتایج و صحت مناطق امیدبخش بدست آمده.....

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۲	۱-۶- نتیجه‌گیری.....
۱۱۲	۱-۱-۶- کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی SED در منطقه معلمان.....
۱۱۴	۲-۱-۶- نقشه پتانسیل کانی‌سازی طلای منطقه معلمان.....
۱۱۵	۲-۶- پیشنهادات.....
۱۱۷	فهرست منابع.....
۱۱۷	فهرست منابع فارسی.....
۱۱۸	فهرست منابع انگلیسی.....

- شکل ۱-۲- موقعیت منطقه معلمان و راه‌های دسترسی به آن [مؤسسه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰]..... ۱۵
- شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی شمال منطقه معلمان [سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۶]..... ۱۸
- شکل ۳-۲- راهنمای نقشه زمین‌شناسی شمال منطقه معلمان [سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۶]..... ۱۹
- شکل ۱-۳- تصویری از مقطع G1 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۱
- شکل ۲-۳- تصویری از مقطع G1 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۲
- شکل ۳-۳- تصویری از مقطع G2 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۳
- شکل ۴-۳- تصویری از مقطع G5 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۳
- شکل ۵-۳- تصویری از مقطع G9 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۴
- شکل ۶-۳- تصویری از مقطع G10 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۴
- شکل ۷-۳- تصویری از مقطع G15 (بزرگ‌نمایی ۲۰)..... ۴۵
- شکل ۸-۳- تصویر و توضیحات ذیل یکی از مقاطع فرستاده شده برای آنالیز..... ۴۷
- شکل ۹-۳- تصویری از مقطع S1..... ۴۷
- شکل ۱۰-۳- آنالیز مربوط به نقطه A در مقطع S1..... ۴۸
- شکل ۱۱-۳- نتایج آنالیزهای مربوط به الف) ذرات اسفالریت جدا شده و ب) ذرات گالن جدا شده از نمونه‌های بدست‌آمده از مغزه‌های حفاری..... ۴۹ و ۵۰
- شکل ۱۲-۳- عمق و دمای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال..... ۵۶
- شکل ۱۳-۳- تصویر کلی محیط‌های زمین‌شناختی که در آنها کانسارهای گرمابی طلا تشکیل می‌گردد. [کسلر، ۱۳۸۰]..... ۵۸
- شکل ۱۴-۳- نمودار  $f S_2-T$  که تنوع مجموعه کانیایی سولفیدی را در کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد [Sillitoe, Hedenquist, 2003]..... ۶۲
- شکل ۱-۴- نمودار انعکاس- جذب کانی‌ها در طول موج‌های مختلف محدوده ۰/۵ تا ۳ میکرومتر،



۷۴.....	الف) زون سربسیتیک، ب) زون آرژیلیک [کریم‌پور، ۱۳۸۴].
۷۵.....	شکل ۴-۲- نمودار انعکاس- جذب اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن [کریم‌پور، ۱۳۸۴].
۷۵.....	شکل ۴-۳- نمودار طول موج‌های مختلف کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریونیت و آلونیت [کریم‌پور، ۱۳۸۴].
۷۷.....	شکل ۴-۴- تصویر مناطق آلتراسیون ناحیه شمال معلمان (مناطق آلتراسیون به رنگ سفید در تصویر مشخص‌اند).
۸۱.....	شکل ۴-۵- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر سرب در منطقه معلمان   Shuigen, Jianchang, [1996].
۸۱.....	شکل ۴-۶- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر روی در منطقه معلمان   Shuigen, Jianchang, [1996].
۸۲.....	شکل ۴-۷- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر طلا در منطقه معلمان   Shuigen, Jianchang, [1996].
۸۲.....	شکل ۴-۸- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر مس در منطقه معلمان   Shuigen, Jianchang, [1996].
۸۳.....	شکل ۴-۹- نقشه نواحی دارای آنومالی عناصر سرب، روی، طلا و مس در منطقه معلمان.....
۸۷.....	شکل ۴-۱۰- نقشه مغناطیس‌هوایی منطقه معلمان [سازمان زمین‌شناسی، ۱۹۷۲].
۸۸.....	شکل ۴-۱۱- نقشه توزیع گسل‌های منطقه معلمان.....
۸۹.....	شکل ۴-۱۲- نقشه رقومی شده واحدهای زمین‌شناسی منطقه معلمان.....
۹۴.....	شکل ۵-۱: دیاگرام ون نشان‌دهنده محدوده مورد مطالعه [Bonham-Carter, 1994].
۱۰۴.....	شکل ۵-۲- نقشه بافر مناطق آلتراسیون در فواصل ۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ و ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر.....
۴۰۰ و ۴۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۰	شکل ۵-۳- نقشه بافر گسل‌ها در فواصل ۰ تا ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۰ تا ۴۰۰ و ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر.....

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

---

تا ۵۰۰ متر.....	۱۰۵
شکل ۴-۵- نقشه نهایی خروجی نرم‌افزار، نشان‌دهنده پتانسیل کانی‌سازی طلا در منطقه	
معلمان.....	۱۰۸
شکل ۵-۵- رگه کانی‌سازی شده طلای پلی‌متال در شرق کانسار گندی.....	۱۱۰

جدول ۱-۳- مجموعه عناصر ناخالص مربوط به نمونه‌های انتخاب شده از تک‌کانی‌ها که بهترین و کامل‌ترین اطلاعات توصیفی را ارائه می‌دهند [Grigorian, Ziiai, 1999, a]	۵۲
جدول ۲-۳- احتمال تقطیک تیپ کان‌شناسی- ژئوشیمیایی بر حسب عناصر ناخالص کان‌های (الف) پیریت و (ب) گالن (بر حسب درصد)	۵۵
جدول ۳-۳- خصوصیات عمومی کانسارهای اپی‌ترمال [شهاب‌پور، ۸۴]	۵۷
جدول ۱-۴- باندهای ماهواره لندست سنجنده ETM <sup>+</sup> 7 [کریم‌پور، ۱۳۸۴]	۷۲
جدول ۱-۵- جدول پیشامد احتمالی نشان‌دهنده چهار موقعیت ممکن هم‌پوشانی (خانه‌های خاکستری) بین دو طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده و طرح‌های رقومی کانسارهای معدنی [با تغییرات از Bonham-Carter, 1994]	۹۹
جدول ۲-۵- لیست معادلات مورد استفاده در محاسبات W-of-E [Andrada, 2004]	۱۰۱
جدول ۳-۵- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای فواصل از مناطق آلتراسیون	۱۰۴
جدول ۴-۵- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای فواصل از گسل‌ها	۱۰۵
جدول ۵-۵- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای تغییرات مقادیر شدت میدان مغناطیسی کل در نقشه ژئوفیزیک هوایی	۱۰۶
جدول ۶-۵- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای واحدهای مختلف زمین‌شناسی	۱۰۶
جدول ۷-۵- جدول نهایی مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای شواهد زمین‌شناسی همراهی‌کننده کان‌سازی طلا در منطقه معلمان	۱۰۷

فصل اول

**کلیات**

## ۱-۱- مقدمه

اکتشافات نهشته‌های فلزی از اهمیت بسیار بالایی در توسعه کشورها برخوردار است. اگرچه قیمت برخی از فلزات در سال‌های اخیر کاهش یافته است، اما قیمت فلزاتی مانند طلا و فلزات گروه پلاتینیوم این‌گونه نبوده و موقعیت بهتری نسبت به سایر فلزات دارند. افزایش چشمگیر قیمت طلا چشم‌انداز مناسبی را برای اکتشاف و در نهایت فروش آن در سال‌های اخیر ایجاد کرده است. از این رو، اکتشافات طلا، از بهترین انتخاب‌ها برای شرکت‌های اکتشافی و معدنی به شمار می‌رود.

فعالیت‌های اکتشافی در مقیاس‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که در نهایت هدف آن جدا ساختن نواحی عقیم و تمرکز یافتن روی مناطقی است که پتانسیل کانسارزایی دارند. در جریان این فعالیت‌ها و برنامه‌های اکتشافی داده‌های فراوانی از انواع و اقسام آنها تولید می‌شود، داده‌های متنوعی مانند: زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، داده‌های مختلف دورسنجی<sup>۱</sup> (تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی) و داده‌های توپوگرافی. مدیریت این داده‌ها و تلفیق آنها می‌تواند ما را به انتخاب مناسب مناطق مطلوب مورد نظر رهنمون سازد. در گذشته تلفیق این شکل داده‌های چندگانه از

---

<sup>۱</sup> Remote Sensing (RS)

طریق روش‌های کیفی یا تجربی صورت می‌گرفت. روی هم قرار دادن لایه‌های متنوع اطلاعاتی به وسیله کاغذهای شفاف، در جهت درک و دستیابی به ارتباط بین لایه‌ها، روش دشواری بود که تلاش می‌کرد مناطق هدف را اکتشاف نماید. امروزه تلفیق داده‌های مختلف اطلاعاتی به صورت رقومی و کمی، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> صورت می‌پذیرد [Andrada, 2004].

یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستمی رایانه‌ای برای مدیریت داده‌های فضایی است. GIS، توانمندی‌هایی کاربردی برای جمع‌آوری، ورود، پردازش، تغییر شکل، به تصویر درآوردن، ترکیب، جستجو، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و خروج داده‌ها را دارا است.

اکتشافات ذخایر معدنی مستلزم در نظر گرفتن هم‌زمان چندین نوع نشانگر (شاهد) فضایی نظیر شواهد زمین‌شناسی، ساختاری، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی منطقه نسبت به موقعیت اندیس‌های معدنی اکتشاف شده است. GIS پردازش و تجزیه و تحلیل لایه‌های مجزایی از داده‌های فضایی را امکان‌پذیر کرده و ابزارهایی برای بررسی و مدل‌سازی روابط متقابل میان لایه‌ها را فراهم آورده است [Bonham-Carter, 1994].

هدف نهایی استفاده از GIS در اکتشافات ذخایر معدنی، پیشگویی موقعیت‌های نزدیک به نهشته‌های معدنی جدید است که مطابق با یک مدل اکتشافی طراحی شده برای منطقه تحت مطالعه خواهد بود.

امروزه استفاده از GIS در رشته‌های مختلف علوم به خصوص اکتشافات ذخایر معدنی تا حد گسترده‌ای افزایش یافته است. برای مثال در کانادا طی یک پروژه عظیم تحقیقاتی در سازمان

<sup>۱</sup> Geographic Information Systems (GIS)

زمین‌شناسی این کشور از فن‌آوری GIS در اکتشاف نهشته‌های فلزات گرانبها، با تمرکز بر روی ذخایر ماسیوسولفاید با منشأ آتشفشانی (VMS) در کمربند شیست سبز ناحیه اسنولیک<sup>۱</sup>، استفاده شد [Bonham-Carter, 1994]. در سال‌های اخیر در کشور ایران نیز استفاده از GIS رواج یافته است. برای نمونه، اسدی و هیل (۲۰۰۱)، مدل پیش‌بینی‌کننده اکتشافی کانسارهای طلای اپی‌ترمال و فلزات پایه را با استفاده از GIS و روش وزن‌های نشانگر<sup>۲</sup>، در منطقه تکاب ایجاد کردند [Asadi, Hale, 2001]. همچنین، ضیایی (۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) در پی‌جویی و ارزیابی ژئوشیمیایی ذخایر مس پورفیری در مناطقی مانند سونگون و حاشیه کویر لوت، به نحو مطلوبی از GIS استفاده کرده است [Ziaii, 2004, 2006, 2007].

زون متالوژنی ترود-چاه‌شیرین در منطقه معلمان، با طولی حدود ۱۸۰۰ کیلومتر، بخشی از کمربند آتشفشانی کالکو-آلکالن ترشیری شمال ایران است که به عنوان زون کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال معرفی شده است [Shamanian, 2004]. در این تحقیق ضمن مطالعه اندیس طلای اپی‌ترمال گندی، واقع در این منطقه، با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی در محیط GIS، آنومالی‌های طلادار ناحیه معلمان مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

## ۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده قبلی

تا کنون مطالعات زیادی در منطقه معلمان و به خصوص روی کانسار گندی انجام شده است که به اختصار بیان می‌گردد.

<sup>1</sup> Snow Lake

<sup>2</sup> W-of-E (Weights of Evidences)

هلمهکر<sup>۱</sup> (۱۸۹۸) و هنمیک<sup>۲</sup> (۱۸۹۹) اولین کسانی هستند که از کارهای قدیمی در آبرفت طلا دار کوه زر در شمال رشته کوه ترود نام می‌برند. به گفته هلمهکر این ذخایر در قرن چهاردهم میلادی استخراج می‌شده است. دیچل<sup>۳</sup> (۱۹۴۰) خاستگاه طلای کوه زر را در میان رگه‌های کوارتزی مرتبط با گرانیت شرق دهکده کوه زر بیان کرده است که علاوه بر طلا، مس نیز دارد. آصفی و تقی‌زاده (۱۹۶۳) نیز مطالعاتی روی آبرفت طلا دار این منطقه انجام داده‌اند. موحد (۱۹۶۷) به مطالعه معدن فیروزه باغو پرداخت و احتمال وجود مس پورفیری را در این ناحیه یادآور شد. در پی او تقی‌زاده (۱۹۶۸) آثار و علائم متعدد مس دار را در شمال رشته کوه ترود مطالعه و نقشه معدن فیروزه باغو را تهیه کرد [هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷].

زلزله ۱۹۵۳ ترود که منجر به ویرانی تقریباً کامل این محل شد توسط آبدالیان (۱۹۵۳) مطالعه و تفسیر گشت. اشتوکلین<sup>۴</sup> و هوبر<sup>۵</sup> (۱۹۵۶) تمام قسمت جنوبی رشته کوه ترود- چاه شیرین را با دیدی دقیق مطالعه و نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ آن را تهیه کردند. آنها سن سنگ‌های آتشفشانی کوه‌های ترود و چاه شیرین را مربوط به ائوسن- الیگوسن ذکر کردند. ریبر<sup>۶</sup> و محافظ (۱۹۷۰) قسمت بزرگی از این ناحیه را از چاه شیرین در غرب تا توران در شرق و جندق در جنوب مورد مطالعه قرار دادند.

علوی در سال‌های ۱۳۴۴ و ۱۳۴۸ دست به یک کار سیستماتیک در شمال غرب منطقه ترود زد و نتایج آن را در سال ۱۹۷۰ به عنوان رساله دکتری خود در فرانسه ارائه کرد و در ادامه کار خود

<sup>۱</sup> Helmhacker

<sup>۲</sup> Henmacke

<sup>۳</sup> Dichl

<sup>۴</sup> J. Stocklin

<sup>۵</sup> H. Huber

<sup>۶</sup> Reyer



یک نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه تهیه نمود. هوشمندزاده و اطمینان (۱۳۵۰) نقشه و گزارش زمین‌شناسی رشته‌کوه‌های تروود- چاه‌شیرین را تهیه کردند. کار این گروه بیشتر روی سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی این قسمت از ناحیه متمرکز بوده است و به سنگ‌های رسوبی بعد از کرتاسه توجهی نداشتند. علوی و هوشمندزاده (۱۳۵۲) برای بار دوم این قسمت از ناحیه را مورد بررسی قرار داده و تمام سنگ‌ها اعم از دگرگونی، آتشفشانی و رسوبی را مورد مطالعه مجدد قرار دادند. هوشمندزاده، علوی و حقی‌پور پس از مطالعه کامل و بررسی تحول پدیده‌های زمین‌شناسی منطقه تروود نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ منطقه را در سال ۱۳۵۷ تهیه کردند [هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷]. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه معلمان را در سال ۱۳۸۶ تهیه کرده است که آماده چاپ می‌باشد.

کانسار طلای گندی طی اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای (با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰) توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و شرکت جیانگ‌ژی<sup>۱</sup> چین در محور معلمان- تربت حیدریه (۱۳۷۲-۱۳۷۶) معرفی مقدماتی شد.

در سال ۱۳۷۷ تهیه نقشه زمین‌شناسی و اکتشافات چکشی با مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰ در دو منطقه گندی- زرشکوه و چشمه‌حافظ- ابوالحسنی توسط اشراقی و سعدالدین در چهارچوب طرح طلای منطقه به انجام رسید. در همین محدوده اکتشافات نیمه‌تفصیلی کانی سنگین توسط فضایی در سال ۱۳۷۷ به پایان رسید. در ادامه، اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۵,۰۰۰ در منطقه گندی در سال ۱۳۷۹ توسط کوثری و شمعیان اصفهانی انجام شد. از اسفندماه سال ۱۳۸۰ تا پایان سال

<sup>۱</sup> Jiangxi

۱۳۸۲ عملیات اکتشافی تفصیلی در محدوده کانسار گندی توسط سازمان زمین‌شناسی کشور صورت پذیرفته است. خلاصه‌ای از فعالیت‌های اکتشافی انجام شده شامل برداشت و تکمیل نقشه زمین‌شناسی- معدنی با مقیاس ۱:۵۰۰ به میزان ۴۰ هکتار، حفر ترانشه، تونل، گمانه، استخراج ۳۰ تن ماده معدنی از یک رگه پرعیار (رگه شماره ۹۵) و استحصال طلا در دو حوضچه ۵/۴ و ۶/۳ تنی و فرآوری به ترتیب ۸۶ و ۲۶ گرم طلا در آنها می‌باشد [مقصودی، ۱۳۸۴].

بدخشان و کی‌نژاد (۱۳۸۲) در مورد کانی‌سازی و فرایندهای مرتبط با آن در منطقه گندی نتایج زیر را بیان نمودند. به عقیده آنها کانی‌سازی در این منطقه به صورت رگه‌ای هیدروترمال بوده و بیشتر در امتداد گسل‌هایی با روند شمال شرقی- جنوب غربی جای می‌گیرد. شیب بیشتر رگه‌ها به سوی جنوب شرقی است و لیکن برخی نیز با شیب به سوی شمال شرقی دیده می‌شود. رگه‌ها بیشتر برشی- سیلیسی و همراه با کانی‌های گالن، اسفالریت، پیریت، تتراندریت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای ثانویه و آبدار آهن (در سطح) می‌باشند. آنها همچنین دگرسانی‌های منطقه را از نوع آرژبلیتی- سیلیسی- لیمونیتی و هماتیتی ذکر کرده‌اند که در اثر بالا آمدن محلولهای گرمابی در امتداد شکستگی‌های منطقه بوجود آمده است. دگرسانی آرژبلیتی در سطح وسیعی از محدوده رخ داده و در برخی جاها تا حد کائولینیتی شدن پیش رفته است که در برخی مناطق از آن بهره‌برداری نیز می‌شود. دگرسانی سیلیسی بیشتر در امتداد گسل‌های اصلی و رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شود. دگرسانی لیمونیتی معمولاً بر دگرسانی هماتیتی غالب بوده و بیشتر این دو در امتداد رگه‌ها و شکستگی‌ها قابل مشاهده هستند [کی‌نژاد، بدخشان ممتاز، ۱۳۸۲].

مطالعات میکروسکوپی گلیابی (۱۳۷۸) و فرد (۱۳۸۰)، حاکی از حضور طلا داخل کانگ

دگرسانی های مشابه در روانه ها و گنبد‌های ریولیتی و سنگ میزبان کانسار گندی، وجود معادنی از مس در کنتاکت گنبد‌های ریولیتی با سنگ‌های اطراف (برای مثال معدن مس شدادی کاکیه) و انطباق روند این روانه‌ها و گنبد‌های ریولیتی با روند کانی‌سازی همگی زایش محلول‌های گرمابی کانه‌دار کانسار گندی را از روانه‌ها و گنبد‌های ریولیتی تقویت می‌بخشد.

فرد (۱۳۸۱) با بررسی شواهدی مانند حضور گنبد‌ها و تیغه‌های ریولیتی، نوع سنگ میزبان و سنگ‌های آذرآواری با حضور برش‌های هیدروترمال کانه‌زایی شده، حضور مقادیر بالای سرب و روی و اندک بودن مس، حضور کربنات‌ها و باریت، دمای تشکیل و شوری بالای سیالات، کانسار گندی را از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون حد واسط در نظر گرفت [کی‌نژاد، بدخشان ممتاز، ۱۳۸۲].

شمعانیان (۱۳۸۴) در قالب پایان‌نامه دکترای خود با مطالعه کانی‌سازی گندی آن را به سه مرحله اصلی قابل تقسیم دانست. مرحله اول، از نظر کانی‌سازی فلزات گرانبها دارای اهمیت اقتصادی است و شامل کانی‌سازی فلزات پایه همراه با طلای آزاد در برش‌های گرمابی است. مرحله دوم از چهار مرحله فرعی تشکیل شده و به طور عمده شامل کانی‌سازی فلزات پایه است. طلای آزاد معمولاً درون پیریت‌های هوازده در مرحله اول کانی‌سازی و یا به صورت ادخال درون گالن و کالکوپیریت در مرحله دوم دیده می‌شود. مرحله پایانی با فراوانی کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود. به عقیده او کانی‌شناسی کانسنگ، باطله و محصولات هوازده‌گی و نیز داده‌های سیالات درگیر در منطقه گندی معرف حضور رگه‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون حد واسط است که ویژگی‌های مشترکی با کانسارهای مکزیکی و پرو و مناطقی با مرزهای زمین‌ساختی همگرا دارند. او همچنین احتمال گسترش رگه‌های پرعیار طلا در عمق را بالا دانسته و پیشنهاد داده است که اکتشاف در این ناحیه باید بر مناطق با حداقل عمق

فرسایش، یعنی کمتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر، تمرکز یابد که احتمال حضور رگه‌های پرعیار طلا بیشتر است [شمعانیان، ۱۳۸۴].

### ۱-۳- تعریف موضوع تحقیق

این تحقیق بر اساس کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در اکتشاف ذخایر طلای ناحیه معلمان در استان سمنان بنا نهاده شده است. با توجه به داده‌های زمین‌شناسی، ساختاری، دگرسانی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در مقیاس ناحیه‌ای از منطقه تروود- معلمان، تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی به منظور پتانسیل‌یابی ذخایر طلای اپی‌ترمال در منطقه به عنوان موضوع تحقیق انتخاب شد.

این تحقیق می‌تواند به پرسش‌های اساسی زیر پاسخ گوید:

۱- با استفاده از داده‌های عناصر ناخالص کانی‌های شاخص ذخایر طلای هیدروترمال (پیریت، گالن و اسفالریت) چگونه می‌توان تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی<sup>۱</sup> اندیس کانی‌سازی طلا دار گندی را به صورت کمی مشخص کرد؟

۲- از اطلاعات موجود چگونه می‌توان کنترل‌کننده‌های زمین‌شناختی نهشته‌های طلای منطقه را استنباط و در نهایت جدا کرد؟

۳- با استفاده از اطلاعات موجود چگونه می‌توان شواهد زمین‌شناسی دال بر کانی‌سازی طلا را به صورت نقشه درآورد؟

۴- با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، ساختاری و سنجش از دور

<sup>۱</sup> Geochemical and Mineralogical Type (MGT)

چگونه می‌توان مناطق پتانسیل‌دار کانی‌سازی شده را به صورت نقشه درآورد؟

#### ۱-۴- اهداف تحقیق

مهم‌ترین اهداف تحقیق کاربرد روش‌های مدرن اکتشافی و مقایسه آنها با نتایج روش‌های

سنتی اکتشافی در منطقه تروود- معلمان می‌باشد. برای این تحقیق اهداف زیر متصور است:

الف) تعیین تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی ذخیره معدنی کانسار طلای گندی بر حسب

توزیع احتمال عناصر ناخالص کانی‌ها

ب) تشریح چگونگی توزیع نهشته‌های کانی‌سازی شده طلا در ناحیه معلمان و ارتباط آن با

کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی

پ) ارائه نقشه‌هایی از شواهد و نشانگرهای اصلی زمین‌شناختی اندیس‌های طلا در ناحیه

معلمان

ت) تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانی‌سازی برای ناحیه معلمان با استفاده از داده‌های

زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، ساختاری و دورسنجی

#### ۱-۵- روش کلی تحقیق

روش کلی تحقیق با هدف بازشناسی الگو<sup>۱</sup> یا ارائه یک مدل اکتشافی بهینه در سه مرحله

اصلی زیر خلاصه می‌شود:

الف) استخراج مشخصه‌ها با استفاده از تکنولوژی GIS برای داده‌های زمین‌شناسی، دگرسانی،

<sup>۱</sup> Pattern Recognition

ساختاری، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی ناحیه معلمان که در بر دارنده مراحل کاری زیر بود:

۱- رقومی سازی نقشه زمین شناسی منطقه معلمان در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰

۲- رقومی سازی مشخصه‌های ساختاری در مقیاس ناحیه‌ای

۳- رقومی سازی نقشه‌های ژئوشیمیایی توزیع عناصر شاخص در منطقه

۴- تهیه نقشه توزیع اندیس‌های کانی‌سازی شده طلا در منطقه مورد مطالعه (بر اساس

کارهای تحقیقاتی انجام شده قبلی)

۵- تهیه نقشه نهایی برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی و رقومی‌سازی آن

۶- تهیه نقشه تصاویر ماهواره‌ای در بر دارنده توزیع مکانی مناطق دگرسانی در ناحیه معلمان

۷- نمونه‌برداری، تجزیه و آنالیز توزیع عناصر ناخالص کانی‌های گالن، اسفالریت و پیریت از

مهم‌ترین اندیس طلا دار ناحیه معلمان (گندی)

ب) طبقه‌بندی مشخصه‌ها با استفاده از روش تحلیلی بسیار نیرومند بی‌زین<sup>۱</sup> که از چند بخش

عمده تشکیل یافته است:

۱- بخش نخست شامل سازمان‌دهی مجدد مجموعه داده‌های زمین‌شناسی، تجزیه و تحلیل

داده‌های دورسنجی مناطق دگرسانی و سایر نقشه‌ها است.

۲- در این بخش نقشه‌های شواهد از میان بانک اطلاعاتی تهیه شده استخراج می‌شود. این

امر مستلزم توجه به مدل‌های مفهومی و تعیین معیارهای شناخت اندیس‌های شناخته شده منطقه

می‌باشد.

<sup>۱</sup> Bayesian Method

۳- در ادامه همراهی مکانی (فضایی) بین نقشه‌های شواهد متنوع ذکر شده و اندیس‌های شناخته شده منطقه به صورت کمی با استفاده از روش بیزین محاسبه می‌گردد و وزن‌های هریک از آنها تخصیص می‌یابد.

۴- مرحله نهایی، طبقه‌بندی مشخصه‌ها با تلفیق و ترکیب نقشه‌های شواهد فوق را مورد بحث قرار می‌دهد که با در نظر گرفتن وزن‌های نقشه‌های شواهد، ما را به سوی تهیه نقشه پیشگویانه پتانسیل‌یابی کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه سوق خواهد داد.

ج) تحلیل و تفسیر مدل اکتشافی نهایی (نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی) بر اساس بازدید از منطقه و بررسی شواهد صحرایی در راستای انتخاب و اولویت‌بندی زون‌های اکتشافی به منظور اکتشافات تفصیلی‌تر اندیس‌های طلا دار منطقه معلمان

در مرحله آخر تحقیق، ضمن مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مدرن اکتشافی برای مناطق امیدبخش معرفی شده با نتایج مطالعات اکتشافات تفصیلی سازمان زمین‌شناسی در منطقه، اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل‌یابی کنسارهای طلای معلمان مورد توجه بوده است.

فصل دوم

**موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه**



### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه معلمان در حدود ۴۰۰ کیلومتری شرق تهران و حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب شاهرود واقع شده است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی  $55^{\circ} 00'$  تا  $54^{\circ} 30'$  ، طول‌های شرقی و  $35^{\circ} 00'$  تا  $35^{\circ} 30'$  عرض‌های شمالی قرار دارد و در بخش شمالی چهارگوش  $1:250,000$  ترود جای گرفته است.

کانسار طلای گندی نیز در شمال شرقی ناحیه معلمان و در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شهر دامغان قرار دارد. محدوده این کانسار در موقعیت جغرافیایی  $54^{\circ} 37' 37''$  تا  $54^{\circ} 38' 22''$  ، طول‌های شرقی و  $35^{\circ} 17' 17''$  تا  $35^{\circ} 18' 53''$  عرض‌های شمالی قرار دارد.

### ۲-۲- راه‌های دسترسی به منطقه

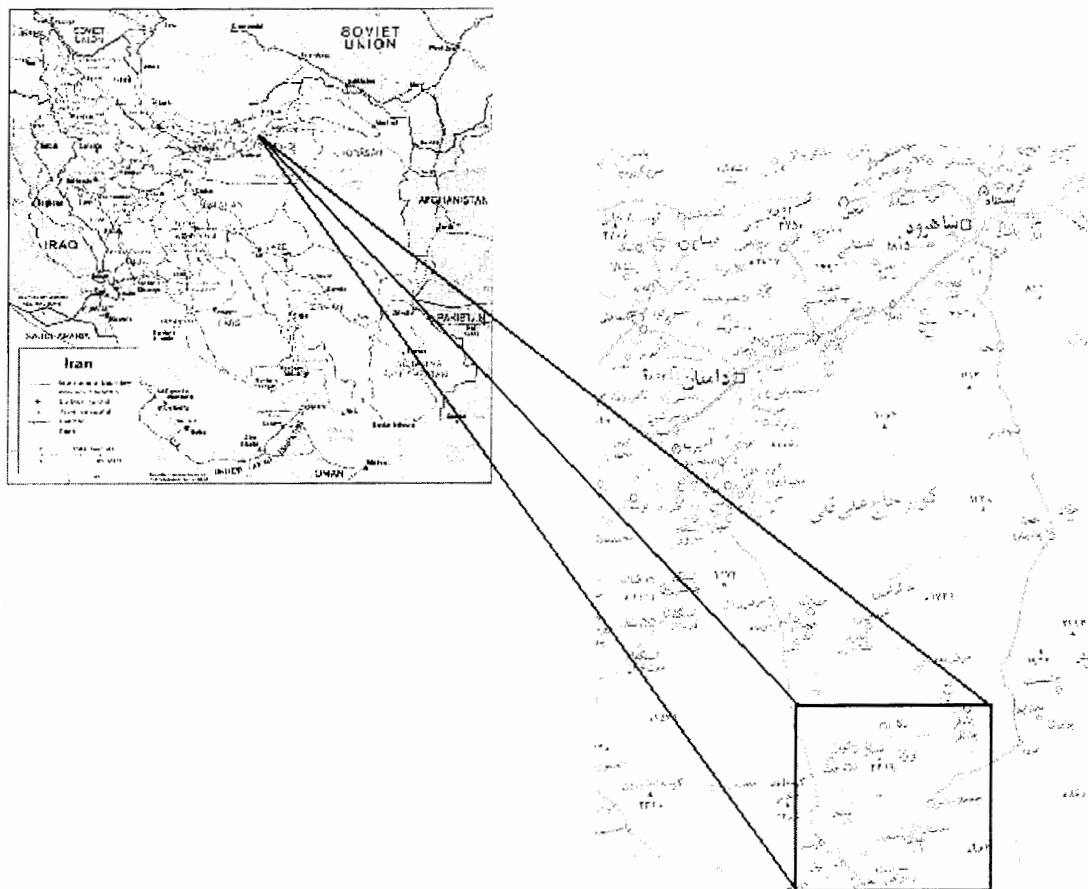
راه اصلی ارتباطی با منطقه، محور تهران- سمنان- سبزوار- مشهد است. راه‌های ارتباطی

احداث شده در منطقه معلمان عبارتند از:

- جاده آسفalte اصلی دامغان به جندق که روستای معلمان در فاصله ۱۱۵ کیلومتری جنوب

دامغان واقع گردیده است.

- جاده شوسه معلمان- ترود که در میانه منطقه از شرق به غرب احداث شده است.
- راه آسفالت سرد دامغان به کوه‌زر، شیمی و باغو،
- جاده خاکی درجه سه یا کوهستانی کوه‌زر به ترود. دیگر راه‌های ارتباطی منطقه به صورت جاده‌های خاکی کوهستانی و جیپ‌رو هستند و روستاها و مناطق کوهستانی را به یکدیگر و جاده‌های آسفالت مرتبط می‌نماید. در شکل ۱-۲ موقعیت راه‌های ارتباطی منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- موقعیت منطقه معلمان و راه‌های دسترسی به آن [مؤسسه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰]

### ۲-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه معلمان

آب و هوای منطقه گرم و خشک و از نوع کویری تا نیمه‌کویری است. حداقل دمای هوا در زمستان به ۶- درجه سانتیگراد در زمستان و حداکثر دما به بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد در تابستان می‌رسد.

پوشش گیاهی در نیمه شمالی منطقه معلمان بیشتر از نیمه جنوبی آن است که اغلب شامل بوته‌های کویری، درختچه‌های گز، زیره، اسپند کوهی، خاک‌شیر و ... می‌باشد.

