

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه شاهرود

دانشکده‌ی علوم زمین
گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در محیط GIS با استفاده از پردازش

داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه یکصد هزارم هشت‌رود

زهرا حمید

اساتید راهنما

دکتر حبیب‌الله قاسمی

دکتر حمید آقاجانی

مشاور

محمد رضایی

شهریور ۹۴



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زهرا حمید به شماره دانشجویی ۹۱۰۲۴۰۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان تهیه نقشه ی پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در محیط GIS با استفاده از پردازش داده های ماهواره ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه ی زمین شناسی یکصد هزارم هشتگرد که در تاریخ ۹۴/۶/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز ۱۸/۲۵) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹) ۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	حمید آقاجانی	استادیار	
	حبیب الله قاسمی	استاد	
۲- استاد مشاور	محمد رضایی	دانشجوی دکتری	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	محمود صادقیان	استادیار	
۴- استاد ممتحن	مسعود علیپور اصل	استادیار	
۵- استاد ممتحن	رضا خالو کاکایی	استاد	

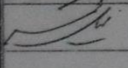
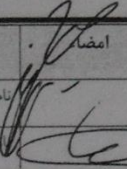
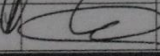
رئیس دانشکده: امضاء

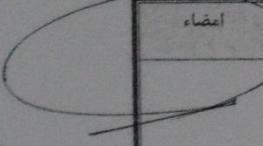
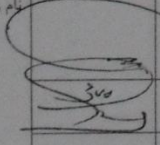
دانشگاه شاهرود

دانشکده: علوم زمین
گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم زهرا حمید..... به شماره دانشجویی: ۹۱۰۲۴۰۴
تحت عنوان:

در تاریخ ۱۳۹۳/۰۶/۰۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: محمد رضایی		نام و نام خانوادگی: حمید آقاجانی
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: حبیب الله قاسمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: محمود صادقیان		نام و نام خانوادگی: مسعود علیپور
			اصل
			نام و نام خانوادگی: رضا خالوکاکایی
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم بہ:

تمام، مستقیم، مادر و پدرم

و

محترم حمید

مَشکُر و قَدردانی

نخستین پاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دیای بی‌کران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند، اکنون که در سایه سار بنده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است بر خود لازم می‌دانم تا مراتب پاس را از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف پایان نامه مرایاری نموده‌اند به جا آورم و از درگاه خداوند متعال توفیق روزافزون یکایک آن‌ها را خواستارم.

ابتدا از اساتید گرانقدرم جناب آقای دکتر آقا جانی و جناب آقای دکتر قاسمی که زحمات راهبردی این پایان نامه را بر عهده داشتند و در تمامی مراحل انجام این پایان نامه پیوسته راهنمای من بودند، قَدردانی و مَشکُر می‌کنم.

از جناب آقای مهندس محمد رضایی که در تمام مراحل انجام پایان نامه در سمت مشاور از هیچ‌گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند بی‌نیایت سپاسگزارم.

نیایت پاس و قَدردانی خود را به خانواده‌ی خوبم، خانواده‌ی به‌سرمد و در نیایت به‌سر عزیزم حمید سعادت‌مند عرضه می‌دارم که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل به‌مواره پشتیبان و مشوق من بوده‌اند. با سپاس بی‌دریغ خدمت دوستان ارجمندم خانم هاسمه صالحی نسب، فاطمه کدخدایی، فاطمه توحیدی فر، زهرا ساداتی جمالی، رانضه خلیلی، مهتاب کرمی، معصومه دادپور، لیلیا بزرگرمی، کزول شیدایی، بتول منصوره مقدم، اکرم رجایی و آقای مجید طاشی که مرا صمیمانه یاری داده‌اند و با مَشکُر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

تعهد نامه

اینجانب زهرا حمید دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه‌ی تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در محیط GIS با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه یکصد هزارم هشت‌رود

تحت راهنمایی دکتر حمید آقاجانی و دکتر حبیب اله قاسمی متعهد می‌شوم .

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .

در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند در استان آذربایجان شرقی و در زون البرز غربی- آذربایجان واقع شده است. هدف از این تحقیق تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی در محیط GIS برای تعیین مناطق مستعد برای اکتشاف مس و عناصر همراه می‌باشد. برای پی بردن به این مسأله از داده‌های زمین‌شناسی، ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی استفاده شده است. در بخش دورسنجی، تصاویر سنجنده‌های آستر و ETM⁺ مورد بررسی و پردازش قرار گرفتند، برای پردازش این تصاویر از روش‌های ترکیب رنگی، نسبت‌گیری بانندی، تحلیل مولفه‌ی اصلی استاندارد و انتخابی و کمترین مربعات برازش شده استفاده شد. طبق تصاویر به دست آمده، محل دگرسانی‌ها مشخص شد. در بخش ژئوشیمی، از داده‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای استفاده شده و نقشه‌ای از ناهنجاری‌های مس و عناصر همراه به دست آمده است. در بخش ژئوفیزیک، از داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه استفاده شد و در نقشه‌های حاصل از اعمال فیلترهای مختلف نظیر فیلترهای برگردان به قطب، روند سطحی، گسترش میدان به سمت بالا، مشتق قائم، زاویه‌ی تمایل و مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل، محل توده‌ی نفوذی موجود در منطقه، شناسایی شد.

داده‌های نهایی حاصل از پردازش لایه‌های زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هر یک به صورت لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده در محیط نرم‌افزار GIS، با روش منطق فازی با هم تلفیق و نتیجه‌ی نهایی که تعیین مناطق مطلوب جهت پتانسیل‌یابی مس بود، حاصل شد. با توجه به بازدیدهای صحرائی از منطقه وجود دگرسانی و توده‌ی نفوذی در قسمت شمال شرقی ورقه تایید شد. سنگ میزبان عنصر مس در منطقه شامل توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی به سن بعد از ائوسن نظیر گرانیت و گرانودیوریت، دیوریت، آندزیت، تراکی آندزیت، مونزونیت و بازالت است.

کلمات کلیدی: زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئومغناطیس هوابرد، ژئوشیمی آبراهه‌ای، GIS، کانی‌زایی مس، هشتروند.

مقالات مستخرج از پایان نامه

حمید ز، آقاجانی ح، قاسمی ح، رضایی م. (۱۳۹۳)، استفاده از داده‌های آستر و ETM^+ در شناسایی زون‌های دگرسانی در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ماه ۱۳۹۳، زاهدان.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات پایان نامه

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و ریخت‌شناسی منطقه ۲
- ۳-۱- راههای دسترسی به منطقه ۳
- ۴-۱- سابقه‌ی مطالعات زمین‌شناسی و معدنی در منطقه ۴
- ۵-۱- ضرورت انجام کار ۵
- ۶-۱- اهداف و روش تحقیق ۶
- ۷-۱- ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه

- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- زمین‌شناسی منطقه ۱۰
- ۳-۲- زمین‌شناسی ساختاری منطقه ۱۴
- ۱-۳-۲- گسل‌ها ۱۵
- ۱-۱-۳-۲- گسل نرمال امتداد لغز قرانقوچای ۱۵
- ۲-۱-۳-۲- گسل بزرگ آیدوغموش ۱۵
- ۳-۱-۳-۲- گسل محمود آباد ۱۵
- ۴-۱-۳-۲- گسل قلعه حسین خان- کلب کندی ۱۶
- ۲-۳-۲- چین‌ها ۱۶
- ۱-۲-۳-۲- ناودیس حیدرآباد- طالش کندی ۱۶
- ۲-۲-۳-۲- ناودیس صوفی احمد ۱۶
- ۳-۲-۳-۲- تاقدیس گنبدی شکل عاقل- بارگاه ۱۶
- ۴-۲- زمین‌شناسی اقتصادی ۱۷

فصل سوم: مطالعات دورسنجی

- ۱-۳- مقدمه ۲۲
- ۲-۳- داده‌های مورد استفاده ۲۳
- ۳-۳- آماده‌سازی و پیش پردازش تصاویر ۲۶
- ۱-۳-۳- موزاییک کردن داده‌ها ۲۶

۲۶	۲-۳-۳- برش تصویر
۲۷	۳-۳-۳- تصحیح اتمسفری (رادئومتری)
۲۷	۴-۳- پردازش داده‌ها
۲۷	۱-۴-۳- ترکیب رنگی
۳۰	۲-۴-۳- نسبت بانندی
۳۶	۳-۴-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)
۳۷	۱-۳-۴-۳- آنالیز مولفه‌ی اصلی استاندارد
۴۰	۲-۳-۴-۳- تحلیل مولفه‌ی انتخابی یا روش کروستا
۴۵	۴-۴-۳- روش کمترین مربعات برازش شده (LS-Fit)
۵۵	۵-۳- رسم خطواره‌ها
۵۷	۶-۳- تهیه نقشه‌ی واحدهای سنگی موثر در کانی‌زایی موجود در منطقه
	فصل چهارم: بررسی داده‌های ژئوشیمیایی ورقه‌ی هشترود
۶۰	۱-۴- مقدمه
۶۱	۲-۱-۴- روش تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی
۶۱	۲-۴- آمار تک‌متغیره
۷۱	۳-۴- آمار دو متغیره
۷۱	۱-۳-۴- ضریب همبستگی
۷۱	۱-۱-۳-۴- ضریب همبستگی داده‌های با توزیع نرمال
۷۲	۲-۱-۳-۴- محاسبه‌ی ضریب همبستگی به روش ناپارامتری
۷۶	۴-۴- آمار چند متغیره
۷۶	۱-۴-۴- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای
۷۹	۲-۴-۴- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی
۸۳	۵-۴- نمایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه با داده‌های موجود در محیط GIS
	فصل پنجم: مطالعات مغناطیس هوابرد
۸۸	۱-۵- مقدمه
۸۸	۲-۵- خودپذیری سنگ‌ها و کانی‌ها
۸۹	۳-۵- خواص مغناطیسی سنگ‌ها و کانی‌ها
۹۱	۴-۵- اجزای میدان مغناطیس
۹۲	۵-۵- اندازه‌گیری و برداشت داده‌های مغناطیسی
۹۲	۱-۵-۵- مغناطیس‌سنج Proton Precession

۹۴	۵-۵-۲- روش مطالعاتی مغناطیس‌سنجی هوایی
۹۵	۵-۵-۳- مزایا و معایب روش مغناطیس‌سنجی هوایی
۹۶	۵-۵-۴- داده‌های مغناطیس هوایی
۹۷	۵-۶- تصحیح و پردازش داده‌های مغناطیسی
۹۸	۵-۶-۱- تصحیحات مرتبط با تغییرات میدان اصلی
۹۹	۵-۷- آنومالی‌های مغناطیسی
۱۰۰	۵-۷-۱- روش محاسبه‌ی برگردان به قطب
۱۰۲	۵-۸- جداسازی و تفکیک آنومالی‌ها
۱۰۳	۵-۸-۱- روش روند سطحی
۱۰۴	۵-۸-۲- روش گسترش میدان به سمت بالا (روش ادامه‌ی فراسو)
۱۰۶	۵-۸-۳- روش مشتق قائم
۱۰۷	۵-۹- فیلترهای فازی محلی
۱۰۷	۵-۹-۱- زاویه‌ی تمایل
۱۰۸	۵-۹-۲- مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل
۱۰۸	۵-۱۰- تفسیر و پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند
۱۱۰	۵-۱۰-۱- فیلتر برگردان به قطب روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد هشتروند
۱۱۱	۵-۱۰-۲- اعمال روش روند سطحی روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد هشتروند
۱۱۳	۵-۱۰-۳- اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد هشتروند
۱۱۷	۵-۱۰-۴- اعمال روش مشتق قائم (اول و دوم) روی آنومالی‌های مغناطیسی هشتروند
۱۱۹	۵-۱۰-۵- اعمال فیلترهای فازی زاویه‌ی تمایل و مشتق کل زاویه‌ی تمایل روی داده‌های هشتروند
۱۲۰	۵-۱۱- شناسایی گسل‌های منطقه
۱۲۴	۶-۱- منطق فازی
فصل ششم: تولید و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش منطق فازی	
۱۲۴	۶-۱-۱- مقدمه
۱۲۵	۶-۱-۲- ویژگی‌های مجموعه‌های فازی
۱۲۶	۶-۲- انواع عملگرهای فازی
۱۲۷	۶-۲-۱- عملگر فازی "و"
۱۲۷	۶-۲-۲- عملگر فازی "یا"
۱۲۸	۶-۲-۳- عملگر فازی حاصل ضرب جبری
۱۲۹	۶-۲-۴- عملگر فازی جمع جبری

۱۲۹	۳-۶- تولید لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی
۱۳۰	۳-۶-۱- تولید لایه‌ی اطلاعاتی گسل‌ها و خطواره‌ها به روش فازی
۱۳۳	۳-۶-۳- تولید لایه‌ی اطلاعاتی دگرسانی به روش فازی
۱۳۳	۳-۶-۴- تولید لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش فازی
۱۳۹	۳-۶-۵- تولید لایه‌ی اطلاعاتی مغناطیس هوابرد به روش فازی
۱۳۹	۶-۴- تولید نقشه‌های نهایی حاصل از عمل تلفیق
۱۳۹	۶-۴-۱- تلفیق به روش عملگر فازی " و "
۱۴۱	۶-۴-۳- نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی ضرب جبری
۱۴۲	۶-۴-۴- نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی جمع جبری
۱۴۳	۶-۴-۵- نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی گاما
	اعتبارسنجی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۴۸	۷-۱- اعتبارسنجی و نتیجه‌گیری
۱۵۷	۷-۲- پیشنهادها

فهرست شکل‌ها

۴	شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه
	شکل ۱-۲ فرآیند اجرایی تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل مطلوب در محیط GIS با استفاده از لایه‌های
۶	دورسنجی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی
۱۳	شکل ۱-۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند
۲۶	شکل ۱-۳ باندهای سنجنده‌های TM و آستر (Yetkin, 2003)
۲۸	شکل ۲-۳ تصویر ترکیب رنگی واقعی حاصل از سنجنده‌ی ETM ⁺ منطقه‌ی هشتروند. RGB: 321
۲۹	شکل ۳-۳ تصویر رنگی حاصل از ترکیب سه گانه‌ی حاصل از RGB: 468 سنجنده‌ی آستر
۳۱	شکل ۳-۴ نمودار بازتاب طیفی کانی‌های رسی؛ الف: ایلیت، ب: آلونیت، ج: مونت‌موریلونیت، د: کائولینیت
۳۲	شکل ۳-۵ نمودار بازتاب طیفی کانی‌های آهن‌دار؛ الف: گوتیت، ب: هماتیت، ج: ژاروسیت
	شکل ۳-۶ تصویر رنگی حاصل از نسبت‌های باندهای 3/1,5/7,4/2 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی
۳۳	از سنجنده ETM ⁺

- شکل ۳-۷ تصویری با ترکیب رنگی حاصل از نسبت‌های باندی 5/7, 3/1, 4/5 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از سنجندهی ETM⁺ ۳۴
- شکل ۳-۸ تصویر رنگی حاصل از نسبت باندی 3/1, 4/5, 5/7 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از سنجندهی ETM⁺ ۳۵
- شکل ۳-۹ تصویر رنگی حاصل از ترکیب نسبت‌های باندی 7/6, 4/3, 6/3 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از داده‌ی آستر ۳۶
- شکل ۳-۱۰ تصویر رنگی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجندهی RGB: -PC5, PC4 + (-PC5), PC4 ETM⁺ ۳۹
- شکل ۳-۱۱ تصویر نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی روی ۹ باند آستر در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، -PC7, PC8, PC3 ۴۱
- شکل ۳-۱۲ تصویر رنگی روش کروستا چهار باندی سنجندهی ETM⁺ حاصل از ترکیب H, H+F, F در محیط RGB ۴۳
- شکل ۳-۱۳ تصویر رنگی روش کروستا چهار باندی آستر، RGB: -PC3(1467), -PC4(1458), -PC3(1347) ۴۵
- شکل ۳-۱۴ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند هفت از سنجندهی ETM⁺ ۴۷
- شکل ۳-۱۵ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند سه از سنجندهی ETM⁺ ۴۸
- شکل ۳-۱۶ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند چهار از سنجندهی ETM⁺ ۴۹
- شکل ۳-۱۷ تصویر رنگی باقی‌مانده‌ی باندهای ۷، ۳ و ۴ ETM⁺ به ترتیب در محیط قرمز، سبز و آبی ۵۰
- شکل ۳-۱۸ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند سه از سنجندهی آستر ۵۲
- شکل ۳-۱۹ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند شش از سنجندهی آستر ۵۳
- شکل ۳-۲۰ تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند هشت از سنجندهی آستر ۵۴
- شکل ۳-۲۱ تصویر حاصل از ترکیب رنگی باقی مانده به روش کمترین مربعات باندهای ۶، ۸ و ۳ از سنجندهی آستر به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی. ۵۵
- شکل ۳-۲۲ نمایش خطوطاره‌ها و گسل‌ها در ورقه ۵۶
- شکل ۳-۲۳ نقشه‌ی واحدهای آتش‌فشانی نفوذی موجود در منطقه و مرتبط با دگرسانی ۵۷
- شکل ۴-۱ نمایش توزیع نرمال (وسط) و نامتقارن داده‌ها ۶۳