آب مورد نیاز در منطقه از چشمه‌ها، قنات‌ها، بندهای خاکی بسیار کوچک و پمپاژ سفره‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد [هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷].

### ۲-۴- جغرافیای انسانی

عوامل متعددی همچون آب و هوای گرم کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود ریزش‌های جوی، معضل آب و زمین‌های اندک قابل کشت همگی شرایط سختی را برای زندگی در منطقه فراهم ساخته‌اند. از این رو تمرکز جمعیت در منطقه بسیار پایین است. بیشترین تمرکز جمعیت را می‌توان در بخش ترود مشاهده کرد. نظر به عدم مساعدت آب و هوا و مشکل آب، کشاورزی در منطقه محدود بوده و رونق چندانی ندارد. اهالی روستاها اغلب جهت کسب و کار و گذراندن زندگی به شهرها روی می‌آورند. تعداد اندکی از مردم روستاها در برخی معادن فعال منطقه مشغول فعالیت هستند.

### ۲-۵- زمین‌شناسی منطقه معلمان

ناحیه معلمان از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی

آن قرار گرفته است. در تقسیم‌بندی نوگل سادات و الماسیان (۱۹۹۳) این ناحیه در واحد تکتونو- رسوبی ایران مرکزی، در نیمه شمالی آن و در زیرپهنه بخش مرکزی ماگمایی جای دارد. هوشمند زاده و همکاران (۱۳۵۷) نیمه شمالی ورقه را به نام باریک‌رشته ترود- چاه‌شیرین نامیده‌اند که میان دو گسل اصلی ترود و انجیلو قرار گرفته است و در کناره شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای دارد [هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷].

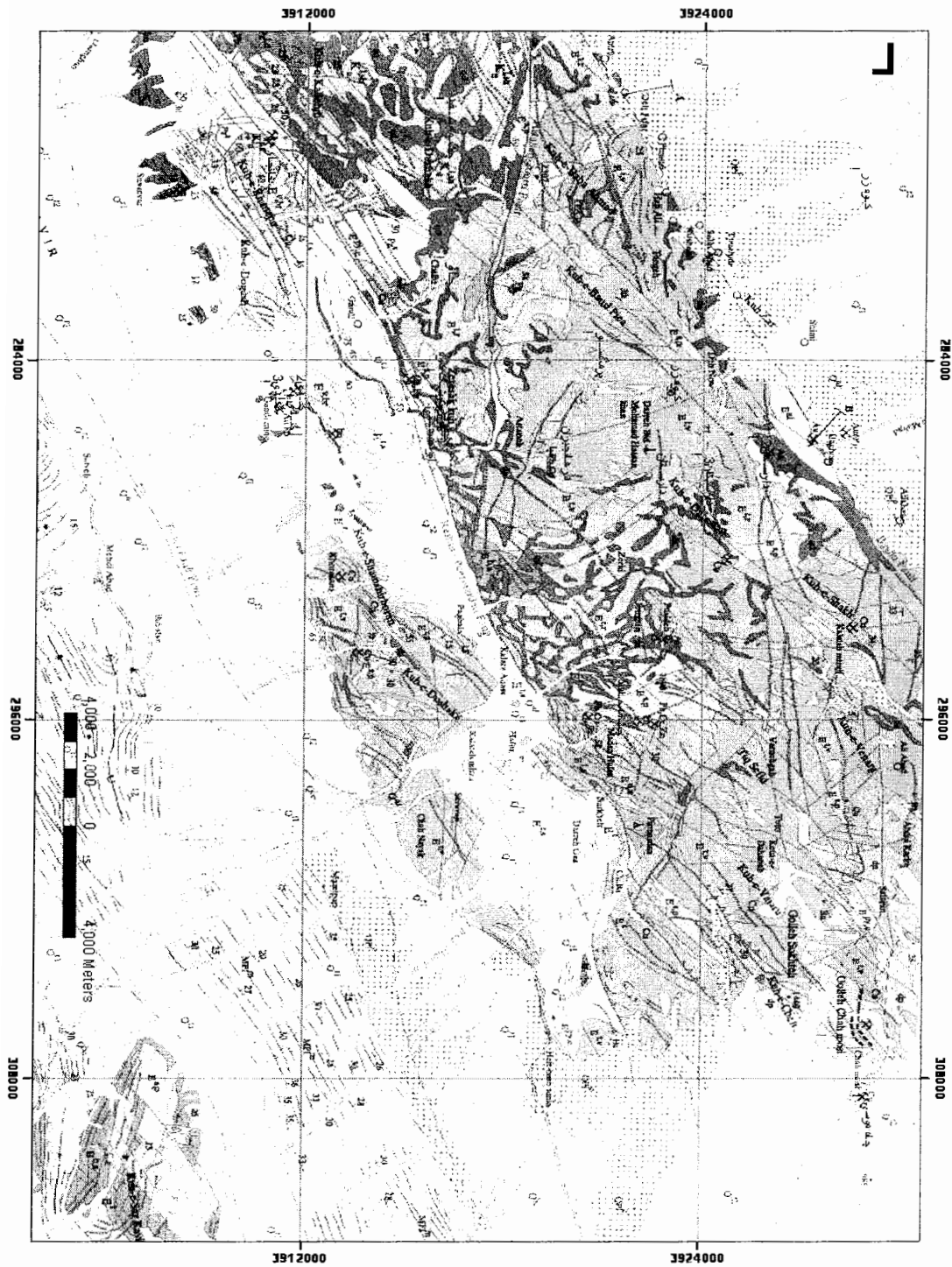
گستره منطقه را می‌توان در دو زیرپهنه ساختاری زیر تفکیک نمود [اشراقی، ۱۳۸۶]:

#### الف) زیرپهنه ترود- چاه‌شیرین:

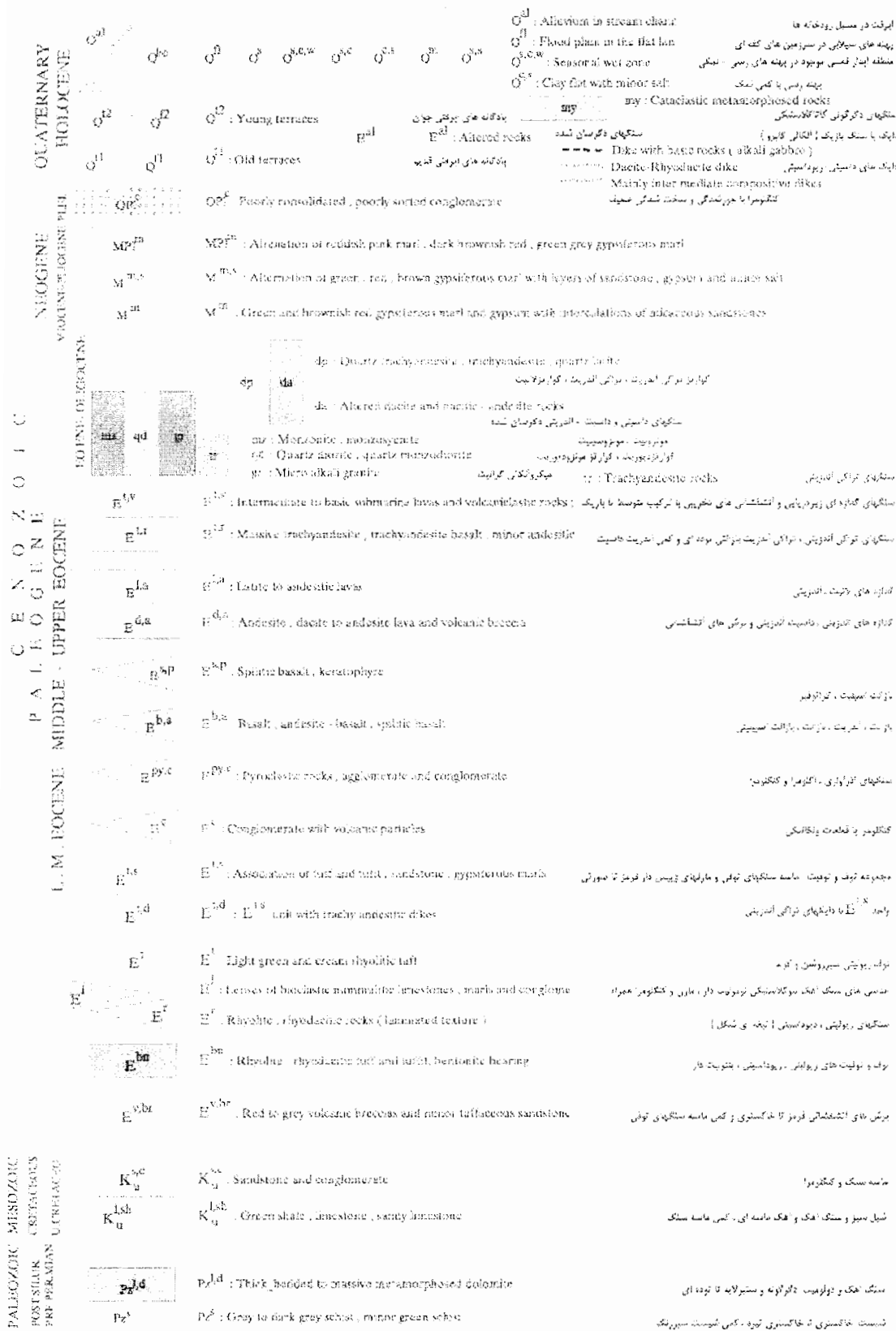
زیرپهنه ترود- چاه‌شیرین که رخنمون‌های آن را سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک و مزوزوئیک و نیز نهشته‌های آذرین- رسوبی ترشیری آغازین (پالئوژن) تشکیل داده است، تماماً در نیمه شمالی منطقه جای گرفته است.

#### ب) زیرپهنه حوضه رسوبی کم‌ژرف نئوژن:

این گستره بخشی از حوضه رسوبی جندق را در بر می‌گیرد که در جنوب منطقه واقع شده است. در این حوضه، نهشته‌های دریایی بسیار کم‌ژرف و تبخیری دوره میوسن- پلیوسن بر جای گذاشته شده است.



شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی شمال منطقه معلمان، مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ [سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۶]



شکل ۲-۳- راهنمای نقشه زمین‌شناسی شمال منطقه معلمان [اسازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۶]

در زیرپهنه ترود- چاه‌شیرین ساختمان‌های زمین‌شناسی و روند کلی لایه‌ها نزدیک به شرقی- غربی (N70E-90E) است و همسویی نسبی با امتداد پهنه گسل ترود در منطقه دارد. نهشته‌های دوران سنوزوئیک با بیشترین فعالیت‌های ماگمایی در منطقه توأم بوده و در طی دوره ترشیری آغازین (ائوسن- الیگوسن) حجم زیادی از سنگ‌های آذرین را به جا گذاشته است.

### ۲-۵-۱- واحدهای زمین‌شناسی منطقه معلمان

از آنجا که یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی ورودی در تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلا در منطقه معلمان واحدهای زمین‌شناسی مساعد برای تشکیل این کانسارهاست، شرح مختصری از واحدهای سنگی مورد نظر آورده شده است:

#### • واحد E<sup>۱۳</sup>

این واحد در حقیقت مجموعه سنگی متنوعی را در بر می‌گیرد که با ضخامتی زیاد در منطقه از غرب (رشم و سوسن‌وار) تا شرق (سرتخت و سرخه) در پهنه وسیعی رخنمون‌های آن دیده می‌شود. ترکیب سنگ‌شناسی سازنده‌های آن در جاهای مختلف تغییراتی را نشان می‌دهند و شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های توف، توفیت، مارن و مادستون‌های توفی، ماسه‌سنگ، عدسی‌های بزرگ سنگ‌های آگلومرایی و کنگلومرایی است که به‌رنگ‌های قرمز- صورتی، قرمز، قهوه‌ای تیره، خاکستری و کرم تا سبز روشن مشاهده می‌شوند. دیگر سازنده‌های مجموعه اخیر را سنگ‌های آتشفشانی کلاستیک و برش‌های آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا متوسط و ندرتاً همراه با کلاستیک‌های بازیک تا متوسط می‌سازد که این سنگ‌ها به شدت دگرسان شده‌اند.

واحد  $E^{l,s}$  در مواردی به شکل توف‌های جوش‌خورده همراه برش‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری قرمز آجری رنگ، توف‌های متبلور قطعه سنگ‌دار، توف‌های قطعه سنگ‌دار شیشه‌ای با ضخامتی بیش از ۵۰۰ متر رخنمون یافته است. این واحد سنگی بیشتر از توف و خاکسترهای آتشفشانی با ترکیب اسیدی ساخته شده است، ذرات حمل شده آن بصورت ماسه‌سنگ و یا عدسی‌های کنگلومرا- ماسه‌سنگی ولکانوژنز رخنمون دارد. برش‌های توفی و سنگ‌های آذرآواری و توف‌های متبلور قطعه سنگ‌دار نیز بیشتر ترکیب داسیت- آندزیت و آندزیت دارند.

افق‌های توف ریولیتی- ریوداسیتی سفید تا کرم متمایل به سبز خیلی روشن که در بین نهشته‌های واحد  $E^{l,s}$  ساخته شده است، دارای ویژگی‌های آلتراسیون آرژیلیتی است و در شکل‌گیری رگه‌های کانهدار فلزی عناصر سرب، روی، مس، باریم و طلا به گونه‌ای کارساز بوده است. بررسی‌های انجام شده سن این سازند را به ائوسن نسبت داده است.

مجموعه سنگی  $E^{l,s}$  در بخش‌هایی قابل تفکیک به واحدهای کوچکتری است که عبارتند از:

#### ○ واحد $E^{v,br}$

این واحد در جاهای مختلف ترکیب سنگ‌شناسی متفاوتی دارد، بیشتر از گدازه‌های برشی شده، توف- ماسه‌سنگ کنگلومرایی ولکانوژنیک، آگلومرا، توف برشی‌های توفی داسیتی- آندزیتی و در مواردی توف- گدازه‌هایی تراکی آندزیتی غنی از اکسید آهن و کربنات ثانوی پدید آمده است. این سنگ‌ها دارای قطعات سنگی درشت و ریز هستند و از مواد پیروکلاستیکی تا ماسه‌سنگ توفی تغییر می‌یابند.

در زمینه این سنگ‌ها کانی‌های فلسیک (کوارتز و کمی زئولیت) ساخته شده است. این مواد



از دگرسانی شیشه سنگ‌ها پدید آمده‌اند. در این سنگها قطعات سنگی با ترکیب تراکی‌آندزیتی، تراکی‌آندزیت بازالتی پدید آمده است که به شدت دگرسان شده‌اند. بافت این قطعه سنگ‌ها پورفیری است و در پورفیرهای آنها بقایایی از کانی‌های اولیوین و کلینوپیروکسن باقی مانده است که با کانی‌های ثانوی اکسید آهن و کلسیت جایگزین شده است. در مواردی بلورهای بیگانه کوارتز در این سنگ‌ها پدیدار شده که پوششی کربناتی کناره آنها را در بر گرفته است.

### ○ واحد $E^{bn}$

افق‌های توف ریولیتی- ریوداسیتی بنتونیت‌داری که به طور همساز در بین توف و مارن‌های توفی قرمز- صورتی‌رنگ (واحد  $E^{ls}$ ) ساخته شده‌اند. در قسمت‌هایی که از ضخامت بیشتری برخوردارند به نام واحد  $E^{bn}$  مشخص گردیده است. این سنگ‌ها به شدت دگرسان شده‌اند و به رنگ‌های سفید، سفید تا سبز خیلی روشن و خاکستری خیلی روشن دیده می‌شوند. بخش‌هایی از این سنگ‌ها که میزان آهن آنها بسیار کم است و کانی‌های سفیدرنگ گروه بنتونیت با عیار مناسب در آنها تشکیل شده است، به نام خاک صنعتی بنتونیت بهره‌برداری می‌شوند. ترکیب سنگ‌شناسی توف‌های بنتونیت‌دار کریستال توف شیشه‌ای اسیدی (ریولیتی) است. کانی‌های سازنده آنها بیشتر کوارتز، مسکویت، کانی رسی، شیشه و کانی‌های اپاک (فلزی) است.

واحد  $E^{bn}$  به دلیل دگرسانی شدید و تهاجم سیالات گرمابی ناشی از تزریق توده‌های کم‌ژرف به ویژه دایک‌های آندزیتی و لایت‌آندزیتی، آزادسازی کانه‌های فلزی را در پی داشته است و گاه آغشتگی‌های بسیار جزئی عناصر سرب و روی، طلا، باریم و نقره را سبب شده است.

• واحد  $E^f$ 

از پدیده‌های زمین‌شناسی جالب در منطقه معلمان حضور ماگمای نیمه‌ژرف ریولیتی در راستای خطی است که بالا آمدگی ماگمای اسیدی با گرانروی بالا، در امتداد شکستگی‌های بزرگ، همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی انفجاری در منطقه را توجیه می‌کند. این‌گونه توده‌ها را به اصطلاح ریولیت‌های تیغه‌ای<sup>۱</sup> شکل نامیده‌اند که از نظر ترکیب شیمیایی اولیه با توف‌های ریولیتی سفید، صورتی و قرمز-قهوه‌ای‌رنگ واحد  $E^{l,s}$  همخوانی دارند. چگونگی زایش تیغه‌های ریولیتی را اینگونه می‌توان بیان کرد که در پاره‌ای نقاط شکستگی‌های منطقه اجازه می‌دهد که ماگمای ریولیتی با گرانروی بالا به صورت تیغه‌ای و یا سوزنی و استوک مانند بالا بیاید و واحدهای رسوبی-آتشفشانی (خاکسترهای ریولیتی) واحد  $E^{l,s}$  را قطع می‌کند. تیغه‌های ریولیتی آلتراسیون سیلیسی-آرژیلیتی را پذیرا شده‌اند و کانی کائولینیت در آنها پدیدار شده است. سن واحد  $E^f$  همزمان با واحد  $E^{l,s}$  بوده و ائوسن میانی گمان زده می‌شود.

• واحد  $E^{l,v}$ 

پس از فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی که نهشته‌های گوناگون واحد  $E^{l,s}$  را برجای نهاده است، دومین مرحله از فعالیت‌های ماگمایی ائوسن-الیگوسن در منطقه با فوران‌های آتشفشانی زیردریایی با ترکیب بازیک تا متوسط توأم بوده است. در طی این مرحله حجم زیادی از مواد آذرین از طریق دایک‌های تغذیه‌کننده<sup>۲</sup> به کف دریا ریخته‌اند. این مواد در محیطی سرد شده‌اند که نسبت به واحد  $E^{l,s}$  ژرفای بیشتری داشته و کم و بیش شرایط احیایی در محیط زایش آنها حاکم بوده است.

<sup>۱</sup> Lamell<sup>۲</sup> Feeder dikes

در نتیجه این فعالیت‌های ماگمایی مجموعه سنگی  $E^{1v}$  با ضخامت زیاد از سنگ‌های گدازه‌ای برشی شده، گدازه‌های اسپیلیتی شده، هیالوکلاستیک‌های بازیک تا متوسط، توف-پیروکلاستیک‌های زیردریایی و سنگ‌های آلبیتوفیری، اسپیلیتی و کراتوفیری ساخته شده است. مجموعه  $E^{1v}$  دربرگیرنده سنگ‌های آندزیت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت‌بازالت، بازالت‌های آکالن زیردریایی و آندزیت-داسیت‌های پورفیری است.

#### • واحد $E^{II}$

سازنده‌های این واحد را گدازه‌های پورفیریتیک با ترکیب میانه تا بازیک تشکیل می‌دهد. بیشتر تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت-بازالت و آندزیت-داسیت‌های پورفیری هستند که فاقد لایه‌بندی بوده و توده‌ای یا گنبدی شکل پدیدار شده‌اند. ترکیب کانی‌شناسی آنها عبارتست از: بلورهای درشت پلاژیوکلاز، الیوین تجزیه شده، پیروکسن و بیوتیت و زمینه آنها را میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، کربنات، بقایای الیوین، سیلیس ثانویه، فلدسپاتوئید (سودالیت و آنالیم) و دانه‌های ریز اپاک ساخته است. پلاژیوکلازهای این سنگ‌ها بیشتر از نوع الیگوکلاز-آندزین بوده که دگرسان شده و با کانی‌های سریسیت، کربنات، کانی رسی کلریت و اکسید آهن و سیلیس جانشین شده است.

ترکیب تراکی‌آندزیت بازالت واحد  $E^{II}$  در قسمت‌های میانی رشته‌کوه ترود-چاه‌شیرین پذیرای دگرسانی شدیدی شده است که در آنها کانی اولیه سالمی را نمی‌توان دید و پلاژیوکلازهای آنها که فراوان‌ترین کانی درشت بلور سنگ را می‌سازد، همه یا بخش زیادی از آنها به کانی‌های ثانوی مانند سریسیت، کلسیت و کلریت و . . . تغییر یافته‌اند. در این سنگ‌ها بافت‌های اولیه به سبب دگرسانی شدید در حال از بین رفتن است و آلتراسیون آنها کانی‌های ثانوی کربنات، کلریت، اکسید آهن را به

مقدار قابل توجه پدید آورده است. فرآورده‌های آلتراسیون گاهی به پیکر رگه‌ها و پرشدگی کانی‌های اولیه و یا حفره‌ها تظاهر می‌نماید.

### • سنگ‌های نیمه‌آتشفشانی و توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف

#### ○ واحد da

فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن پسین که پدید آورنده سازنده‌های گوناگون مجموعه سنگی E<sup>lv</sup> بوده است پس از مدتی با یک ماگمای اسیدی بریده شده است. در نگاه کلی ماگمای اسیدی شمار زیادی رخنمون‌های کوچک را به صورت توده‌های آتشفشانی نیمه‌ژرف گنبدی شکل، استوک، دایک و رگه پدید آورده است. این سنگ‌ها از یک ماگمای داسیتی- میکروگرانیتی با گرانروی بالا سرچشمه گرفته‌اند که از گسترش و پراکندگی زیادی در سطح منطقه برخوردار هستند. و شمار زیادی از آپوفیزهای آن در محدوده شمال- شرق معدن پوسیده، ده جعفر تا باغو رخنمون یافته است. ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های یادشده را داسیت، داسیت- آندزیت شدیداً دگرسان شده می‌سازد که به سمت شمال منطقه ترکیب آنها داسیت پورفیری تا میکروگرانیت، میکروگرانیت تورمالین‌دار تغییر می‌کند. در شماری از نقاط از جمله در زرشک‌کوه، معدن حافظ و پوسیده، دره قاضی و . . . در این سنگ‌ها رگچه‌ها و رگه‌های فراوانی در نتیجه دگرسانی پدید آمده است که دگرسانی سریسیتی- کوارتزی را نشان می‌دهند. فرآیندهای آلتراسیون چه به صورت درجا و یا در اثر ورود سیالات گرمایی که بر روی این سنگ‌ها دوباره تأثیر داشته، دگرسانی شدید آنها را سبب شده است. در نزدیکی معدن پوسیده، جنوب شرق باغو و پاره‌ای نقاط دیگر سنگ‌های داسیتی مذکور با دگرسانی شدید سیلیسی- آرژیلیتی ظاهر شده‌اند.

### • توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف اسیدی و بازیک

در گستره منطقه شمار زیادی سنگ‌های نفوذی نیمه‌ژرف برون‌زد یافته است که بیشتر در امتداد شکستگی‌های بزرگ و گسل‌ها جایگزین شده‌اند. این توده‌ها سنگ‌های آتشفشانی و واحدهای گوناگون ائوسن، کرتاسه و پالئوزوئیک را بریده‌اند. لذا پیدایش آنها را بایستی به اواخر ائوسن و اوایل الیگوسن نسبت داد (فاز ماگمایی پیرنه) که برحسب ویژگی به واحدهای سنگی زیر جدا می‌شوند:

#### ○ توده مونزودیوریتی تا مونزونیتی (واحد mz)

این واحد از سنگ‌های نفوذی مونزودیوریتی و مونزونیتی با بافت دانه‌ای نسبتاً درشت (تقریباً پیگماتوئیدی) تشکیل شده است. ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیک، کوارتز و کانی‌های مافیک آمفیبول، پیروکسن و بیوتیت است و در آنها کانی‌های ثانوی سریسیت، کانی رسی، اپیدوت، کلریت، کلسیت و اکسید آهن پدید آمده است. این توده با واحد qd همخوانی دارد و خاستگاه یکسانی دارند، سن آنها ائوسن پسین - الیگوسن آغازین در نظر گرفته شده است.

#### ○ توده‌های کوارتز دیوریتی - کوارتز مونزودیوریتی (واحد qd)

شمار زیادی از برون‌زدهای نفوذی منطقه را سنگ‌های کوارتز دیوریتی تا کوارتز مونزودیوریتی به رنگ خاکستری روشن تا خاکستری و سبز خاکستری پدید آورده است. این سنگ‌ها دارای فلدسپات آلکالن و پلاژیوکلاز با نسبت درصد کم و بیش مساوی‌اند. دگرسانی آنها با جانیشینی کانی‌های رسی، میکائی، کلریتی و اپیدوتی توأم بوده است. این سنگ‌ها را می‌توان با دگرسانی شدید، بیشتر از نوع آلتراسیون سریسیتی مشخص نمود. در زمینه آنها درزه و شکاف‌هایی دیده می‌شود که با اکسید آهن، کربنات و پیریت و . . . پر شده است.

## ○ واحد gr

در شمال روستای گندی بخش کوچکی از سنگ‌های گرانیتی رخنمون یافته است که با نام واحد gr مشخص شده است. این توده دارای ترکیب میکروگرانیت آلکالن است و در نزدیکی آن توده کوارتز-دیوریتی (واحد qd) نیز رخنمون یافته است و بیانگر حضور توده‌های گرانیتی همزمان با نفوذ توده‌های کوارتز مونزونیتی-کوارتز دیوریتی است.

● واحد E<sup>al</sup>

این واحد دربرگیرنده سنگ‌هایی است که شدیداً دگرسان شده و به میزان زیادی ماهیت دگرگون شده دارد. سازنده‌های آن را مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی واحد E<sup>lv</sup> و توده‌های نفوذی واحدهای da و qd می‌سازد که در پاره‌ای نقاط رگه‌های کوارتز-تورمالین فراوان در آنها پدید آمده است. شدت دگرسانی در جاهایی از واحد یادشده به اندازه‌ای است که سنگ به طور کامل دگرسان شده، بیشتر دگرسانی آن آرژیلیتی-سیلیسی است. در پهنه تمرکز سیلیس-تورمالین (شورلیتی) همراه با گردآمدگی‌های کمی از کانی‌های فلزی نظیر پیریت، کالکوپیریت، کوپتریت و ملاکیت و ... است [اشراقی، ۱۳۸۶].

## ۲-۵-۲- زمین‌شناسی منطقه گندی

از نظر زمین‌شناسی، رخنمون‌های سنگی محدوده کانسار طلای گندی متشکل از سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری ائوسن میانی-بالایی است که حجم عمده آنها ترکیب اسیدی تا حد واسط (ریولیت، داسیت، آندزیت-داسیت و آندزیت) دارند. توالی سنگ‌شناسی واحدهای یاد شده از قدیم به

جدید عبارتند از: مجموعه‌ای متشکل از توف، توف ماسه‌ای، ماسه‌سنگ، سیلتستون، کنگلومرا و مارن با لایه‌های گچی (واحد ائوسن) که این واحد خود به سه واحد پایینی (متشکل از مارن، توف، ماسه‌سنگ، سیلتستون و کنگلومرا با میان‌لایه‌های گچی)، واحد میانی (متشکل از توف‌های اسیدی) و واحد بالایی (متشکل از مارنهای گچ‌دار با میان‌لایه‌های توفی) قابل تقسیم می‌باشد. واحد میانی که سنگ دربرگیرنده کانی‌زایی در کانسار گندی است خود به دو بخش زیرین متشکل از توف‌های ریزدانه و متراکم حاوی کانی‌های رسی فراوان (معدن خاک صنعتی - کائولن گندی) و بخش بالایی متشکل از توف‌های ماسه‌ای درشت‌دانه قابل تقسیم است. گنبدها و تیغه‌های متعدد ریولیتی واحد ائوسن یاد شده (به طور عمده واحدهای پایینی و میانی) را قطع و در آن نفوذ کرده‌اند. واحدهای دیگر محدوده معدنی شامل واحدی از گدازه‌های داسیتی - آندزیتی و مجموعه‌ای از ماسه‌سنگهای آرکوزی با سن ائوسن می‌باشد. واحدهای زمین‌شناسی محدوده کانسار گندی که در روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ ناحیه معلمان دیده می‌شوند مربوط به دوره زمین‌شناسی سنوزوئیک هستند که با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن زیرین آغاز می‌شود و در طی دوره پالئوژن حجم بسیار زیادی از مواد آذرین - رسوبی را پدید آورده است. این مواد در کالبد واحدهای سنگی گوناگون ارائه می‌گردد.

دگرسانی‌ها در منطقه گندی شامل آرژیلیتی، سیلیسی، لیمونیتی و هماتیتی می‌باشد که در اثر بالا آمدن محلول‌های گرمابی در امتداد شکستگی‌های منطقه به وجود آمده است. دگرسانی آرژیلیتی در سطح وسیعی از محدوده روی داده و در برخی جاها تا حد کائولینیتی شدن پیش رفته است که از آن بهره‌برداری نیز می‌شود. دگرسانی سیلیسی بیشتر در امتداد گسل‌های اصلی و رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شود. دگرسانی لیمونیتی معمولاً بر دگرسانی هماتیتی غالب بوده و بیشتر این دو

دگرسانی در امتداد رگه‌ها و شکستگی‌ها قابل مشاهده هستند [مقصودی، ۱۳۸۴].

## ۲-۶- فرآیندهای تکتونیکی در منطقه

منطقه معلمان در تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و در بخش ماگمایی آن پهنه جای می‌گیرد. پهنه ایران مرکزی دارای یک پی‌سنگ دگرگونی است که شکل‌پذیری قوی دارد و پدیده‌های گوناگون آتشفشانی، توده‌های نفوذی کم‌ژرف و دگرگونی در آن دیده شده است [اشراقی، ۱۳۸۶].

## ۲-۶-۱- گسل‌های منطقه

گسل‌های منطقه بیشتر دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی بوده و برخی دیگر با روند شمال غربی- جنوب شرقی و شمالی- جنوبی می‌باشند.

• گسل ترود: در منطقه مورد مطالعه یک دسته گسل‌هایی شکل گرفته است که راستایی نزدیک به  $N60-70E$  دارند و میل آنها نیز به سوی شمال تا شمال غرب است. مهم‌ترین آنها گسل ترود است که گسلی اصلی و کهن است. این گسل از زمان کامبرین تاکنون چندین بار فعال شده است و در آخرین حرکت خود به گونه امتدادی- شیبی عمل کرده. دارای دو مؤلفه یکی افقی و چپ‌بر است که بلوک جنوبی را به سمت شرق می‌راند و دیگری مؤلفه عمودی است که در بسیاری نقاط با پایین افتادن بلوک جنوبی همراه بوده است.

• گسل سرکویپر: گسل دیگری است به موازات گسل ترود و از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان گسترش آن دیده می‌شود این گسل به طور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده است. ساز و



کاری مشابه با گسل ترود دارد. به احتمال در اعماق با زون گسله ترود یکی می‌شود.

• گسل باغو: در شمال ورقه با راستای N70-90E و شیب نزدیک به قائم دارد و پایین افتادن بخش شمالی گسل را در پی داشته است. در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در منطقه معلمان قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه‌های دربردارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها تقریباً همزمان انجام گرفته است.

• گسل رشم- پیرمردان: این گسل نیز راستایی تقریباً موازی با گسل اصلی ترود دارد و از غرب منطقه (مجاور روستای رشم) تا امامزاده پیرمردان و خاور آن گسترش یافته است. ساز و کاری معکوس با شیب رو رانده به شمال دارد که واحدهای  $Pz^s$ ,  $Pz^{l,d}$ ,  $K_u^{l,sh}$ ,  $K_u^{c,s}$ ,  $my$  و حتی مجموعه سنگی  $E^{l,v}$  و توده‌های نفوذی را روی واحدهای ائوسن به ویژه  $E^{l,s}$  رانده است. در مجاورت گسل مذکور در پاره‌ای نقاط سنگ‌های میلونیتی شده نیز در سطح زمین رخنمون کمی یافته است.

• گسل دره‌حسن‌امرو: این گسل ظاهراً ساز و کاری معکوس داشته و توده‌های نفوذی و آهک کرتاسه و سنگ‌های میلونیتی شده را در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده جعفر و امرود شیب ۸۰ درجه به جنوب نشان داده است.

• گسل‌های فرعی دیگری در زیر پهنه ترود- چاه‌شیرین پدید آمده که نهشته‌های کرتاسه و ائوسن را جابجا کرده است و نشان دهنده آن است که منطقه در زمان انجام این حرکات زیر اثر نیروهای کششی قرار داشته است.

• به جز راستای N70-90E که همسو با گسل اصلی ترود است، گسل‌های دیگری با راستای N40-50E و N40-50W بصورت دو سری شکستگی دیده میشوند که مزدوج عمل کرده‌اند. پس از آن

پاره‌ای شکستگی‌ها امتداد کلی نزدیک به شمالی- جنوبی دارند که در آنها کانی‌زایی نیز انجام گرفته است.

## ۲-۶-۲- چین‌های منطقه

در زیرپهنه ترود- چاه شیرین ساختمان‌های چین‌خورده به دلیل ناهمگن بودن نهشته‌های ائوسن و همچنین نفوذ توده‌های کم‌ژرف و دایک‌های فراوان، متحمل شکستگی‌های زیادی شده است، لذا امکان نمایش دادن محورهای چین‌ها نبوده، گسستگی‌های زیادی در لایه‌ها و در نتیجه چین‌ها پدید آمده است [اشراقی، ۱۳۸۶].

## ۲-۶-۳- سیستم‌های شکستگی و ارتباط آنها با تشکیل کانسارهای منطقه

منطقه معلمان را شبکه‌ای از شکستگی‌ها با آرایش متنوع در بر گرفته است که گسل ترود در جنوب و گسل رباعی- کوه‌زر در شمال، مهمترین این ساختارها هستند. هر دو این گسل‌ها، امتدادلغز راستگرد با مؤلفه شییبی معکوس و با راستای تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی می‌باشند. در غرب گسل‌هایی با راستای شمالی- جنوبی تا شمال غربی- جنوب شرقی وجود دارند که شییب تندى به سمت شرق دارند و گسل‌هایی عادی با حرکات امتدادلغز هستند. در این منطقه گسل‌های اصلی ترود و رباعی- کوه‌زر کنترل‌کننده سیمای ساختاری غالب بوده‌اند. گسل‌های امتدادلغز این منطقه را می‌توان در چارچوب یک وضعیت زمین‌ساختی کششی- لغزشی که حداقل در زمان کرتاسه تا اواخر ائوسن و یک رژیم زمین‌ساختی فشاری- لغزشی که از اواخر ائوسن تا عهد حاضر بر منطقه

حکم‌فرماست، در نظر گرفت. سیستم زمین‌ساختی نخست با ایجاد حوضه پول-آپارت<sup>۱</sup> (جدایش به چندین قطعه) و توسعه آن سبب ماگماتیسم شده است و رژیم دوم فرازگیری منطقه آغاز و شبکه شکستگی‌ها گسترده‌تر گردیده است [خادمی، شهریاری، ۱۳۸۶].

دایک‌های منطقه در دو جهت شرق، شمال شرقی-غرب، جنوب غربی و شمال، شمال غربی-جنوب، جنوب شرقی دارای بیشترین مقدار هستند. جهت نخست موازی راستای گسل‌های منطقه و جهت دوم در سازگاری با رژیم فشاری-لغزشی کنونی است. در اینجا دو عامل تعیین‌کننده فشار ماگما و میدان تنش آنیزوتروپ تکتونیکی ناشی از سیستم‌های امتدادلغز در تشکیل دایک‌ها با آرایش فوق نقش داشته‌اند.

مورفولوژی درزه‌ها در یک محیط آذرین، اغلب، شبیه دایک‌ها است. زیرا هر ساز و کاری که قادر به ایجاد دایک‌ها می‌باشد، درزه‌ها را نیز تولید می‌کند. در بیشتر نقاط منطقه راستای دسته‌درزه‌ها موازی با امتداد گسل‌ها و دایک‌ها هستند. یعنی راستای آنها به طور عمده شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی و شرقی-غربی است و می‌توان تشکیل درزه‌ها را به دو عامل تکتونیک و ماگماتیسم نسبت داد. این در حالیست که تنش ایزوتروپیک ماگما بر توسعه شکستگی‌ها افزوده است. رگه‌های اقتصادی مهم منطقه در راستای شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی هستند که اغلب این رگه‌ها شیب تندی دارند و در رگه‌های کم‌شیب‌تر کانی‌سازی کمتری انجام گرفته است. این امر شاید به دلیل عملکرد بیشتر هوازدگی و دگرسانی در آنها باشد.

زمین‌ساخت و ماگماتیسم، مانند همه محیط‌های مشابه زمین‌ساختی جهان، در تعامل با

<sup>۱</sup> Pull-Apart

یکدیگر، پتانسیل معدنی طلا و کانسارهای با ارزش فراوانی را در منطقه فراهم آورده‌اند. هر دو این فرآیندها سیالات گرمایی لازم را از طریق آب‌های ماگمایی، آب‌های دگرگونی و یا چرخه آب‌های زیرزمینی در مجاورت منابع گرمایی، تأمین کرده و سپس مجاری صعود آنها را با ایجاد و توسعه شبکه شکستگی‌های ساختاری و هیدرولیک فراهم ساخته‌اند. توزیع و جایگذاری اغلب رگه‌های معدنی با راستاهای ساختارهای برشی امتدادلغز بزرگ منطقه، از جمله گسل ترود، موازی و هم‌مسیر هستند. لذا به نظر می‌رسد در این مسیرها بخش عمده اندیس‌های معدنی منطقه جای گرفته باشند. افزون بر این راستاها، کانی‌زایی در منطقه از دو راستای عمده دیگر نیز تبعیت می‌کند و آن راستاهای شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی است. این راستاها مرتبط با گسل‌های معکوس و راستالغزی است که در رژیم‌های فشارشی- لغزشی به وجود آمده و مجاری مناسبی را برای ماگماتیسم فراهم آورده‌اند. بنابراین می‌توان توزیع کانسارهای بالفعل و بالقوه منطقه را با درجه اطمینان نسبتاً بالایی سازگار با الگوهای دگرریختی فشارشی- لغزشی و کششی- لغزشی دانست و با توجه داشتن به سطح فرسایش در کانسارهای اپی‌ترمال منطقه (به عنوان نمونه کانسار گندی با بیش از ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر عمق سطح فرسایش)، پی‌جویی‌ها را در راستای این الگوهای شکستگی متمرکز نمود [خادمی، شهریاری، ۱۳۸۶].

## ۲-۷- کانسارها و اندیس‌های معدنی منطقه

منطقه معلمان از دیرباز مورد توجه معدنکاران بوده است. شمار زیادی از سرپاره‌های ذوب، پاره‌ای وسایل اولیه، قلعه‌های باستانی و کارهای معدنی کهن (معادن شدادی) در منطقه شناخته شده

است. روی هم رفته از نگاه زمین‌شناسی اقتصادی و از دیدگاه کیفی، کانی‌زایی‌های ورقه را در گروه‌های زیر می‌توان جدا کرد [اشراقی، ۱۳۸۶]:

### الف) کانی‌سازی‌های عناصر فلزی

در این گروه می‌توان اندیس‌های معدنی، معادن کهن و متروکه و در حال کاری را برشمرد که در آنها تمرکز کانه‌های فلزی سرب و روی، مس، طلا و آهن شناخته شده است. پیدایش این کانسارها در ارتباط با فعالیت‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن-الیگوسن زیرین (فاز پیرنه) است.

#### • کانی‌سازی سرب و روی: بیشتر از گونه کانسارهای سرب و روی گرمایی هستند و بارزترین

نشانه شناخته شده آنها، شامل سرب و روی انار و در غرب منطقه، خانجار و سنجدو، گندی، چشمه سفید، ابوالحسنی، چشمه فرخ، چشمه حافظ، چهارسنگی، تنگه و . . . است. این کانی‌زایی‌ها بیشتر از نوع چندفلزی<sup>۱</sup> بوده و در آنها افزون بر سرب و روی ناهنجاری‌های عناصر طلا، نقره، کادمیم، مس، آهن، جیوه و باریم نیز شناسایی شده است. کانی‌شناسی کانسنگ‌ها بیشتر از گالن، سروزیت، آنگلیت، پیریت و کالکوپیریت، باریت و کلسیت است. در مواردی اسمیت‌زونیت، اسفالریت و هیدروزونیت نیز به میزان کم شناخته شده است.

در رگه‌های سرب و روی معدن گندی پاراژنز سرب و روی، مس و طلا، با عناصر فلئوئور و بر همراه بوده، کانی فلورین و تورمالین پدید آمده است و تجزیه نمونه‌های آن عیار بالای طلا را نیز نشان داده است (حدود ۷۰ گرم در تن).

#### • کانی‌سازی مس: در بسیاری از نقاط منطقه آغشتگی‌های کانه‌های مس‌دار دیده شده است.

<sup>۱</sup> Polymetal

در مواردی کانه‌های مس‌دار با طلا، آهن، سرب و روی همراه است. از نشانه‌های مس می‌توان به معدن فعال مس چاه موسی، زرشک‌کوه (متروکه) و جنوب علیخان (متروکه) اشاره کرد. کانی‌سازی‌های مس در پیرامون دایک‌ها در ناحیه چاه‌موسی، بیدمحمدحسن، منزل عبدالله، تنگه و پاره‌ای نقاط دیگر شناسایی شده است. معدن فیروزه باغو که در حال حاضر نیمه‌فعال است، دارای رگه‌ها و رگچه‌های فیروزه، به گونه‌های نهان بلورین، پوسته‌ای، رگچه‌ای و پرشدگی حفرات است که در سنگ‌های داسیتی دگرسان شده واحد da پدید آمده است. معدن فیروزه باغو در تونل‌های موسوم به احمدزاده، موحد، جوان و در کارگاه روباز بهره‌برداری شده است و از دگرسانی شدید، به ویژه کائولن‌زایی سنگ مادر پدید آمده است. کانی‌های همراه با فیروزه، عبارتند از: کوارتز، سریسیت، کائولینیت، کالکوپیریت، پیریت و تورمالین.

• **کانی‌سازی طلا:** نشانه‌هایی از کانی‌سازی طلا در نواحی باغو- کوه‌زر، دارستان، گندی و پوسیده به دست آمده است که ویژگی‌های آنها بیشتر با تیپ کانسارهای گرمابی چندفازه، به ویژه اپی‌ترمال با سنگ میزبان آتشفشانی همخوانی نسبی دارد و در پیوند با سیالات مشتق شده از ماگماتیسیم ائوسن- الیگوسن شکل گرفته است. گستره‌هایی که دگرسانی آرژیلیتی با شدت و ضعف ناهمسان و با رنگ سطحی سفید تا کرم روشن، سفید مایل به خاکستری روشن و قهوه‌ای تا قهوه‌ای روشن دارند و در بسیاری از رخنمون‌های سنگ‌های آتشفشانی و در همبندی توده‌های آتشفشانی نیمه‌ژرف یا دایک‌ها دیده می‌شوند، به عنوان راهنمایی برای اکتشاف طلا می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. روی هم رفته، طلا با عناصر Zn, Fe, Cr, Sb, Mo, As, Cu همبستگی مثبت نشان داده است و در پیوند با گامه تأخیری ماگمایی، از سیالات سیلیسی سولفیدداری پدید آمده‌اند که توده‌های نفوذی

اسیدی (واحدهای da, qd, dp, gr و دایک‌ها) در شکل‌گیری آنها نقش بارزی داشته است. کانسنگ‌های طلا دار به پیکر رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار (دارستان)، رگه‌های سیلیس- تورمالین طلا دار (باغو، چال کفتری و ...)، پهنه‌های گسلی سولفید دار و پراکنده (اندیس حاجی) و همراه رگه‌های سرب و روی (معدن گندی، چشمه سفید، ابوالحسنى و ...) دیده می‌شود.

کانه‌های مس- طلا دار با حضور کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت اولیه، مالاکیت و آزوریت ثانوی در پاره‌ای نقاط به ویژه در رگه‌های سیلیس داری که در راستای گسل‌ها دیده می‌شوند، راهنمایی برای کانی‌زایی طلا می‌باشد. در آبرفت‌های رودخانه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی شمال باغو کان‌های طلا دار از نوع پلاسری و با طلای آزاد شناخته شده است که عیار آن تا ۰/۳ گرم در تن گزارش شده است و در آنها کارهای معدنی کهن با حفر دخمه، تونل و برداشت روباز انجام گرفته است.

• **کانی‌زایی آهن:** گفتنی است نشانه‌هایی از کانی‌زایی آهن به پیکر اکسیدهای آهن مانند هماتیت، گوتیت، الیزبیت و به ندرت منیتیت دیده شده است که در شمال روستای گندی (دره چالو) و کوه هشده در غرب منطقه دیده شده است. این کانی‌زایی‌ها در نزدیکی سنگ‌های کربنات دار و در درزه‌ها تشکیل شده‌اند که به طور معمول در نزدیکی توده‌های نفوذی کم‌ژرفا بوده و زایش گرمایی دارند، هر چند که در ناحیه دره چالو پدیده اسکارنی شدن نیز رخ داده است.

#### ب) کانی‌سازی‌های غیر فلزی

• **بنتونیت:** در چندین نقطه از توف‌های سفیدگون (واحد  $E^{bn}$ ) افق‌هایی از خاک بنتونیت شناخته شده است که در مواردی (مانند بنتونیت سوسن‌وار- رشم و گندی) بهره‌برداری می‌شوند و به

اصطلاح به آنها گل رشم نیز گفته می‌شود. نتایج تجزیه کیفی (X.R.D) کانی‌های سازنده بنتونیت را بیشتر مونت‌موریونیت، زئولیت، فلدسپات، کریستوبالیت و کلسیت نشان داده است.

• **خاک صنعتی کاکیه- گندی:** دگرسانی شدید سنگ‌های ریوداسیتی- داسیتی تیغه‌ای شکل

(واحد E<sup>f</sup>) سبب پدیداری خاک صنعتی فلدسپات- کائولن‌داری شده است که در ناحیه کاکیه- معدن گندی بهره‌برداری می‌شود. ترکیب کانی‌شناسی کوارتز، کائولینیت، کانی رسی بیشتر ایلیت و بایدلیت، معدن یاد شده را از بنتونیت‌های منطقه متمایز می‌نماید.

• **خاک صنعتی فلدسپات- کائولینیت‌دار پوسیده (معدن کائولن غیرفعال) نشانه معدنی دیگری**

است که در سنگ‌های داسیتی واحد da شناسایی شده است.

• **رگه‌های سفیدگون با ترکیب داسیتی در ناحیه غربی روستای جعفر رخنمون دارد که دارای**

فلدسپات‌های سدیم- پتاسیم بوده و تجزیه کمی آنها (X.R.F) مجموع  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  را حدود ۶ درصد تعیین کرده است و از سوی دیگر میزان آهن آنها بسیار کم است. این رگه‌ها ممکن است به عنوان منابع فلدسپات‌دار مورد توجه قرار گیرد [اشراقی، ۱۳۸۶].



فصل سوم

**مطالعات کانی شناسی - ژئوشیمیایی منطقه  
گندی، تعیین تیپ کانی سازی**

## ۳-۱- مقدمه

استفاده از خواص کانی‌ها برای تخمین و ارزیابی کمی و کیفی ذخایر معدنی از دیرباز مطرح بوده است. اولین بار در سال ۱۹۸۰، کازمین، دانشمند روسی، با توجه به عناصر ناخالص موجود در کانی‌های گروه تورمالین معیارهای مناسب اکتشافی برای ذخایر موجود در پگماتیت‌ها را ارائه نمود و پس از وی مطالعه بر روی ناخالصی‌های موجود در کانی کاسیتريت برای اکتشاف ذخایر قلع صورت گرفت. در رابطه با ذخایر طلا هنوز مدل جامع اکتشافی اقتصادی و مناسبی وجود ندارد، لذا بررسی عناصر ناخالص در کانی‌های خاص این ذخایر، مانند پیریت، گالن، اسفالریت و ارسنوپیریت می‌تواند به ارائه مدلی برای اکتشاف سریع‌تر کانسارهای طلا منجر گردد.

در پی سال‌ها تحقیق و مطالعه روی مجموعه‌ای بزرگ مربوط به نمونه‌های گرفته شده از تک‌کانی‌ها، دانشمندان روسیه یک روش منحصر به فرد در اکتشافات ژئوشیمیایی را گسترش دادند که از عناصر ناخالص کانی‌ها در آن استفاده می‌شد. نمونه‌هایی که از تک‌کانی‌ها<sup>۱</sup> گرفته شدند بر اساس قانون بیزین<sup>۲</sup> و تکنیک‌های اکتشاف ژئوشیمیایی ذخایر طلا در تعیین تیپ کانی‌شناسی

---

<sup>۱</sup> Monominerals

<sup>۲</sup> Bayesian Rule

ژئوشیمیایی این ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این شیوه، یک بانک اطلاعاتی حاوی نتایج آنالیز بیش از ۱۲,۰۰۰ نمونه از تک‌کانی‌های جمع‌آوری شده از نهشته‌های طلای هیدروترمال کشورهای روسیه و تازه استقلال‌یافته تهیه گردیده است [Grigorian, Ziiai, 1999, a].

بر اساس ارتباط بین ویژگی‌های ژنتیکی و تیپومورفیک یک کانی یگانه و ترکیب کانیایی آن می‌توان فرآیندهای تشکیل کانی‌ها را به روشنی تعیین کرد که به ما اجازه می‌دهد آنومالی ژئوشیمیایی مرتبط با آنها را ارزیابی نموده و پتانسیل ذخایرشان را تخمین بزنیم.

در این تحقیق ضمن معرفی روشی برای روشن نمودن ارتباط بین عناصر ناخالص کانی‌ها و تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی (MGT) و آنومالی ژئوشیمیایی آنها که به عنوان یکی از اهداف اصلی دانش ژئوشیمی معدنی مطرح است، این متد را به طور عملی، در مورد کانسار گندی به کار برده و نتایج بدست آمده را بررسی می‌کنیم. بدین منظور از مغزه‌های حفاری زون‌های کانی‌سازی کانسار گندی نمونه‌برداری صورت پذیرفت و مقاطع فلزی مربوط به آنها مورد مطالعه قرار گرفت. پس از انجام مراحل آماده‌سازی، نمونه‌ها جهت مطالعات تکمیلی و تعیین دقیق میزان توزیع عناصر ناخالص موجود در تک‌کانی‌ها به آزمایشگاهی در روسیه فرستاده شدند. با استفاده از نتایج آنالیزهای انجام شده به نحو مطلوبی تیپ کانی‌سازی کانسار گندی تعیین گردید.

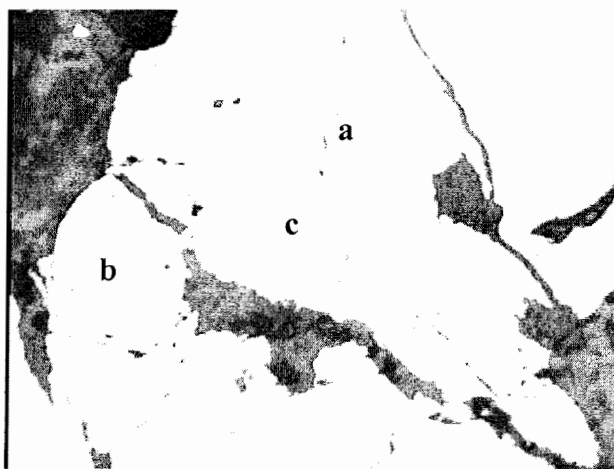
### ۳-۲- مطالعه مقاطع فلزی

مطالعات میکروسکوپی انجام شده قبلی حاکی از حضور طلا به صورت دانه‌های آزاد داخل گانگ سیلیسی و درون سولفیدهای گالن، اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت است. در دانه‌های طلای

گانگ سولفیدی (به جز طلای موجود در اسفالریت) مقادیری نقره نیز وجود دارد که سبب رنگ‌پریدگی آنها می‌شود. در دانه‌های طلای موجود در اسفالریت‌ها، افزون بر حضور نقره، مقادیری روی نیز در ترکیب دانه‌های طلا وجود دارد [مقصودی، ۱۳۸۴].

علاوه بر کانی‌های ذکر شده، در مطالعه مقاطع فلزی، کانی‌های کوولیت و بورنیت نیز به چشم می‌خورد. کانی‌های فلزی دیگر منطقه که در مقاطع دیده می‌شوند عبارتند از: سروزیت، تتراهدریت، کالکوسیت، ارسنوپیریت و کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن. در ادامه تصاویر بعضی از مقاطع به همراه توضیحات مربوط به آن آورده شده است.

در شکل ۱-۳ تصویری از نمونه مینرالیزه G1 است که مربوط به رگه کانی‌سازی در عمق تقریبی ۲۵ متر است. نمونه از زون برشی کانولینیتی - توفی گرفته شده است و در آن کانی‌های فلزی پیریت و کالکوپیریت قابل رؤیت می‌باشند. کانی‌سازی طلا به صورت ذره کوچکی در سطح کانی کالکوپیریت دیده می‌شود.



شکل ۱-۳ - تصویری از مقطع G1 (بزرگ‌نمایی ۲۰)  
a: دانه طلا در سطح کانی کالکوپیریت، c: کانی کالکوپیریت، b: کانی پیریت

شکل ۲-۳ تصویر دیگری از نمونه مینرالیزه G۱ است که در آن کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و گالن قابل رؤیت هستند. کانی‌سازی طلا به صورت ذره کوچکی در سطح کانی کالکوپیریت دیده می‌شود.



شکل ۲-۳- تصویر از مقطع G۱ (بزرگ‌نمایی ۲۰)  
a: دانه طلا در سطح کانی پیریت، b: کانی پیریت، c: کانی گالن، d: کانی کالکوپیریت

شکل ۳-۳ تصویر از نمونه مینرالیزه G۲ است. این نمونه مربوط به رگه برشی کانی‌سازی در عمق تقریبی ۳۳ متر است. این بخش از رگه کانی‌سازی در زون هماتیته بوده و در آن کانی‌های فلزی اسفالریت، پیریت و گالن قابل رؤیت هستند. کانی پیریت در حال دگرسان شدن به اکسید و هیدروکسیدهای آهن است.



شکل ۳-۳- تصویری از مقطع G۲ (بزرگ‌نمایی ۲۰)

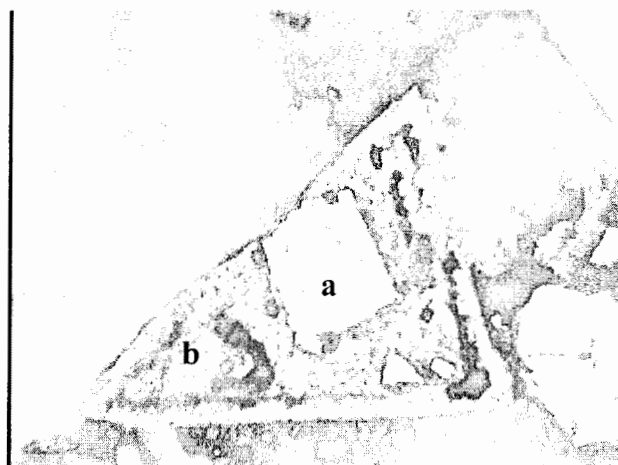
a: کانی پیریت، b: کانی گالن، c: کانی اسفالریت

شکل ۴-۳ تصویری از نمونه مینرالیزه G۵ و مربوط به رگه کانی‌سازی در عمق تقریبی ۱۶

متر است. این قسمت از رگه در زون کائولینیتی، لیمونیتی و هماتیتی قرار دارد. دانه پیریتی که در

مرکز تصویر دیده می‌شود، در حال اضمحلال و دگرسان شدن به اکسید و هیدروکسیدهای آهن است.

این نمونه به احتمال زیاد از زون اکسیدی گرفته شده است.



شکل ۴-۳- تصویری از مقطع G۵ (بزرگ‌نمایی ۲۰)

a: کانی پیریت، b: اکسید و هیدروکسیدهای آهن

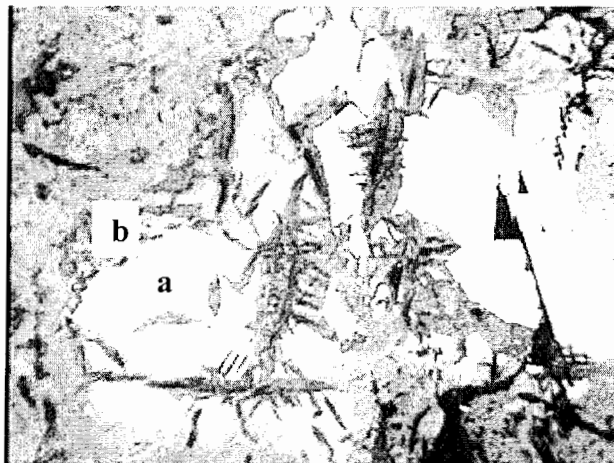
شکل ۵-۳ تصویری از نمونه مینرالیزه G۹ و مربوط به رگه کانی‌سازی در عمق تقریبی ۲۰

متر، در زون سیلیسی-لیمونیتی است که در آن کانی‌های فلزی گالن، کالکوپیریت و پیریت، قابل رؤیت هستند. کانی پیریت درون کانی کالکوپیریت جای گرفته است.



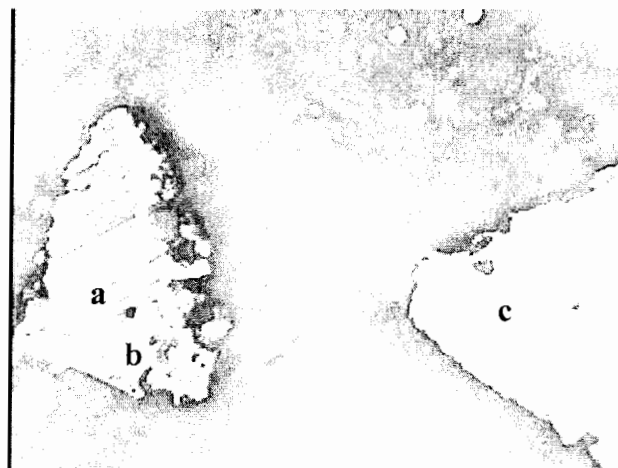
شکل ۳-۵- تصویری از مقطع G۹ (بزرگ‌نمایی ۲۰)  
a: کانی کالکوپیریت، b: کانی پیریت، c: کانی گالن

شکل ۳-۶ تصویری از نمونه مینرالیزه G۱۰ و مربوط به رگه کانی‌سازی در عمق تقریبی ۲۰ متر و در زون کائولینیتی-لیمونیتی است. در این تصویر کانی گالن در مرکز و کوولین به صورت حاشیه‌ای در اطراف آن مشاهده می‌شود. نفوذ محلول مس‌دار و جایگذاری کانه‌های مس‌دار منجر به این پدیده جانشینی و خارج شدن سرب از محیط و در نهایت تشکیل کانی کوولین شده است.



شکل ۳-۶- تصویری از مقطع G۱۰ (بزرگ‌نمایی ۲۰)  
a: کانی گالن، b: کانی کوولین

شکل ۳-۷ تصویری از نمونه مینرالیزه G15 است. این نمونه مربوط به رگه کانی‌سازی در عمق تقریبی ۱۰۱ متر، در زون کائولینیتی است. در این تصویر کانی‌سازی محدود اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت به همراه کانی‌سازی بورنیت دیده می‌شود.



شکل ۳-۷- تصویری از مقطع G15 (بزرگ‌نمایی ۲۰)

a: کانی بورنیت، b: کانی‌سازی محدود اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت، c: کانی کالکوپیریت

### ۳-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور تعیین کمی تیپ کانی‌شناسی-ژئوشیمیایی کانسار گندی و مقایسه آن با مطالعات انجام شده قبلی بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی نمونه‌های منطقه انجام شد. بدین منظور از مغزه‌های حفاری‌های انجام شده گندی بازدید به عمل آمد. حفاری‌ها توسط شرکت توسعه علوم زمین و با مشارکت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در طی سالهای ۱۳۸۰ تا پایان سال ۱۳۸۲ انجام شده است. بخش عمده مغزه‌های حفاری در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی استان خراسان رضوی در شهرستان مشهد نگهداری می‌شوند. شایان ذکر است پیشتر با بررسی مطالعات صورت گرفته شرکت توسعه علوم زمین، تا حدودی از مختصات و موقعیت کانی‌سازی اطلاعات اولیه‌ای



در دست بود. در ادامه از زون‌های کانی‌سازی مغزه‌های حفاری نمونه‌برداری سیستماتیک صورت گرفت.

در مرحله بعد نمونه‌های مربوط به زون‌های کانی‌سازی در ابعاد ۱ تا ۲ میلی‌متر و کوچکتر از آن خرد شدند. نمونه‌های خرد شده با استفاده از میکروسکوپ دو چشمی<sup>۱</sup> بررسی شدند و ابعاد دانه‌های خالص کانی‌های پیریت، گالن و اسفالریت تعیین گردید. اندازه‌های ۰/۳ تا ۰/۴ میلی‌متر ابعاد مناسبی برای جدایش بهینه دانه‌های خالص کانی‌های مورد مطالعه بود [Palero-F., Izard, 2005].

پس از خردایش مجدد دانه‌ها در ابعاد ۰/۳ تا ۰/۴ میلی‌متر، با استفاده از اختلاف دانسیته، کانی‌های پیریت، گالن و اسفالریت از گانگ در بر گیرنده آنها تا حد زیادی جدا گردیدند. جدایش نهایی در زیر میکروسکوپ، به صورت دستی و با دقت بالا انجام شد و از هر کانی در حدود ۱۰ گرم با درجه خلوص بالا جمع‌آوری گردید.

نمونه‌های آماده شده و مقاطع صیقلی از زون‌های کانی‌سازی به کشور روسیه و آزمایشگاه CMA در مسکو فرستاده شد. با استفاده از روش تجزیه X-Ray (فلورسانس اشعه ایکس) به شیوه EDAX در آزمایشگاه CMA مسکو عناصر ناخالص کانی‌های اصلی اسفالریت، پیریت، گالن (با ابعاد ۱۰۰ میکرونی) در نمونه‌های فوق تجزیه شد.

در شکل ۳-۱۰ بخشی از نتایج آنالیزهای انجام شده دیده می‌شود. این شکل آنالیز مربوط به نقطه A در مقطع S1 (اشکال ۳-۸ و ۳-۹) را نشان می‌دهد. این نقطه به طور عمده واجد کانی پیریت است. شکل ۳-۱۱ نتایج آنالیزهای مربوط به الف) ذرات اسفالریت جدا شده و ب) ذرات گالن جدا شده

<sup>۱</sup> Binocular Microscope

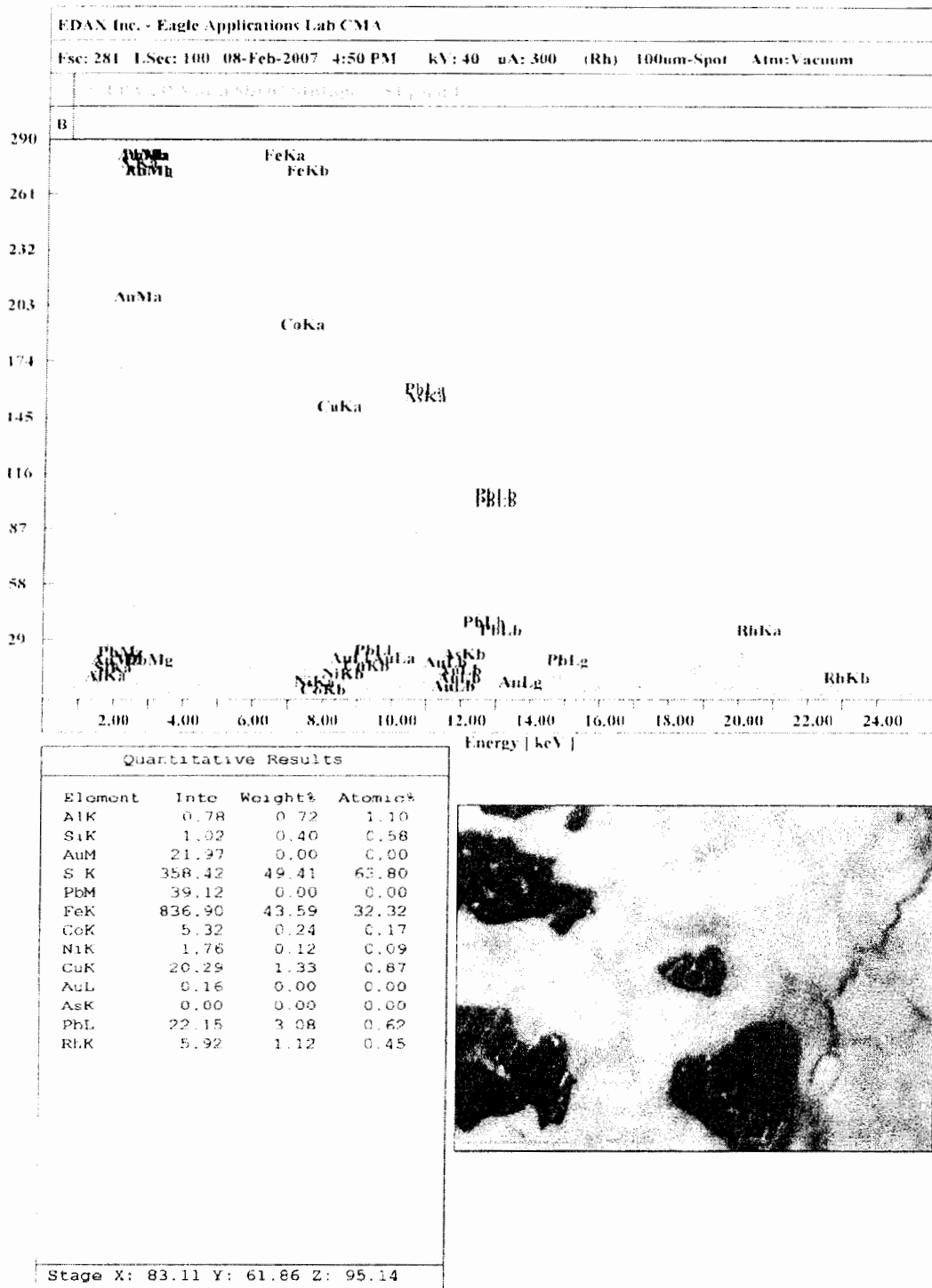
از نمونه‌های بدست‌آمده از مغزه‌های حفاری منطقه را نشان می‌دهد. بررسی‌ها در شرایط طیف‌های "EDS" انجام شد و سپس تمرکزهای موجود محاسبه و تا سطح ۱۰۰٪ نرمالایز گردیدند. این آنالیزها برای نقاط با ابعاد ۱۰۰ میکرونی انجام شده است.