- شکل ۴-۲ نمایش توزیع نرمال و توزیع‌های دارای کشیدگی ۶۴
- شکل ۴-۳ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار هشتروند ۷۰
- شکل ۴-۴ نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر در منطقه هشتروند ۷۸
- شکل ۴-۵ نقشه‌ی پراکندگی غلظت عنصر مس در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۸۴
- شکل ۴-۶ نقشه‌ی پراکندگی غلظت عناصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۸۵
- شکل ۴-۷ نقشه‌ی پراکندگی غلظت عناصر U, Ti, Tl, Th, Te, Sc, Nb, Mn, Fe, Cs, Co ۸۶
- ۷ در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند ۸۶
- شکل ۵-۱ اجزای میدان مغناطیسی ۹۱
- شکل ۵-۲ ساختار شماتیکی (راست) و نمایی از کار با مغناطیس‌سنج Proton Precession ۹۳
- شکل ۵-۳ نمایی از پیمایش مغناطیس‌سنجی هوایی ۹۴
- شکل ۵-۴ نمای شماتیکی از پیمایش مغناطیسی هوابرد با فاصله خطوط پرواز و خطوط کنترلی و ارتفاع پرواز ۹۷
- شکل ۵-۵ درون‌یابی خطی در یک برداشت دوبعدی ۹۸
- شکل ۵-۶ سیستم مختصات انتخابی برای آنالیز و جهت مغناطیس‌شدگی ۱۰۰
- شکل ۵-۷ تفکیک مقدار مغناطیس باقی‌مانده و ناحیه‌ای با روش گسترش میدان به سمت بالا. ۱۰۵
- شکل ۵-۸ تفکیک آنومالی‌های محلی از ناحیه‌ای به روش مشتق قائم دوم ۱۰۶
- شکل ۵-۹ نقشه‌ی شدت کل میدان مغناطیسی ۱۰۹
- شکل ۵-۱۰ IGRF ۱۰۹
- شکل ۵-۱۱ نقشه‌ی آنومالی میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب ۱۱۱
- شکل ۵-۱۲ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی اول ۱۱۲
- شکل ۵-۱۳ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی دوم ۱۱۲
- شکل ۵-۱۴ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی سوم ۱۱۳
- شکل ۵-۱۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع ۱۱۴
- ۱۰۰۰ متر
- شکل ۵-۱۶ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع ۱۱۴
- ۲۵۰۰ متر
- شکل ۵-۱۷ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع

- ۱۱۵ ۵۰۰۰ متر
- شکل ۵-۱۸ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع
- ۱۱۵ ۷۰۰۰ متر
- شکل ۵-۱۹ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع
- ۱۱۶ ۱۰۰۰۰ متر
- شکل ۵-۲۰ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیسی هشتروند با ارتفاع
- ۱۱۶ ۱۴۰۰۰ متر
- شکل ۵-۲۱ آنومالی حاصل از فیلتر مشتق قائم درجه‌ی یک
- ۱۱۸ ۲۲-۵ آنومالی حاصل از فیلتر مشتق قائم درجه‌ی دو
- ۱۱۹ شکل ۵-۲۳ نقشه‌ی زاویه‌ی تمایل
- ۱۲۰ شکل ۵-۲۴ نقشه‌ی مشتق کل زاویه‌ی تمایل
- ۱۲۹ شکل ۶-۱ لایه‌ی اطلاعاتی خطواره‌ها و گسل‌ها در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند
- ۱۳۱ شکل ۶-۲ نقشه‌ی کلاس‌بندی شده‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۱ شکل ۶-۳ لایه‌ی اطلاعاتی زمین‌شناسی به روش فازی در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۲ شکل ۶-۴ لایه‌ی اطلاعاتی دگرسانی به روش فازی در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۳ شکل ۶-۵ نقشه‌ی رقومی آنومالی مس به روش فازی برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- شکل ۶-۶ نقشه‌ی رقومی فازی شده‌ی PC₂ شامل عناصر مس، مولیبدنیم، تنگستن و بیسموت به روش فازی برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۳
- شکل ۶-۷ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی "و" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند
- ۱۳۴ شکل ۶-۸ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی "یا" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۵ شکل ۶-۹ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی "جمع جبری" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۵ شکل ۶-۱۰ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی "ضرب جبری" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۶ شکل ۶-۱۱ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی گامای ۰/۵ در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۶ شکل ۶-۱۲ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی گامای ۰/۷ در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.
- ۱۳۷ شکل ۶-۱۳ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمیایی به روش عملگر فازی گامای ۰/۹ برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند
- ۱۳۷ شکل ۶-۱۴ لایه‌ی اطلاعاتی ژئومغناطیس هوابرد به روش فازی برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند.

- شکل ۶-۱۵ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی "و" برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۱۳۸
- شکل ۶-۱۶ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی "یا" برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۱۳۹
- شکل ۶-۱۷ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی ضرب جبری برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۱۴۰
- شکل ۶-۱۸ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از عملگر فازی جمع جبری برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۱۴۱
- شکل ۶-۱۹ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی گامای ۰/۵ برای ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند. ۱۴۲
- شکل ۶-۲۰ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از عملگر فازی گامای ۰/۷ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند. ۱۴۲
- شکل ۶-۲۱ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از گامای ۰/۹ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند. ۱۴۳
- شکل ۷-۱ آندزیت با بلورهای درشت پلاژیوکلاز ۱۴۷
- شکل ۷-۲ مالاکیت و آزوریت در نمونه‌ی دستی ۱۴۷
- شکل ۷-۳ تصویری از آندزیت در مقطع نازک ۱۴۸
- شکل ۷-۴ تصویری از بازالت در مقطع نازک ۱۴۸
- شکل ۷-۵ تصویری از تراکی آندزیت (لاتیت) در مقطع نازک ۱۴۹
- شکل ۷-۶ تصویری از مونزونیت در مقطع نازک ۱۴۹
- شکل ۷-۷ تصویری از آلکالی‌گرانیت در مقطع نازک ۱۴۹
- شکل ۷-۸ تصویری از دگرسانی سولفید به سولفات کلسیم ۱۴۹
- شکل ۷-۹ تصویری از زون سولفیدی ۱۴۹
- شکل ۷-۱۰ تصویری از بلورهای پیریت، کالکوپیریت و کولیت در مقطع صیقلی ۱۵۰
- شکل ۷-۱۱ تصویری از بلورهای خودشکل پیریت در مقطع صیقلی ۱۵۰
- شکل ۷-۱۲ تصویری از شکستگی دیاکلازی ۱۵۰
- شکل ۷-۱۳ تصویری از گرانیت آپلیتی ۱۵۰
- شکل ۷-۱۴ تصویری از ریولیت در مقطع نازک ۱۵۱
- شکل ۷-۱۵ تصویری از دگرسانی‌های اکسیدهای آهن و آرژیلیتی در مقیاس محلی ۱۵۱
- شکل ۷-۱۶ مقطع عرضی نشان‌دهنده‌ی زون‌های دگرسانی در اطراف سیستم پورفیری و مقیاس عمودی از سیستم کانه‌زایی که تا عمق هشت کیلومتری پوسته را نشان می‌دهد. ۱۵۴

فهرست جدول‌ها

۲۵	جدول ۱-۳ خصوصیات باندهای سنجنده ETM^+
۲۶	جدول ۲-۳ خصوصیات باندهای سنجنده‌ی آستر
۳۸	جدول ۳-۳ تحلیل مولفه اصلی بر روی شش باند سنجنده‌ی ETM^+ منطقه هشترود
۴۰	جدول ۴-۳ تحلیل مولفه اصلی روی ۹ باند سنجنده‌ی آستر منطقه هشترود
۴۲	جدول ۵-۳ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی سنجنده‌ی ETM^+
۴۲	جدول ۶-۳ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی ETM^+
۴۲	جدول ۷-۳ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی آستر
۴۴	جدول ۸-۳ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی آستر
۴۴	جدول ۹-۳ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری دگرسانی پروپلیتیک بر روی چهار باند انتخابی آستر
۶۵	جدول ۱-۴ ویژگی‌های آماری تک متغیره‌ی عناصر در ورقه یکصد هزار هشترود
۷۱	جدول ۲-۴ ضرایب همبستگی پیرسون روی داده‌های ژئوشیمیایی محدوده‌ی مورد مطالعه
۷۳	جدول ۳-۴ مقادیر ضرایب همبستگی
۷۵	جدول ۴-۴ ضرایب همبستگی اسپیرمن روی داده‌های ژئوشیمیایی محدوده‌ی مورد مطالعه
۸۱	جدول ۵-۴ اطلاعات مربوط به مولفه‌های دوران یافته در آزمون مولفه‌های اصلی در منطقه هشترود
۸۹	جدول ۱-۵: خودپذیری برخی از مواد معدنی و سنگ‌ها

فهرست علائم اختصاری

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

DEM : Digital Elevation Model

ENVI : Environment for Visualizing Images

ETM⁺ : Enhanced Thematic Mapping

FCC : Fals Color Composite

FPCS : Feature- Oriented Principal Component Selection

GIS : Geographic Information System

GPS : Global Positioning System

IGRF : International Geomagnetic Reference Field

LS-Fit : Least Square Fit

PCA : Principal Component Analysis

RGB : Red, Green, Blue

RTP : Reduce To Pole

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

SWIR : Shortwave Length Infrared Radiation

TCC : True Color Composite

TIR : Thermal Infrared Radiation

VNIR : Visible and Near- Infrared Radiation

فصل اول

کلیات پایان نامه

۱-۱- مقدمه

ایران از دیرباز به عنوان یکی از پتانسیل‌های مهم اقتصادی مس پورفیری در دنیا شناخته شده است و در بین کشورهای دارای ذخایر مس از جایگاه مناسبی برخوردار است. همچنین ایران از نظر مس‌زایی در بهترین شرایط فلززایی قرار گرفته، و بخش‌هایی از ایران از منظر ذخایر معدنی، بر روی نوار جهانی مس (کمر بند آلپ- هیمالیا)، از جنوب شرقی ایران تا شمال غربی و نواحی آذربایجان، قرار گرفته است. جایگاه ایران از این نظر در جهان، رتبه‌ی هفدهم است، که عمده‌ی این ذخایر در استان‌های کرمان و آذربایجان شرقی قرار دارند. کانسارهای مس بیشتر در محدوده‌ی سنگ‌های آتشفشانی به سن ترشیاری تشکیل شده‌اند. شاید بتوان پنج محدوده‌ی اساسی برای وجود این کانسارها در نظر گرفت که عبارتند از: آذربایجان، طارم، انارک اصفهان، عباس‌آباد سمنان و کرمان (قربانی، ۱۳۸۶).

محدوده‌ی مورد مطالعه، ورقه‌ی زمین‌شناسی هشترود در آذربایجان است، که با توجه به حضور سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی مانند گرانیت و مونزونیت به سن ائوسن و الیگوسن، و قرارگیری در زون ماگمایی فرورانش حاشیه‌ی قاره و وجود اندیس مس و آتار مس چکشی در منطقه از بعد زمین‌شناسی قابل بررسی بوده، و دارای پتانسیل مس می‌باشد. همچنین داده‌های اولیه‌ی ژئومغناطیس هوابرد و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای و دورسنجی این منطقه موجود می‌باشد. بنابراین با توجه به وجود پتانسیل مس از نظر زمین‌شناسی و وجود این داده‌های اولیه و همین‌طور انجام نگرفتن عمل تلفیق روی این لایه‌های اطلاعاتی، این منطقه انتخاب شد و عمل تلفیق به روش منطق فازی روی آن صورت گرفت.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و ریخت‌شناسی منطقه

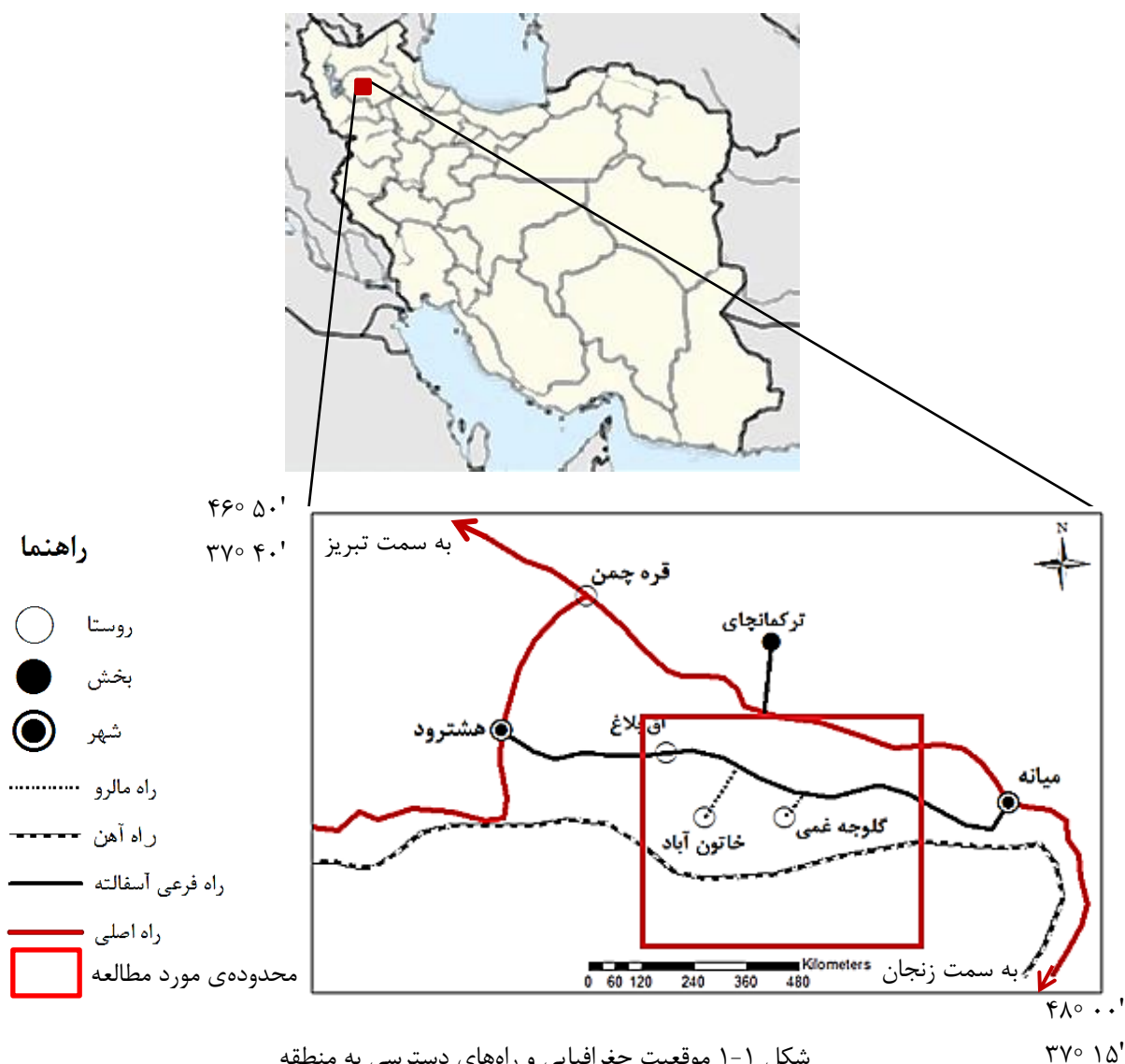
ورقه‌ی یکصد هزار هشترود (سراسکند) با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 30' - 37^{\circ} 00'$ عرض شمالی و $47^{\circ} 30' - 47^{\circ} 00'$ طول شرقی در شمال غربی کشور در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. بلندترین نقطه‌ی منطقه، ارتفاعات شرقی (گوک‌آلا) با بلندای ۲۲۱۸ متر از سطح دریا و پست‌ترین

نقطه‌ی آن رودخانه‌ی آیدوغموش به ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. اختلاف ارتفاع پست‌ترین و بلندترین نقاط منطقه ۷۱۸ متر است. منطقه‌ی مورد مطالعه از دیدگاه سنگ‌شناسی از دو رخساره‌ی غالب و ناهمسان پدید آمده است.