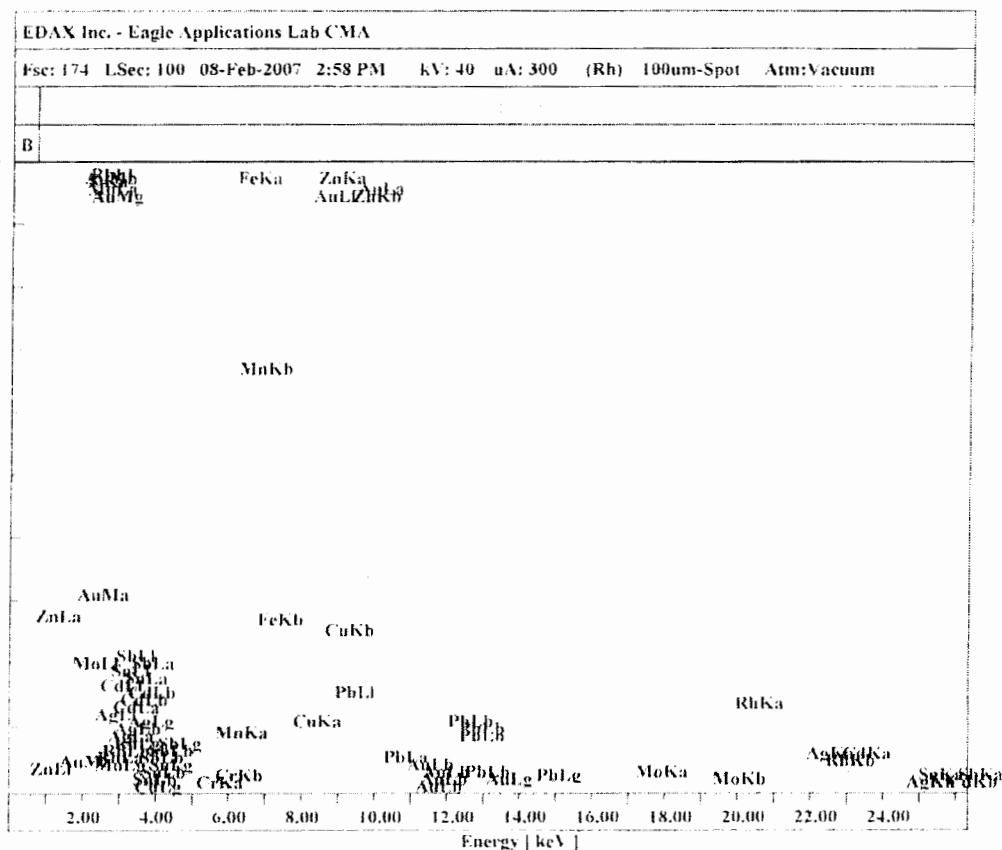
Sample: S1  
Depth of mineralization (m): 13-29  
The main minerals: Chalcopyrite, Pyrite, Galene  
Please determine composition of point A and B  
1-Galene: Sb, Mn, Au, As, Zn  
2-Pyrite: As, Co, Zn, Ni, Ag, Pb, Cu, Au  
3-Sphalerite: Cu, Pb, Cd, Sb, Mn, Co, Sn, Ga, Ag, Au

شکل ۳-۹- تصویری از مقطع S1، کانی‌سازی طلا به صورت ریزدانه در سطح کانی‌های کالکوپیریت  
a: دانه طلا در سطح کانی کالکوپیریت، b: کانی کالکوپیریت، c: کانی اسفالریت، d: کانی پیریت

شکل ۳-۸- تصویر و توضیحات ذیل یکی از مقاطع فرستاده شده برای آنالیز



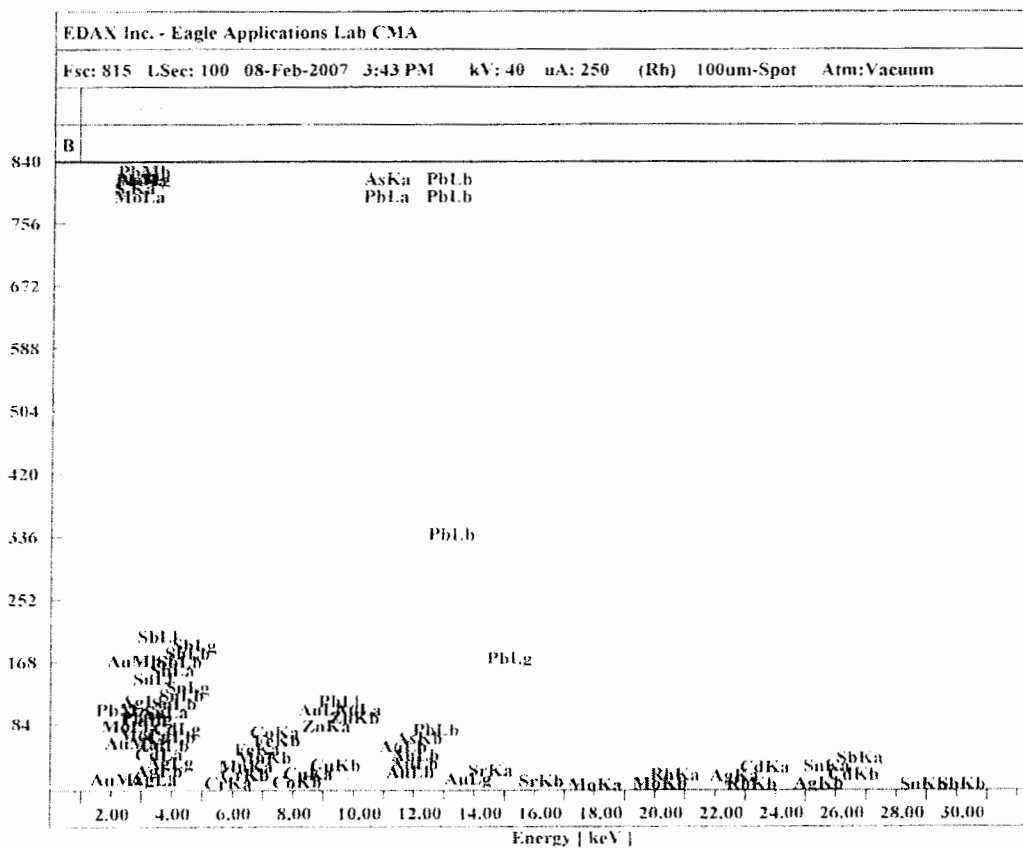
شکل ۳-۱۰- آنالیز مربوط به نقطه A (کانی پیریت) در مقطع SI



Elem	Net	Wt%	At%	I-Error%	BG	Wt-Error
ZnL	4.030	X.XX	X.XX	5.10	0.100	X.XX
AuM	6.480	X.XX	X.XX	4.00	0.120	X.XX
MoL	31.460	X.XX	X.XX	1.79	0.110	X.XX
S K	150.032	29.108	46.59	0.82	0.120	0.52
RhL	0.460	X.XX	X.XX	18.19	0.120	X.XX
AgL	0.000	X.XX	X.XX	0.00	0.130	X.XX
CdL	0.371	X.XX	X.XX	21.42	0.130	X.XX
SnL	0.000	X.XX	X.XX	0.00	0.130	X.XX
SbL	0.110	X.XX	X.XX	56.77	0.140	X.XX
CrK	0.500	0.030	0.03	17.89	0.150	0.01
MnK	2.060	0.095	0.09	7.49	0.160	0.01
FeK	34.810	1.297	1.19	1.71	0.330	0.03
CuK	2.850	0.113	0.09	6.63	0.360	0.01
ZnK	1454.778	64.308	50.49	0.26	0.180	1.04
AuL	15.780	3.644	0.95	2.55	0.190	0.11
PbL	1.650	0.392	0.10	8.64	0.190	0.03
MoK	1.180	0.079	0.04	12.28	0.460	0.01
RhK	4.930	X.XX	X.XX	4.94	0.500	X.XX
AgK	0.520	0.249	0.12	19.61	0.260	0.05
CdK	1.090	0.685	0.31	11.71	0.270	0.08

(الف)

شکل ۳-۱۱- نتایج آنالیزهای مربوط به الف) ذرات اسفالریت جدا شده و ب) ذرات گالن جدا شده از نمونه‌های بدست‌آمده از مغزه‌های حفاری



Oxide:	Net	Wt%	At%	I-Error%	BC	Wt-Error
Au2O3	7.570	X.XX	X.XX	3.75	0.240	X.XX
Mo2O3	237.475	X.XX	X.XX	0.65	0.220	X.XX
SO3	0.000	0.000	0.00	0.00	0.240	0.00
PbO2	0.000	X.XX	X.XX	0.00	0.240	X.XX
AgO	0.206	X.XX	X.XX	46.69	0.360	X.XX
CdO	0.600	X.XX	X.XX	17.64	0.260	X.XX
SnO2	0.077	X.XX	X.XX	75.57	0.130	X.XX
Sb2O3	0.280	X.XX	X.XX	26.73	0.140	X.XX
Cr2O3	0.000	0.000	0.00	0.00	0.300	0.00
MnO	0.520	0.105	0.33	20.71	0.320	0.02
Fe2O3	0.590	0.109	0.15	18.80	0.320	0.02
CoO	1.440	0.207	0.61	10.02	0.320	0.02
CuO	0.330	X.XX	X.XX	53.44	1.390	X.XX
ZnO	10.092	1.035	2.80	3.65	1.750	0.04
Au2O3	0.000	0.000	0.00	0.00	2.090	0.00
As2O3	0.000	0.000	0.00	0.00	2.280	0.00
PbO2	277.500	92.663	85.20	0.61	2.280	1.59
SrO	0.810	0.168	0.36	19.79	0.880	0.03
Mo2O3	0.000	0.000	0.00	0.00	0.460	0.00
RhO	4.790	5.712	10.56	4.80	0.250	0.29

(ب)

## ۳-۴- روش بیزین

در این روش از توزیع مقادیر عناصر ناخالص در کانی‌ها به منظور تعیین تیپ کانی‌شناسی -

ژئوشیمیایی (MGT) آنها استفاده می‌شود. بدین منظور، به حداقل سه پارامتر نیاز است:

الف) یک بانک اطلاعاتی الکترونیکی از عناصر ناخالص کانی‌های ذخایر طلا دار در تیپ‌های

متنوع MGT آنها

ب) داده‌هایی از تجزیه عناصر ناخالص کانی‌های مربوط به اندیس کانی‌سازی شده طلا دار

مورد مطالعه

پ) انتخاب یک روش ریاضی برای طبقه‌بندی داده‌ها و تشخیص هدف

به منظور درک پیچیدگی و تفسیر داده‌های مدل شده، تهیه یک نرم‌افزار بر اساس سه پارامتر

فوق ضروری به نظر می‌رسد تا بتواند ما را به اهداف عمده ذیل سوق دهد:

(۱) مدیریت بانک اطلاعاتی عناصر ناخالص و اطلاعات ژئوشیمیایی نواحی آنومالی

(۲) درک ارتباط ریاضی بین داده‌های مفروض به منظور تخمین کیفی و کمی اندیس مجهول

از نظر تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی

با تطبیق پردازش آماری با تفسیر هیستوگرام‌های مربوط به تعیین تیپ کانی‌سازی می‌توان

آگاهی بخش‌ترین گروه از عناصر را برگزید که توسط ویژگی‌های توزیع منحصر به فردشان در

تیپ‌های متنوع کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی آشکار می‌شوند. جدول ۳-۱ مجموعه عناصر ناخالصی

هستند که بهترین و کامل‌ترین اطلاعات توصیفی را می‌دهند، این عناصر مربوط به نمونه‌های انتخاب

شده از تک‌کانی‌ها می‌باشند [Grigorian, Ziaii, 1999, a].

جدول ۱-۳- مجموعه عناصر ناخالص مربوط به تک‌کانی‌های شاخص ذخایر هیدروترمال طلا

[Grigorian, Ziaii, 1999, a]

تک‌کانی (Monomineral)	عناصر ناخالص کانی‌ها (Trace Elements)
Pyrite	As, Pb, Co, Cu, Zn, Ni, Ag
Arsenopyrite	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, Co, Ni
Sphalerite	Cu, Pb, Cd, Sb, Mn, Co, Sn, Ga, Ag, Au
Galena	Sb, Mn, Au, As, Zn

روش بیزین در حل مشکلات عدیده شناخت MGT قابل استفاده است. روش آماری بیزین داده‌های ژئوشیمیایی را به عنوان مقادیر احتمالات متأخر در تحلیل‌های تفکیک‌کننده و به صورت ابزاری محاسباتی و نموداری در تجزیه و تحلیل روابط بین عناصر ناخالص و نمونه‌های مورد مطالعه استفاده می‌نماید. این روش شامل محاسبه احتمالات متأخر مشروط و تصمیم‌گیری بر اساس مقایسه و تطبیق مقادیر بدست آمده می‌باشد.

اگر تعداد MGT در مجموعه "A" برابر مقدار "m" باشد، آنگاه هر پدیده‌ای با N نشانه یا شاهد توصیف خواهد شد.

فرض کنید:

$$X_1 = X_1^O, X_2 = X_2^O, \dots, X_n = X_n^O \quad (1-3)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$K_N = (X_1^O, X_2^O, \dots, X_N^O) \quad (2-3)$$

احتمال تحقق هر رویداد،  $K_N$ ، با فرمول بیزین تخمین زده خواهد شد:

$$P_i(A_i | K_N) = \frac{P(A_i) \cdot f_i(X_1^O, X_2^O, \dots, X_N^O)}{\sum_{i=1}^m P(A_i) \cdot f_i(X_1^O, X_2^O, \dots, X_N^O)} \quad (3-3)$$

که  $i$  در این روابط طبقه و تیپ خاص کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی است.

مقدار صورت رابطه (۳-۳) در مطابقت است با مقدار بدست آمده از احتمال مرکب در رابطه (۴-۳):

$$P(A_i) \cdot f_i(X_1^O, X_2^O, \dots, X_N^O) = \prod_{i=1}^N P(A_i) \cdot f_i(X_i) \quad (4-3)$$

برنامه الگوریتم‌های روش بیزین در نرم‌افزار ویژوال بیسیک نوشته شده و در کامپیوترهای خانگی قابل استفاده است. این برنامه برای کانی‌های پیریت، ارسنوپیریت، اسفالریت و گالن و دیگر کانی‌های شاخص می‌باشد و از طریق سایت [www.derbeatdesign.com/mgt.aspx](http://www.derbeatdesign.com/mgt.aspx) قابل دریافت و استفاده است. داده‌های مربوط به بانک اطلاعاتی اولیه مبنای برنامه‌ها و فرآیندهای پیچیده‌ای است که در نرم‌افزار استفاده می‌شود. روش بیزین یک روش مؤثر و کاربردی در کسب شناختی کامل از تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی نهشته‌های طلا بر اساس توزیع عناصر ناخالص معرف در تک‌کانی‌های ذخیره است.

بر اساس ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی ذخایر طلای هیدروترمال، توزیع احتمالی عناصر ناخالص کانی‌های پیریت در ۱۷ نوع تیپ ژئوشیمیایی - کانی‌شناسی تنظیم شده است که به شرح زیر است:

- ۱- طلای سولفیدی ۲- کوارتز طلا دار ۳- طلای آنتیمونیت دار ۴- طلای کوارتز دار ۵-
- طلای سولفیدی و پلی‌متال ۶- طلای ماسیوسولفید پلی‌متال ۷- طلای نقره دار ۸- طلای اسکارن
- سولفیدی ۹- طلای پلی‌متال ۱۰- طلای کوارتز سولفیدی ۱۱- طلای آهن دار ۱۲- طلای سولفیدی



کربنات‌دار ۱۳- طلای سولفیدی کوارتزدار ۱۴- طلای لیستونیت‌دار ۱۵- طلای پلی‌متال باریم‌دار ۱۶-

طلای مولیبدن‌دار ۱۷- طلای پلی‌متال کوارتز

همچنین بر اساس ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی این ذخایر، توزیع احتمال عناصر ناخالص

کانی‌های گالن در ۵ نوع تیپ ژئوشیمیایی - کانی‌شناسی محاسبه و تنظیم شده است که به شرح زیر

است:

۱- طلای سولفیددار ۲- کوارتز سولفیددار ۳- طلای نقره‌دار ۴- طلای پلی‌متال ۵- کوارتز

پلی‌متال

توسط جدول ۱-۳ و فرمول احتمال بی‌زین در هر اندیس طلا‌دار مطالعه نشده می‌توان نوع

تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی هر اندیس مجهول و هاله‌های چندشکلی و روش مناسب نمونه‌برداری

از زون‌های کانی‌سازی شده را به دست آورد [ضیایی و گریگوریان، ۱۳۷۹].

برحسب نتایج مقادیر غلظت عناصر ناخالص کانی‌ها و توسط نرم‌افزار ارائه شده براساس مدل

بی‌زین، تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی به شرح ذیل محاسبه شد:

الف) تیپ کوارتز - سولفیدی (Q+S) به میزان ۸۲٪ برای عناصر ناخالص کانی پیریت

(جدول ۲-۳، الف)

ب) تیپ طلای پلی‌متال (Au+Poly) به میزان ۸۲٪ درصد برای مقادیر عناصر ناخالص کانی

گالن (جدول ۲-۳، ب)

ج) تیپ کوارتز - سولفیدی (Q+S) به میزان ۶۷٪ و برای تیپ کوارتز پلی‌متال (Q+Poly)

۳۱٪ بر حسب مقادیر عناصر ناخالص کانی اسفالریت

جدول ۳-۲- احتمال تفکیک تیپ کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی بر حسب عناصر ناخالص کانی‌های الف) پیریت و ب) گالن (بر حسب درصد)

عناصر grAtm	M. G. T	احتمال تفکیک
Sb 1	1) Au+s	6.737588
Mn 1050	2) Q+s	3.546099
Zn 10350	3) Au+Ag	3.546099
As 1	4) Au+poly	82.62411
	5) Q+poly	3.546099

(ب)

عناصر grAtm	M. G. T	احتمال تفکیک
As 1	1) Au+s	5.05618
	2) Q+Au	6.086143
Pb 30800	3) Au+Sb	1.170412
	4) Au+Q	.2340824
Co 2400	5) Au+S+Poly	1.170412
	6) Au+Kl+Poly	1.170412
Cu 13300	7) Au+Ag	.2340824
	8) Au+Skar+S	1.170412
Zn 1	9) Au+Poly	1.053371
	10) Q+S	82.6545
Ni 1200	11) Au+Fe	
	12) Au+Ca+S	
	13) Au+S+Q	
	14) Au+Iis	
	15) Au+Ba+Poly	
	16) Au+Mo	
	17) Au+Q+Play	

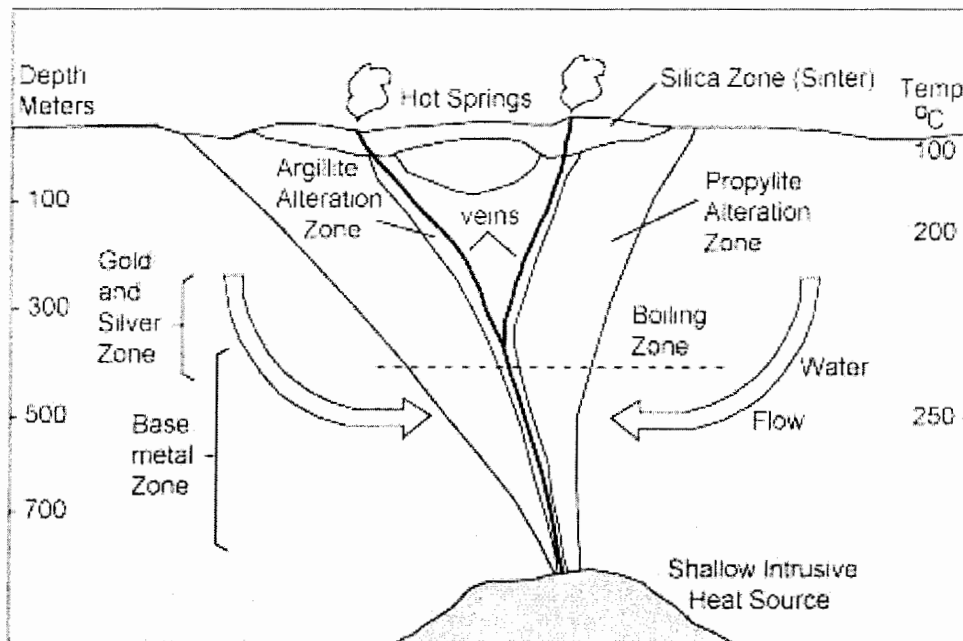
(الف)

### ۳-۵- کانسارهای اپی‌ترمال

در بخشی از طبقه‌بندی قدیمی لیندگرن، کانسارهای گرمابی غیرهمزاد به انواع هیپوترمال، مزوترمال، اپی‌ترمال، تله‌ترمال و زئوترمال تقسیم‌بندی شده‌اند. بر روی زمین، این کانسارها می‌بایست از روی مجموعه کانی‌های همراه و نوع دگرسانی در سنگهای دیواره‌ای، از یکدیگر تشخیص داده شوند [شهاب‌پور، ۸۴].

کانسارهای اپی‌ترمال در شرایط حرارت کم (۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) و فشار متوسط به وجود می‌آیند. مکان مناسب برای تشکیل این کانسارها تقریباً اعماق ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متری است و در اغلب آنها شکل‌های گوناگون رگه‌ای، استوک‌ورک و یا تنوره‌های برشی مشاهده می‌شود.

در شکل ۳-۱۲ عمق و دمای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال دیده می‌شود. در این شکل منطقه‌بندی فلزی کانی‌سازی نیز مشخص شده است. زون ته‌نشست ذخایر طلا و نقره در بخش بالایی زون مربوط به فلزات پایه قرار دارد.



شکل ۳-۱۲- عمق و دمای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال

اگرچه پدیده جان‌شینی در بسیاری از کانسارهای اپی‌ترمال قابل تشخیص است، ولی پر کردن فضای خالی حالت کلی این کانسارهاست. اکثر شکاف‌هایی که ذخایر اپی‌ترمال در آنها ایجاد می‌شوند، به نحوی با سطح زمین در ارتباط هستند.

مطالعه سیالات درگیر در رگه‌های اپی‌ترمال میانگین دمای تشکیل رگه‌ها را ۲۵۰ درجه سانتیگراد و شوری سیالات را معادل ۲ درصد وزنی NaCl نشان داده است. علاوه بر این مقادیر پایین  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\frac{D}{H}$  در بیشتر رگه‌های اپی‌ترمال نشانه غالب بودن آب‌های جوی به عنوان سیال اولیه است [یعقوب‌پور، ۸۳].

در جدول ۳-۳ خصوصیات عمومی کانسارهای اپی‌ترمال آورده شده است.

جدول ۳-۳- خصوصیات عمومی کانسارهای اپی‌ترمال [شهاب‌پور، ۸۴]

عمق و دمای تشکیل	در نزدیکی سطح زمین تا عمق ۱۵۰۰ متری و در دمای ۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد
محل حدوث	در سنگ‌های رسوبی یا آذرین، خصوصاً همراه با سنگ‌های آتشفشانی و یا نفوذی کم‌عمق، معمولاً در سنگ‌های بعد از پرکامبرین که از زمان تشکیل تحت تأثیر فرسایش قرار نگرفته‌اند. معمولاً در امتداد گسل‌های عادی، درزه و غیره تشکیل می‌شوند.
ماهیت توده‌های معدنی	رگه‌های ساده که بعضی از آنها نامنظم بوده، دارای اتاقک‌های جانبی هستند، همچنین در دودکش‌ها و رگه‌های داربستی. به‌ندرت در امتداد سطوح لایه‌بندی تشکیل می‌شوند. در این کانسارها پدیده جان‌شینی بمقدار کم حادث می‌شوند.
کانه‌ها	طلای طبیعی که بعضاً غنی از نقره می‌باشد، نقره طبیعی، مس طبیعی، بیسموت طبیعی، پیریت، مارکاسیت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، سیناپر، استینیت، رآلگار، روبی‌سیلور، آرژنیت، سلنیدها و تلورید
کانی‌های باطله	سیلیس به طور چرت، کالسدونی یا کوارتز متبلور، اغلب آمیست، سربیسیت، کلریت کم‌آهن، اپیدوت، کربنات، فلوریت، باریت، آدولاریا، آلونیت، دیکیت، رودوکروسیت، زئولیت
دگرسانی سنگ‌های دیواره	اغلب وجود ندارد و در صورت حضور شامل: چرتی شدن، کائولینی شدن، پیریتی شدن، دولومیتی شدن و کلریتی شدن
بافت و ساخت	نواربندی قشری بسیار معمول است، کوکاد، رگه‌های حفره‌دار و برشی. اندازه دانه‌ها متغیر است.
ساخت منطقه‌ای	نوع کانسارسازی با تغییرات عمق، تغییر می‌یابد و دارای عمق کم است (کانسارسازی تلسکوپی).
مثال	کانسارهای مس نوع کوبیناری، کانسارهای آنتیمونی موجود در چین و کانسار کمستوک‌لود

## ۳-۵-۱- کانسارهای اپی‌ترمال طلا و نقره

مطالعات انجام‌شده روی کانسارهای اپی‌ترمال نشان داده‌است که کانی‌های نقره و طلا بعد از

سولفیدهای فلزات پایه نهشته می‌شوند و طلا متعلق به مرحله پایانی کانی‌سازی است. همچنین

رگه‌های سطحی تر پهن و غنی از طلا و کوارتز می‌باشند. این ذخایر شامل رگه‌ها، رگچه‌ها و ذرات

افشان طلا‌داری است که از محلول‌های گرمایی با دمای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد در بخش‌های

نسبتاً کم‌عمق پوسته زمین نهشته شده‌است (شکل ۳-۱۳).

این کانسارها در اثر جریان یافتن سطحی آب‌های جوی در درون گدازه‌ها حاصل می‌شوند.

لیکن در بعضی مناطق سیالات کانه‌ساز اساساً ماگمایی می‌باشند و درجه مخلوط‌شدگی آب‌های جوی

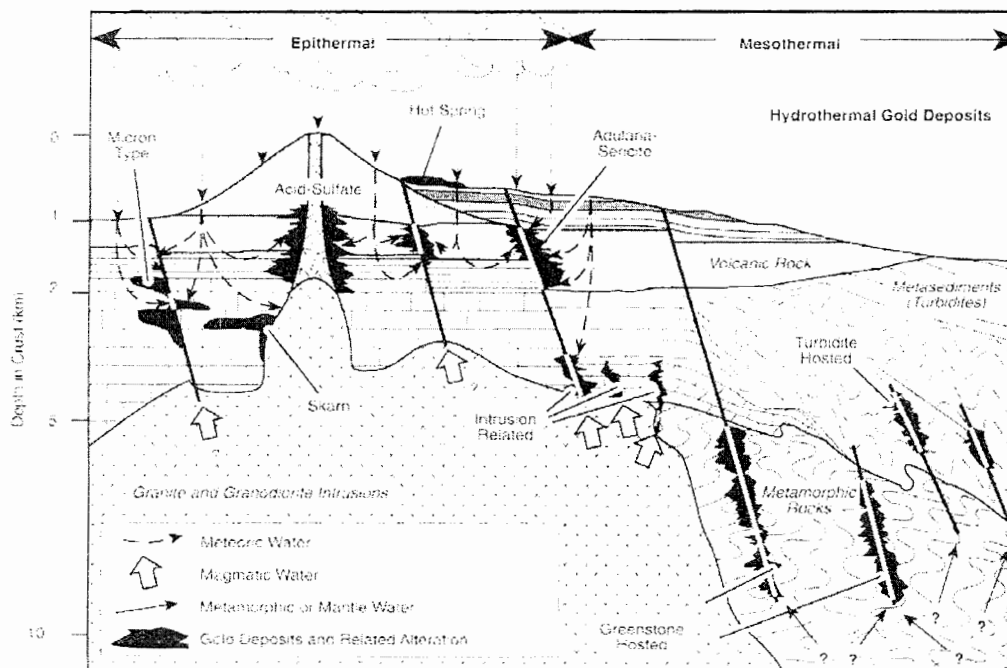
و تأثیرات آن متفاوت است.

سیلیتو<sup>۱</sup> (۱۹۹۳) کانسارهای اپی‌ترمال فلزات قیمتی را به دو گروه تقسیم نمود:

(۱) نوع سولفیداسیون بالا<sup>۲</sup> (HS) یا اسید- سولفات

(۲) نوع سولفیداسیون پایین<sup>۳</sup> (LS) یا آدولاریا- سریسیت.

این تقسیم‌بندی بر اساس نوع دگرسانی و کانی‌شناسی می‌باشد.



شکل ۳-۱۳- تصویر کلی محیط‌های زمین‌شناختی که در آنها کانسارهای گرمابی طلا تشکیل می‌گردد، که در آن دو گروه کانسارهای اپی‌ترمال اسید- سولفات و آدولاریا- سریسیت در سمت چپ و کانسارهای عمیق‌تر مزوترمال در سمت راست دیده می‌شود. پیکانها به منابع آبی اشاره می‌کنند که تصور می‌رود این کانسارها را تشکیل داده‌باشند [کسلر،

۱۳۸۰].

از نقطه‌نظر شیمیایی، واکنش‌های سولفیدی شدن در سنگ دیواره می‌تواند باعث نهشت

کانسارهای اپی‌ترمال گردد. با این وجود، با توجه به اینکه طلا اساساً در رگه‌ها و برش‌ها وجود دارد،

<sup>1</sup> Richard H. Sillitoe

<sup>2</sup> High Sulfidation

<sup>3</sup> Low Sulfidation

احتمالاً واکنش‌های سولفیدی شدن در نهشت طلا اهمیتی ندارد.

همچنین مطالعات جدید نشان داده که کانسارهای با مشخصات بافتی و مجموعه‌های کانیایی محیط‌های اپی‌ترمال، دارای کانی‌ها و سیال‌های درگیری هستند که حداکثر دمای  $3000^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهند؛ اگرچه اغلب کانسارها دارای دامنه دمایی از  $1600^{\circ}\text{C}$  تا  $2700^{\circ}\text{C}$  می‌باشند. از آنجا که شواهد فراوانی مبنی بر وقوع جوشش در محیط‌های اپی‌ترمال وجود دارد، این دامنه دمایی منطبق با عمق ۵۰ تا ۷۰۰ متر در زیر سطح ایستابی قدیمی است. البته کانسارهایی نیز شناخته شده‌اند که در عمق‌های بیشتر از ۱۰۰۰ متر نیز تشکیل شده‌اند [Shamanian, 2004].

ذخایر اپی‌ترمال فلزات قیمتی و فلزات پایه متنوع بوده و این تنوع منعکس‌کننده تنوع در محیط تکتونیکی، شرایط ساختمانی فعالیت‌های آذرین، موقعیت‌های محلی و بسیاری از فرآیندهای درگیر در تشکیل آنهاست. بیشتر ذخایر اپی‌ترمال در افق‌های کم‌عمق پوسته تشکیل می‌شوند، جایی که تغییرات ناگهانی در شرایط فیزیکی و شیمیایی منجر به ته‌نشست طلا و نقره و آلتراسیون هیدروترمال وابسته به آن می‌گردد. عوامل اساسی که بر شرایط متداول در محیط‌های اپی‌ترمال تأثیر می‌گذارند و نهایتاً تعیین‌کننده محل و خصوصیات کانی‌سازی هستند، عبارتند از: عوامل زمین‌شناسی ساختمانی، چینه‌شناسی، فعالیت‌های نفوذی و نوع سنگ که همگی بر استیل و درجه نفوذپذیری و واکنش سنگ میزبان تأثیر می‌گذارند، شیمی سیالات کانی‌ساز که تعیین‌کننده ظرفیت حمل فلز یا ضخامت رگه و مجموعه آلتراسیونی همراه می‌باشد. توسعه نفوذپذیری همزمان با فعالیت هیدروترمال و یا تغییر گرا دیان‌های هیدرولیکی در خلال همین فعالیت‌ها نیز از عوامل مهم است [حسنی‌پاک، ۱۳۸۱].

لازم به ذکر است، اصطلاحات سولفیدی شدن بالا و پایین در طبقه‌بندی سیلیتو بر تمرکزهای پایین و بالای کانی‌های سولفیدی دلالت نمی‌کند، بلکه بیانگر پتانسیل اکسیداسیون و فوگاسیته گوگرد در سیالی است که سولفیدها از آن تشکیل شده‌اند. بنابراین چنین تظاهرهای کانی‌شناختی می‌تواند منعکس‌کننده ماهیت سیال کانی‌ساز، منشاء و درجه واکنش سیال-سنگ باشد. مطالعات اخیر حضور کانسارهایی با ماهیت حد واسط در بین دو عضو انتهایی سولفیدی شدن پایین و سولفیدی شدن بالا را نشان داده است. مجموعه سولفیدی در دو عضو انتهایی سولفیدی شدن پایین شامل پیریت-پروتیت-آرسنوپیریت و اسفالریت غنی از آن است. بر عکس کانسارهای سولفیدی شدن بالا با حضور انارژیت-لوزونیت-کولیت و پیریت مشخص می‌شود. هدنکوئیست و همکاران (۲۰۰۰) کانسارهای سولفیدی شدن پایین را به دو گروه شامل کانسارهای سولفیدی شدن پایین (عضو انتهایی) و کانسارهای سولفیدی شدن حد واسط تقسیم کرده‌اند. کانسارهای نوع اول دارای مجموعه سولفیدی تنانتیت-تتراندیریت-کالکوپیریت و اسفالریت فقیر از آهن است [Shamanian, 2004].

### ۳-۵-۲- رده‌بندی نوین تیپ‌های کانسارهای اپی‌ترمال

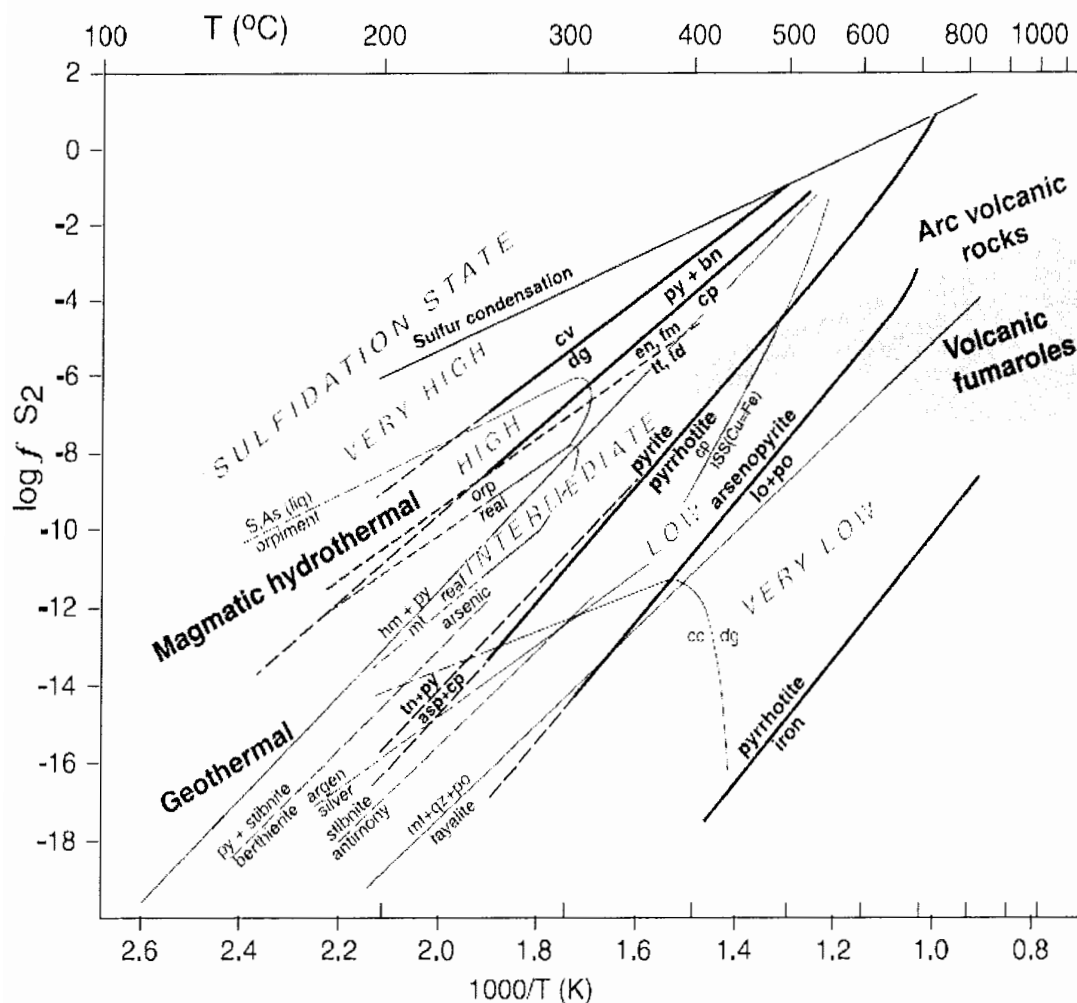
مطالعات اخیر بر روی تغییرات گونه‌های کانساری، موقعیت تکتونیکی و مینرالوژی موجب تشخیص سه محیط برای تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال شده است. هدنکوئیست (۲۰۰۱) این محیط‌ها را با اصطلاحات سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون حد واسط و سولفیداسیون پایین معرفی نمود [Sillitoe, Hedenquist, 2003].

- **کانسارهای سولفیداسیون بالا:** این کانسارها واجد مجموعه‌ای غنی از سولفید با وضعیت سولفیداسیون بالا بوده و به طور تیپیک واجد پیریت-انارژیت، پیریت-لوزونیت، پیریت-فاماتینیت و پیریت-کولیت می‌باشد (شکل ۳-۱۴). میزان این کانسارها سنگ سیلیسی اسیدشویی شده با هاله‌ای از کانی‌های آرژیلیکی پیشرفته می‌باشد.

- **کانسارهای سولفیداسیون پایین:** این کانسارها واجد زوجهای سولفیداسیون پایین پیریت-ارسنوپیریت (ارسنوپیریت فقط در مقادیر کم حضور دارد). در داخل رگه‌های نواری کوارتز، کلسدونی و آدولاریا به اضافه مقادیر فرعی کلسیت می‌باشد. در این تیپ مقادیر فرعی از مس (بطور تیپیک 100-200 ppm <) بصورت کالکوپیریت یا تتراهدریت-تنانتیت حضور دارد (شکل ۳-۱۴). پیریت فقط در تعدادی از کانسارهای سولفیداسیون پایین، آن‌هم در مقادیر کم، دیده شده‌است.

- **کانسارهای سولفیداسیون حد واسط:** همان‌طور که از نام آن پیداست، وضعیت سولفیداسیون این‌گونه کانسارها مابین کانسارهای سولفیداسیون بالا و پایین است. در این سیستم بطور تیپیک، کانی‌های کالکوپیریت، تتراهدریت و تنانتیت پایدار بوده و اسفالریت‌های آن فقیر از آهن است. این تیپ فاقد مقادیر قابل توجهی ارسنوپیریت و پیروتیت می‌باشد (شکل ۳-۱۴). در این تقسیم‌بندی، مشابه طرح تقسیم‌بندی آغازین، مینا بر کانی‌شناسی مجموعه سولفیدی استوار است. اگرچه از مجموعه سولفیدی هیپوزن، به وضعیت سولفیداسیون تعبیر می‌شود.





شکل ۳-۱۴- نمودار  $fS_2$ - $T$  که تنوع مجموعه کانیایی سولفیدی را در کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد. این مجموعه کانیایی، وضعیت سولفیداسیون از خیلی کم و کم، حد واسط تا بالا و خیلی بالا را منعکس می‌کند. در این شکل محدوده‌های ترکیبی سنگ‌های کمان ولکانیکی، فومرال‌های ولکانیکی حرارت بالا، سیالات ماگمایی- هیدروترمال و سیالات ژئوترمال نشان داده شده است [Sillitoe, Hedenquist, 2003]

### ۳-۶- مدل کانساری سیستم کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفیداسیون حد واسط منطقه گندی

#### ۳-۶-۱- معیارهای شناخت<sup>۱</sup> ISED

گمل<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) خصوصیات کلیدی و راهنمای تمایز سیستم‌های ISED را به شرح زیر ذکر

<sup>۱</sup> Intermediate Sulfidation Epithermal Deposit

<sup>۲</sup> Gemell

کرد [Dawnes, 2007]:

- ۱- حضور مجموعه کانیایی پیریت-اسفالریت-گالن-تتراهدریت-تنانتیت-کالکوپیریت
  - ۲- این‌گونه نهشته‌ها غنی از نقره و فلزات پایه هستند و نسبت‌های بالایی از نقره: طلا (۱۰ تا ۱۵۰۰) در آنها دیده می‌شود.
  - ۳- کانی‌سازی اقتصادی دارای گسترش و تغییرات وسیعی در جهت عمق است (۳۰۰ تا ۸۰۰ متر).
  - ۴- کانی‌های سولفیدی در کانسارهای سولفیداسیون حد واسط (ISED) فراوانی بیشتری نسبت به کانسارهای سولفیداسیون پایین دارند.
  - ۵- وجود بافت نواری-قشری و کوارتز دندانه‌ای
  - ۶- حضور مجموعه فلزات طلا-نقره، سرب، روی و مس به همراه مقادیر کمی از فلزات مولیبدن، آرسنیک و آنتیموان
  - ۷- گسترش مجموعه آلتراسیون واجد سریسیت در مجاورت بلافضل کانسار که آدولاریا در آنها غیر معمول است.
- کانسارهای کومستکلود<sup>۱</sup> و کرید<sup>۲</sup> در آمریکا و پاچوکا-ریل‌دل‌مونت<sup>۳</sup> در مکزیک مثال‌هایی از سیستم‌های ISED هستند. همان‌طور که پیشتر نیز ذکر گردید، سیستم‌های ISED بسیاری از خصوصیات مجموعه‌های سولفیدی سیستم‌های سولفیداسیون بالا، به استثنای مجموعه‌های انارژیت‌دار

<sup>۱</sup> Comstock Lode

<sup>۲</sup> Creede

<sup>۳</sup> Pachuca – Real del Monte

و همچنین نسبت بالای طلا: نقره، را دارا هستند.

سیلیتو و هدنکوئیست<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) پیشنهاد نمودند که امکان وجود حالت گذار بین سیستم‌های سولفیداسیون حد واسط و پایین کم است که دلیل این امر اختلاف زیاد بین محیط‌های تکتونیکی ته‌نشست آنهاست؛ اغلب سیستم‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین در محیط‌های ریفتی مرتبط با زون فرورانش اقیانوسی لیتوسفر رخ می‌دهند (محیط‌های درون، نزدیک و پشت کمانی). مشخصه دیگر سیستم‌های ISED گسترش در جهت عمق نهشته در این سیستم‌هاست.

سیستم‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین در بر دارنده مجموعه آلتراسیون‌های شامل آدولاریا، اسمکتیت و ایلیت‌دار هستند. سیلیتو و هدنکوئیست (۲۰۰۳) این نکته را مورد توجه قرار دادند که حضور سریسیت (مسکوویت ریزدانه) به میزانی بیشتر از آدولاریا از مشخصه‌های سیستم‌های ISED است. آنها همچنین پیشنهاد کردند که مجموعه نهایی نشان‌دهنده دماهای بالاتر و پدیده جوشش، احتمالاً از نتایج تشکیل در اعماق بیشتر سیستم‌های ISED در مقایسه با سیستم‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین است. فراوانی آدولاریا، ساخت و بافت تیغه‌ای در کربنات‌ها و نوارهای کلوفریم از جمله شواهد نشان‌دهنده پدیده جوشش در سیستم‌های اپی‌ترمال هستند [Sillitoe, Hedenquist, 2003].

کوک<sup>۲</sup> و سیمونز<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) پیشنهاد کردند که در سیالات اپی‌ترمال با درجه اسیدی نزدیک به خنثی، طلا در کمپلکس‌های سولفیدی  $Au(HS)_2^-$  انتقال می‌یابد و مکانیسم‌های مؤثر در ته‌نشست

<sup>۱</sup> J. W. Hedenquist

<sup>۲</sup> D. R. Cooke

<sup>۳</sup> S. F. Simmons

طلا، فرآیندهایی همچون جوشش و واکنش‌های سولفیدی یا اختلاط سیال هستند. سیالات احیایی فلزات پایه را به صورت کمپلکس‌های کلریدی حمل می‌کنند. مکانیسم‌های مؤثر در ته‌نشست فلزات پایه از کمپلکس‌های کلریدی عبارتند از: سرد شدن، افزایش pH، افزایش غلظت گوگرد،  $\sum S$ ، و رقیق شدن سیال در نتیجه اختلاط. بنابراین عمومی‌ترین مکانیسمی که می‌تواند منجر به ته‌نشست همزمان طلا و سولفیدهای فلزات پایه، در یک مجموعه کانیایی مشترک گردد، اختلاط سیال کانه‌ساز است. این امر به خوبی در مورد کانسار گندی مطابقت داشته و پیشنهاد می‌گردد.

بر اساس مطالعات هیبا<sup>۱</sup> (۱۹۹۷) نشان داده شده است که اختلاط بین چرخه سیالات هیدروترمال عمیق و آب‌های جوی زیرسطحی خنثی، مکانیسم غالب در تشکیل کانسار سولفیداسیون حد واسط کرید، در بخش‌های مرکزی و جنوبی کانسار، شناخته شده است. او همچنین نشان داد که یافتن شواهدی از اختلاط سیالات مشکل است مگر در جایی که تغییرات نهایی در ترکیب سیالات با منشاءهای گوناگون آنها وجود داشته باشد [Dawnes, 2007].

### ۳-۶-۲- خصوصیات سیستم کانی‌سازی ISED در منطقه گندی

خصوصیات مهم سیستم کانی‌سازی ISED در منطقه گندی عبارتست از:

- کانی‌سازی در سه مرحله اصلی به وقوع پیوسته است. مرحله اول، از نظر کانی‌سازی فلزات گرانبها دارای اهمیت اقتصادی است و شامل کانی‌سازی فلزات پایه همراه با طلای آزاد در برش‌های گرمابی است. مرحله دوم از چهار مرحله فرعی تشکیل شده و به طور عمده شامل کانی‌سازی فلزات پایه است. طلای آزاد معمولاً درون پیریت‌های هوازده در مرحله اول کانی‌سازی و یا به صورت ادخال

<sup>۱</sup> D. O. Hayba

درون گالن و کالکوپیریت در مرحله دوم دیده می‌شود. مرحله سوم و پایانی با فراوانی کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود [Shamanian, 2004].

- در بر داشتن مجموعه کانی‌های حاوی فلزات Ag-Au-Pb-Zn و همچنین مقادیر کمتری از

فلزات [Shamanian, 2004] As-Sb-Cu

- بافت و ساخت قشری- نواری و دندانه‌ای شکل

- حفره‌های حاوی کوارتز میکروکریستالین

- مجموعه کانیایی شامل: پیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدریت- تنانتیت، کالکوپیریت، به

همراه مقادیر کمتری از کانی‌های ارسنوپیریت و بورنیت

- وجود حالت منطقه‌بندی در کانی‌سازی مجموعه کانی‌ها و آلتراسیون در سیستم ISED

- دمای مشخص تشکیل در بین سایر سیستم‌های اپی‌ترمال

- نسبت بالای نقره: طلا (Ag:Au)

خصوصیات دیگر ISED در منطقه شامل:

- میانگین عیار طلا برای رگه‌های بخش خاوری ۵/۸۰ گرم در تن و برای رگه‌های بخش

باختری ۲۱/۲۳ گرم در تن است. میانگین عیار طلای رگه‌های دو بخش ۱۰/۰۲ گرم در تن

می‌باشد [بدخشان، کی‌نژاد، ۱۳۸۲].

- هم‌خوانی سیالات کانه‌ساز ISED با آب‌های جوی و منشاء ماگمایی گوگرد و کربن آن‌ها

- شرایط نسبتاً احیایی و pH خنثی و شوری متوسط سیال [Shamanian, 2004]

فصل چهارم

**استخراج مشخصه‌های اکتشافی ذخایر طلای  
اپی‌ترمال منطقه معلمان**

## ۴-۱- مقدمه

داده‌های ژئوفیزیکی، نقشه مناطق آلتراسیون به دست آمده از دورسنجی (RS)، نقشه واحدهای زمین‌شناسی و ساختاری منطقه معلمان لایه‌های اطلاعاتی هستند که در این تحقیق با هدف تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلای این منطقه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور جدا ساختن یک سری ویژگی‌های سودمند دال بر احتمال بالای کانی‌سازی ISED در ناحیه معلمان و در نهایت تهیه نقشه پتانسیل‌سنجی ISED در مقیاس ناحیه‌ای، لایه‌های اطلاعاتی فوق پردازش و بررسی گردیدند. تعدادی از این لایه‌ها رقومی بودند. ولی بخش عمده آنها در ابتدا رقومی شده و سپس مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت توزیع نهشته‌ها و اندیس‌های معدنی طلای شناخته شده در منطقه نیز رقومی گشته و به سایر لایه‌های اطلاعاتی اضافه گردید.

در این فصل چگونگی تهیه، آماده‌سازی و پردازش هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده بیان می‌گردد. در ادامه روش‌هایی که به کمک آنها می‌توان ویژگی‌ها و شواهد زمین‌شناختی لازم را از مجموعه داده‌های موجود کسب کرد، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

## ۴-۲- نقشه مناطق آلتراسیون بدست آمده از دورسنجی

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمابی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود، آلتراسیون گویند. آلتراسیون ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. در دو مرحله از اکتشاف می‌توان از آلتراسیون‌ها کمک گرفت: اول برای پیدا کردن محل مناسب برای وجود یک ذخیره معدنی قبل از شروع عملیات اکتشافی صحرایی و دوم در مرحله بازدیدهای صحرایی برای تخمین نوع کانی‌سازی، گسترش، شدت و محل اصلی کانی‌سازی.

برای یافتن آلتراسیون‌ها در یک منطقه وسیع معمولاً نمی‌توان از نقشه‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ یا ۱:۲۵۰,۰۰۰ استفاده نمود، زیرا در اکثر آنها آلتراسیون‌ها تفکیک نشده‌اند و یا از دقت لازم برای تفکیک برخوردار نیستند. در مرحله اول بهترین روش برای پیدا کردن آلتراسیون‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از آلتراسیون سنگ‌ها، میزان انرژی منعکس شده و یا جذب شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. با توجه به اینکه این انرژی‌ها در مورد پدیده‌های مختلف برای یک طول موج و متقابلاً برای یک پدیده در طول موج‌های گوناگون متفاوت است، با پردازش داده‌های ماهواره‌ای امکان شناسایی و بررسی حضور و یا عدم حضور کانی‌های شاخص برخی از آلتراسیون‌ها نیز میسر می‌گردد. پس از پیدا کردن آلتراسیون‌ها در یک منطقه و در توده‌های خاص و تهیه نقشه توزیع آنها یکی از مهمترین لایه‌های اطلاعاتی جهت تخمین رخداد کانی‌سازی در منطقه بدست خواهد آمد.

نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که در سنگ‌ها ایجاد می‌شود، به محلول گرمابی و ترکیب کانی‌شناسی سنگ بستگی دارد. ترکیب شیمیایی محلول گرمابی یا ماگمایی، دما، عمق،



شرایط Eh و pH و ... نقش مهمی در ایجاد انواع زون‌های آلتراسیون دارند. از طرفی شدت و گسترش آلتراسیون حکایت از گسترش کانی‌سازی در منطقه دارد. گسترش آلتراسیون به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمابی یا ماگمایی، میزان ساختمان‌های اولیه و ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد. در نتیجه وسعت آلتراسیون‌ها رابطه مستقیمی با وسعت کانی‌سازی خواهد داشت [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

دگرسانی گرمابی در منطقه گندی رخ داده است که در نزدیکی رگه‌ها شدید و شامل کوارتز، ایلیت و کلسیت است. به طوری که توف‌های ریولیتی و ماسه‌سنگ‌های توفی شدیداً سیلیسی شده که هاله‌های آن عرضی تا ۲ متر دارد. ایلیت نیز جانشین فلدسپات‌ها و زمینه ریزدانه سنگ شده است. در معدن متروکه گندی لایه‌های توفی در اطراف رگه‌ها به کائولینیت دگرسان شده‌اند که عرض هاله‌های آن نیز به ۲ متر می‌رسد. به طور کلی دگرسانی در منطقه از نظر شدت متغیر است و به صورت رخنمون‌های پراکنده به وسعت حدود ۴ کیلومتر مربع دیده می‌شود [Shamanian, 2004].

در کانسارهای اپی‌ترمال وجود آلتراسیون‌های وسیع آرژیلیک (کائولینیت) و یا آلونیت همراه با در نظر گرفتن پارامترهای دیگر اکتشافی راهنمای خوبی برای کشف ذخایر طلا است [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

#### ۴-۲-۱- سنجش از دور (RS)

اولین ماهواره مخصوص مطالعات منابع طبیعی و زمین‌شناسی را سازمان ناسا در سال ۱۹۷۲ پرتاب کرد و مورد بهره‌برداری قرار داد. این ماهواره لندست<sup>۱</sup> نام‌گذاری شد. در این ماهواره

<sup>۱</sup> Landsat

دستگاه‌هایی به نام Multi-Spectral-Scanner وجود داشت که به همین جهت به آن MSS گفته می‌شد. اطلاعات در چهار باند و با قدرت تفکیک مکانی ۸۰ متر بود. نسل‌های بعدی لندست دارای باندهای اطلاعاتی بیشتر و دقیق‌تر بوده و به TM<sup>۱</sup> منسوب شدند. در سال ۱۹۹۹ ماهواره لندست با سنجنده ETM<sup>۲</sup> را آمریکا در مدار زمین قرار داد که قابلیت برداشت اطلاعات در طول موج‌های نزدیک مادون قرمز VNIR و امواج کوتاه مادون قرمز SWIR را داشت. قدرت تفکیکی این ماهواره در حدود ۳۰ متر برای باندهای مرئی و مادون قرمز، ۶۰ متر برای باند مادون قرمز حرارتی و ۱۵ متر برای باند پان<sup>۳</sup> است.

امروزه از اطلاعات ماهواره برای اهداف مختلف استفاده می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از:

- ۱- اکتشاف مواد معدنی، ۲- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، ۳- مطالعات زیست‌شناسی، ۴- مطالعه منابع آب، ۵- منابع طبیعی، ۶- مطالعات دریایی، ۷- مطالعه هواشناسی و تغییرات یخچال‌ها، ۸- بلایای طبیعی، ۹- اقلیم‌شناسی، ۱۰- کشاورزی و سایر موارد.

یکی از مزایای بسیار مهم داده‌های ماهواره‌ای رقومی پردازش شده، امکان ذخیره‌سازی آن به عنوان یک لایه اطلاعاتی در سیستم GIS و تلفیق آن با سایر لایه‌های اطلاعاتی برای مدل‌سازی و تهیه نقشه پتانسیل معدنی است. در جدول ۴-۱ باندهای لندست ETM<sup>۲</sup> به همراه طول موج آن آمده است.

<sup>۱</sup> Thematic Mapper

<sup>۲</sup> Enhanced Thematic Mapper

<sup>۳</sup> Pan

جدول ۴-۱- باندهای ماهواره لندست سنجنده ETM<sup>+</sup>7 [کریم‌پور، ۱۳۸۴]

	<b>Band Width</b>	<b>Spatial Resolution (m)</b>
<b>Band 1</b>	۰/۵۲-۰/۴۵ $\mu\text{m}$ (Blue)	۳۰
<b>Band 2</b>	۰/۶۰-۰/۵۲ $\mu\text{m}$ (Green)	۳۰
<b>Band 3</b>	۰/۶۹-۰/۶۳ $\mu\text{m}$ (Red)	۳۰
<b>Band 4</b>	۰/۹۰-۰/۷۵ $\mu\text{m}$ (Near Infra-Red)	۳۰
<b>Band 5</b>	۱/۷۵-۱/۵۵ $\mu\text{m}$ (Infra-Red)	۳۰
<b>Band 6</b>	۱۲/۵-۱۰/۴ $\mu\text{m}$ (Thermal Infra-Red)	۶۰
<b>Band 7</b>	۲/۳۵-۲/۰۸ $\mu\text{m}$ (Near Infra-Red)	۳۰
<b>Band 8</b>	۰/۹۰-۰/۵۲ $\mu\text{m}$ (Green-Near Infra-Red)	۱۵

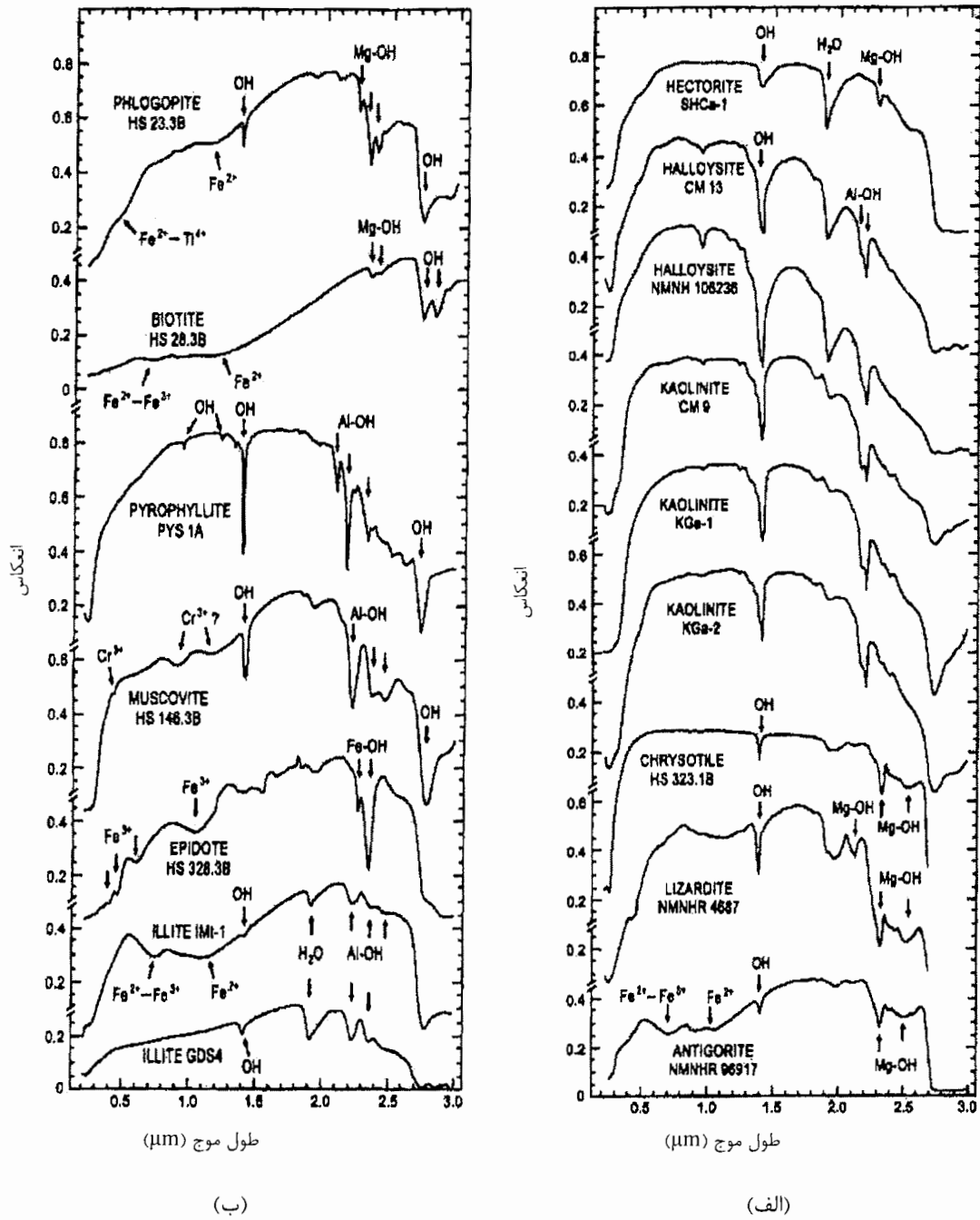
#### ۴-۱-۲- طیف‌های جذب و انعکاس کانی‌ها و سنگ‌ها و کاربرد آنها در اکتشاف کانسارها

خورشید مهم‌ترین منبع امواج الکترومغناطیسی دریافت شده در کره زمین است. نور مرئی بخش محدودی از امواج الکترومغناطیسی است. بخش محدودی از امواج الکترومغناطیسی جذب اتمسفر شده که بیشتر طول موج ۱/۵ و حدود ۲ میکرومتر را شامل می‌شود. 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

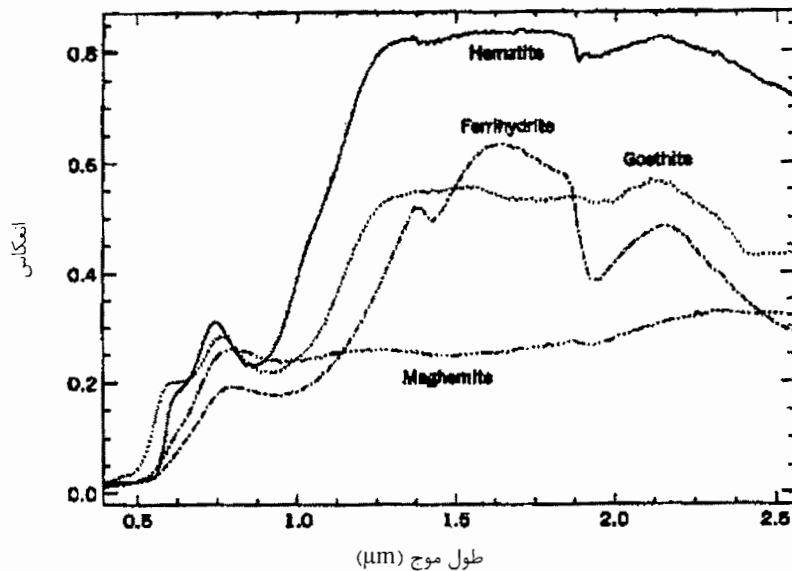
داده‌های ماهواره می‌توان سنگ‌ها و برخی از کانی‌های آنها را تشخیص داد.

از آنجا که در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای صرفاً برای تشخیص مناطق آلتراسیون استفاده می‌گردد، طیف انعکاسی جذبی تعدادی از کانی‌های مهم که می‌توانند در این امر مفید واقع شوند، ذکر می‌گردد:

- زون سربیسیتیک: معمولاً کانی مسکویت دانه‌ریز، کوارتز، پیروفیلیت و ایلیت در زون آلتراسیون سربیسیتیک یافت می‌شوند. در شکل ۴-۱-الف نمودار انعکاس- جذب این کانی‌ها در طول موج‌های مختلف محدوده ۰/۵ تا ۳ میکرومتر نمایش داده شده است.
- زون آرژیلیک: کانی‌های شاخص زون آرژیلیک عبارتند از: کائولینیت، هالوزیت و دیکیت. نمودار انعکاس- جذب این کانی‌ها در شکل ۴-۱-ب نمایش داده شده است.
- اکسید و هیدروکسیدهای آهن: هماتیت، گوتیت و لیمونیت که در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها تشکیل می‌شوند، می‌توانند راهنمای مفیدی در شناسایی مناطق دارای کانی‌سازی سولفیدی باشند. نمودار طیف جذب- انعکاس این کانی‌ها در شکل ۴-۲ نمایش داده شده است.