نیمه‌ی شمال و شمال شرقی ورقه به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن-الیگومیوسن پدید آمده است که آبراهه‌های ژرف و ۷ شکل در این مجموعه پدیدار شده‌اند. نیمه‌ی جنوبی و غرب ورقه از نهشته‌های مارنی و تبخیری میوسن تشکیل شده‌است و به علت نفوذناپذیری، زهکشی‌ها از تراکم زیاد برخوردارند و دره‌های کم ژرفا و ملایمی در آن‌ها پدید آمده است. بزرگ‌ترین آبادی منطقه، شهر هشتروند (سراسکند) است که در گوشه‌ی شمال غربی ورقه قرار دارد. مردم منطقه گویش آذری داشته و از راه کشاورزی و دامداری امرار معاش می‌کنند. دو رودخانه‌ی بزرگ و دائمی قرانقوچای و آیدوغموش از سوی غرب وارد منطقه می‌شوند و پس از طی عرض نقشه از قسمت شرقی خارج می‌شوند. رودخانه‌ی قرانقوچای از ارتفاعات سه‌هند، آیدوغموش و تکاب سرچشمه می‌گیرد. رودخانه‌های دیگر منطقه از انشعابات فرعی این دو رودخانه به شمار می‌آیند.

۳-۱- راه‌های دسترسی به منطقه

محدوده‌ی مورد مطالعه به طور تقریبی بین مراکز دو شهرستان میانه و هشتروند (شهرهای میانه و هشتروند) واقع شده است و برای دسترسی به این محدوده به دو طریق اصلی در مسیر جاده‌ی تهران به تبریز می‌توان اقدام کرد. جاده‌ی ترانزیتی تهران- تبریز پس از گذر از شهر میانه از دو راه مجزای میانه- قره چمن و یا میانه- هشتروند- قره چمن، به شهر تبریز می‌رسد. برای دسترسی به نقاط مختلف موجود در ورقه‌ها، راه‌های شوسه و خاکی یا شنی فراوانی وجود دارد. علاوه بر راه‌های دسترسی ماشین‌رو، راه‌آهن تهران- تبریز نیز در امتداد مسیر رودخانه‌ی قرانقوچای (راستای تقریبی شرق به غرب) در نیمه‌ی شمالی ورقه‌ی هشتروند واقع شده است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

۱-۴- سابقه‌ی مطالعات زمین‌شناسی و معدنی در منطقه

محدوده‌ی مورد بررسی جزء زون البرز غربی- آذربایجان بوده و با وجود واحدهای سنگی آذرین فراوان و موقعیت تکتونیکی خاص آن مورد توجه پژوهشگران علوم زمین بوده است. از امور زیربنایی در این منطقه تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰ به ترتیب با نام‌های میانہ و هشتروود (سراسکند) است که معمولاً مورد استفاده‌ی افراد مختلفی است. حیدری و نوروزی (۱۳۹۰)، در پژوهشی با عنوان پتانسیل‌یابی مس با استفاده از روش آنالیز ویژگی در اطراف قاپاچ تپه

از توابع شهرستان هشتگرد، نشان دادند که آنومالی عناصر بیشتر بر روی آندزیت‌های پورفیری و توف‌های آندزیتی قرار دارد.

رفاهی (۱۳۹۱)، پژوهشی با عنوان شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های در ارتباط با کانی‌زایی طلای اپی‌ترمال و مس پورفیری به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌ای استر در منطقه‌ی اوغلانسر انجام دادند، که نتایج حاصل از این مطالعات دورسنجی، با اطلاعات زمینی منطقه ارزیابی و با اطلاعات حاصل از پردازش داده‌های مغناطیس‌هوایی، تلفیق شد.

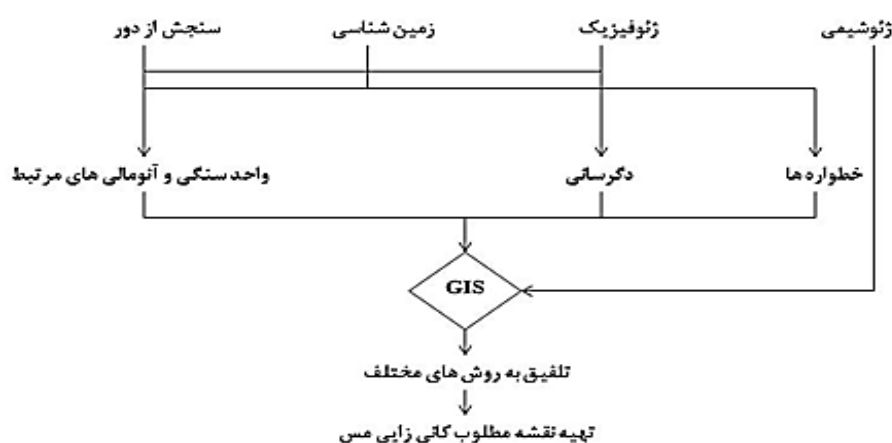
جبارزاده و همکاران (۱۳۹۲)، کانی‌شناسی و ژئوشیمی دگرسانی‌های گرمابی یارالوجه در شمال غرب اهر را مورد بررسی قرار دادند. داده‌های زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمی نشان می‌دهد که رگه‌ها و مجموعه کانی‌های دگرسانی گرمابی مشاهده‌ای در منطقه با کانسارهای نوع سولفیدی حدواسط و رگه‌های چندفلزی با دمای متوسط، وابسته به کانسارهای مس پورفیری است.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۳)، پژوهشی با عنوان، ارائه‌ی روش ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی منطق‌فازی برای پتانسیل‌یابی مس پورفیری در ورقه‌ی یکصد هزار اهر انجام دادند، درستی نتایج با استفاده از منحنی اعتبارسنجی و با به‌کارگیری نهشته‌های شناخته شده تأیید شد. همچنین بررسی‌های صحرایی حکایت از درستی نقشه‌ی پتانسیل مس پورفیری داشت.

۱-۵- ضرورت انجام کار

بر اساس شواهد زمین‌شناسی، وجود اندیس‌های معدنی و معادن فعال و متروکه، منطقه‌ی هشتگرد را می‌توان یک منطقه‌ی دارای کانی‌زایی مس دانست که دارای گسترش نسبتاً قابل ملاحظه‌ای است. در این منطقه، کارهای ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و بررسی دورسنجی مجزایی بسته به کار معدنی صورت گرفته است. هدف از این تحقیق، استفاده از این داده‌ها جهت بررسی یک‌پارچه‌ی کل منطقه و تحلیل نتایج جهت شناسایی بهترین و مناسب‌ترین محل‌های احتمالی برای ادامه فعالیت‌های اکتشافی مس است. در این راستا، ابتدا داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی موجود مورد نیاز تهیه، سپس با

استفاده از نرم افزارهایی مثل ENVI، Geosoft، Excel، SPSS و ArcGIS به پردازش و تحلیل داده‌ها پرداخته شده‌است. سپس، نتایج حاصل از هر روش به صورت یک لایه‌ی اطلاعاتی مشخص و مجزا به عنوان ورودی سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته‌است و با به کارگیری روش تلفیق مناسب، نقشه‌ی پتانسیل مطلوب برای کانی‌زایی مس در منطقه تهیه شده‌است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲ فرآیند اجرایی تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل مطلوب در محیط GIS با استفاده از لایه‌های دورسنجی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی

۱-۶- اهداف و روش تحقیق

هدف این تحقیق، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ژئوشیمیایی (رسوبات آبراهه‌ای)، ژئوفیزیکی (مغناطیس هواپرد) و زمین‌شناسی منطقه و تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS برای پتانسیل‌یابی عنصر مس در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند است. برای نیل به این هدف مراحل به شرح زیر باید مورد بررسی واقع شوند:

تشخیص دگرسانی‌ها، واحدهای سنگی و خطواره‌ها و گسل‌های موجود در منطقه از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نسخه‌ی ۵ نرم افزار ENVI. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی ETM⁺ ماهواره‌ی لندست ۷ با شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۴ و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی آستر ماهواره‌ی ترا هستند.

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای منطقه با استفاده از نسخه‌ی ۱۹ نرم افزار SPSS و تهیه‌ی نقشه‌های ناهنجاری ژئوشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS.

پردازش داده‌های مغناطیس‌هوایی و تهیه نقشه‌ی آنومالی‌های مغناطیسی با استفاده از نسخه‌ی ۶/۴ نرم‌افزار Geosoft.

استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی رقومی و غیررقومی و بازدید صحرایی از منطقه به منظور اطمینان از نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده از روش‌های مختلف مذکور در محیط GIS برای تهیه‌ی مناسب‌ترین و محتمل‌ترین مناطق احتمالی کانی‌زایی مس در منطقه.

۱-۷- ساختار پایان نامه

این تحقیق شامل هفت فصل است، فصل اول، به بررسی کلیات کار شامل معرفی منطقه، سابقه‌ی مطالعاتی، ضرورت کار و اهداف مطالعه می‌پردازد. فصل دوم شامل آشنایی با وضعیت زمین‌شناسی منطقه است. مطالب فصل‌های سوم تا ششم شامل کارهای نرم‌افزاری برای روش‌های مختلف است. در فصل سوم به بررسی و پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، در فصل چهارم به بررسی ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای منطقه و نحوه‌ی پردازش داده‌های ژئوشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و تهیه‌ی نقشه‌ی آنومالی پرداخته شده است. در فصل پنجم به پردازش داده‌های ژئوفیزیکی شامل (مغناطیس‌هوای) و تهیه‌ی نقشه‌های آنومالی‌های موجود در منطقه پرداخته می‌شود. فصل ششم شامل نتیجه‌ی تلفیق لایه‌های اطلاعاتی است، و در نهایت نتایج این تحقیق در فصل هفتم به صورت جمع‌بندی نهایی ارائه شده است.

فصل دوم

زمین شناسی منطقه

۲-۱ مقدمه

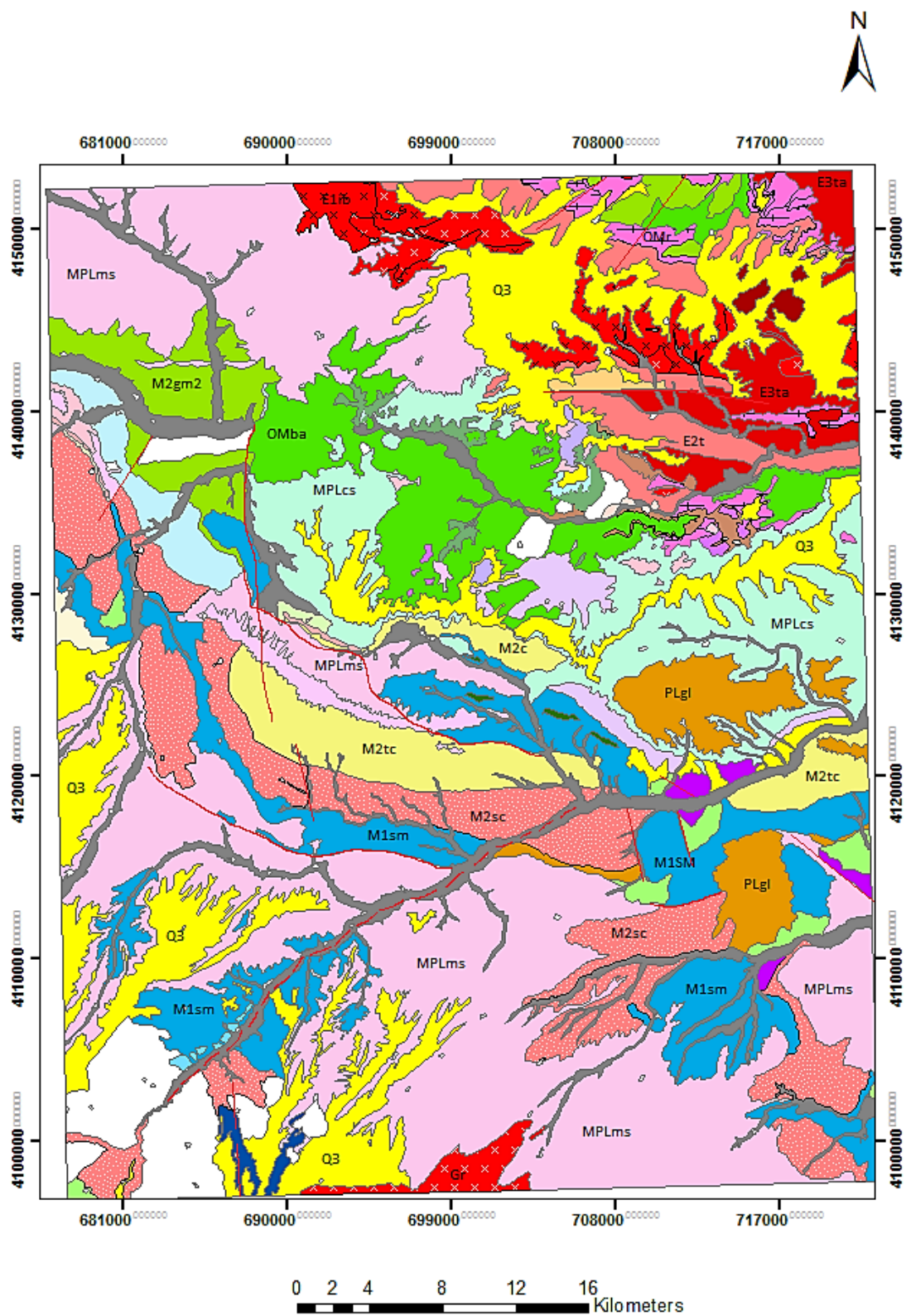
ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند در گوشه‌ی شمال غربی کشور، در استان آذربایجان شرقی و در زون البرز غربی- آذربایجان قرار گرفته است. با توجه به قرارگیری این منطقه روی نوار جهانی مس پورفیری، لازم بود بررسی‌های زمین‌شناسی و صحرایی دقیقی روی آن انجام شود. این بررسی‌ها به مطالعه‌ی زمین‌شناسی منطقه از جمله، جنس سنگ‌های منطقه، سن آن‌ها و موقعیت ساختاری‌ای که روی آن قرار گرفته‌اند بستگی دارد.

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

در آذربایجان، حرکات پایانی پرکامبرین، برخاسته‌های مهمی به وجود آورده و به طور محلی سبب ناپیوستگی‌های زاویه‌دار در چند نقطه (تکاب، قره‌داغ) شده است. پدیده‌ی زمین‌ساختی مهمی که در اوایل دونین رخ داده و با شکستگی همراه بوده است، باعث تقسیم بسیار مشخص رخساره‌ها در آذربایجان شده است، این پدیده‌ی زمین‌ساختی آذربایجان را به دو بلوک تقسیم می‌کند (Inocenti, 1976). بلوک شمال شرقی در دونین آغازی در حال فرونشینی بوده ولی بلوک جنوب غربی تا کربونیفر پایانی به صورت بالا آمده باقی مانده است. سیستم پرمین در سراسر این زون با واحد قرمز رنگ آواری که مشخصه‌ی خشکی است، آغاز می‌شود و به دنبال آن آهک‌های دریایی پرمین تشکیل می‌شوند. فعالیت کوهزایی آلپی اصلی در این منطقه، با چین‌خوردگی شدید و گسل‌خوردگی در کرتاسه‌ی پسین تا ترشیری آغاز می‌شود. این آثار آتش‌فشانی قابل توجه، مربوط به کرتاسه‌ی پسین هستند، ولی فعالیت آتش‌فشانی مهم و عمدتاً زیردریایی در ائوسن به ظهور رسیده است (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). در آغاز الیگوسن، طی حرکات کوهزایی پیرنه، توده‌های نفوذی متعددی مانند سینیت بزقوش (لطفی، ۱۳۵۴) و اهر (باباخانی، ۱۳۶۰) به درون سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن نفوذ کرده که موجب چین‌خوردگی در رسوبات غرب و جنوب غربی آذربایجان شده است. افتخارنژاد (۹۷۵)، بر این باور است که حرکات زمین‌ساختی در پلیوسن اهمیت زیادی داشته‌اند و گواه آن فعالیت‌های مهم

آتش‌فشانی در پلیو-کواترنر و همچنین فعالیت گسل‌های بی‌شماری است که حتی رسوبات عهد حاضر و نهشته‌های آبرفتی را قطعه قطعه کرده‌اند (قربانی، ۱۳۸۶).