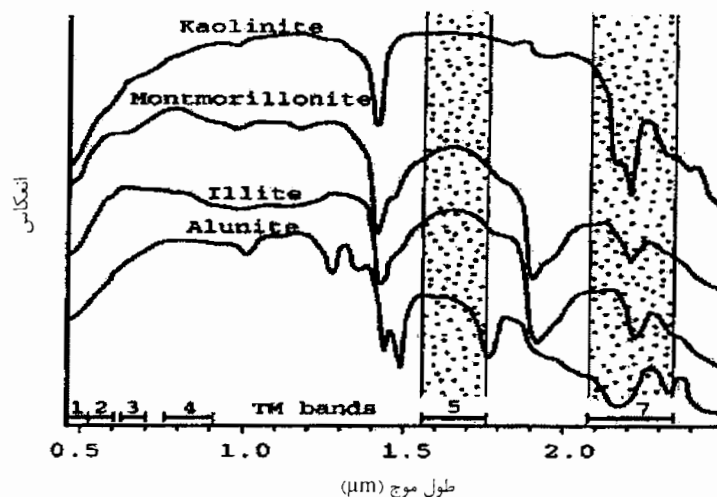
شکل ۴-۱- نمودار انعکاس- جذب کانی‌ها در طول موج‌های مختلف محدوده ۰,۵ تا ۳ میکرومتر، الف) زون سرسیستیک، ب) زون آرژیلیک [کریم‌پور، ۱۳۸۴]



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

#### ۲-۱-۲-۴- باندهای مناسب جهت شناسایی کانی‌ها با استفاده از سنجنده $ETM^+7$

کانی‌های مختلف در طول موج‌های متفاوت دارای جذب و انعکاس متفاوت هستند، از این خاصیت جهت آشکارسازی آنها استفاده می‌شود. مجموعه کانی‌هایی که در زون آرزیلیک تشکیل می‌شوند از جمله کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریونیت و آلونیت در باند ۵ ماهواره لندست ۷ دارای بیشترین انعکاس و در باند ۷ بیشترین جذب را دارند (شکل ۳-۴).



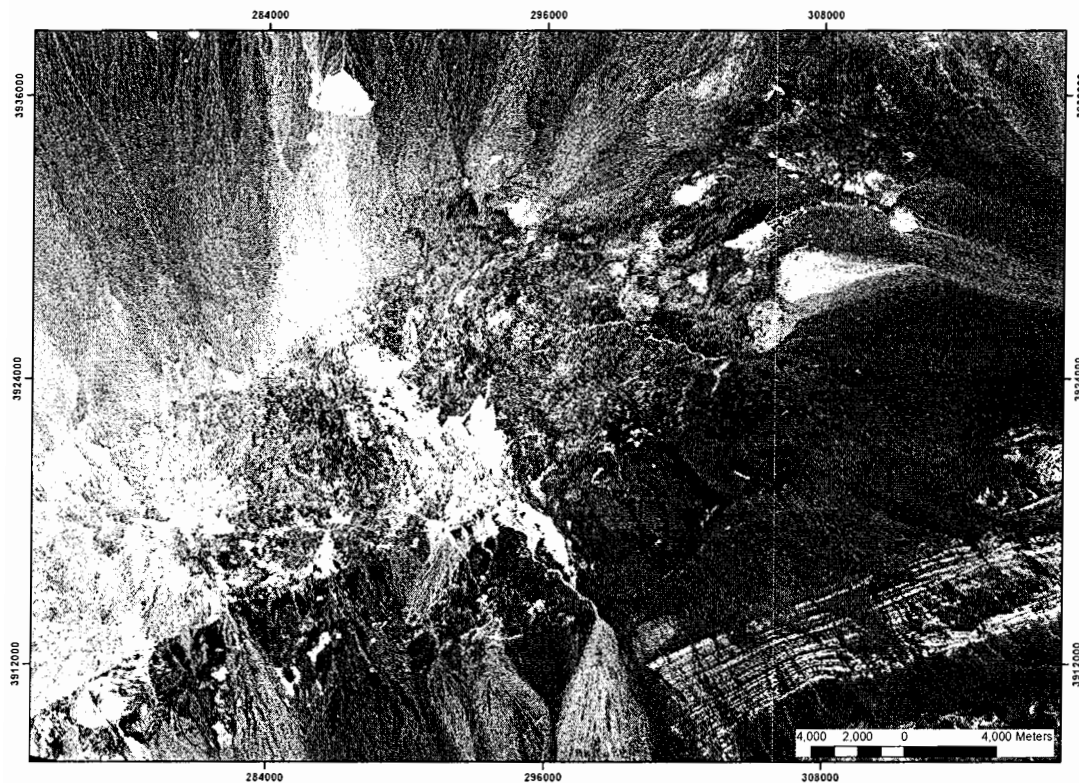
شکل ۳-۴- نمودار طول موج‌های مختلف کانی‌های کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریونیت و آلونیت [کریم‌پور، ۱۳۸۴]

میزان انعکاس برای سنگ آلت‌ره نشده در باند ۵ و ۷ یکسان و برابر ۱۶۰ است. برای سنگ آلت‌ره شده در باند ۵ به میزان ۱۶۰ و در باند ۷ به ۱۱۰ کاهش یافته است. نسبت ۵/۷ برای سنگ آلت‌ره شده ۱,۴۵ است و برای آشکارسازی زون آرژیلیک از نسبت فوق استفاده می‌شود.

اکسیدهای ثانویه آهن که حاصل اکسید شدن سولفیدها هستند، دارای طیف جذب و بازتاب ویژه‌ای هستند. هماتیت دارای بیشترین جذب در باند ۱ و بیشترین انعکاس در باند ۳ است. بنابراین از نسبت ۳/۱ می‌توان در آشکارسازی هماتیت و گوتیت استفاده نمود.

در این تحقیق نیز از نسبت‌های ۳/۱ و ۵/۷ برای تشخیص مناطق آلت‌راسیون مرتبط با کانی‌سازی‌های طلا در ناحیه معلمان استفاده گردید که در مقایسه با تصاویر مناطق آلت‌راسیون کار شده قبلی در منطقه از انطباق مناسبی برخوردار بود.

در شکل ۴-۵ تصویر مناطق آلت‌راسیون ناحیه شمال معلمان دیده می‌شود که مناطق آلت‌راسیون به رنگ سفید در تصویر مشخص می‌باشند.



شکل ۴-۴- تصویر مناطق آلتراسیون ناحیه شمال معلمان (مناطق آلتراسیون به رنگ سفید در تصویر مشخص‌اند).

### ۴-۳- نقشه‌های ژئوشیمیایی غنی‌شدگی عناصر

یکی از مهم‌ترین داده‌های استفاده شده این تحقیق، در اعتبارسنجی نهایی، نقشه‌های ژئوشیمیایی غنی‌شدگی عناصر است. استفاده جهانی از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، به مدت تقریباً ۶۰ سال، نشان داده است که این روش یک راهکار مستقل برای تشخیص نواحی با پتانسیل کانساری بالا می‌باشد. بنیادی‌ترین پیش‌فرض در این روش، آن است که یک رسوب آبراهه‌ای، معرف محصولات هوازدگی و فرسایش در بالادست محل نمونه است. برداشت و آنالیز سیستماتیک نمونه‌های آبراهه‌ای یک روش معمول در اکتشافات کانساری، هم در مقیاس ناحیه‌ای و هم در عملیات تفصیلی‌تر در اغلب نقاط جهان می‌باشد.



در انتخاب و تشخیص اهداف کانساری ما به دنبال محدود کردن مناطق از چند صد کیلومتر مربع به چند کیلومتر مربع به وسیله عملیات ژئوشیمیایی و مؤلفه‌های فضایی شناخته شده هستیم. به دلیل هزینه بالای تکنیک‌هایی که بعد از مرحله اکتشافات ناحیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، ضروری است که طراحی تعیین اهداف موردنظر و محدود ساختن آنها به مناطق حتی‌الامکان کوچکتر، با دقت هر چه تمام‌تر صورت گیرد. طلا که به علت قیمت آن موضوع اصلی اغلب اکتشافات در پنجاه سال اخیر بوده است، دارای خواص منحصر به فردی است که ثبت آنها نیازمند تکنیک‌های ویژه‌ای برای جستجوی کانسارهای جدید این عنصر می‌باشد.

هدف از اکتشافات نیمه‌تفصیلی، معرفی کانی‌سازی با تمرکز بر روی آنومالی‌های تک‌عنصری و چندعنصری است که مناطق معرفی شده با سایر لایه‌های اطلاعاتی تلفیق شده و در نهایت می‌تواند نواحی امیدبخش رخداد کانی‌سازی را با احتمال نسبتاً بالایی و به نحو احسن نشان دهد.

مقیاس کار و به دنبال آن مقیاس نمونه‌برداری، عموماً به عنوان تابعی از تیپ کانی‌سازی، تغییر می‌کند. به عنوان مثال، هاله‌های آنومالی با گسترش چند صد متر در اطراف کانسارهای ماسیوسولفاید عمومیت دارد. در حالیکه آنومالی‌های سنگ دیواره در اطراف رگه‌های باریک کانی‌سازی اپی‌ترمال، به طور معمول فقط چند ده متر گسترش دارد [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

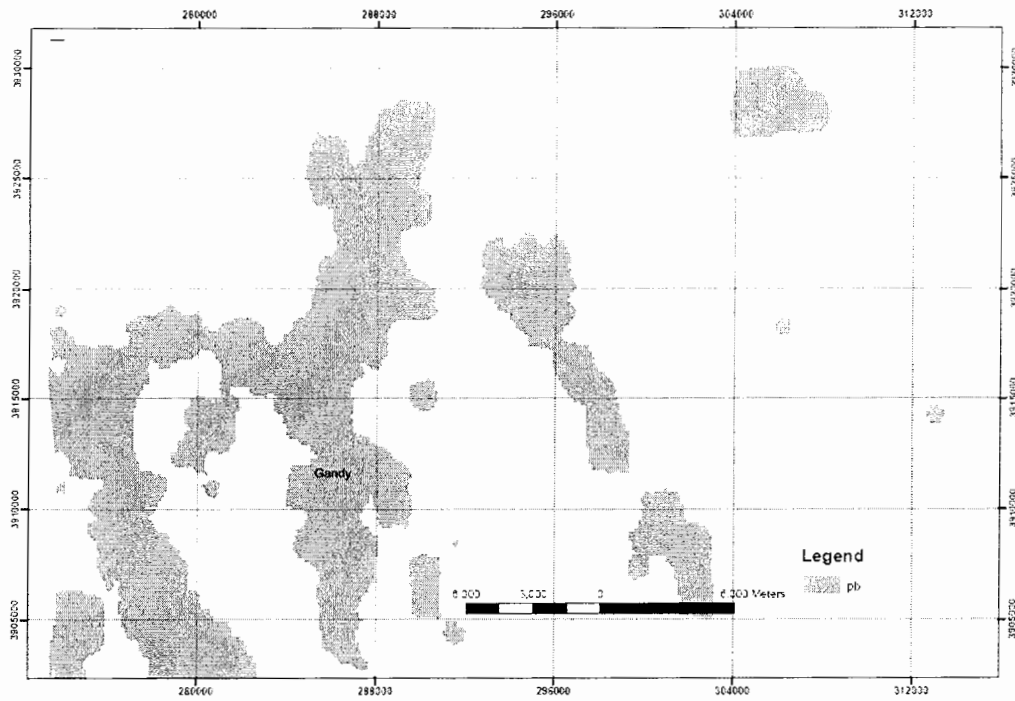
ژئوشیمی سنگ و خاک، می‌تواند در مواردی که سیستم آبراهه‌ای گسترش خوبی ندارد یا طبیعت هدف موردنظر و محیط یک الگوی پراکندگی وسیع به‌دست دهد و یا محدوده آنومالی به‌دست آمده چندان بزرگ نباشد، مورد استفاده قرار گیرد. برای پوشش یکسان یک منطقه اکتشافی، تعداد نمونه‌های مورد نیاز در نمونه‌برداری از سنگ و خاک، عموماً بیشتر از یک جستجوی آبراهه‌ای است و

هزینه برنامه اجرایی آن نیز بیشتر خواهد بود. زمانی که یک هدف اکتشافی انتخاب گردید، قدم بعدی در برنامه اکتشاف، شامل دو مرحله خواهد بود. مرحله اول یافتن محل تقریبی زون کانی‌سازی شده و مرحله دوم که به منزله پالایش مرحله اول است، توصیف دقیق گسترش این زون می‌باشد [فضائی، ۱۳۷۷].

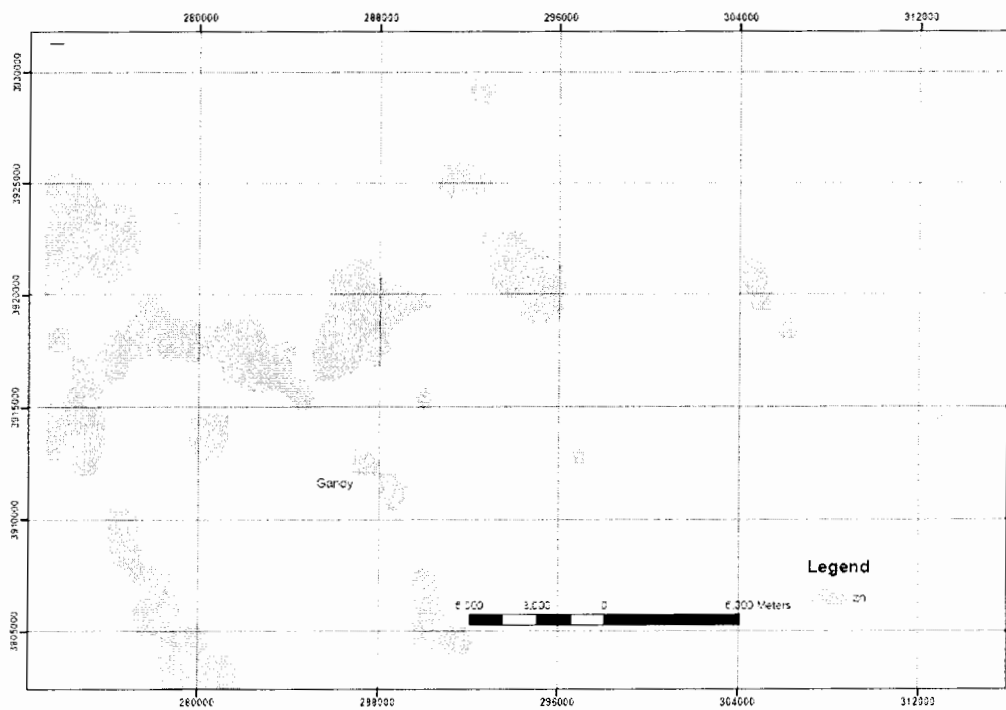
#### ۴-۳-۱- نقشه‌های ژئوشیمیایی غنی‌شدگی عناصر در منطقه معلمان

بنابر قرارداد صنعتی- اقتصادی همکاری در اکتشافات ژئوشیمیایی که بین وزارت زمین‌شناسی و منابع معدنی جمهوری خلق چین و وزارت صنایع و معادن جمهوری اسلامی ایران منعقد گردید، شرکت اکتشافی ژئوفیزیکی- ژئوشیمیایی جیانگ‌ژی چین موظف به انجام پی‌جویی و نمونه‌برداری و بررسی در ناحیه سمنان- کاشمر گردید. این منطقه مساحتی بیش از ۴۲,۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد که ۲۶ برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ را در بر دارد. هدف از کار، مطالعه و به کار بستن روش ژئوشیمیایی و تکنیک اکتشاف با تراکم پایین در سطح منطقه بود تا از این طریق بتوان توزیع عناصر و غنی‌شدگی و تمرکز عناصر مشخصه روی سطح زمین در منطقه بررسی نمود. نتیجه این بررسی ترسیم یک نمای کلی از آنومالی‌هایی است که بوسیله نهشته‌های معدنی نسبتاً بزرگ، اندیس‌های کانی‌سازی و نوارهایی در سطح زمین یا بخش‌های کم‌عمق بوجود آمده است. بدینوسیله می‌توان جهت پی‌جویی‌های زمین‌شناسی را مشخص نمود که از این راه اطلاعات مفید ژئوشیمیایی برای مطالعه و به کار بستن روش‌های دیگر زمین‌شناسی فراهم می‌گردد. نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای در منطقه معلمان شامل بخش‌های زیر است [Shuigen, Jianchang, 1996]:

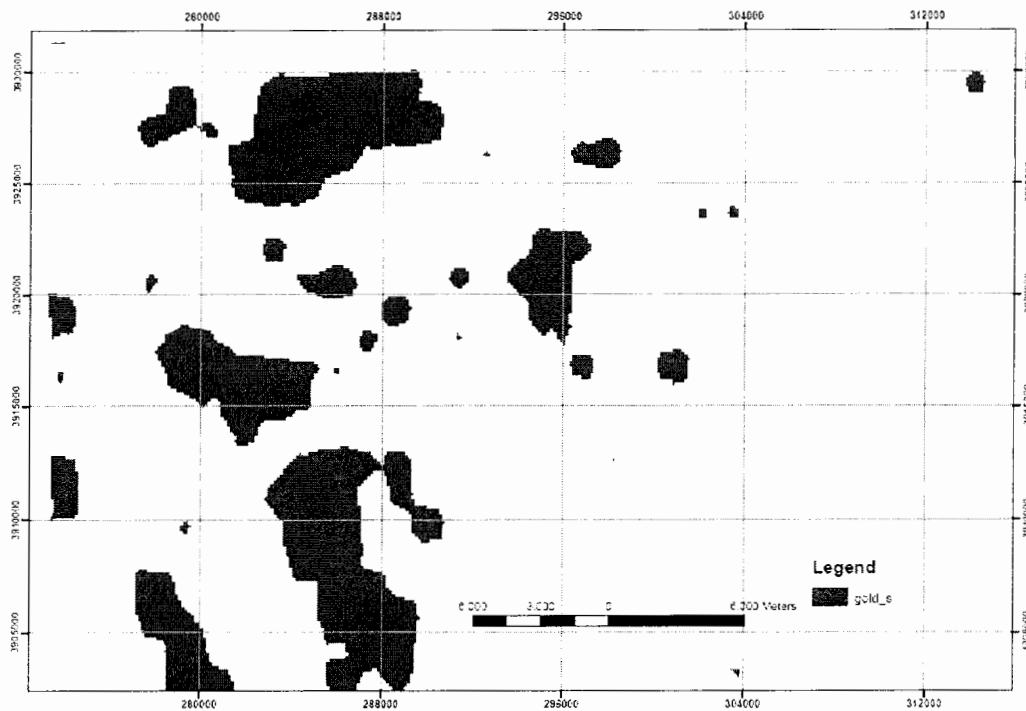
- (۱) برداشت نمونه از رسوبات آبراهه‌ای در مساحتی به وسعت ۱۶۵۰ کیلومتر مربع
  - (۲) تجزیه و تحلیل نمونه‌ها برای ۲۹ عنصر و یا اکسیدهای موردنظر در هر نمونه
  - (۳) تفسیر و ارزیابی آنومالی‌های ژئوشیمیایی که احتمالاً ناشی از نهشته‌های معدنی متوسط و بزرگ‌مقیاس بوده و به منظور فراهم آوردن مبنایی برای پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بیشتر
  - (۴) در نهایت ارائه نقشه‌های ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، هم‌پوشانی نقشه‌های آنومالی، نقشه پیش‌بینی‌کننده محل نهشته‌های معدنی که می‌توان جستجو برای پی‌جویی آنها را انجام داد و توضیحات لازم آنها.
- ناحیه معلمان یکی از ۲۶ برگه‌ای است که مورد بررسی قرار گرفت و گزارش آن در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید. در این تحقیق بر حسب نیاز از نقشه‌های آنومالی‌های عناصر سرب، روی، مس و طلا استفاده می‌گردد.
- شکل‌های ۴-۵، ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸ نقشه‌های دوتایی آنومالی‌های عناصر سرب، روی، طلا و مس را در منطقه معلمان نشان می‌دهد. شکل ۴-۹ تلفیقی از نقشه‌های فوق می‌باشد که توسط نرم‌افزار Arc View 3.2 آماده شده است و دید کلی از مناطقی که غنی‌شدگی‌هایی از همه عناصر فوق حضور دارند را می‌دهد.



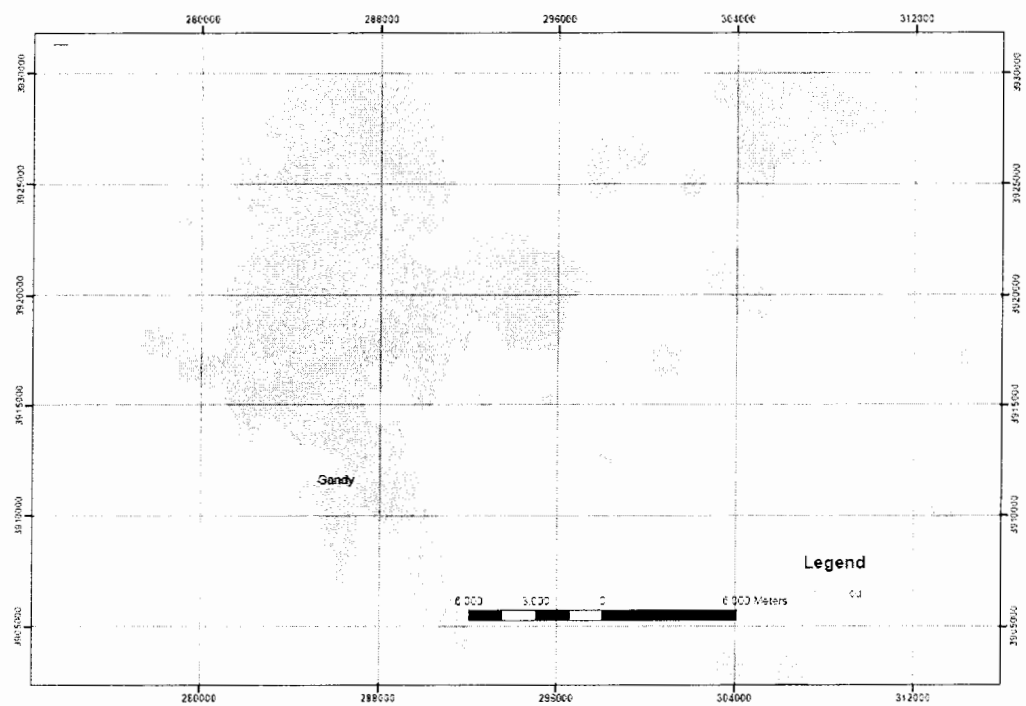
شکل ۴-۵- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر سرب در منطقه معلمان [Shuigen, Jianchang, 1996]



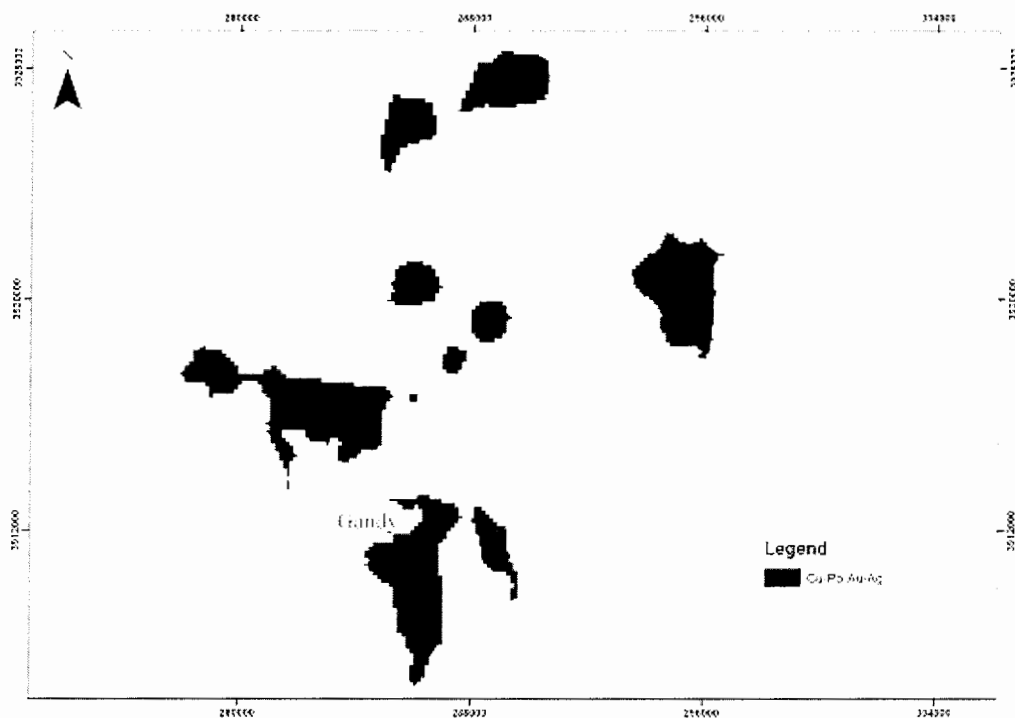
شکل ۴-۶- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر روی در منطقه معلمان [Shuigen, Jianchang, 1996]



شکل ۴-۷- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر طلا در منطقه معلمان [Shuigen, Jianchang, 1996]



شکل ۴-۸- نقشه نواحی دارای آنومالی عنصر مس در منطقه معلمان [Shuigen, Jianchang, 1996]



شکل ۴-۹- نقشه نواحی دارای آنومالی عناصر سرب، روی، طلا و مس در منطقه معلمان

نقشه ۴-۹ می‌تواند به عنوان معیاری مناسب، برای سنجش اعتبار و بررسی صحت مدل

اکتشافی پیش‌بینی کانسارهای طلای منطقه معلمان مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۴-۴- نقشه ژئوفیزیک هوایی به روش مغناطیس‌سنجی

مقایسه نقشه‌های معدنی و نقشه‌های مغناطیس‌سنجی از یک منطقه این حقیقت را نشان

می‌دهد که اکثر معادن یا 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 اکتشافات کانسارها در مقیاس‌های مختلف

می‌تواند مؤثر باشد. در مقیاس کوچک (۱:۱,۰۰۰,۰۰۰)، 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 (۱:۲۵,۰۰۰) 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 به‌کارگیری روش‌های غیر مستقیم ژئوفیزیکی از جمله مغناطیس‌سنجی است که قادر به فراهم ساختن اطلاعات زمین‌شناسی از اعماق است [کریم‌پور، ۱۳۸۴].

در ایران سازمان زمین‌شناسی به عنوان مسؤول اجرایی تهیه اطلاعات زیربنایی زمین‌شناسی، در دهه ۱۹۶۰ از تمامی کشور نقشه‌های مغناطیس‌سنجی هوایی تهیه نموده است. این داده‌ها به دلیل کیفیت پایین (فواصل خطوط برداشت ۷/۵ کیلومتر و در ارتفاع ۲ تا ۳ کیلومتر) فقط برای تفکیک زون‌های زمین‌شناسی و ساختارهای وسیع قابل استفاده هستند. سازمان انرژی اتمی در دهه ۱۹۷۰ نقشه‌های مغناطیس‌سنجی هوایی با کیفیت متوسط (فواصل خطوط برداشت ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و ارتفاع ۱۲۰ تا ۱۸۰ متر) از مناطق زمین‌شناسی با پتانسیل معدنی تهیه نموده است. این داده‌ها چنانچه در دسترس باشد، برای انتخاب مناطق اکتشافی مناسب است. در حال حاضر سازمان زمین‌شناسی داده‌های مغناطیسی، الکترومغناطیسی و رادیومتری با کیفیت بالا (فواصل خطوط برداشت کمتر از ۲۰۰ متر و ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر) از مناطق مناسب زمین‌شناسی با پتانسیل معدنی از جمله جنوب شرق ایران برداشت می‌کند.

منبع ناهنجاری‌های مغناطیسی در زمین کانی‌های فرومغناطیس 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، ایلمینیت 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 هستند که نقش اصلی را دارند.

روش‌های مغناطیس‌سنجی برای اهداف زیر به کار می‌روند:

- (۱) کشف امتدادهای 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، ناهنجاری مغناطیسی خود را بر روی نقشه‌های مغناطیس‌سنجی در مقیاس ناحیه‌ای نشان

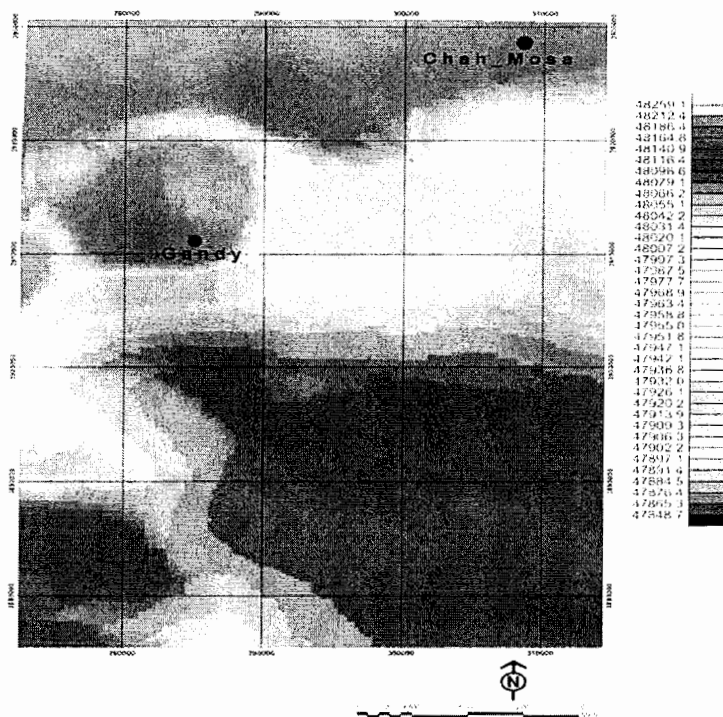


می‌دهند. بررسی‌های مغناطیسی دقیق‌تر توأم با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی و آلتراسیون، اطلاعاتی راجع به موقعیت دقیق ذخیره، شکل کانی‌سازی، گسترش، شیب، امتداد و حتی عمق می‌تواند در اختیار بگذارد.

#### ۴-۴-۱- نقشه ژئوفیزیک هوایی به روش مغناطیس‌سنجی در منطقه معلمان

در این تحقیق، نقشه مغناطیس هوایی که از سازمان زمین‌شناسی گرفته شده است، به منظور تلفیق با سایر لایه‌های اطلاعاتی استفاده گردید. این نقشه در سال ۱۹۷۲ با هدف شناخت ساختارهای زمین‌شناسی و عمق پی‌سنگ با استفاده از یک فروند هواپیما با فواصل پروفیل ۷/۵ کیلومتر و ارتفاع ثابت توسط شرکت ایروسرویس تهیه گردیده است. لازم به ذکر است که نقشه‌های با کیفیت بالاتر نیز تهیه گردیده است که متأسفانه کل منطقه مورد مطالعه را پوشش نداده‌اند و صرفاً جهت بازبینی لایه اطلاعاتی ژئوفیزیکی از آنها استفاده می‌شود.

شکل ۴-۱۰ نقشه مغناطیس هوایی منطقه معلمان است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، کانسار گندی در مجاورت مناطقی با بالاترین مقادیر شدت میدان مغناطیسی کل واقع شده است.



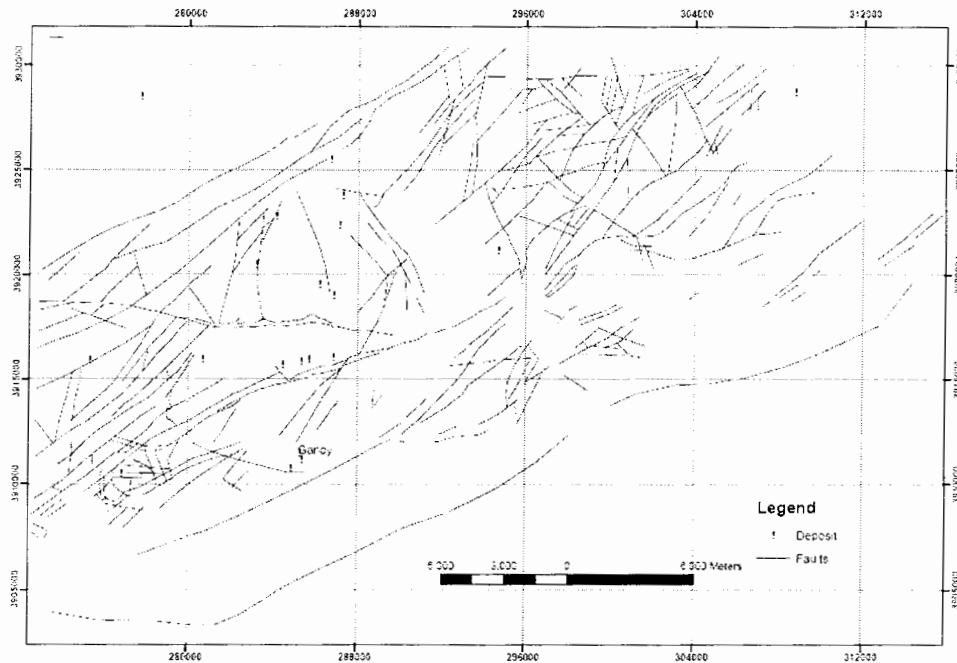
شکل ۴-۱۰- نقشه مغناطیس هوایی منطقه معلمان [سازمان زمین‌شناسی، ۱۹۷۲]

#### ۴-۵- نقشه گسل‌های منطقه

مرزهای گسلی محل مناسبی برای عبور و راه‌یابی محلول‌های کانه‌دار به سطح زمین هستند. انواع مختلف کانی‌سازی‌های رگه‌ای مس، سرب، روی، طلا، نقره و ... به صورت اپی ژنتیک می‌توانند در این مرزها تشکیل شوند. همانطور که در بند ۲-۷ فصل دوم ذکر گردید منطقه معلمان را شبکه‌ای از شکستگی‌ها با آرایش متنوع در بر گرفته است. از آنجا که کانی‌سازی منطقه از راستای سیستم‌های شکستگی تبعیت می‌کند، نقشه توزیع گسل‌ها، از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی است که در تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلا در منطقه معلمان استفاده خواهد شد.