ورقه‌ی زمین‌شناسی هشتروند، از نظر زمین‌شناسی به سه بخش قابل تفکیک می‌باشد. بخش بالایی نقشه مربوط به قسمت شمال و شمال شرقی است که سنگ‌های موجود در آن اغلب جوان بوده و مربوط به دوران سنوزوئیک (پالئوژن، نئوژن و کواترنری) هستند و دارای سنگ‌های آذرین درونی از جمله گرانیت و مونزونیت و سنگ‌های بیرونی از جمله ریولیت، لاتیت، آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت و آذرآواری از جمله توف هستند. به این صورت که توده‌های نفوذی به سن بعد از ائوسن داخل آندزیت‌ها و آذرآواری‌های ائوسن نفوذ کرده است. این بخش از نظر زمین‌شناسی مستعد وجود مس است. بخش میانی در قسمت غرب و جنوب غربی این ورقه است، که دارای واحدهای رسوبی متفاوتی از قبیل سنگ آهک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، رسوبات جوان رودخانه‌ای، سنگ‌های پیروکلاستیک و گدازه، مارن و ژئپس است. بخش پایینی نیز قسمت جنوبی ورقه است، که سنگ‌های دگرگونی و آذرین مربوط به پرکامبرین که کهن‌ترین واحدهای زمین‌شناختی در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند است، را نشان می‌دهد که در پیرامون روستاهای کهریرز، قره آقاج کشک و قیزجه بالا رخنمون یافته است و شامل سنگ‌هایی از قبیل گرانیت، گنایس، میکاشیست و آمفیبولیت می‌باشد. شکل (۱-۲) نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی هشتروند را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود (سازمان زمین‌شناسی کشور)

Legend

C E N O Z O I C	QUATERNARY	Qal	River deposits	
		Q3	Young alluvial plain deposits and cultivated area	
		Q2	Old terraces	
		Qt1	Fresh water limestone	
		Qb	Basaltic lava flow	
	NEOGENE	PLIOCENE	PLgl	Horizontal gravel plain
			MPLcs	Light gray conglomerate and sandstone
			MPLp	Pyroclastic rocks
		MIOCENE	MPLms	Pinkish marl and silt
			M2gn2	Alternation of gray and pinkish marl and silt with gypsum flakes
			M2l	Limestone
			M2gn1	Pinkish marl and silt with gypsum flakes
			M2tc	Light gray tuffaceous sandstone and conglomerate
			M2c	Light brown conglomerate, sandstone and silt
			M2b	Olivine basalt lava flow, bearing euhedral plagioclase
			M2g	Light gray marl and gypsum flakes
			M2sc	Alternation of red, pinkish and gray sandstone and conglomerate
			M2sm	Light gray marl and silt, sandstone
			G	Gypsum flakes and lenses
			M2gn	Alternation of dark, light red marls with gypsum intercalations
PALEOGENE	OLIGOCENE	M1m1	Light gray marl, silt and sandstone, locally gypsiferous	
		OMr	Rhyolite, rhyodacite	
		OMvb	Vesicular basalt, andesite, basalt	
		OMba	Pyroclastics, lahar, volcanic breccia and conglomerate, basic and intermediate lavas	
		OMa	Andesite, trachyandesite and basaltic lavas	
	EOCENE	OMt	Well bedded, pinkish and light acidithic tuff	
		OMql	Light gray, thick bedded to massive limestone	
		OMc	Basal conglomerate	
		E4l	Ignimbrite with tuff breccia	
		E3ta	Alternation of reddish, dark gray, thin bedded tuff and andesite basaltic lavas	
PRECAMBRIAN	Pesch	E2b	Basalt	
		E2t	Green, brown sandy tuff, tuff breccia and lithic tuff	
		E1b	Basalt, andesitic basalt	
		E1p	Andesite, porphyritic latite with intercalations of tuff	
			Quartz, albite, feldspar, garnet, amphibole schist and mica schist	

INTRASIVE ROCKS

da	Acidic dyke and dome
db	Basic dike
gb	Gabbro
gr	Granite and gneiss

SYMBOLS

	Landslide
	Fault

ادامه‌ی شکل ۱-۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود (سازمان زمین‌شناسی کشور)

۲-۳- زمین‌شناسی ساختاری منطقه

گستره‌ی مورد مطالعه از دیدگاه سنی و سنگ‌شناختی به سه بخش گوناگون و ناهمسان قابل تفکیک است.

۱- بخش تکاب، این زون از سنگ‌های دگرگونی مانند آمفیبول شیست، میکاشیست و گنیس، و سنگ‌های درونی مانند گرانیت، پدید آمده است و از دیدگاه سنی به پرکامبرین تعلق دارد. گسترش عمده‌ی سنگ‌های مذکور در بخش‌های جنوبی ورقه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ هشتروند و در ورقه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ تکاب به عنوان پرکامبرین معرفی شده است. این بخش، تحت تاثیر فاز کوهزایی کاتانگایی قرار گرفته و در حد رخساره‌های شیست سبز (آمفیبول شیست) تا آمفیبولیت دگرگون شده است. گرانیت‌های موجود در این زون دارای آنکلاوهایی از مجموعه‌ی دگرگونی یاد شده هستند و خود توده‌ی گرانیتی در بعضی قسمت‌ها حالت گنیسی نشان می‌دهد.

۲- بخش آتشفشانی- رسوبی ائوسن: این بخش، گوشه‌ی شمال شرقی ورقه را در بر می‌گیرد و از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی، توف، برش و ... متعلق به ائوسن پدید آمده است. ولکانیسم این زون وابسته به فاز کوهزایی لارامید است که سبب ولکانیسم شدید در گستره‌ی آذربایجان شده است. روند عمومی واحدهای سنگی ائوسن موجود در این زون تقریباً شرقی- غربی است و شکستگی‌های موجود در این بخش نیز از همین راستا پیروی می‌کنند. فشار تکتونیکی وارده دارای روند شمال- شمال شرقی، جنوب- جنوب غربی است.

پس از فاز کوهزایی لارامید، بسیاری از نقاط ایران متحمل چین‌خوردگی شدید شده و تقریباً تمام لایه‌های ترسیب به گونه‌ی دگرشیب بر روی لایه‌های قدیمی‌تر جای گرفته‌اند. در ائوسن بخش مهمی از ایران به زیر آب رفته و فعالیت آتشفشانی شدیدی در بیشتر نقاط ایران به ویژه آذربایجان رخ داده است که بیشتر این آتشفشان‌ها در زیر آب‌های کم ژرفا رخ داده و ترکیب عمده‌ی آن‌ها آندزیت، داسیت و توف‌های وابسته بوده است.

۳- بخش نهشته‌های میوسن

در پایان دوره‌ی ائوسن و آغاز دوره‌ی الیگوسن، یک فاز کوهزایی مهم (فاز پیرنه) رخ داده و سیمای کنونی کوه‌ها را ترسیم کرده است. در اثر سازوکار این فاز کوهزایی، نهشته‌های مربوط به ائوسن در ورقه‌ی هشترود نیز مانند سایر نقاط ایران بالا آمده و سپس به وسیله‌ی نهشته‌های میوسن (در بعضی قسمت‌ها با کنگلومرای قاعده‌ای) پوشیده می‌شوند.

۲-۳-۱- گسل‌ها

۲-۳-۱-۱- گسل نرمال امتداد لغز قرانقوچای

این گسل تقریباً در راستای رودخانه قرانقوچای و با روند شرقی- غربی است و سازوکار آن به صورت نرمال راست‌بر است. عملکرد این گسل باعث پایین‌افتادگی بخش جنوبی آن شده، که احتمالاً در تشکیل حوضه‌ی میوسن (واقع در جنوب گسل) موثر بوده است. این گسل از پایان الیگوسن تا پایان میوسن فعالیت داشته است، آن‌چنان که حرکت امتداد لغز آن باعث تغییر روند چین‌خوردگی واحدهای میوسن شده است. این گسل در نقشه‌ی یکصد هزار هشترود به وضوح قابل مشاهده است.

۲-۳-۱-۲- گسل بزرگ آیدوغموش

روند کلی این گسل شمال شرقی- جنوب غربی است و مسیر حرکت رودخانه‌ی آیدوغموش را تحت کنترل دارد. این گسل باعث حذف و تغییر ضخامت بعضی از واحدها شده است و همچنین وجود زمین‌لغزه‌های متعدّد در گوشه‌ی جنوب غرب ورقه حاکی از فعال بودن بخشی از این گسل است. به علت مارنی بودن دو طرف گسل، شواهد بارزی از آن به دست نیامده است.

۲-۳-۱-۳- گسل محمود آباد

این گسل در راستای شمال- جنوب به درازای ۷-۸ کیلومتر در خاور ایستگاه خراسانک جای گرفته است، سازوکار این گسل نرمال است و بخش غربی آن پایین‌افتاده است. در بخش ولکانیکی و

پلوتونیک‌گی گوشه‌ی شمال شرقی ورقه‌ی هشترود نیز، تعدادی گسل با روندهای شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غربی، واحدهای گوناگون ائوسن و الیگوسن را قطع کرده‌اند.

۲-۳-۱-۴- گسل قلعه حسین خان- کلب کندی

این گسل، از قره‌آغاج‌چای (جنوب کلب‌کندی) تا رودخانه‌ی آیدوغموش (قلعه حسین‌خان) امتداد دارد و روند آن تقریباً شرقی- غربی است. بر پایه‌ی نقشه‌های مغناطیس‌هوایی آن را گسل راندگی در نظر گرفته‌اند. بخش شمالی این گسل شامل مارن و سیلت گچ‌دار است و به سوی شمال شیب دارد و در بخش جنوب آن مارن‌های تقریباً افقی قرار گرفته‌اند.

۲-۳-۲- چین‌ها

۲-۳-۱-۲- ناودیس حیدرآباد- طالش کندی

این ناودیس، روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد. یال جنوبی ناودیس به طور کامل، واضح و قابل رویت است، ولی یال شمالی آن توسط مارن‌هایی به سن میو- پلیوسن پوشیده شده است.

۲-۳-۲-۲- ناودیس صوفی احمد

این ناودیس به سوی شمال غربی، خواب محوری دارد و دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی است. بخش شرقی ناودیس توسط گسل بریده شده است.

۲-۳-۲-۳- تاقدیس گنبدی شکل عاقل- بارگاه

هسته‌ی این تاقدیس گنبدی شکل در دو سوی رودخانه‌ی آیدوغموش رخنمون یافته است. پیدایش این تاقدیس، یا در اثر سازوکار فازهای تکتونیک‌گی گوناگون و یا به دلیل وجود لایه‌های گچ و سازوکار تکتونیک‌گی آن‌ها پدید آمده است، و تعداد فراوانی چین‌خوردگی کوچک در نهشته‌های مارنی، سیلتی و ... میوسن با روندهای گوناگون در گستره‌ی ورقه قابل مشاهده‌اند. افزون بر موارد یادشده در بخش ولکانیک‌گی- پلوتونیک‌گی گوشه‌ی شمال شرقی ورقه‌ی هشترود به علت نفوذ توده‌ی گرانیته‌ی الیگومیوسن

(باروند شمال غربی - جنوب شرقی) در درون مجموعه نهشته‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن، علاوه بر ایجاد دگرسانی‌های پراکنده باعث پیدایش یک تاقدیس بزرگ در این بخش شده‌اند. آن چنان که شیب عمومی واحدهای ائوسن در گوشه‌ی شمال شرقی ورقه به سمت شمال شرقی و در یال جنوبی تاقدیس یاد شده، به سوی جنوب غربی است.

۲-۴- زمین‌شناسی اقتصادی

استان آذربایجان شرقی با داشتن ۴۵,۴۹۰ کیلومتر مربع وسعت، یکی از نواحی با پتانسیل بالا و مستعد کشور بوده به طوری که با داشتن بالغ بر ۶/۵ میلیارد تن ذخیره‌ی کشف شده، دارای مقام سوم در سطح کشور است، و از لحاظ تولیدات مواد معدنی نیز با تعداد ۲۶۰ معدن فعال و استخراج سالیانه بیش از ۱۰ میلیون تن سنگ معدن، پنجمین استان غنی از مواد معدنی کشور به شمار می‌آید. تنوع عوامل مؤثر در شکل‌گیری ساختار زمین‌شناسی آذربایجان شرقی، موجب پیدایش لیتولوژی‌های گوناگون شده و مجموعه‌ی این عوامل و تحولات بعدی از قبیل رخدادهای ماگمایی و تکتونیکی به صورت گسلش‌ها و چین‌خوردگی‌های متعدد، پیدایش کانسارهای متعددی را به دنبال داشته است به طوری که این استان را به کلکسیون از مواد معدنی مختلف و گاه منحصر به فرد تبدیل کرده است. استان آذربایجان شرقی از نظر زمین‌شناسی جوان است. با توجه به شرایط آب و هوایی و مورفولوژیکی، منطقه به طور کاملاً سیستماتیک اکتشاف نشده است. وجود مجموعه‌ای از آثار و معادن مختلف از انواع مواد معدنی با ذخایر فراوان و عمدتاً مرغوب در این استان از شاخص‌های زمین‌شناسی اقتصادی بوده و به ندرت سایر استان‌ها از این امتیاز برخوردار هستند، به طوری که تاکنون وجود ۵۲ نوع ماده‌ی معدنی از تعداد ۶۵ نوع ماده‌ی معدنی موجود در کشور در این استان شناسایی شده است، که از ۳۶ نوع آن بهره‌برداری می‌شود، این مواد شامل مواد اولیه مصالح ساختمانی (سنگ آهک، سنگ گچ، پوکه معدنی، شیل، پوزولان، سنگ ساختمانی و تزئینی) و کانی‌های فلزی حاوی عناصر مس، آهن، منگنز و کانی‌های غیرفلزی شامل کائولن، تالک، فلدسپات، خاک صنعتی، زرنیخ، سیلیس،

باریت، زغال سنگ، مواد نسوز و به ویژه پرلیت، زئولیت، ورمیکولیت، نفلین سینیت، دیاتومیت و عقیق است. تنوع کانسارهای استخراجی از معادن استان توانسته است تاکنون نسبت به ایجاد کارخانه‌های تغلیظ مس مزرعه اهر و مس سونگون ورزقان و تولید آلومینا از نفلین سینیت و تولید مواد اولیه‌ی شیشه و سرامیک از نفلین سینیت کلیبر- سیمان صوفیان و تولید کربنات سدیم در مراغه و آهک هیدراته‌ی آذرشهر و آجرماسه‌ای آهکی و کائولن شویی مرند و کارخانه‌های متعدد گچ ساختمانی و انبساط پرلیت و کاشی‌سازی و شیشه‌سازی و فرآورده‌های نسوز و کک‌پزی و سنگ‌بری‌های زیادی را در بخش صنعت به همراه داشته باشد.

در بررسی‌های زمین‌شناسی ورقه‌ی هشترود به شماری نشانه‌های معدنی برخورد شده است که در ادامه به اختصار شرح داده می‌شود.

۱- مواد معدنی فلزی

پیریت و کالکوپیریت، همراه با رگچه و رگه‌های چند سانتی‌متری سیلیسی درون گرانیتهای واقع در جنوب، جنوب غرب گلوچه غمی یافت می‌شوند. خاستگاه پیریت و کالکوپیریت شاید محلول‌های پس مانده‌ی ماگمایی تشکیل دهنده‌ی گرانیتهای باشد که پس از تکوین آنها به صورت رگه و رگچه‌هایی آنها را بریده‌اند. مالاکیت به صورت آغشتگی در داخل توف و برش‌های ولکانیکی در خاور آبادی سیدلر نمایان است.

کانی سازی منگنز در محدوده‌ی ورقه به دو صورت متفاوت دیده می‌شود.

۱- کانی سازی منگنز همراه با باریت، به طوری که تکه‌های منگنز باریت‌دار در دره‌ی پایین‌دست خلیفه کمال- زرشلو که احتمالاً دارای خاستگاه گرمابی است، دیده می‌شود. رخنمون اصلی آن پیرامون خلیفه کمال وجود دارد و به بررسی‌های زمین‌شناسی دقیق‌تری نیاز دارد.

۲- کانی‌سازی منگنز با خاستگاه رسوبی، این نوع کانی‌سازی به همراه توف و آهک‌های آب شیرین درون مارن‌های میوسن زیرین در شمال ایستگاه خراسانک نمایان شده است.

۲- مواد معدنی غیرفلزی

کانی‌سازی پرلیت در وابستگی با واحد ریولیتی- ریوداسیتی است و ذخیره‌ای قابل توجه در شمال آبادی پرسخلو پدید آورده است، ولی عمده ذخیره پرلیت در گستره ورقه بالایی (قره چمن) واقع شده است. لایه‌ها و نوارهای گوناگون قابل بهره‌برداری از گچ درون نهشته‌های تبخیری و مارنی میوسن یافت شده است، که ارزش اقتصادی دارند و در چندین نقطه، بهره‌برداری از آنها انجام شده است. از ذخایر گچ موجود در ورقه‌ی هشترود می‌توان به اندیس‌های قویون قشلاقی، احمدآباد، خراسانک- قره‌گونی، ساری قمیش و ... اشاره کرد.

در محدوده‌ی ورقه‌ی هشترود، آهک‌های ریفی قم و آهک‌های آب شیرین جوان می‌توانند منبعی برای تغذیه‌ی کوره‌های آهک‌پزی محلی باشد. سنگ آهک‌های مربوط به سازند قم در نواحی شمال عبدالرحمانلو- قاراطورق، جنوب غرب حسن‌کندی، غرب و جنوب مولو - چراغ مردان و آهک‌های آب شیرین جوان در جنوب شرقی کسیجین- آغ‌بلاغ، جنوب آغ‌طورق و ... رخنمون دارند.

به علت گسترش نسبتاً وسیع نهشته‌های تبخیری میوسن، رودخانه‌ی جاری موجود در منطقه، از املاح قابل حل از جمله نمک غنی بوده و به همین جهت از رودخانه‌ی سلطان‌آباد نمک آبی استخراج می‌شود. در پیرامون گرمی‌چای، زئولیت بهره‌برداری می‌شود. ذخایر قابل توجهی از شن و ماسه در واحدهای میوسن و آبرفت‌های رودخانه‌های بزرگ آیدوغموش و قرانقوچای وجود دارد که در بعضی قسمت‌ها برای جاده‌سازی و تأمین مواد اولیه‌ی آسفالت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (گزارش سازمان زمین‌شناسی).

فصل سوم

مطالعات دور سنجی

۳-۱- مقدمه

سنجش از دور، علم کسب اطلاعات، پردازش و تفسیر تصاویر و داده‌های به دست آمده از فضاپیماها و ماهواره‌هاست که برهم کنش بین ماده و انرژی الکترومغناطیس را ثبت می‌کند (Sabins, 1999). به عبارت دیگر سنجش از دور، علم و هنر کسب اطلاعات درباره‌ی یک شیء، منطقه یا پدیده از طریق تحلیل داده‌های به دست آمده از یک وسیله است که در تماس مستقیم با شیء یا پدیده‌ی تحت بررسی نیست (Thomas et al, 1994). در واقع، می‌توان گفت هر جسمی که روی زمین وجود دارد، بازتاب متفاوتی در برابر نور خورشید از خود نشان می‌دهد و سنجنده‌ها این بازتاب‌ها را دریافت کرده و آن‌ها را ثبت می‌کنند، با پردازش این بازتاب‌ها و تولید تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به راحتی روی مناطقی که دور از دسترس ما بوده و یا صعب‌العبور هستند، بررسی‌های زمین‌شناختی لازم را انجام داد. هنر سنجش از دور این است که با کاهش قابل توجه هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان، در رسیدن به اهداف مورد نظر، به ما کمک می‌کند.

تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش منطقه‌ای وسیع، چندطیفی و چند زمانی، می‌توانند در شناسایی نوارها، ایالت‌ها و مکان‌های کانی‌زایی به کار روند. نقش سنجش از دور در اکتشاف کانسارها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (Sirvastav et al, 2000. Sabins, 1999):

- نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناختی، چینه‌شناختی، خطواره‌های بزرگ و روندهای ساختاری در طول مناطقی که احتمال کانسارسازی وجود دارد.

- نقشه‌برداری الگوهای ساختاری و شکستگی‌های محلی که ممکن است تشکیل دهنده‌ی کانسارهای خاص باشند.

- شناسایی مناطق دگرسان شده‌ی مرتبط با توده‌های کانسار و تهیه‌ی اطلاعات زمین‌شناسی پایه.

یکی از مهمترین هدف‌های سنجش از دور، در زمین‌شناختی، توسعه‌ی روش‌هایی برای نقشه‌برداری کانی‌ها و تشخیص انواع سنگ‌ها است. زون‌های دگرسانی به دلیل همراه بودن با ذخایر فلزی و از سوی دیگر به دلیل خصوصیات مناسب برای انجام تحقیقات سنجش از دور مورد توجه بسیاری

بوده‌اند (هاشمی تنگستانی و مظهری، ۱۳۸۳). در این فصل با استفاده از پردازش داده‌ها و تصاویر دورسنجی به دست آمده از ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند، به روش‌های ترکیب رنگی، نسبت بانندی، تحلیل مولفه‌ی اصلی استاندارد و انتخابی و روش کمترین مربعات برازش شده، مناطق دارای آنومالی مس شناسایی شده و تفسیر شدند.

۳-۲- داده‌های مورد استفاده

تصویر ماهواره‌ای منطقه‌ی تحت پوشش ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۴ سنجنده‌ی ETM⁺ ماهواره‌ی لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۰ از سایت www.landsat.org دانلود شده و تصویر سنجنده‌ی استر (ASTER) ماهواره‌ی ترا (Terra) در همین منطقه نیز از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور خریداری شده است.

ماهواره‌ی لندست که توسط سازمان فضایی آمریکا (NASA) ساخته شده است، شامل سه سری است، سری اول لندست ۱، ۲ و ۳ هستند که در طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵ مورد استفاده قرار گرفتند، سری دوم لندست ۴، ۵ و ۷ و سری سوم آن لندست ۸ است. ماهواره‌ی لندست ۶ در سال ۱۹۹۳ پرتاب شد، اما به دلیل قرار نگرفتن در مدار از بین رفت. ماهواره‌های لندست از نوع خورشید آهنگ بوده و هم‌اکنون تنها لندست ۷ و ۸ در حال استفاده هستند. لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ پرتاب شده و در مدار قرار گرفت. این ماهواره دارای سنجنده‌ی نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (ETM⁺) می‌باشد که دارای ۸ باند بوده و مشخصات آن در جدول (۳-۱) ارائه شده است. ماهواره‌ی لندست ۸ نیز در سال ۲۰۱۳ با موفقیت در مدار زمین قرار گرفت.

سنجنده‌ی آستر، یک سنجنده‌ی چندطیفی مدار قطبی است که در دسامبر ۱۹۹۹ با همکاری آمریکا و ژاپن بر روی ماهواره‌ی ترا نصب، و به فضا پرتاب شد. این سنجنده، ناحیه‌ی طیفی وسیعی را با ۱۴ باند پوشش می‌دهد، که از ناحیه مرئی - فرورسرخ نزدیک (VNIR) شروع شده و تا ناحیه‌ی فرورسرخ گرمایی (TIR) ادامه می‌یابد. آستر در دوره‌ی گردش ۱۶ روزه، تصویربرداری زمین را به طور کامل

انجام می‌دهد. این سنجنده در ناحیه مرئی - فروسرخ نزدیک شامل سه باند با توان تفکیک ۱۵ متر، در فروسرخ موج کوتاه (SWIR) شامل شش باند با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و در فروسرخ گرمایی شامل ۵ باند با توان تفکیک ۹۰ متر است.

جدول ۳-۱ خصوصیات باندهای سنجنده ETM⁺ ماهواره‌ی لندست ۷.

شماره باند	دامنه طیفی (میکرومتر)	رنگ یا مشخصه	قدرت تفکیک (متر)
۱	۰/۴۵ - ۰/۵۲	آبی	۳۰
۲	۰/۵۲ - ۰/۶۰	سبز	۳۰
۳	۰/۶۳ - ۰/۶۹	قرمز	۳۰
۴	۰/۷۵ - ۰/۹۰	مادون قرمز نزدیک	۳۰
۵	۱/۵۵ - ۱/۷۵	مادون قرمز میانی	۳۰
۶	۱۰/۴ - ۱۲/۵	مادون قرمز حرارتی	۶۰
۷	۲/۰۸ - ۲/۳۵	مادون قرمز میانی	۳۰
۸	۰/۵۲ - ۰/۹	پانکروماتیک	۱۵

از دیگر ویژگی‌های سنجنده‌ی آستر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تصاویر آستر بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده‌اند؛ بنابراین در این زمینه کارایی بالایی دارند.

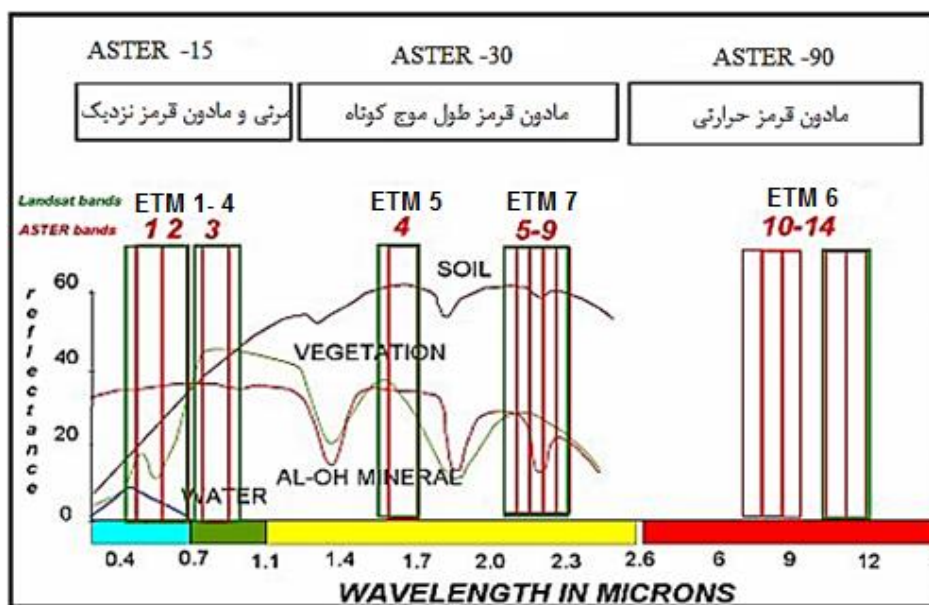
- از تفکیک طیفی خوبی در محدوده‌ی مادون قرمز (محدوده‌ای که می‌توان بسیاری از کانی‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد) برخوردارند.

- برخورداری از قدرت تفکیک رادیومتریکی بسیار خوب (۱۰ و ۱۲ بیت) که تصاویری با کیفیت و نسبت سیگنال به نویز بالا را موجب شده است. تنها سنجنده‌ی دارای تصاویر چندطیفی حرارتی است و پنج باند حرارتی با دقت رادیومتریکی ۱۲ بیت دارد که از طریق آن تشخیص و تفکیک سیلیس‌ها و

واحدهای سنگی سیلیکاته امکان پذیر است. قابلیت برداشت تصاویر زوج (Sterio) و امکان تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM) را دارد. در جدول (۲-۳) خصوصیات باندهای سنجندهی آستر ارائه شده است.

جدول ۲-۳ خصوصیات باندهای سنجندهی آستر

شماره باند	دامنه طیفی (میکرومتر)	رنگ یا مشخصه	قدرت تفکیک (متر)
۱	۰/۵۲ - ۰/۶۰	سبز	۱۵
۲	۰/۶۳ - ۰/۶۹	سرخ	۱۵
۳	۰/۷۶ - ۰/۸۶	NIR	۱۵
۴	۱/۶ - ۱/۷	SWIR	۳۰
۵	۲/۱۴۵ - ۲/۱۸۵	SWIR	۳۰
۶	۲/۲۲۵ - ۲/۲۴۵	SWIR	۳۰
۷	۲/۲۳۵ - ۲/۲۸۵	SWIR	۳۰
۸	۲/۲۹۵ - ۲/۳۶۵	SWIR	۳۰
۹	۲/۳۶۰ - ۲/۴۰۳	SWIR	۳۰
۱۰	۸/۱۳ - ۸/۴۸	TIR	۹۰
۱۱	۸/۴۸ - ۸/۸۳	TIR	۹۰
۱۲	۸/۹۰ - ۹/۲۵	TIR	۹۰
۱۳	۱۰/۲۵ - ۱۰/۹۵	TIR	۹۰
۱۴	۱۰/۹۵ - ۱۱/۶۵	TIR	۹۰



شکل ۳-۱ باندهای سنجنده‌های ETM⁺ و آستر (Yetkin, 2003)

شکل (۳-۱) محدوده‌های طول موجی باندهای سنجنده‌های ETM⁺ و آستر را نشان می‌دهد.

۳-۳- آماده سازی و پیش پردازش تصاویر

۳-۳-۱- موزاییک کردن داده‌ها

چسباندن دو تصویر ماهواره‌ای کنار یکدیگر را موزاییک کردن می‌گویند و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که محدوده‌ی مورد مطالعه بین دو تصویر ماهواره‌ای قرار بگیرد. در این تحقیق از آنجایی که محدوده‌ی مورد مطالعه در یک صفحه‌ی اطلاعاتی قرار دارد، نیازی به موزاییک کردن داده‌ها نبوده است.

۳-۳-۲- برش تصویر

محدوده‌ی مورد مطالعه، بخشی از تصویر ماهواره‌ای را به خود اختصاص داده است و برای پردازش بهتر و دقیق‌تر نیاز به برش دادن دارد. این کار نیز همانند سایر مراحل با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شد.

۳-۳-۳- تصحیح اتمسفری (رادئومتری)

محدوده‌های مختلف امواج الکترومغناطیس در هنگام گذر از جو زمین رفتارهای گوناگونی دارند، بنابراین میزان بازتاب برگشتی پدیده‌ها در برخی از طول موج‌ها بیانگر بازتاب حقیقی آن‌ها نیست (Sabins, 1999). در واقع، ارزش عددی هر پیکسل در داده‌های ماهواره‌ای، میزان بازتابندگی واقعی آن پدیده در سطح زمین نبوده و از عواملی مانند جذب و پراکنش جوی، زاویه تابش خورشید، حساسیت سنجنده و سایه تاثیر پذیرفته است (جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵). برای حذف اثرات ناشی از این پدیده‌ها، تصحیح اتمسفری روی داده‌های ماهواره‌ای سنجنده‌ی ETM^+ لندست ۷ انجام شد. از آن‌جا که تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی آستر به صورت اصلاح شده خریداری شده است، نیازی به تصحیح اتمسفری ندارد.