با استفاده از نقشه زمین‌شناسی معلمان و بررسی راستای گسل‌های منطقه، ساختارهای خطی تکتونیکی مرتبط با کانی‌سازی طلا، رقومی گردید. تطبیق صورت گرفته بر اساس مطالعه

نهشته‌های شناخته شده در منطقه و ارتباط آنها با روندهای تکتونیکی انجام شد. در شکل ۴-۱۱ نقشه توزیع گسل‌های منطقه معلمان به همراه اندیس‌های طلای منطقه دیده می‌شوند.



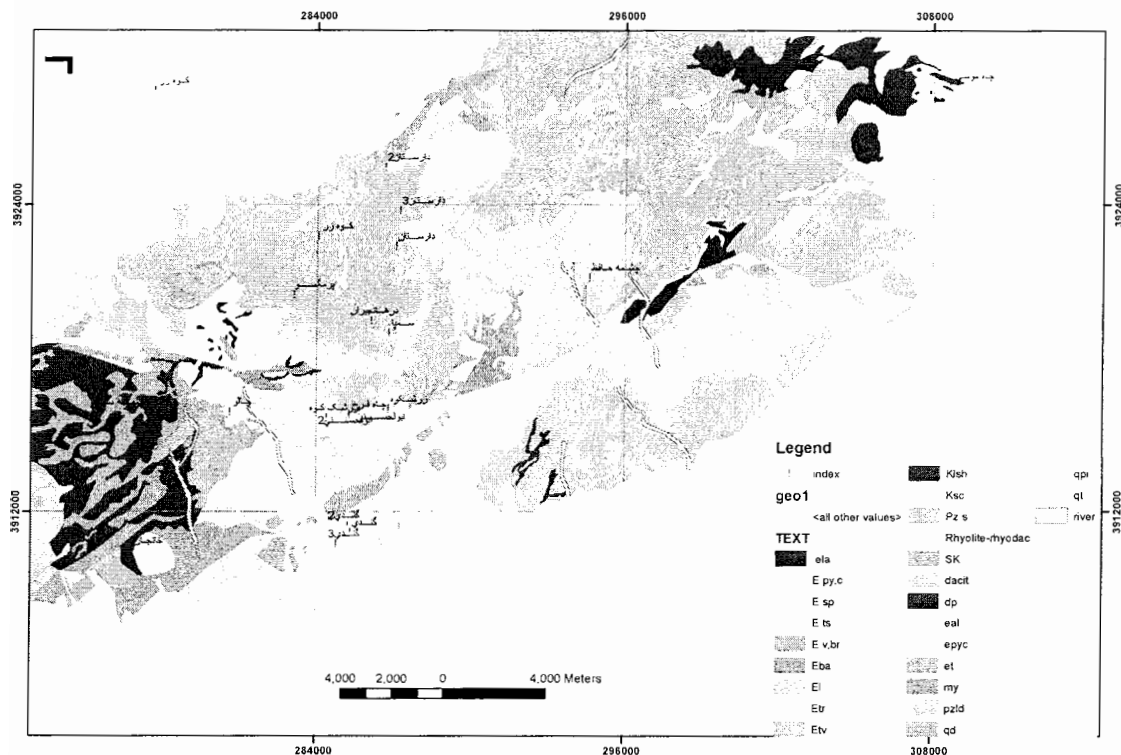
شکل ۴-۱۱- نقشه توزیع گسل‌های منطقه معلمان (اندیس‌های طلای منطقه نیز در شکل دیده می‌شوند)

#### ۴-۶- نقشه واحدهای زمین‌شناسی منطقه

شرح مختصری از واحدهای زمین‌شناسی که مستعد کانی‌زایی هستند در فصل دوم ذکر گردید. نکته لازم به ذکر این است که باید دید کانی‌سازی غالب در منطقه مربوط به چه سنی است و با کدام دوره یا دوره‌های ولکانیسم معلمان ارتباط دارد. اهمیت این امر در این است که با شناخت سن واحدها و رخنمون‌های سنگی محدوده کانسارهای طلای منطقه، علاوه بر تمرکز بیشتر روی مناطق امیدبخش می‌توان نواحی با احتمال پایین کانی‌زایی را در نقشه نهایی پتانسیل کانی‌سازی طلا حذف کرده و یا بسته به اندیس‌ها و کانسارهای آن نواحی امتیازی در خور به آن مناطق اختصاص داد. عمده

کانسارها و نشانه‌های معدنی محور طلا دار معلمان - تربت حیدریه در سنگ‌هایی با سن ائوسن تشکیل یافته‌اند و توده‌های نفوذی منطقه نیز که مربوط به ماگماتیسم الیگوسن و میوسن هستند، کانی‌زایی محور فوق را به عهده داشته‌اند.

پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی، آن دسته از واحدهای لیتولوژی که احتمال کانی‌زایی طلا در آنها می‌رفت، به صورت رقمی در آمد تا به عنوان یکی دیگر از لایه‌های اطلاعاتی سودمند در تهیه نقشه نهایی پتانسیل‌یابی کانی‌سازی طلا در منطقه معلمان مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۴-۱۲ نقشه رقمی شده واحدهای زمین‌شناسی دیده می‌شود.



شکل ۴-۱۲ - نقشه رقمی شده واحدهای زمین‌شناسی منطقه معلمان

فصل پنجم

**تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلای  
منطقه معلمان**

## ۵-۱- مقدمه

در این فصل، طبقه‌بندی مشخصه‌های اکتشافی در مقیاس ناحیه‌ای با هدف بازشناسی الگو صورت می‌گیرد. به منظور طبقه‌بندی مشخصه‌ها از روش بونهام- کارتر (۱۹۹۴) استفاده شده است. منظور از بازشناسی الگو در اینجا ارائه نقشه پتانسیل اکتشافی مطلوب ذخایر طلای اپی‌ترمال منطقه معلمان می‌باشد.

چندین روش مانند وزن‌های نشانگر (W-of-E) جهت کمی کردن همراهی‌کننده‌های مکانی بین کانسارهای معدنی و ویژگی‌های زمین‌شناختی وجود دارد. در این فصل به منظور کمی کردن همراهی‌کننده‌های مکانی بین کانسارهای معدنی و چندین نوع متفاوت ویژگی‌های زمین‌شناختی، از روش وزن‌های نشانگر استفاده شده است که امکان درک معیارهای شناسایی کانسار را، که در فصل ۴ تعریف شده است، فراهم می‌سازد. روش وزن‌های نشانگر این مزیت را دارد که کمی‌سازی همراهی‌کننده‌های مکانی مستقیماً به وزن‌دهی نقشه‌های شاهد منجر می‌شود تا برای به نقشه در آوردن پتانسیل کانی‌سازی ترکیب گردند. روش وزن‌های نشانگر بر روی مجموعه‌ای از داده‌ها، که در فصل ۴ تولید گردیده و توضیح داده شد، جهت به نقشه در آوردن در مقیاس ناحیه‌ای، اعمال گردید.

## ۵-۲- روش وزن‌های نشانگر (W-of-E)

روش وزن‌های نشانگر به میزان گسترده‌ای برای تهیه نقشه‌های پتانسیل مطلوب تیپ‌های متنوع کانی‌سازی استفاده می‌شود. برای نمونه، الف) ذخایر طلای رگه‌ای در نوا اسکاتیا<sup>۱</sup> در کانادا، ب) ذخایر طلای اپی‌ترمال تیپ کارلین نوادا<sup>۲</sup> در آمریکا، پ) ذخایر طلای اپی‌ترمال گریت بیسین<sup>۳</sup> در غرب آمریکا، ت) منطقه باگویو<sup>۴</sup> در فیلیپین و ث) ذخایر فلزات پایه تیپ سدکس در منطقه آراوال<sup>۵</sup> هند مثال‌های متعددی از کاربرد این روش در سال‌های اخیر هستند [Porwal, 2006].

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 مشتق شده 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-Carter, 1994].

در روش بیزین، احتمالات متقدم و متأخر از جمله مهم‌ترین مفاهیم هستند. با تعیین سطحی برای مطالعه که شامل تعداد مشخصی کانسار معدنی است، احتمال متقدم وجود کانساری در واحد سطح به صورت تعداد کل کانسارها در کل سطح محاسبه می‌شود. این تخمین اولیه بعداً می‌تواند در نواحی مختلف با استفاده از سایر شواهد، زیاد یا کم شود. احتمال متقدم می‌تواند در عاملی ضرب شود

<sup>1</sup> Nova Scotia

<sup>2</sup> Nevada

<sup>3</sup> Great Basin

<sup>4</sup> Baguio

<sup>5</sup> Aravalli province

تا احتمال متأخر حضور کانساری با شواهد اصلی معلوم، به دست آید. این احتمال متأخر می تواند به نوبت در عامل دومی که از شاهد دیگری محاسبه می گردد، ضرب شود و بدین ترتیب به عنوان احتمال متقدم جهت دستیابی به احتمال متأخر دوم مورد استفاده قرار گیرد.

### ۵-۲-۱- فرمول بندی احتمالات در روش وزن های نشانگر

با تعیین محدوده مورد مطالعه،  $T$ ، متشکل از تعدادی واحد سطح منطقه،  $N\{T\}$ ، (سلول های واحد در نقشه رستری<sup>۱</sup>) که شامل تعدادی کانسار،  $N\{D\}$ ، بوده (شکل ۵-۱) و بیانگر آن است که هر کانسار یک واحد سطح (یک سلول واحد) را اشغال می کند، زمانی که هیچگونه اطلاعات دیگری در دست نیست، احتمال آنکه یک سطح یا سلول واحد تصادفاً انتخابی در نقشه شامل کانسار باشد، برابر است با:

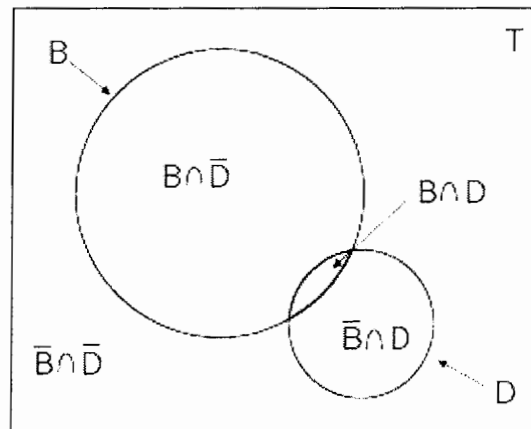
$$P\{D\} = N\{D\} / N\{T\} \quad (۱-۵)$$

که می تواند به عنوان تخمینی از احتمال متقدم یک کانسار به کار رود. چنانچه نقشه ای رقومی بیانگر یک شاهد جدید،  $B$ ، نیز موجود باشد، احتمال یافتن کانسار جدیدی با فرض حضور شاهد جدید، می تواند به عنوان احتمال شرطی متأخر،  $P\{D|B\}$ ، بیان گردد.

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

<sup>۱</sup> Raster map





شکل ۵-۱: دیاگرام ون نشان‌دهنده محدوده مورد مطالعه،  $T$ ، محدوده پوشیده با کانسارهای معدنی  $D$  و محدوده پوشیده با طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده  $B$  می‌باشد، که بیانگر شاهد اصلی است که می‌تواند به منظور به روز کردن احتمال متقدم کانسار به کار رود؛  $D$  و  $B$  به معنی حضور و  $\bar{B}$  و  $\bar{D}$  به معنی غیاب طرح‌های رقومی شاهد است [Bonham-Carter, 1994].

بالعکس، احتمال متأخر کانساری با فرض غیاب شاهد جدید،  $P\{D|\bar{B}\}$ ، می‌تواند به صورت

زیر بیان گردد.

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

احتمال ( $P$ ) می‌تواند به عنوان احتمال وقوع ( $O$ ) یا بالعکس با استفاده از معادله بیان گردد:

$$O = P/(1 - P) \quad (۴-۵)$$

بنابراین، معادلات ۲-۵ و ۳-۵ می‌توانند به ترتیب، در فرمول احتمال وقوع بیان گردند:

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

و

$$O\{D|\bar{B}\} = O\{D\} \frac{P\{\bar{B}|D\}}{P\{\bar{B}|D\}} \quad (۶-۵)$$

که  $O\{D|B\}$  و  $O\{D|\bar{B}\}$  به ترتیب، احتمال‌های وقوع متأخر کانسار معدنی با فرض حضور و غیاب

شاهد  $B$  هستند؛  $P\{B|D\}/P\{B|\bar{D}\}$  تحت عنوان نسبت کفایت<sup>۱</sup> (LS) و  $P\{\bar{B}|D\}/P\{\bar{B}|\bar{D}\}$  تحت عنوان نسبت لزوم<sup>۲</sup> (LN) شناخته می‌شود. LS و LN تحت عنوان نسبت‌های احتمال<sup>۳</sup> نیز به کار می‌روند [Bonham-Carter, 1994].

لوجیت‌ها<sup>۴</sup> لگاریتم‌های طبیعی احتمالات وقوع بوده و در مدل‌سازی وزن‌دهی شواهد به کار می‌روند. لگاریتم‌های طبیعی به هر دو طرف معادلات ۵-۵ و ۵-۶ اعمال شده و معادلات بعدی را بدست می‌دهند:

$$\text{Logit}\{D|B\} = \text{Logit}\{D\} + W^+ \quad (۷-۵)$$

و

$$\text{Logit}\{D|\bar{B}\} = \text{Logit}\{D\} + W^- \quad (۸-۵)$$

که  $W^+$  مقدار لگاریتم طبیعی مربوط به LS و در حضور شاهد  $B$ ، مقداری مثبت است و  $W^-$ ، مقدار لگاریتم طبیعی مربوط به LN و در غیاب شاهد  $B$ ، عددی منفی است.

در روش وزن‌های نشانگر، مقادیر  $W^+$  و  $W^-$  با استفاده از داده کانسار معدنی و به‌کارگیری

لگاریتم‌های طبیعی LS و LN محاسبه می‌شوند.

$$W^+ = \log_e \frac{P\{B|D\}}{P\{B|\bar{D}\}} \quad (۹-۵)$$

و

$$W^- = \log_e \frac{P\{\bar{B}|D\}}{P\{\bar{B}|\bar{D}\}} \quad (۱۰-۵)$$

<sup>۱</sup> Sufficiency ratio

<sup>۲</sup> Necessity ratio

<sup>۳</sup> Likelihood ratio

<sup>۴</sup> Logit

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

$$s^2(W^+) = \frac{1}{N\{B \cap D\}} + \frac{1}{N\{B \cap \bar{D}\}} \quad (11-5)$$

و

$$s^2(W^-) = \frac{1}{N\{\bar{B} \cap D\}} + \frac{1}{N\{\bar{B} \cap \bar{D}\}} \quad (12-5)$$

کنتراست،  $C$ ، معیاری از همراهی‌کننده‌های مکانی بین طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده و نقاط

کانسار معدنی بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = W^+ - W^- \quad (13-5)$$

مقدار استیودنت<sup>۱</sup> کنتراست،  $SigC$ ، مقیاس مفیدی از قطعیتی است که کنتراست با آن

سنجیده می‌شود؛ مقادیر ۱/۵ یا حتی ۲ برای  $SigC$  ایده‌آل است [Bonham-Carter, 1994]. مقدار

استیودنت  $C$ ،  $SigC$ ، نسبت کنتراست به انحراف معیار آن است، یا:

$$SigC = C / \sqrt{s^2(W^+) + s^2(W^-)} \quad (14-5)$$

زمانی که شواهد از چندین نقشه ترکیب می‌شوند، مقادیر وزن‌ها برای هر نقشه محاسبه شده و

سپس در فرمول واحدی ترکیب می‌گردند؛ البته، این مستلزم فرض استقلال شرطی است. معمولاً یک

داده مکانی فرضیات مدل‌های آماری کلاسیک به ویژه در رابطه با استقلال را تأمین نمی‌کند. به

هرحال، مدل با فرض وجود استقلال شرطی، می‌تواند تولید شود و اگرچه به طور کامل منطبق بر داده

نمی‌شود، ساده‌سازی مورد استفاده برای پیش‌بینی را تأمین کرده و می‌تواند اطلاعاتی درباره سهم

نسبی هر منبع شاهد به دست دهد [Bonham-Carter, 1994].

<sup>۱</sup> Studentized value

احتمال متأخر کانسار با فرض حضور دو طرح پیش‌بینی‌کننده  $B_1$  و  $B_2$  می‌تواند با قانون

بیزین بیان گردد:

$$P\{D|B_1 \cap B_2\} = \frac{P\{D \cap B_1 \cap B_2\}}{P\{B_1 \cap B_2\}} = \frac{P\{B_1 \cap B_2 | D\}P\{D\}}{P\{B_1 \cap B_2\}}$$

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

اگر  $B_1$  و  $B_2$  نسبت به مجموعه کانسارهای معدنی مستقل شرطی از یکدیگر باشند، معادله

۱۵-۵ می‌تواند ساده گردد، 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 ۵-۲ است، با این تفاوت که عوامل ضرب‌کننده برای دو نقشه به

منظور به روز کردن احتمال مقدم جهت بدست آوردن احتمال متأخر به کار رفته است. با استفاده از

فرمول‌بندی تساوی نشان داده می‌شود که:

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

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

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

و نیز

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

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 ۴-۵ به احتمالات متأخر تبدیل گردند و آن درجه پتانسیل کانی‌سازی را بیان می‌کند [Andrada, 2004].

### ۵-۲-۲- آزمون‌های استقلال شرطی

برای حصول اطمینان از عدم تخلف از فرض استقلال شرطی بین شواهد نسبت به متغیرهای هدف، آزمون‌هایی باید انجام گیرد. بدین منظور دو آزمون به کار گرفته می‌شود؛ در ابتدا و پیش از ترکیب نقشه‌های پیش‌بینی‌کننده نهایی، آزمونی می‌تواند بین نقشه‌های شاهد اجرا گردد؛ و دوم آنکه پس از ترکیب نقشه‌های پیش‌بینی‌کننده، آزمونی کلی می‌تواند بین تمامی نقشه‌های ورودی صورت گیرد. چنانچه دو طرح رقومی نسبت به مجموعه‌ای از کانسارها به طور شرطی مستقل باشند:

$$N\{B_1 \cap B_2 \cap D\} = \frac{N\{B_1 \cap D\}N\{B_2 \cap D\}}{N\{D\}} \quad (22-5)$$

که سمت چپ معادله، تعداد کانسارهای مشاهده شده واقع در محدوده هم‌پوشانی هنگامی است که هر دو طرح رقومی  $B_1$  و  $B_2$  رخ دهند. سمت راست معادله تعداد کانسارهای پیش‌بینی‌شده در محدوده هم‌پوشانی است.

روابط بین دو طرح که در آنها کانسارها حضور دارند، می‌تواند در جدول پیشامد احتمالی نشان داده شوند که در آن چهار خانه مرکزی چهار موقعیت ممکن هم‌پوشانی را تحت شرایط مشاهده شده یا مورد انتظار (پیش‌بینی‌شده)، با فرض استقلال، نشان می‌دهد (جدول ۵-۱).

جدول ۵-۱- جدول پیشامد احتمالی نشان‌دهنده چهار موقعیت ممکن هم‌پوشانی (خانه‌های خاکستری) بین دو طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده و طرح‌های رقومی کانسارهای معدنی [با تغییرات از Bonham-Carter, 1994]

مجموع	غیاب طرح $B_1$	حضور طرح $B_1$	
$N\{B_2 \cap D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap B_2 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap B_2 \cap D\}$	حضور طرح $B_2$
$N\{\bar{B}_2 \cap D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap \bar{B}_2 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap \bar{B}_2 \cap D\}$	غیاب طرح $B_2$
$N\{D\}$	$N\{\bar{B}_1 \cap D\}$	$N\{B_1 \cap D\}$	مجموع

به منظور آزمودن فرضیه صفر که بر اساس آن هیچ‌گونه ارتباطی بین یک جفت نقشه پیش‌بینی‌کننده وجود ندارد، عامل آماری که کل مجموع فراوانی‌های مشاهده شده را با مجموع فراوانی‌های مورد انتظار مقایسه می‌کند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این عامل مجذور کای،  $\chi^2$ ، بوده و معیاری از آن است که چه تعداد از فراوانی‌های سلول‌های مشاهده شده در جدول (نقشه رقومی) از فراوانی‌های سلول‌های مورد انتظار (پیش‌بینی‌شده) منحرف می‌شوند. این عامل آماری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \frac{(Observed_i - Expected_i)^2}{Expected_i} \quad (23-5)$$

که مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار با هر یک از چهار موقعیت هم‌پوشانی بین دو طرح رقومی مطابقت دارند. با استفاده از معادلات ۵-۲۲ و ۵-۲۳، مقدار  $\chi^2$  برای هر جفت طرح رقومی پیش‌بینی‌کننده پتانسیل کانسارهای معدنی می‌تواند محاسبه گردد.

مجذور کای تا حد زیادی وابسته به واحدهای اندازه‌گیری و متناسب با مقدار واحد سطح است. البته، به آن دلیل که کانسارهای معدنی به عنوان سلول‌های واحد فرض می‌شوند، واحدهای

اندازه‌گیری،  $\chi^2$  حاصله را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند و مقادیر بدست آمده از آزمون می‌تواند با مقادیر بحرانی  $\chi^2$  با یک درجه آزادی مقایسه گردد [Bonham-Carter, 1994].

مقدار بحرانی  $\chi^2$  با یک درجه آزادی در سطح اطمینان ۹۵٪، ۳٫۸۴ است [Andrada, 2004]. بنابراین اگر مقدار محاسبه شده  $\chi^2$  بیشتر از ۳٫۸۴ باشد، فرضیه صفر می‌تواند در آن سطح اطمینان مردود گردد. مقادیر بیشتر از این آستانه بیان می‌کنند که استقلال شرطی به طور جدی منحرف گردیده است و بنابراین، یکی از نقشه‌ها باید رد یا اصلاح شود تا مشکل را کاهش دهد [Bonham-Carter, 1994]، یا هر دو نقشه می‌تواند ترکیب گردد [Andrada, 2004].

پس از ترکیب نقشه‌های پیش‌بینی‌کننده که اولین آزمون استقلال شرطی را گذرانده‌اند، آزمون ساده دوم می‌تواند با مقایسه تعداد کانسارهای مشاهده شده با تعداد کانسارهای پیش‌بینی شده در نقشه احتمالی نهایی انجام گردد.

تعداد کانسارهای پیش‌بینی‌شده می‌تواند به صورت زیر محاسبه گردد:

$$N\{D\}_{calc} = \sum_{k=1}^m P_k \times N\{A\}_k \quad (24-5)$$

که  $k = 1, 2, \dots, m$  پیکسل‌های نقشه و  $N\{A\}_k$  مساحت هر سلول واحد است. چنانچه تعداد کانسارهای پیش‌بینی‌شده از تعداد کانسارهای مشاهده شده از حدود ۱۵-۱۰٪ تجاوز کند، بیان می‌کند که فرض استقلال شرطی به شدت منحرف شده است و به منظور اصلاح وضعیت، برخی تغییرات باید اعمال گردد [Bonham-Carter, 1994].

تمامی معادلات مورد استفاده در بخش‌های بعد به صورت فشرده و عملی، در جدول ۲-۵، نشان داده شده است.

جدول ۵-۲- لیست معادلات مورد استفاده در محاسبات W-of-E. انحراف معیار:  $Std$ ; کل پیکسل‌های محدوده مورد مطالعه:  $npixt$ ; پیکسل‌های کانسار:  $npixd$ ; پیکسل‌های طرح رقومی حاضر یا کلاس بافر تجمعی:  $npixb$ ; 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 پیش‌بینی شده:  $N\{D\}pred$ ; احتمال متأخر هر پیکسل در نقشه احتمال متأخر:  $Pp$ ; تعداد پیکسل‌ها با قطعیت احتمال متأخر:  $npix$ . [Andrada, 2004]

مورد استفاده در	مفهوم	معادله
محاسبات W-of-E	وزن مثبت	$W^+ = \log_e \frac{npixbd \times (npixt - npixd)}{(npixb - npixbd) \times npixd}$
محاسبات W-of-E	وزن منفی	$W^- = \log_e \frac{(npixd - npixbd) \times (npixt - npixd)}{(npixt - npixd - (npixb - npixbd)) \times npixd}$
ارزیابی همراهی- کننده‌های مکانی	تفاوت اوزان	$C = W^+ - W^-$
ارزیابی همراهی- کننده‌های مکانی بهینه	حساسیت C	$SigC = \frac{C}{\sqrt{(StdW^+)^2 + (StdW^-)^2}}$
آزمون استقلال شرطی دوگانه	مجذور کای	$\chi^2 = \sum_{i=1}^4 \frac{(Observed_i - Expected_i)^2}{Expected_i}$
محاسبه نقشه احتمال متأخر	احتمال مقدم کانسار	$P\{D\} = N\{D\}/N\{T\}$
محاسبه نقشه احتمال متأخر	تبدیل به احتمال رخدادها	$priorodds = priorprob./ (1 - priorprob.)$
محاسبه نقشه احتمال متأخر	محاسبه لوجیت‌ها	$Logit\{D\} = \log_e (priorO) = \log_e O\{D\}$
نقشه پیش‌بینی‌کننده	محاسبه نقشه احتمال متأخر	$Postpro = \frac{e^{(Logit\{D\} + m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n)}}{1 + e^{(Logit\{D\} + m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n)}}$
آزمون استقلال شرطی کلی	محاسبه کانسارهای پیش‌بینی‌شده نهایی	$N\{D\}pred = \sum (Pp \times npix)$

### ۵-۳- تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلای معلمان

#### ۵-۳-۱- خصوصیات زمین‌شناختی یا همراهی‌کننده‌های مکانی کانسارهای طلای معلمان

همراهی‌کننده‌های مکانی بیش از ۲۰ کانسار و نشانه معدنی طلا در منطقه معلمان، شامل:

واحدهای زمین‌شناسی، سیستم‌های شکستگی و نقشه مغناطیس‌هوایی منطقه به کمک روش

وزن‌های نشانگر بررسی و کمی شدند. واحدهای زمین‌شناسی مساعد برای کانی‌سازی و همراهی



کننده نهشته‌های شناخته شده منطقه، همانطور که در فصل دوم ذکر گردید، عبارتند از:  $E^{sp}$ ،  $dp$ ،  $E^{iv}$ ،  $E^{v,br}$ ،  $E^{la}$  و  $E^{tr}$ . مناطق دگرسانی مرتبط با کانسارهای طلای معلمان مورد مطالعه قرار گرفتند و بنا به آنچه در فصل قبل بیان شد، در نهایت نقشه رقومی مناطق دگرسانی تهیه گردید (شکل ۴-۴). سیستم‌های شکستگی و گسل‌های منطقه نیز با استفاده از نقشه زمین‌شناسی معلمان انتخاب، تصحیح و رقومی شدند (شکل ۴-۱۱). نقشه رقومی مغناطیس هوایی منطقه نیز آماده گردید (شکل ۴-۱۰).

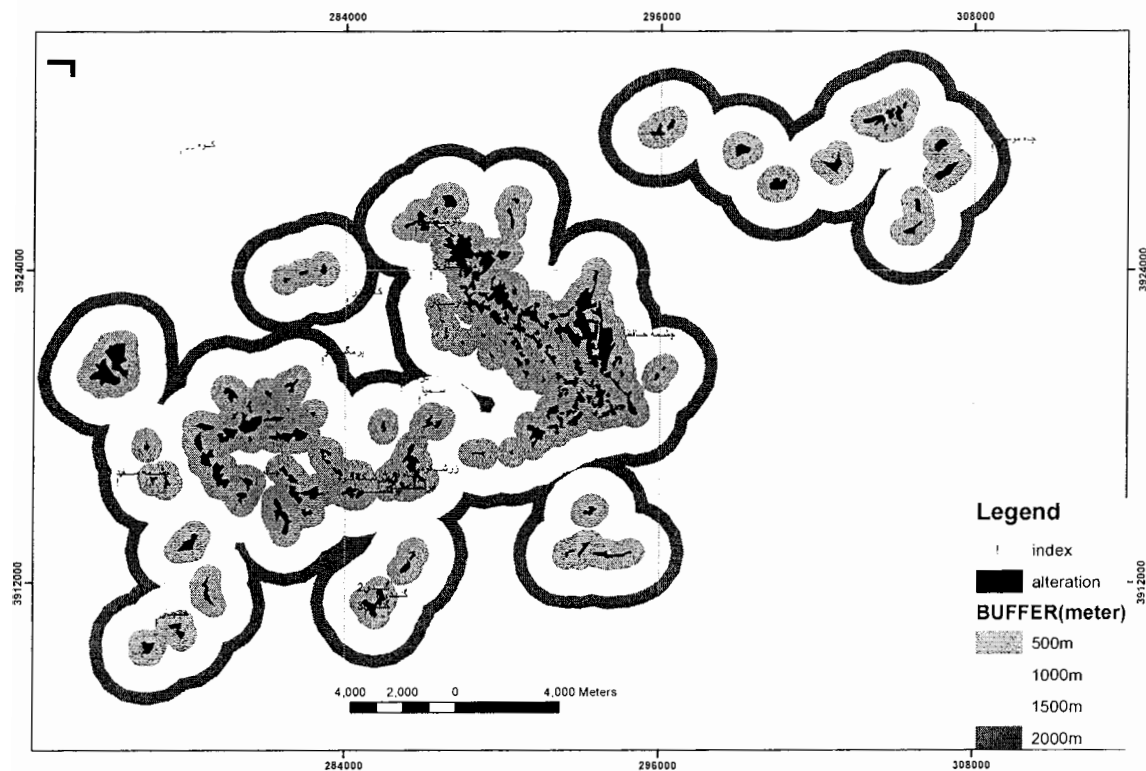
با توجه به جدول ۵-۲، فرمول‌های ذکر شده، در محیط نرم‌افزار Excel نوشته شدند و از این طریق محاسبات بدون نیاز به نرم‌افزار خاصی انجام گردید و مقایسه آن با محاسبات صورت گرفته در نرم‌افزار Arc View 3.2 نشان داد که به مراتب حتی جواب بهتری حاصل گردیده است.

توزیع کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا در منطقه، بر روی هر یک از نقشه‌های رقومی دوتایی شواهد مشخص شدند و از این طریق تعداد نهشته‌هایی که بخشی از سلول‌های هر یک از نقشه‌های شواهد مورد نظر را اشغال نموده‌اند، تعیین گردید. تعداد سلول‌های اشغال شده توسط الگوهای شواهد حاضر، از هیستوگرام هر نقشه شاهد بدست آمد. تعداد کل سلول‌های فوق در محاسبه وزن‌ها مورد استفاده قرار گرفت و میزان کنتراست مربوط به آن از تفاضل سلول‌های انتخاب شده از سایر سلول‌ها محاسبه گردید. اوزان مثبت و منفی ( $W^+$  و  $W^-$ ) و انحراف استاندارد آنها ( $Std W^+$  و  $Std W^-$ )، میزان کنتراست ( $C$ ) و کنتراست استیودنت آنها ( $SigC$ )، با استفاده از روابط ذکر شده در بخش ۵-۲ (جدول ۵-۱) حساب شد.

با استفاده از نقشه‌های دوتایی منطبق بر واحدهای زمین‌شناسی، سیستم‌های شکستگی و

نقشه مغناطیس‌هوایی، نقشه‌های دوتایی پیش‌بینی‌کننده کانی‌سازی طلا در منطقه معلمان بدست آمد. این امر از طریق مطابقت دادن وزن‌های مثبت با مناطقی که در آنها الگوهای نواحی مطلوب یا محدوده بافر مطلوب انتخابی حضور داشت و همچنین انطباق وزن‌های منفی با مناطقی که در آنها الگوهای مرتبط به نواحی مطلوب دیده نمی‌شدند یا نواحی که از محدوده بافر انتخاب شده فاصله داشتند، فراهم گردید. در نهایت با ترکیب موارد فوق نقشه نهایی پتانسیل‌یابی کانسارهای طلا در منطقه معلمان ایجاد شد.