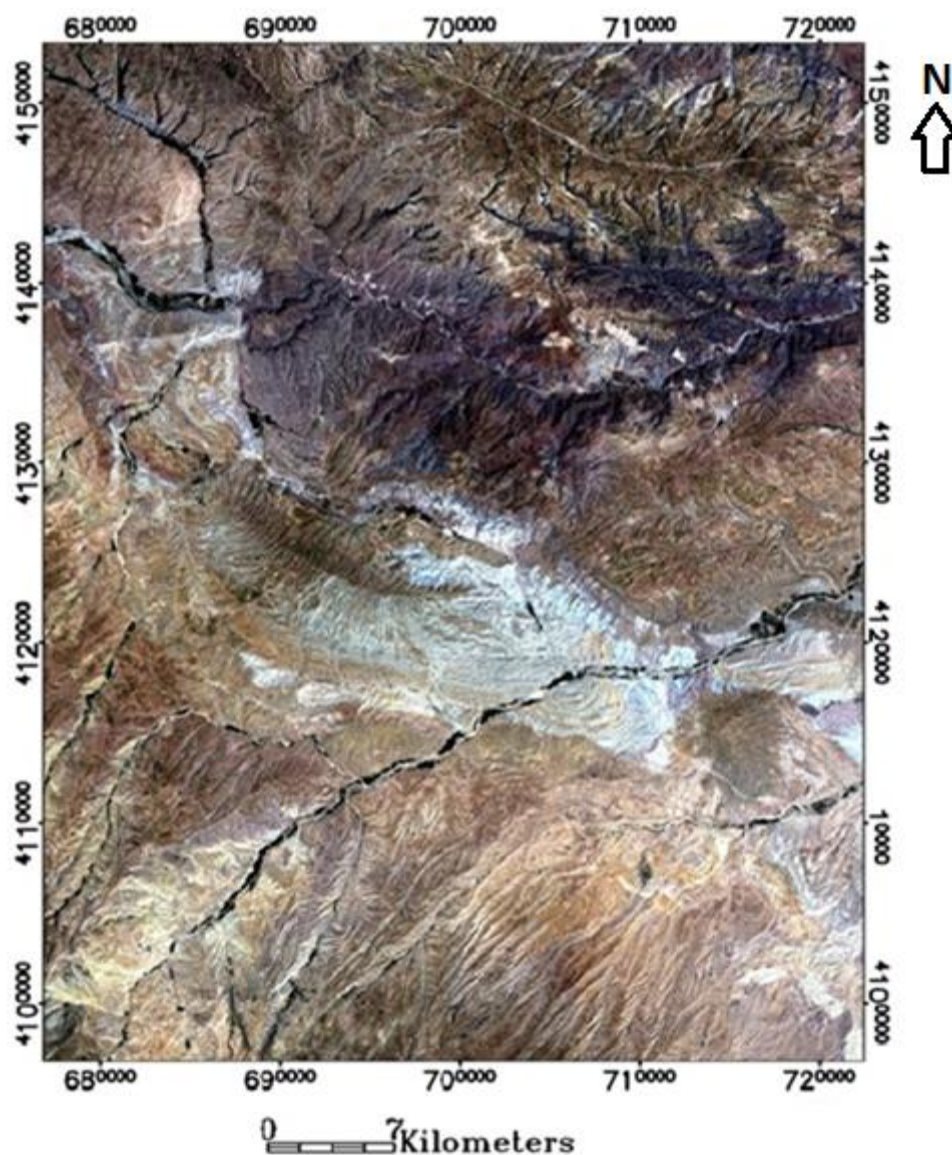
۳-۴- پردازش داده‌ها

مرحله‌ی پردازش داده‌ها، مرحله‌ای است برای دستیابی به تصویری با کیفیت بهتر و قابل درک‌تر به نحوی که با توجه به مشابهت‌های بافتی، طیفی و هندسی بتوان پدیده‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد. عملیات پردازش تصویر به منظور آشکارسازی و بارز کردن پدیده‌های مورد نظر با انجام مراحل زیر صورت می‌گیرد.

۳-۴-۱- ترکیب رنگی

ایده‌ی اصلی این روش، ترکیب اطلاعات چندطیفی در محدوده‌ی طول موج مرئی به منظور قابل دید ساختن آن برای چشم انسان است. هر شیء در طبیعت در طول موج‌های متفاوت مقدار انعکاس منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. رنگ‌هایی که چشم انسان قادر به دیدن آن‌هاست، در واقع ترکیبی از بازتاب بخش‌های قرمز، سبز و آبی محدوده‌ی طیف مرئی است. ابزارهای نمایش، با نمایش در ناحیه طول موج مرئی از چشم انسان تقلید می‌کنند. از نظر فنی رایج‌ترین نوع نمایش رنگی در سیستم کامپیوترها نمایش افزایشی است، به این معنی که نور سفید می‌تواند از اضافه شدن و ترکیب

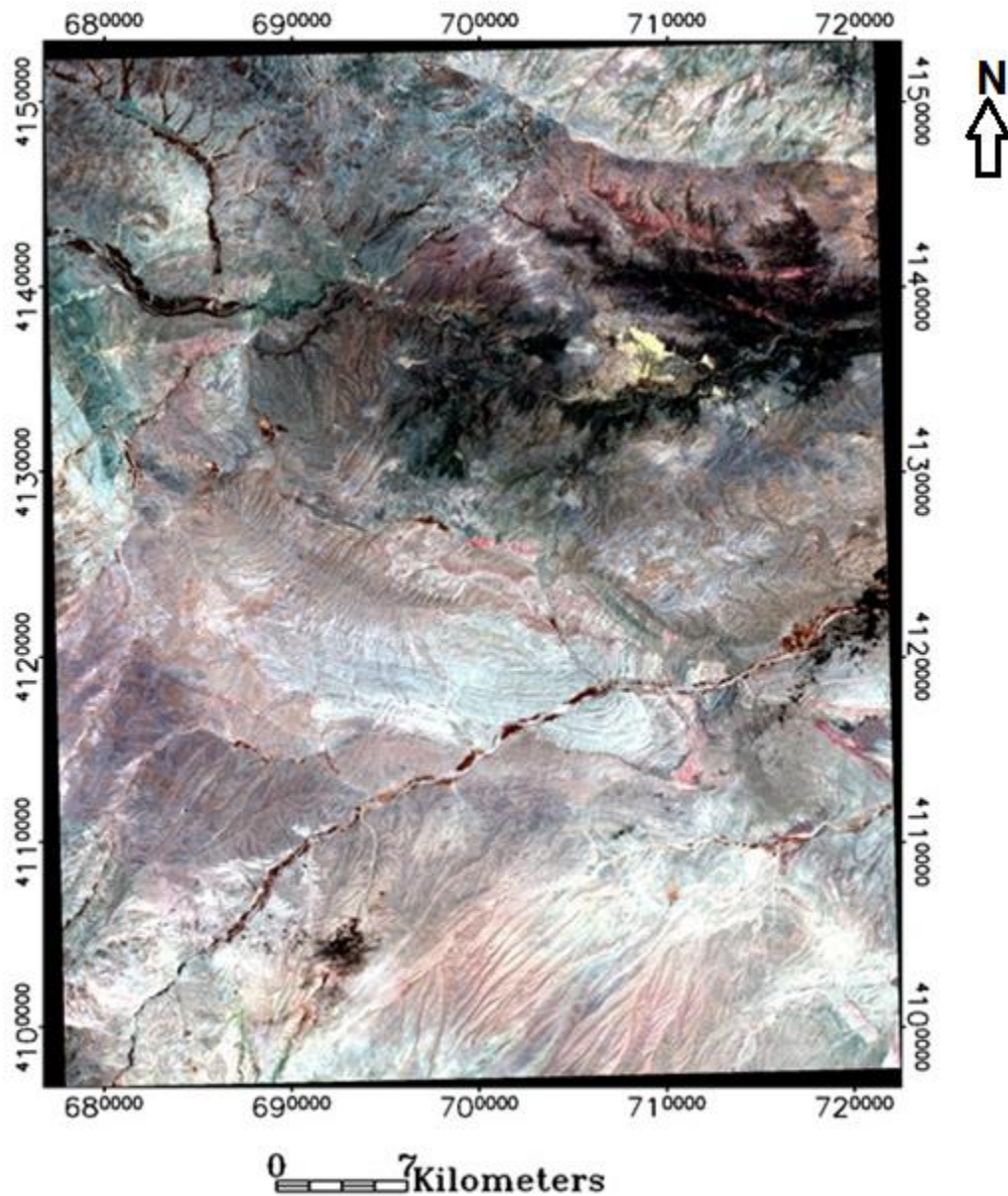
سه رنگ اولیه قرمز (۰/۷ - ۰/۶ میکرومتر)، سبز (۰/۶ - ۰/۵) و آبی (۰/۵ - ۰/۴) به وجود آید. ترکیب رنگی در حقیقت اساس دیگر روش‌هاست، زیرا می‌توان با اختصاص باندهای طیفی مناسب در کانال‌های سه گانه‌ی قرمز، سبز و آبی (RGB) مناسب، نتایج را با جزئیات به آسانی تفسیر کرد.



شکل ۲-۳ تصویر حاصل از ترکیب رنگی واقعی سنجنده‌ی

ETM⁺ منطقه‌ی هشترود. RGB: 321

در تصاویر ETM⁺ لندست ۷ تنها در صورتی که سه باند ۳، ۲ و ۱ به ترتیب در کانال‌های RGB قرار بگیرند، یک ترکیب رنگی واقعی^۱ (TCC) ایجاد می‌شود (شکل ۳-۲). سایر ترکیب‌های رنگی، ترکیب رنگی کاذب^۲ (FCC) ایجاد می‌کنند.



شکل ۳-۳ تصویر رنگی حاصل از ترکیب رنگی مجازی سه‌گانه‌ی RGB: 468 از سنجنده‌ی آستر، ورقه‌ی هشترود

¹ True Color Composite

² Fales Color Composite

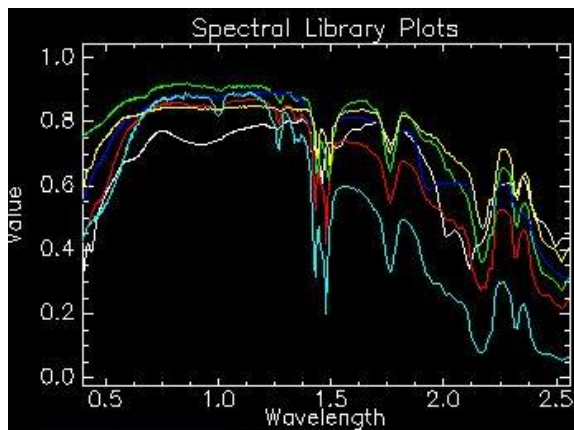
ترکیب رنگی کاذب در محدوده‌ی فرورسرخ طول موج کوتاه (SWIR) RGB:468 در تصاویر سنجنده‌ی آستر، یک ترکیب رنگی مناسب برای نمایش مناطق دگرسانی در کانسارهای پورفیری ایجاد می‌کند، که در آن رنگ سبز، دگرسانی پروپلیتیک (اپیدوت و کلریت) و رنگ صورتی، دگرسانی فیلیک و آرژیلیک (کانی‌های رسی و سریسیت) را نشان می‌دهد (شکل ۳-۳). در ترکیب باندی این شکل کانی‌های مربوط به زون پروپلیتیک (اپیدوت و کلریت) به رنگ سبز و کانی‌های رسی به رنگ صورتی مشاهده می‌شوند. این مساله به دلیل بازتابندگی بالای کانی‌های آلونیت، کائولینیت و سریسیت در باند چهار نسبت به باندهای شش و هشت است (Ferreir et al., 2002).

۳-۴-۲- نسبت باندی

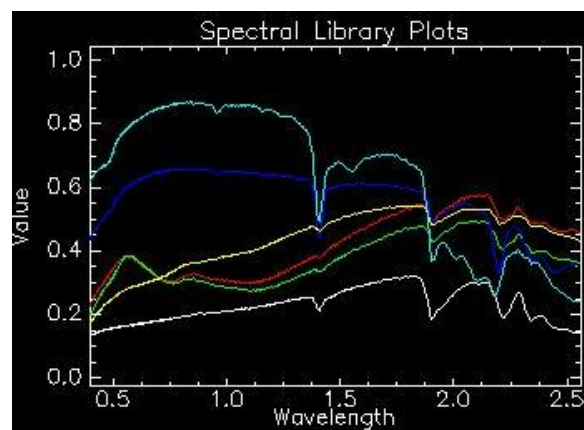
نسبت باندی، یک روش پردازش تصویر چندطیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر است. کانی‌های سطحی یکسان به دلیل جهت و شیب توپوگرافی، سایه یا تغییرات فصلی در شدت و زاویه روشنایی نور خورشید می‌توانند مقادیر درخشندگی متفاوتی داشته باشند. این اثرات انحرافی باعث بروز خطا در تفسیر ناظر شده و نتایج گمراه کننده‌ای به همراه دارد. عملیات نسبت باندی باعث تغییر داده‌ها شده و این اثرات محیطی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، نسبت‌گیری باندی ممکن است اطلاعات منحصر به فردی از سطح زمین در اختیار قرار دهد که در هیچ تک باندی وجود ندارد (Jensen, 1996).

با استفاده از روش نسبت باندی می‌توان کانی‌های مختلفی از جمله کانی‌های رسی و اکسید آهن را مشخص کرد، در تصاویر سنجنده‌ی ETM⁺ این نسبت برای آشکارسازی کانی‌های رسی پنج به هفت است، باند پنج دارای بیشترین انعکاس و باند هفت دارای بیشترین جذب (کمترین انعکاس) است. برای آشکارسازی اکسید آهن از نسبت سه به یک و برای آشکارسازی پوشش گیاهی از نسبت چهار به دو استفاده می‌شود.

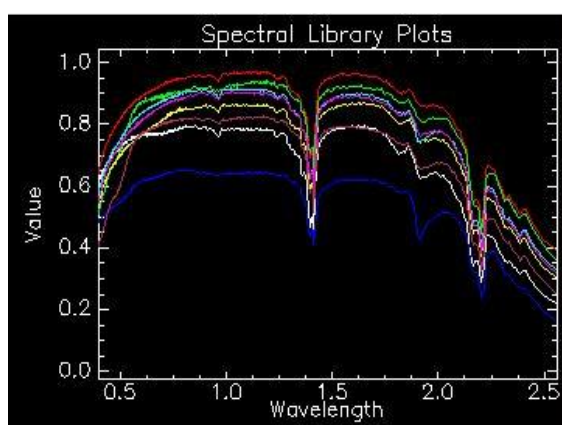
در همه‌ی این موارد، برای هر کانی مشخص، بیشترین میزان انعکاس در صورت کسر و بیشترین میزان جذب در مخرج قرار می‌گیرد. برای تشخیص نسبت‌های باندی درست باید از نمودار بازتاب طیفی کانی‌ها که برای هر کانی مقداری منحصر به فرد است استفاده کرد. در زیر، نمودار بازتاب طیفی تعدادی از کانی‌های رسی و اکسید آهن نمایش داده شده است (شکل‌های ۳-۴ و ۳-۵).



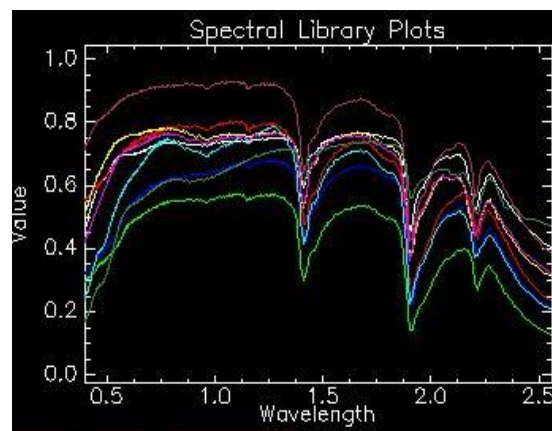
(ب)



(الف)



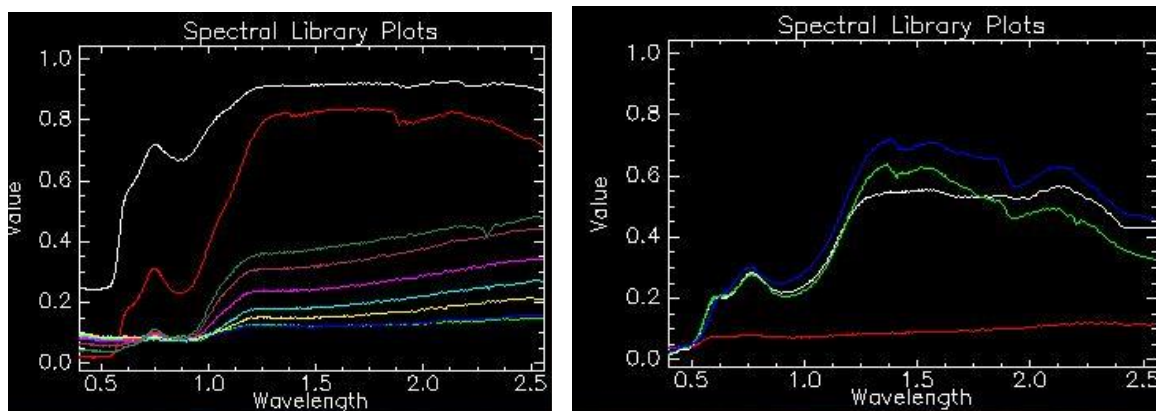
(د)



(ج)

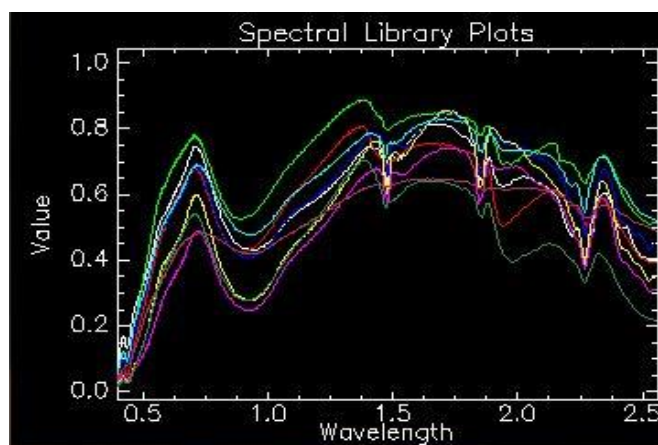
شکل ۳-۴ نمودار بازتاب طیفی کانی‌های رسی (برگرفته از نرم افزار ENVI)؛ الف: ایلیت
ب: آلونیت ج: مونت موریلونیت د: کائولینیت

با استفاده از نمودارهای شکل (۳-۴) می‌توان به مناسب‌ترین نسبت‌ها برای نمایش کانی‌های رسی پی برد. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین انعکاس در محدوده‌ی طول موج باند پنج و بیشترین جذب نیز در محدوده‌ی طول موج باند هفت است.