نقشه بافر مناطق آلتراسیون در شکل ۵-۲ دیده می‌شود. در این نقشه مناطق آلتراسیون به رنگ تیره مشخص شده است و فواصل از آن مناطق به صورت ۰ تا ۵۰۰ متر، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر تقسیم شده است. محدوده فاصله ۰ تا ۵۰۰ متر از مناطق آلتراسیون که به رنگ سبز نمایش داده شده است، مساحتی حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع داشته و ۱۲ اندیس معدنی شناخته شده طلای منطقه در آن جای گرفته است. این منطقه دارای بیشترین مقدار  $W^*$  بوده و کنتراست آن نیز بالاتر است. این فاصله، بهترین پیش‌بینی‌کننده دوتایی نقاط پیدایش کانسارهای طلا خواهد بود. در جدول ۵-۳ مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای نقشه فاصله‌داری از مناطق آلتراسیون دیده می‌شود.



شکل ۵-۲- نقشه بافر مناطق آلتراسیون در فواصل ۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ و ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر

جدول ۵-۳- مقادیر محاسبه شده نرم افزار برای فواصل از مناطق آلتراسیون

Name	Area(km <sup>2</sup> )	Point	$W^+$	$W^-$	$C$	$S_C$	StudentC
2000	88.27354451	0	0	0.182452	0	0	0
1500	98.95501858	6	0.278541	-0.1604	0.438944	0.502009	0.874374
1000	111.5751218	2	-0.98457	0.141576	-1.12614	0.753669	-1.49421
500	130.5704453	12	0.728297	-0.64082	1.369119	0.469261	2.917607

نقشه بافر گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی در شکل ۵-۳ نشان داده شده است. مقادیر

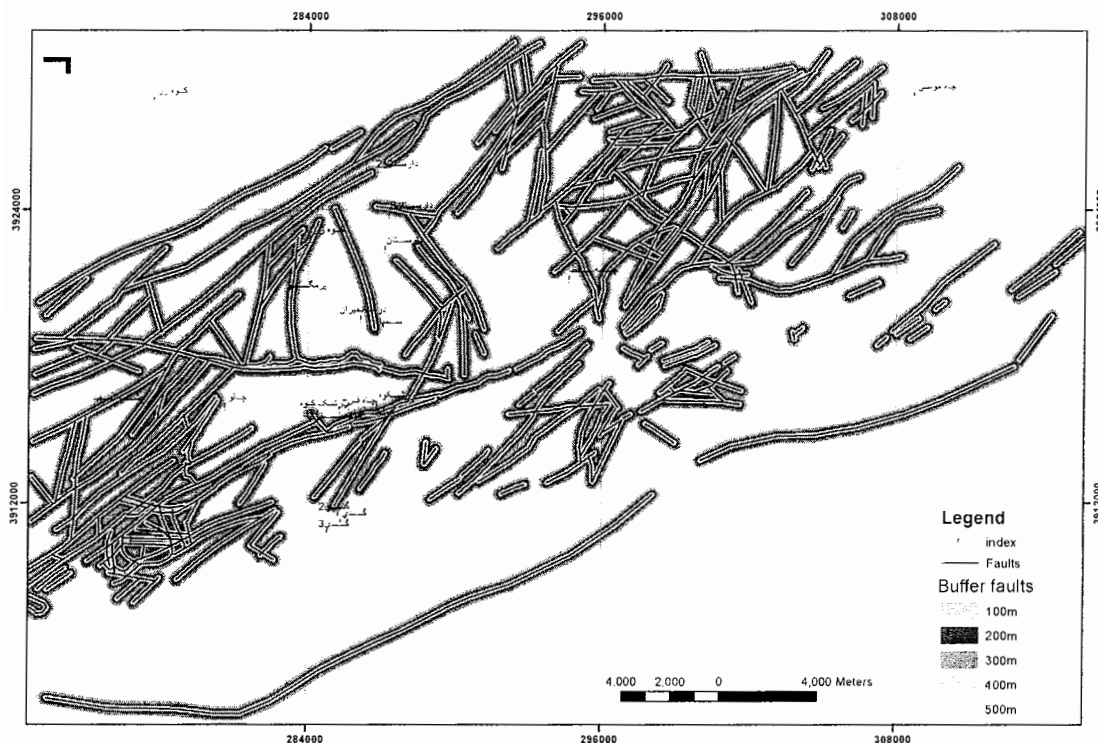
فاصله‌داری از گسل‌ها به محدوده های ۰ تا ۱۰۰ متر، ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر، ۳۰۰ تا

۴۰۰ متر و ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر تقسیم شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته در نرم‌افزار

مساحت هر یک از مناطق فوق، تعداد اندیس‌های معدنی شناخته شده در هر بافر و مقادیر اوزان،

کنتراست و استیودنت کنتراست آنها در جدول ۵-۴ آمده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده،

محدوده فاصله ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر از گسل‌ها، فاصله بهینه‌ای است که بهترین پیش‌بینی کننده دوتایی نقاط پیدایش طلاست. مقادیر محاسبه شده وزن‌ها، کنتراست و استیودنت کنتراست این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- نقشه بافر گسل‌ها در فواصل ۰ تا ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۰ تا ۴۰۰ و ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر

جدول ۵-۴- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای فواصل از گسل‌ها

Name	Area(km <sup>2</sup> )	Point	$W^+$	$W^-$	$C$	$StudentC$
500	62.11616867	2	0.3776	-0.09327	0.470874	0.593192
400	74.3646506	1	-0.51471	0.043146	-0.55786	-0.52805
<b>300</b>	<b>94.11052139</b>	<b>4</b>	<b>0.66599</b>	<b>-0.27284</b>	<b>0.938827</b>	<b>1.472492</b>
200	120.3521354	1	-1.00135	0.159122	-1.16047	-1.10091
100	142.3859611	3	-0.0579	-0.00896	-0.04894	-0.0715

بر اساس تغییرات مقادیر شدت میدان مغناطیسی کل در نقشه ژئوفیزیک هوایی، پس از

رقومی‌سازی و انجام محاسبات نرم‌افزاری، مقدارهای اوزان، کنتراست و استیودنت کنتراست به دست

آمد که از بین آنها شدت میدان مغناطیسی کل ۵۰٪-۷۰٪ دارای  $W^+$  بزرگتر بوده و با توجه به کنتراست و کنتراست استیودنت آن در جدول ۵-۵، منطقه بهینه‌ای است که انتخاب شد.

جدول ۵-۵- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای تغییرات مقادیر شدت میدان مغناطیسی کل در نقشه ژئوفیزیک هوایی

Name	Area(km <sup>2</sup> )	Point	$W^+$	$W^-$	$C$	$S_C$	StudentC
80%	95.5068	2	0.98498	-0.0721	1.05709	0.7508	1.40793
90%	421.6935	10	1.11217	-0.48575	1.59792	0.4402	3.62986
<b>70%</b>	<b>186.7878</b>	<b>9</b>	<b>1.8465</b>	<b>-0.49813</b>	<b>2.34463</b>	<b>0.4477</b>	<b>5.23650</b>
<50%	0	0	0	-0.00629	0	0	0

جدول ۵-۶ مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای واحدهای مختلف زمین‌شناسی است که اندیس‌های معدنی طلای شناخته شده منطقه معلمان در آن واقع شده‌اند. با توجه به این جدول سه واحد زمین‌شناسی  $dp$ ،  $E^{SP}$  و  $E^{IV}$  به عنوان واحدهای بهینه زمین‌شناسی که احتمال رخداد کانی‌زایی طلا در آنها بالاست، انتخاب شدند.

جدول ۵-۶- مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای واحدهای مختلف زمین‌شناسی

Unit	Area(km <sup>2</sup> )	Points	$W^+$	$W^-$	$C$	StudentC
<b>dp</b>	<b>14.6937</b>	<b>2</b>	<b>1.3199</b>	<b>-0.0827</b>	<b>1.4026</b>	<b>1.7534</b>
<b><math>E^{SP}</math></b>	<b>28.9846</b>	<b>3</b>	<b>1.0089</b>	<b>-0.1126</b>	<b>1.1215</b>	<b>1.6972</b>
<b><math>E^{IV}</math></b>	<b>199.8651</b>	<b>11</b>	<b>0.3247</b>	<b>-0.323</b>	<b>0.6477</b>	<b>1.3654</b>
$E^{v,br}$	16.027	1	0.458	-0.0202	0.4782	0.451
$E^{la}$	2.957	0	0	0	0	0
$E^{tr}$	57.7421	2	-0.1597	0.0206	-0.1803	-0.2369

جدول ۵-۷، جدول نهایی حاصل از مقادیر محاسبه شده نرم‌افزار برای هر یک از شواهد زمین‌شناسی همراهی کننده کانی‌سازی طلا در منطقه معلمان می‌باشد که ورودی نرم‌افزار برای تهیه نقشه نهایی پیش‌بینی کننده کانی‌سازی طلا در منطقه معلمان است.

جدول ۵-۷- جدول نهایی مقادیر محاسبه شده نرم افزار برای شواهد زمین شناسی همراهی کننده کانی سازی طلا در

منطقه معلمان

Name	Selected	Area(Km <sup>2</sup> )	Point	$W^+$	$W^-$	C	studentC
Geophysics	70%Intensity	186.788	9	1.846	-0.498	2.34463	5.2365003
Geology	dp	14.6937	2	1.32	-0.0827	1.4026	1.7534
	E <sup>sp</sup>	28.9846	3	1.0089	-0.1126	1.1215	1.6972
	E <sup>tv</sup>	199.8651	11	0.325	-0.323	0.6477	1.3654
Fault	200-300 (m)	94.1105	4	0.6660	-0.2728	0.9388	1.4724922
Altration	0-500 (m)	130.570	12	0.7283	-0.6408	1.3691	2.9176073

لازم به ذکر است، آزمون استقلال شرطی برای ۴ لایه توسط نرم افزار به میزان ۹۵٪ محاسبه

شد که مقداری قابل قبول است.

### ۵-۳-۲- نقشه پتانسیل یابی کانسارهای طلای معلمان

شکل ۵-۴، نقشه خروجی نرم افزار Arc View 3.2 است که نشان دهنده پتانسیل کانی سازی

طلا در منطقه معلمان می باشد. این مناطق بر حسب احتمال کانی زایی طلا از بیشترین احتمال با

رنگ قرمز تا کمترین مقدار آن با رنگ سفید نشان داده شده اند. از کل مساحت منطقه مورد مطالعه،

در حدود ۸۶۰ کیلومتر مربع، مساحتی در حدود ۱۴۲ کیلومتر مربع، یعنی ۱۶ درصد آن، به عنوان

مناطق مساعد برای کانی سازی طلای ایبی ترمال شناخته شدند. مناطق مطلوب حاصل هم پوشانی

شواهد ساختمانی، دگرسانی، ژئوفیزیکی و واحدهای زمین شناسی است. بر این اساس چهار محدوده

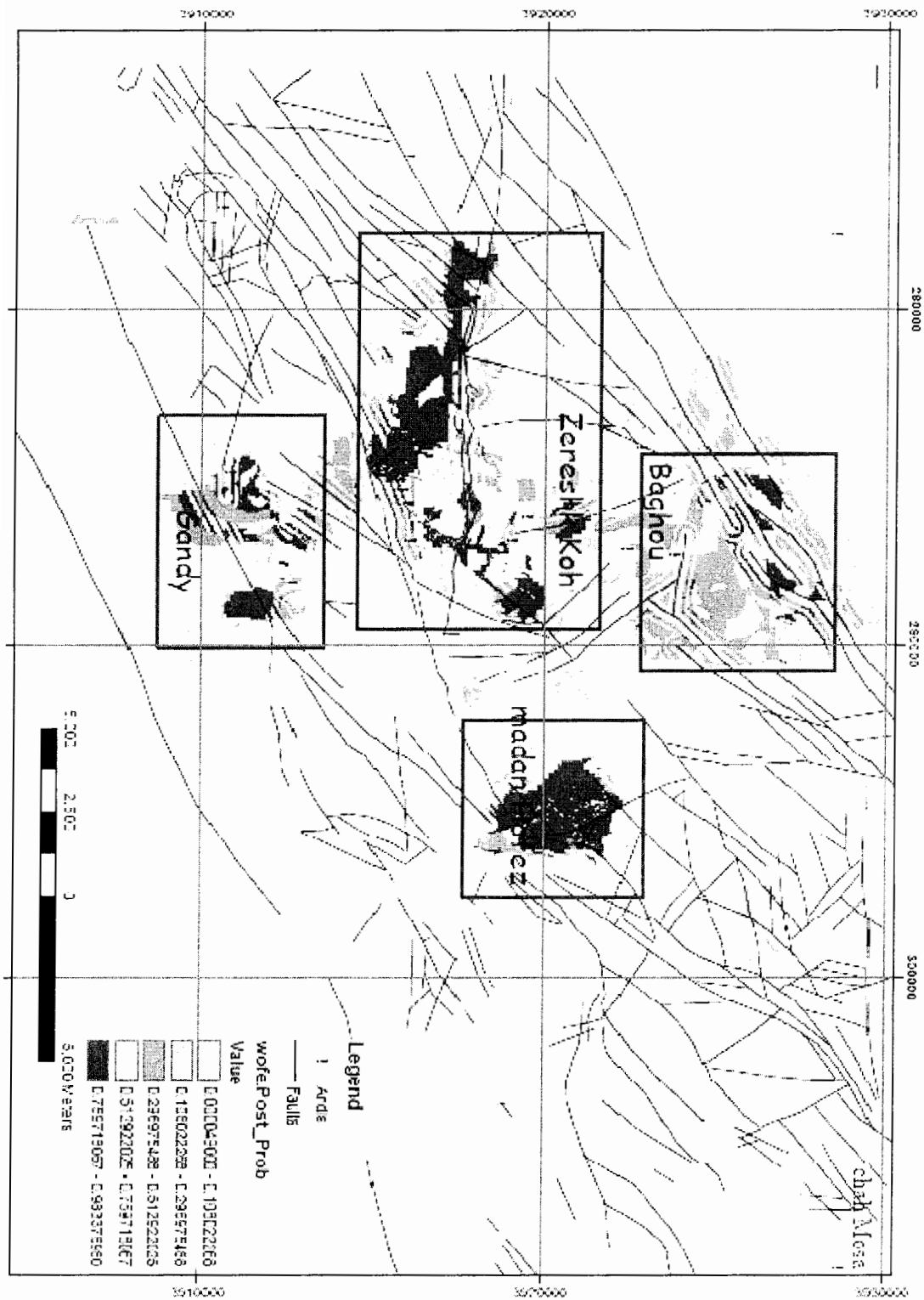
مطلوب برای کانی سازی طلا در شکل دیده می شود که به ترتیب اولویت عبارتند از:

- محدوده پتانسیل دار زرشک کوه

- محدوده پتانسیل دار معدن حافظ

- محدوده پتانسیل دار گندی

- محدوده پتانسیل دار باغو



شکل ۴-۵- نقشه نهایی خروجی نرم افزار، نشان دهنده پتانسیل کانی سازی طلا در منطقه معلمان

## ۵-۴- بررسی اعتبار نتایج و صحت مناطق امیدبخش بدست آمده

پس از مطالعات ژئوشیمیایی چینی‌ها در منطقه معلمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نیز مطالعات ژئوشیمیایی تفصیلی کانی سنگین را در بخش شمالی معلمان انجام داد. منطقه برای بررسی به دو بخش غربی و شرقی تقسیم گردید و در نهایت مناطق امیدبخش معرفی گردیدند [فضائی، ۱۳۷۷].

مقایسه نتایج بدست آمده در این تحقیق با مطالعات تفصیلی ژئوشیمیایی انجام شده در منطقه، میزان بالای اعتبار نتایج و صحت مناطق پیش‌بینی شده را تأیید می‌کند. منطقه‌ای که در نقشه پتانسیل‌یابی کانسارهای طلای معلمان در این تحقیق با عنوان زرشک‌کوه ذکر گردیده است، به طور کامل در انطباق با مناطق امیدبخش معرفی شده در بخش غربی مطالعات سازمان زمین‌شناسی است. محدوده معدن حافظ در نقشه پتانسیل‌یابی نیز در انطباق کامل با مناطق مطلوب بررسی شده سازمان است و همانند بخش زرشک‌کوه به عنوان یکی از اولویت‌ها در برنامه‌های آتی اکتشافی پیشنهاد شده است. اکتشافات تفصیلی سازمان زمین‌شناسی در بخش‌هایی از این دو منطقه در حال انجام است.

لازم به ذکر است طی بازدید به عمل آمده از مناطق پتانسیل‌دار معرفی شده، نتایج بدست آمده مورد بازبینی قرار گرفتند و صحت آنها مورد تأیید قرار گرفت. این امر به خصوص در مورد محدوده کانسار گندی و کانی‌سازی در شرق این بخش مشاهده شد. کانی‌سازی طلای پلی‌متال مشابه کانسار گندی در این منطقه رخ داده است و می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق پتانسیل‌دار معرفی گردد.





شکل ۵-۵- رگه کانی سازی شده طلای پلی متال در شرق کانسار گندی. امتداد کانی سازی در مرکز تصویر قابل رؤیت است.

کانی سازی طلا در محدوده باغو نیز گزارش شده است [مقصودی، ۱۳۸۴] که طلا به صورت پلاسری و همچنین در رگه ها و رگچه های سیلیسی حضور دارد. کانی سازی در این منطقه مشابه کانسار قدیمی طلای کوه زر دامغان بوده و شواهدی از معدن کاری قدیمی و آثار شدادی پیشینیان در آن کشف شده است. محدوده باغو در نقشه پتانسیل یابی در بر دارنده مناطقی در مجاورت این کانسار بوده و چهارمین بخش امیدبخش به دست آمده در این تحقیق را به خود اختصاص داده است.

مقایسه نتایج به دست آمده در نقشه پتانسیل کانسارهای طلای منطقه معلمان با نقشه آنومالی های ژئوشیمیایی عناصر (شکل ۱۰-۴ فصل قبل) نیز، بیانگر انطباق کامل مناطق پتانسیل دار در دو نقشه است که این امر نشان از صحت نتایج به دست آمده دارد.

فصل ششم

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱- نتیجه‌گیری

## ۶-۱-۱- کنترل‌کننده‌های زمین‌شناختی ISED در منطقه معلمان

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی روی کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حد واسط صورت گرفته است و نمونه‌های این نوع نهشته‌ها در نقاط مختلف جهان شناخته و معرفی شده‌اند. در این تحقیق در ابتدا با بررسی مطالعات انجام گرفته روی کانسار طلای گندی، با استفاده از روش بیزین تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی این کانسار با استفاده از نتایج آنالیز نمونه‌های منطقه تعیین گردید. این امر به خوبی توانست معیارهای شناخت این نوع کانی‌سازی و کانی‌سازی‌های مشابه را در منطقه روشن سازد. بررسی شرایط ته‌نشست طلا در منطقه معلمان و تلفیق اطلاعات مربوط به آن، تهیه نقشه پتانسیل کانی‌سازی طلا در این منطقه را ممکن ساخت که نتایج بدست آمده تطابق بالایی با مطالعات ژئوشیمیایی کانی سنگین و همچنین مطالعات ژئوفیزیکی در مقیاس تفصیلی‌تر نشان می‌دهد.

بررسی مطالعات قبلی و رخدادهای کانی‌زایی در گندی و اندیس‌های دیگر منطقه، نتایج زیر

را آشکار می‌سازد:

- تجزیه عناصر ناخالص کانی‌های اصلی پیریت، گالن و اسفالریت مربوط به نمونه‌هایی از مغزه‌های حفاری معدن گندی و قرار دادن آنها در مدل بیزین نیز تیپ کانی‌شناسی-ژئوشیمیایی کوارتز-سولفیدی را برای عناصر ناخالص کانی‌های پیریت و کوارتز-سولفیدی پلی‌متال را برای عناصر ناخالص کانی اسفالریت و تیپ طلای پلی‌متال را برای عناصر ناخالص کانی گالن نشان داد. نتایج به دست آمده تا حد زیادی با مطالعات و بررسی‌های سنتی گذشته [Shamanian, 2004] مطابقت دارد.
- اغلب کانی‌سازی‌ها در منطقه معلمان در راستای شمال شرق-جنوب غرب و تا حدی نیز در راستاهای شمالی-جنوبی، شمال غرب-جنوب شرق و حتی شرقی-غربی صورت گرفته است. تأثیر عملکرد گسل‌ها در کانی‌سازی به خوبی در بازدید به عمل آمده از منطقه مشاهده گردید. نکته جالب توجه آن است که کانی‌سازی در اندیس‌های نزدیک به هم نیز ممکن است از راستایی خاص و متفاوت با اندیس مجاور تبعیت کند که این امر به ولکانیک منطقه و نفوذ سیال هیدروترمال به طور متناوب و در زمان‌های مختلف مربوط می‌گردد. این سیالات کانه‌ساز علاوه بر تزریق در زمان‌هایی متفاوت دارای خواص متفاوتی نیز هستند؛ مثلاً شوری و غلظت گوگرد آنها یکسان نمی‌باشد [Shamanian, 2004]. در کل می‌توان گفت که جهت شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه متنوع می‌باشد که در گندی منجر به چرخش بعضی از رگه‌ها شده است. این امر منجر به پدید آمدن رابطه‌ای پیچیده بین سیستم شکستگی منطقه و کانی‌سازی گردیده است که این سیستم شکستگی پیچیده کنترل‌کننده اصلی توزیع فضایی و مکانی کانی‌سازی در سنگ‌های بارور منطقه محسوب می‌گردد.

## ۶-۱-۲- نقشه پتانسیل کانی‌سازی طلای منطقه معلمان

از روش وزن‌های نشانگر (W-of-E) به منظورهای زیر استفاده گردید:

الف) کمی‌سازی همراهی کننده‌های مکانی در ارتباط با نهشته‌های طلا و هر یک از شواهد

دال بر کانی‌سازی

ب) تهیه یک مدل پیشگویی کننده ناحیه‌ای از پتانسیل کانی‌سازی طلا در منطقه.

ج) قرار گرفتن اندیس طلا دار گندی در یکی از اولویت‌های نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌سازی

طلا در منطقه معلمان

د) سیستم‌های شکستگی با امتداد NE-SE مهم‌ترین زون وقوع کانی‌سازی منطقه گندی در

مقیاس معدنی، مطابق با روند اصلی گسترش ذخایر طلای منطقه معلمان در مقیاس

ناحیه‌ای

از روش وزن‌های نشانگر (W-of-E) با موفقیت در تهیه نقشه پتانسیل‌یابی کانی‌سازی

نهشته‌های طلا در معلمان استفاده شد. بررسی و ملاحظه همراهی کننده‌های نهشته‌های طلای

منطقه، شواهد زمین‌شناختی مربوط به واحدهای زمین‌شناسی، ساختاری، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و

دگرسانی هیدروترمال تطابق لازم و کافی را با مقیاس محلی اندیس‌های طلا دارد. این امر با بازدید

صحرائی از مناطق کانی‌سازی پیشگویی شده نیز کاملاً تأیید گردید. همچنین نتایج به دست آمده از

مطالعات تفصیلی ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و رسوبات آبراه‌ای انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی

و اکتشافات معدنی کشور این تطابق را به خوبی آشکار نموده است.

## ۶-۲- پیشنهادات

به منظور اکتشافات آینده نهشته‌های طلای منطقه معلمان تلاش‌ها در سه جهت اصلی

بایستی متمرکز گردد:

۱- تعیین تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی (MGT) اندیس‌های طلا دار در مقیاس ناحیه‌ای

در منطقه معلمان و تهیه نقشه MGT ناحیه‌ای در محیط GIS که در گذشته از نقشه‌های

متالورژی در این مورد استفاده می‌شد.

۲- تعیین تیپ کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی (MGT) در هر اندیس طلا دار منطقه به منظور

اکتشافات محلی و با هدف تعیین برنامه نهایی اکتشافات تفصیلی و بهره‌برداری، شامل:

نمونه‌برداری‌های بهینه، انتخاب طرح مناسب فرآوری، ارزیابی آلودگی‌های زیست‌محیطی

اندیس‌های کانی‌سازی و ...

۳- تخمین و ارزیابی سطح از فرسایش در هر یک از اندیس‌های طلا دار در ناحیه معلمان با

استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی اکتشافی.

## فهرست منابع

فهرست منابع فارسی:

- اشراقی، ص. ع. گزارش نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه معلمان (منتشر نشده است).
- بئوس، الف.، گریگوریان، س. ۱۳۷۵. روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی ذخائر معدنی، ترجمه سیمین پرند، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بدخشان، ق.، کی‌نژاد، آ. ۱۳۸۲. بحثی پیرامون ژنز و ارزیابی اقتصادی کانسار طلای گندی. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بونهام- کارتر، گریم. ف. ۱۳۷۹. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین، مدل‌سازی به کمک GIS. ترجمه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه اطلاعات زمین‌مرجع، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- حسینی پاک، علی‌اصغر. ۱۳۸۱. اکتشافات ذخایر طلا. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران
- خادمی، محسن.، شهریاری، سهراب. ۱۳۸۶. کانسارهای منطقه تروود و ارتباط تشکیل آنها با سیستم‌های شکستگی منطقه. اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، مشهد.
- زنده‌دل، امیر. ۱۳۸۶. بررسی مدل‌های کانی‌شناسی - ژئوشیمیایی و زمین‌شناختی کانسارهای اپی‌ترمال طلا و روش‌های اکتشاف آنها. سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳. گزارش برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه تروود- معلمان
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه معلمان (منتشر نشده است).
- شمعانیان اصفهانی، غلامحسین. ۱۳۸۴. مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان، جنوب شرق دامغان، استان سمنان، ایران. پایان‌نامه دکتری، دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.
- شهاب‌پور، جمشید. ۱۳۸۱. زمین‌شناسی اقتصادی. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ضیایی، منصور.، گریگوریان س. و. ۱۳۷۹. کاربرد کانی‌پیریت و گالن در اکتشاف ذخایر طلا. هشتمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران.
- فرد، م. ۱۳۸۰. نگرشی بر کانه‌زایی و پتانسیل طلا در مجموعه آتشفشانی نفوذی تروود- چاه‌شیرین (جنوب دامغان). پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران.



- فضائلی، علیرضا. ۱۳۷۷. *اکتشافات ژئوشیمیایی و کانی سنگین نیمه تفصیلی در منطقه معلمان (جنوب شرق دامغان)*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم پور، محمد حسن، ملک زاده، آزاده، حیدریان، محمد رضا، ۱۳۸۴، *اکتشاف ذخایر معدنی، مدل های زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره ای و ژئوفیزیکی*. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- کسلر، الف. ۱۳۸۰، *منابع معدنی از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی*، ترجمه فرید مر، احمد هرمزی، عبدالمجید یعقوب پور، انتشارات ویژه نشر.
- مقصودی، عباس، رحمانی، مزده، رشیدی، بهمن. ۱۳۸۴. *کنسارها و نشانه های معدنی طلا در ایران*. انتشارات آریز زمین، تهران.
- مؤسسه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰. *اطلس راه های ایران*. مؤسسه جغرافیایی، کارتوگرافی و گیتاشناسی.
- هوشمندزاده، ع، علوی نایینی، م، حقی پور، ع. ۱۳۵۷. *تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه تروند (از پرکامبرین تا عهد حاضر)*. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یعقوب پور، عبدالمجید. ۱۳۸۳. *اصول زمین شناسی ذخایر معدنی*، انتشارات دانشگاه تربیت معلم.

### فهرست منابع انگلیسی:

- Andrada de Palomera, R. P. 2004. *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Mineral Predictive Mapping, Deseado Massif, Southern Argentina*. M.S.c Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, the Netherlands, 75 pages.
- Asadi, H. H. 2000. *The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran*. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 190 pages.
- Asadi, H. H., Hale, M. 2001. *A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran*. Computers & Geosciences, Vol.27. pp. 901-912.
- Bonham-Carter, G. F., 1994. *Geographic information systems for geoscientists. Modeling with GIS*. Computer Methods in the Geosciences, Vol. 13. Pergamon, New York. p. 398.
- Downes, P. M. 2007. *Yerranderie a Late Devonian Silver – Gold – Lead Intermediate Sulfidation Epithermal District, Eastern Lachlan Orogen, New South Wales, Australia* Resource Geology, Vol. 57, No. 1. pp. 1-23.

Grigorian, S. V., Liakhovich, T. T., Getmancky, I. I., Ziiai, M. 1999, a. *Trace element in mineral as a criterion of geochemical anomaly estimations*. Journal of Science and Technology in Russia, No1 (31).pp.23-26

Grigorian, S. V., Liakhovich, T. T., Getmancky, I. I., Ziiai, M. 1999, b. *Geochemical spectrum of minerals as a criterion of gold ores types identification*. Journal of Science and Technology in Russia, No3 (31). pp. 20-25

Palero-Fernandez, F. J., Martin-Izard, A. 2005. *Trace element contents in Galena and Sphalerite from ore deposits of the Alcudia Valley mineral field (Eastern Sierra Morena, Spain)*. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 86, pp. 1-25.

Porwal, A. K. 2006. *Mineral potential mapping with mathematical geological models*. Tekst. - Proefschrift Universiteit Utrecht, 286 pages.

Raines, G. L. 1999. *Evaluation of Weights of Evidence to Predict Epithermal- Gold Deposits in the Great Basin of the Western United States*. Natural Resources Research, Vol. 8, No. 4. pp. 257-276.

Shamanian, G. H., Hedenquist J. W., Hattory, K. H., Hassanzadeh J. 2004. *The Gandy and Abolhasani Epithermal Prospects in the Alborz Magmatic Arc, Semnan Province, Northern Iran*. Economic Geology. Vol. 99, pp. 691-712.

Shuigen, X. Jianchang, Z. 1996. *Explanatory Text of Geochemical Map of Mo'aleman*. Geophysical and Geochemical Exploration Co., Jiangxi, China. Report No. 23. Vol. 1, 33 pages.

Sillitoe, R. H., Hedenquist, J. W. 2003. *Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits*. Society of Economic Geologists. Special Publication 10, 30 pages.

Ziiai, M. 2007. *Geochemical and Mineralogical Pattern Recognition and Modeling with Bayesian Approach at the Hydrothermal Gold Deposits*. Goldschmidt Conference, Cologne, Germany, Abstracts. <http://www.goldschmidt2007.org>

Ziiai, M. 1999. *Technique Rational Mineralogical and Geochemical Sampling Ore Manifestation of Gold*. Ph.D. Thesis of Geo-Mineral Nauk, IGEMRAN, Moscow, 140 pages.

Ziiai M. 2007. *Application of GIS technology in Mining Geochemistry*. 5<sup>th</sup> International Symposium, Modeling qualities ITC, Enschede in space and time The Netherlands, <http://www.itc.nl/issdq2007/proceedings/poster.html>.

Ziiai, M., Abedi, A. 2004. *Application of GIS Technology in regional exploration programs*. 2<sup>nd</sup> international conference on "GIS in Geology", Moscow.p.105-106.

---

Ziaii, M., Abedi, A., Ziaii Mahdi. 2007. *Prediction of Hidden Ore Bodies by New Integrated Computational Modeling in the East of Iran (Lut marginal)*. Fifth decennial international conference on mineral exploration, Toronto, Canada. <http://www.exploration07.com>.

Ziaii, M., Ziaii, Mahdi. 2006. *GIS Modeling for Mineral Potential Mapping and Quantitative Resource Assessment (in East of Iran)*. III international conference GIS in geology, Moscow. pp. 59-60. [www.gisingeology.sgm.ru](http://www.gisingeology.sgm.ru)

Ziaii, M., Pouyan, A. A., Ziaii, Mahdi. 2006. *A Hybrid Computational Model for Mineral Exploration Datasets*. 12<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, Quebec City, Canada, <http://www.gch.ulaval.ca/ifacmmm07>

Ziaii, M., Pouyan, A. A., Ziaii, Mahdi. 2006. *A Neuro-Computing Based Model for Anomaly Recognition in Geochemical Exploration*. 10<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Systems, Vouliagmeni, Athens, Greece. pp. 98-102.





**Shahrood University of Technology**  
**Department of Mining Engineering and Geophysics**

**A Thesis Submitted for the Award of the  
Degree of MSc in Mining Engineering**

**Subject:**

**Spatial Data integration by Application of Geographic  
Information Systems for Investigation of Gold Anomalies in  
Gandi, Moalleman Area, Semnan Province, Iran**

**By:**

**A. Zendedel**

**Supervisors:**

**Dr. M. Ziiai**

**Dr. A. Abedi**

**Advisor:**

**Gh. Badakhshan Momtaz**

**September 2007**