(ب)

(الف)



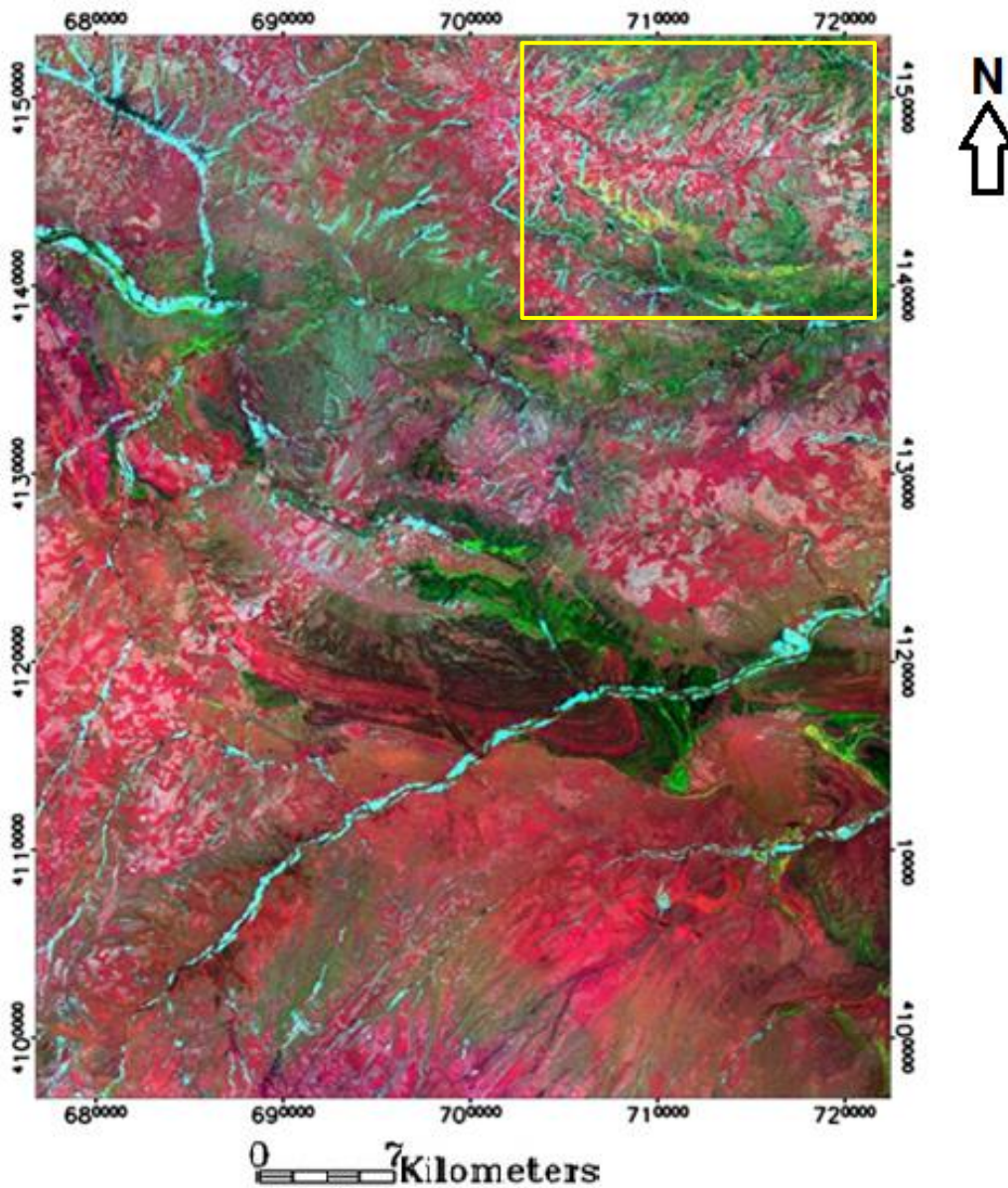
(ج)

شکل ۳-۵ نمودار بازتاب طیفی کانی‌های آهن‌دار (برگرفته از نرم افزار ENVI)؛

الف: گوتیت ب: هماتیت ج: ژاروسیت

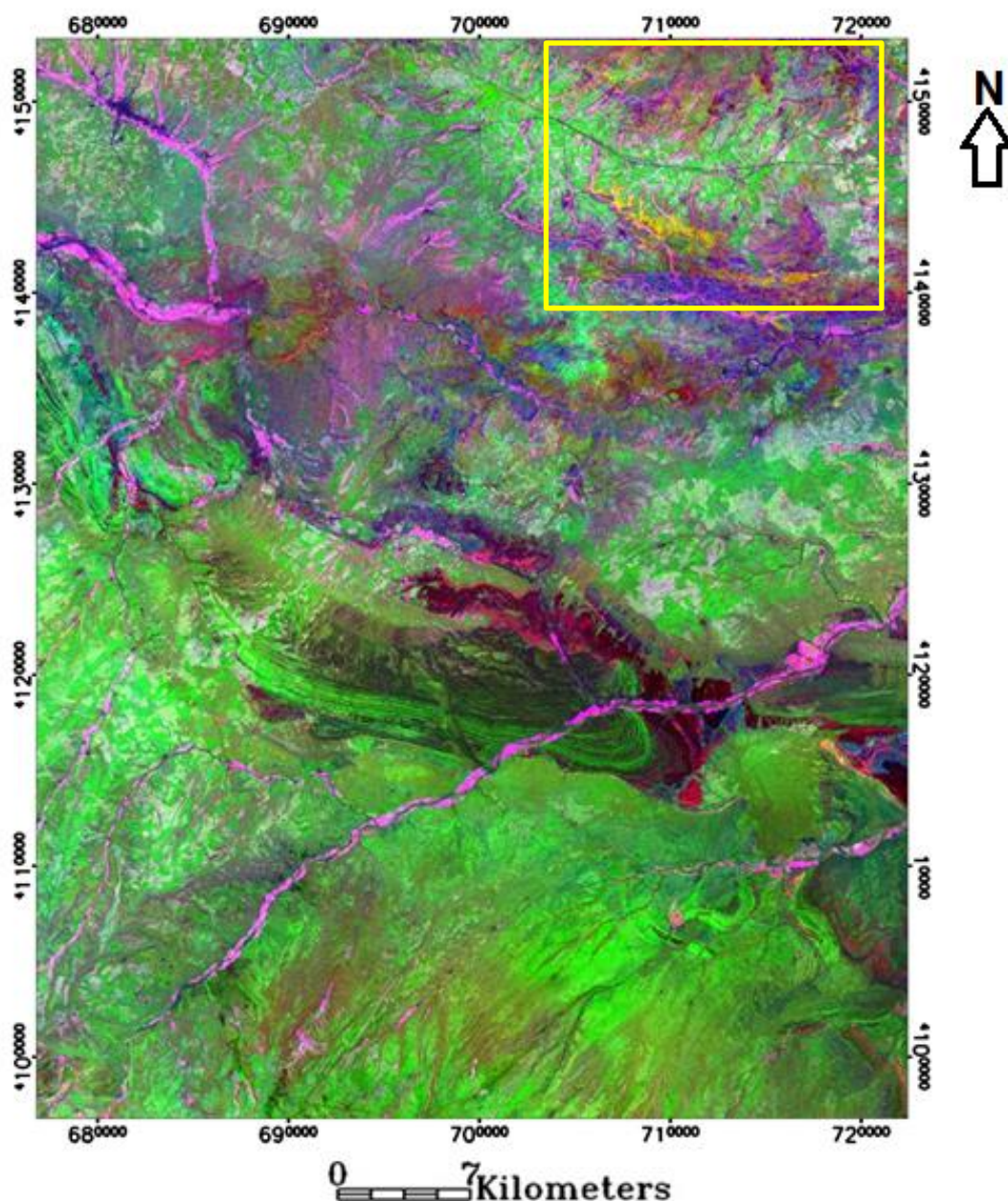
در مورد شکل (۳-۵) نیز که جهت آشکارسازی مناطق حاوی اکسید آهن استفاده می‌شود، بیشترین انعکاس در محدوده‌ی طول موج باند سه و بیشترین جذب در محدوده‌ی طول موج باند یک است. هر کدام از این نسبت‌های باندی به تنهایی تصویری سیاه و سفید تولید می‌کنند که پیکسل‌های روشن نمایان‌گر وجود کانی‌های موردنظر است. برای تفسیر تصاویر و شناسایی پدیده‌های زمین‌شناسی که از این نسبت‌ها به دست می‌آید، از ترکیب رنگی (RGB) استفاده می‌شود.

در شکل (۳-۶)، نسبت سه به یک برای کانی‌های اکسید آهن، پنج به هفت برای کانی‌های رسی و چهار به دو برای پوشش گیاهی استفاده شده است. پوشش گیاهی با رنگ آبی روشن و مناطق دگرسانی با رنگ زرد (داخل کادر) نمایش داده شده است.

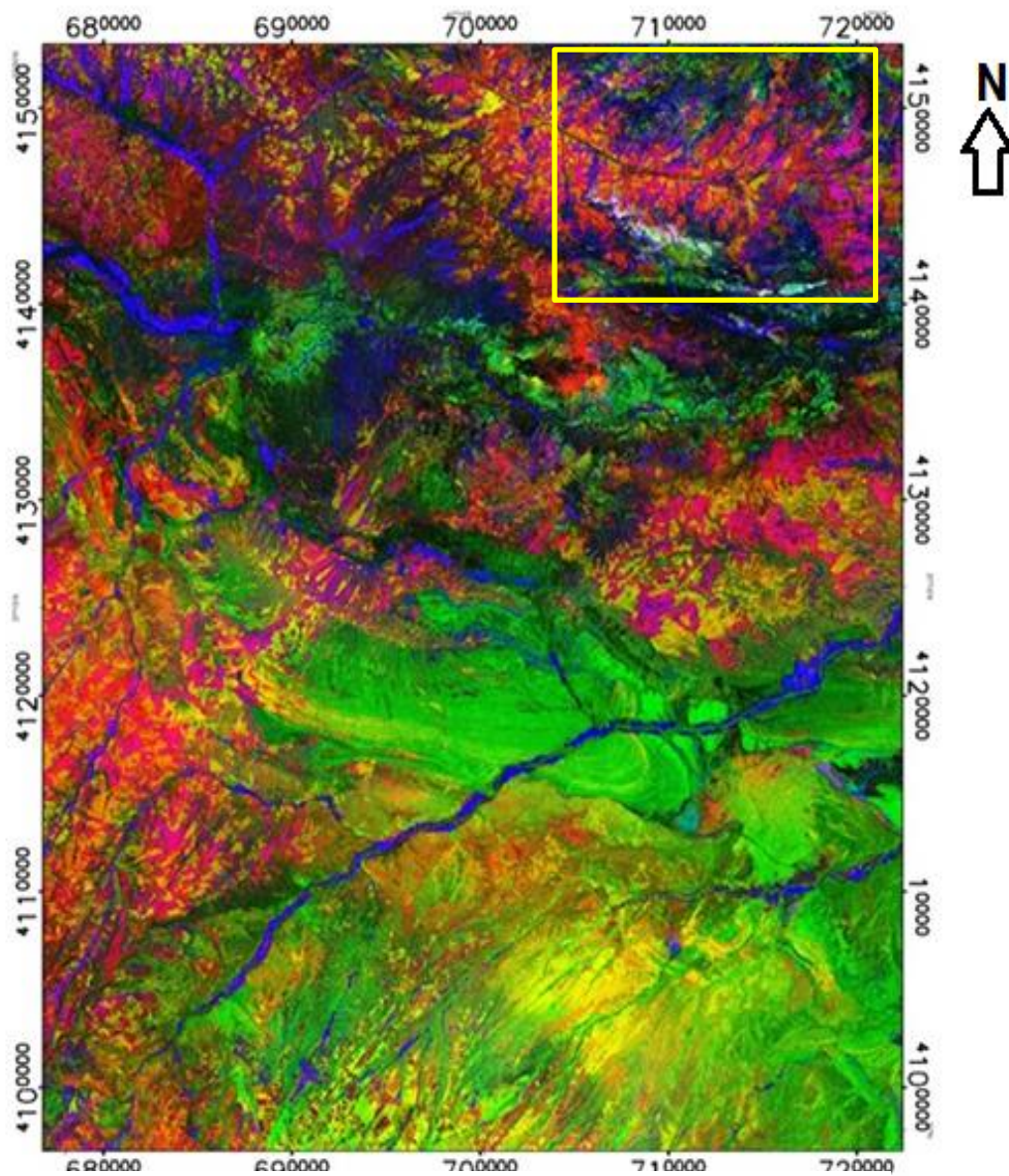


شکل ۳-۶ تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت‌های باندهای ۳/۱، ۵/۷، ۴/۲ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از سنجنده ETM+ از منطقه‌ی هشترود

در شکل (۳-۷)، نسبت پنج به هفت برای کانی‌های رسی و نسبت سه به یک برای اکسیدهای آهن استفاده شده است، اما نسبت چهار به پنج برای اکسید آهن و کانی‌های رسی به طور یکسانی کم است. در این تصویر، مناطق صورتی پوشش گیاهی و مناطق زرد رنگ (داخل کادر) دگرسانی هستند.

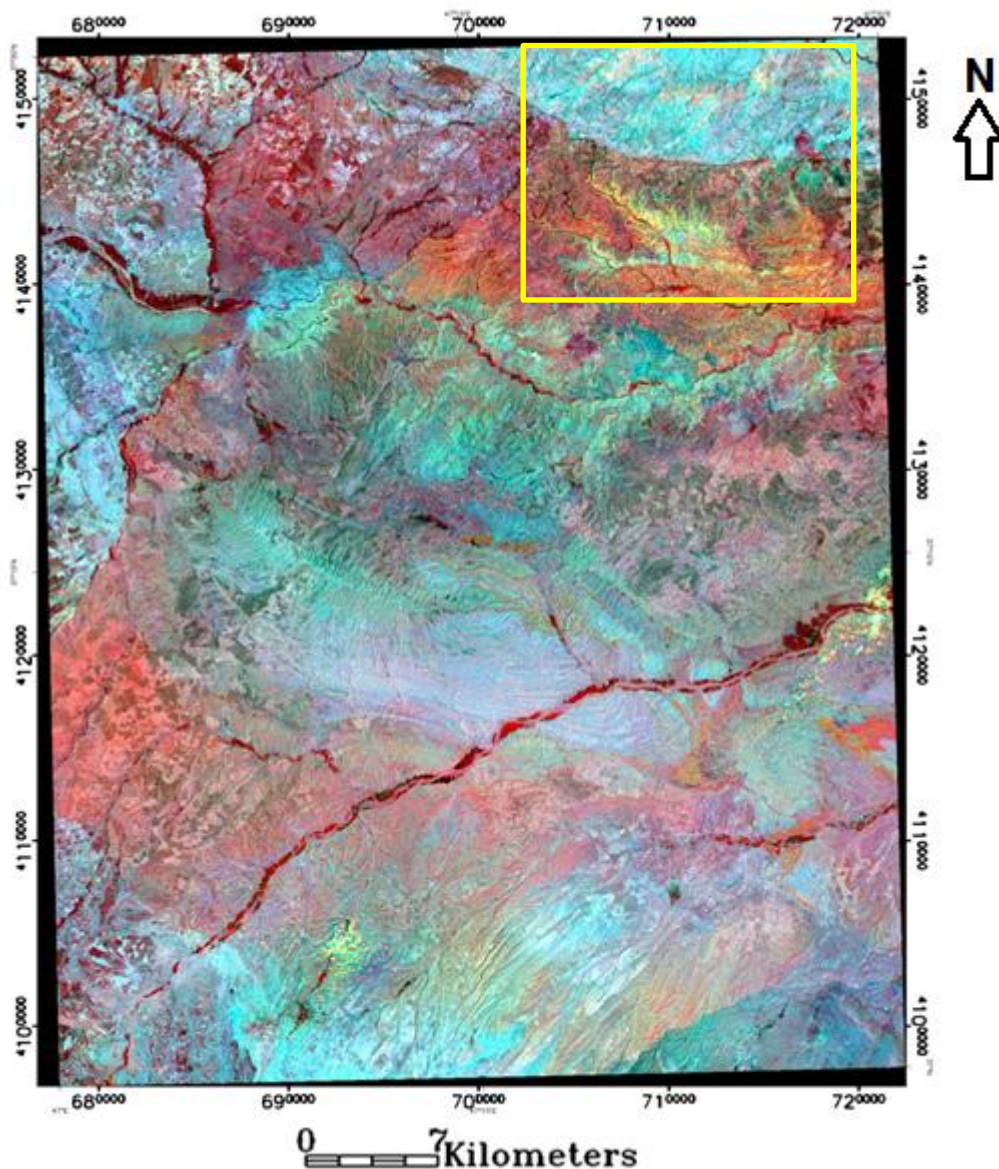


شکل ۳-۷ تصویری رنگی مجازی با ترکیب رنگی حاصل از قرار دادن نسبت‌های باندی ۴/۵، ۳/۱، ۵/۷ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از سنجنده‌ی ETM⁺ از منطقه‌ی هشترود



شکل ۳-۸ تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهای 3/1, 4/5, 5/7 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از سنجندهی ETM⁺ منطقهی هشتگرد

در شکل (۳-۸) مناطق دگرسانی (داخل کادر) با رنگ سفید از سایر نقاط متمایز شده است. در شکل (۳-۹) نیز مناطق دگرسانی با رنگ زرد متمایز شده است.



شکل ۳-۹ تصویر مجازی حاصل از فرار دادن ترکیب نسبت‌های باندهی 7/6, 4/3, 6/3 در فیلترهای قرمز، سبز و آبی از داده‌ی آستر از منطقه‌ی هشترود.

۳-۴-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

داده‌های رقومی ناشی از طول موج باندهای گوناگون، اغلب شبیه به یکدیگر به نظر می‌رسند و اساساً اطلاعات مشابهی را منتقل می‌کنند. در حقیقت، این تشابه و ارتباط بین باندها، باعث به وجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چند طیفی احتیاج است، به صورت فشرده درمی‌آیند. انتقال مولفه‌های اصلی،

روشی برای خارج کردن یا کاهش دادن چنین اطلاعات زائدی است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های چندطیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. برای داده‌های چندطیفی (مانند لندست)، اولین مولفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مولفه‌های بعدی (PC2، PC3،، PCn) هر یک دربرگیرنده‌ی درصد کمتری از واریانس تصویر هستند (Sabins, 1999).

دو روش اصلی و مرسوم PCA وجود دارد که شامل ۱- آنالیز مولفه‌ی اصلی استاندارد بر روی شش باند ETM^+ و نه باند آستر و ۲- آنالیز مولفه‌ی اصلی به روش کروسا است. اختلاف بین تحلیل استاندارد و انتخابی مولفه‌های اصلی در این است که در تحلیل استاندارد همه باندهای یک تصویر (مثلاً ۶ باند غیرگرمایی ETM^+) به عنوان داده‌ی ورودی در محاسبه مولفه‌های اصلی به کار می‌روند، در حالی که در تحلیل انتخابی بر حسب نوع هدف، تعداد مشخصی از باندها انتخاب می‌شوند. استفاده‌ی اساسی از تحلیل مولفه‌ی اصلی یا PCA، در کاهش تعداد تصاویر یا متغیرهاست که کاهش ابعادی^۱ نامیده می‌شود.

۳-۴-۱- آنالیز مولفه‌ی اصلی استاندارد

اطلاعات طیفی کانی‌های هیدروکسیل و اکسید آهن در تصویر سنجنده‌ی ETM^+ به طور عمده در مولفه‌های اصلی چهار و پنج [PC4 و PC5] متمرکز است (جدول ۳-۳). در واقع، بیشترین اختلاف میان باند پنج و باند هفت در PC5 مشاهده می‌شود، اما از آنجایی که باند پنج که دارای بازتاب بالایی برای کانی‌های رسی است، عددی منفی است (۰،۵۷۸۹۶۶-). در تصویر حاصل از PC5 پیکسل‌های تیره نمایان‌گر کانی‌های رسی هستند، بنابراین، به منظور نمایش هیدروکسیل‌ها به صورت پیکسل‌های روشن، PC5- یا PC5 معکوس ساخته شد. از طرف دیگر بیشترین اختلاف بین باندهای سه و یک در PC4 مشاهده شد و در تصویر حاصل از PC4 پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده‌ی کانی‌های اکسید آهن هستند. در نهایت، برای ساخت یک ترکیب رنگی مناسب در محیط RGB به ترتیب، PC5-، PC4 +

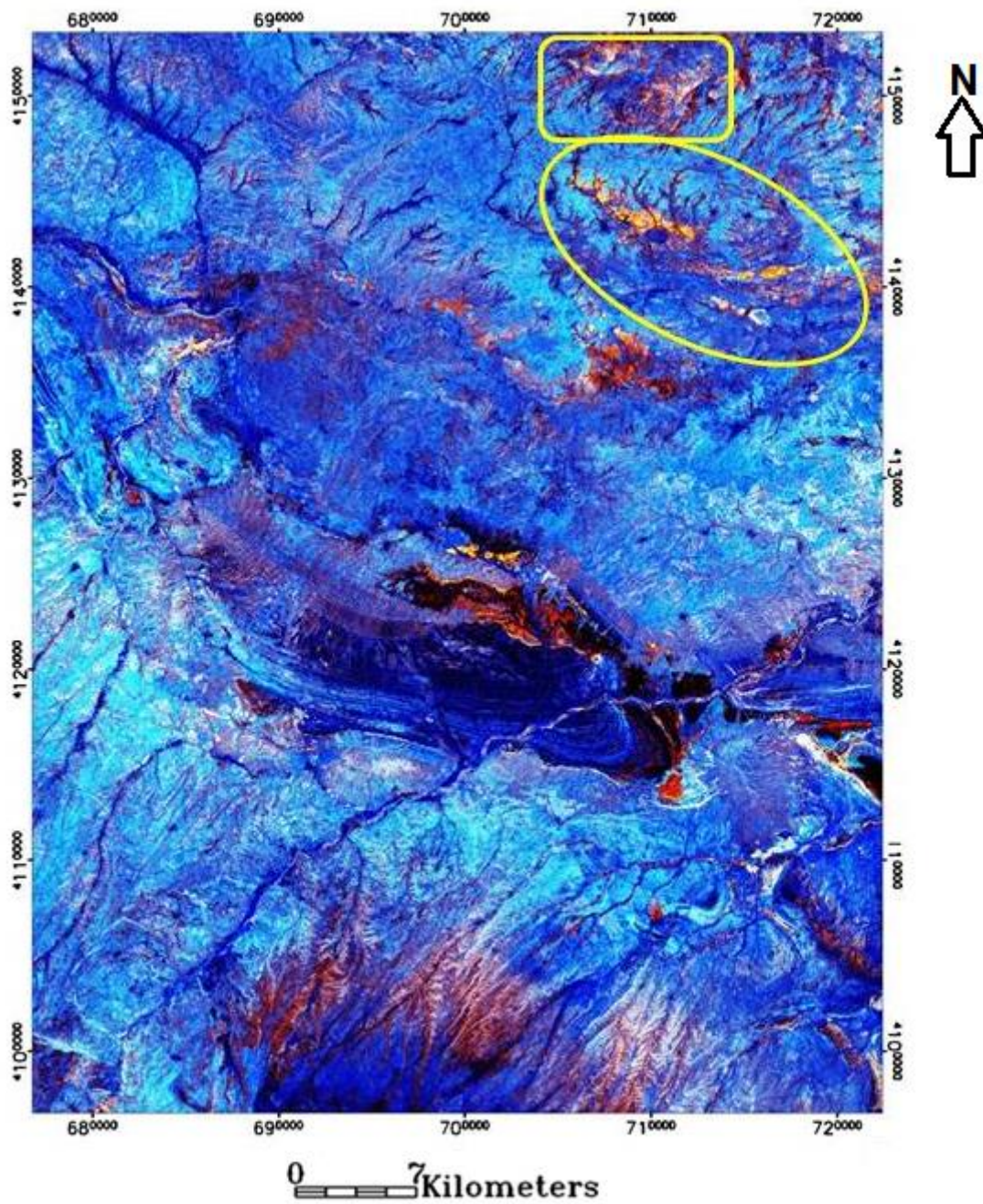
¹ Dimensionality reduction

PC4، (PC5-)، قرار داده می‌شود (شکل ۳-۱۰). در این شکل مناطق دگرسان با رنگ زرد نشان دیده می‌شوند.

جدول ۳-۳ تحلیل مولفه اصلی بر روی شش باند سنجنده ی ETM^+ منطقه هشترود.

Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.250	-0.307	-0.378	-0.286	-0.566	-0.543
PC2	-0.223	-0.139	-0.201	0.905	0.089	-0.247
PC3	0.548	0.434	0.346	0.208	-0.420	-0.412
PC4	-0.553	-0.099	0.691	0.096	-0.398	0.194
PC5	0.120	0.004	-0.378	0.205	-0.578	0.659
PC6	-0.486	0.828	-0.271	-0.052	-0.019	-0.007

در تصاویر آستر برای بارزسازی کانی‌های رسی از نسبت چهار به شش استفاده شد. بیشترین اختلاف بین دو باند چهار و شش در PC7 مشاهده شد. همچنین از نسبت سه به یک برای نمایش کانی‌های اکسید آهن استفاده شد. PC3 بیشترین میزان اختلاف بین دو باند سه و یک را نمایش می‌دهد. برای آشکارسازی دگرسانی پروپلیتیک نیز از نسبت پنج به هشت بهره برده شد، که PC8 بیشترین اختلاف میان این دو باند را نشان می‌دهد (جدول ۳-۴). سپس از این PCها یک تصویر با ترکیب رنگی PC7، PC8، PC3 در محیط RGB ساخته شد (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۰ تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده‌ی ETM⁺ RGB: -PC5, PC4 + (-PC5), PC4 از منطقه‌ی هشترود. محدوده‌ی دگرسانی در تصویر مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۴ تحلیل مولفه اصلی روی ۹ باند سنجنده‌ی آستر منطقه‌ی هشت‌رود

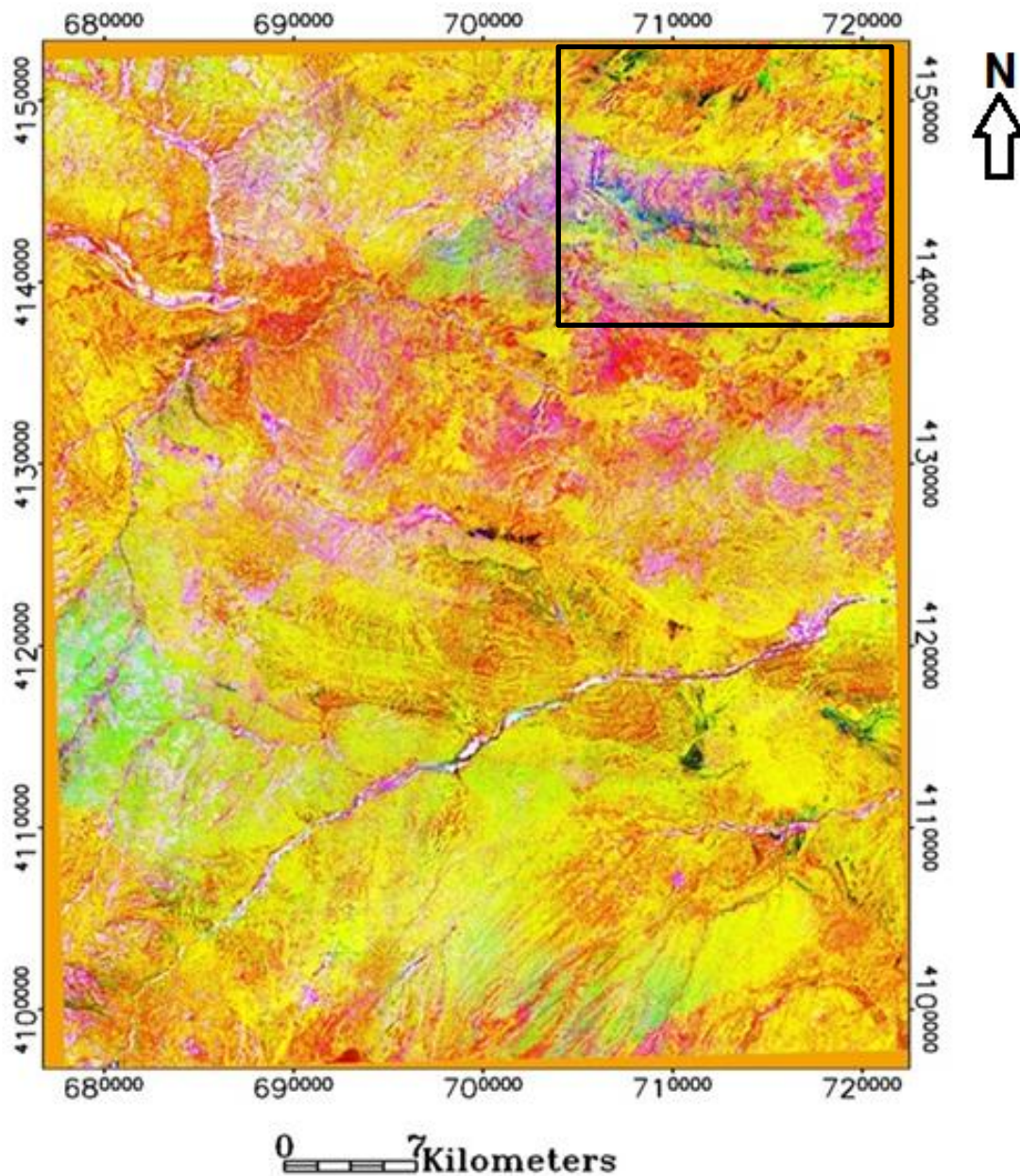
Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	Band9
PC1	0.380	0.355	0.312	0.347	0.32371	0.337	0.324	0.331	0.277
PC2	0.554	0.497	0.284	-0.196	-0.2575	-0.259	-0.249	-0.262	-0.248
PC3	-0.291	-0.289	0.856	0.233	-0.0540	-0.057	-0.078	-0.158	-0.072
PC4	-0.650	0.663	0.117	-0.274	-0.0480	-0.016	0.034	0.200	0.049
PC5	-0.192	0.298	-0.253	0.714	0.11779	0.013	-0.053	-0.348	-0.401
PC6	-0.030	0.096	-0.087	0.304	-0.2724	-0.182	-0.355	-0.167	0.792
PC7	0.0317	-0.043	-0.030	0.277	-0.2547	-0.704	0.3090	0.500	-0.108
PC8	-0.019	0.032	0.025	-0.170	0.67170	-0.516	0.240	-0.390	0.200
PC9	0.0167	-0.026	0.011	0.044	0.4684	-0.135	-0.736	0.450	-0.116

۳-۴-۲- تحلیل مولفه‌ی انتخابی یا روش کروستا

تبدیل مولفه‌های اصلی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی باندهای یک، سه، چهار و پنج سنجنده‌ی ETM⁺ انجام شده است. حذف باند هفت به منظور جلوگیری از به نقشه درآوردن کانی‌های هیدروکسیل صورت گرفته است. با توجه به نسبت سه به یک، که برای آشکارسازی اکسید آهن به کار می‌رود، بیشترین اختلاف بین باندهای سه و یک در PC4 (جدول ۳-۵) مشاهده می‌شود. اما با توجه به علامت منفی باند سه باید این PC را معکوس کرد تا پیکسل‌های روشن نمایان‌گر اکسید آهن باشند. تصویر حاصل را می‌توان تصویر اکسید آهن یا تصویر F نامید.

تبدیل مولفه‌های اصلی برای نقشه‌برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند یک، چهار، پنج و هفت سنجنده‌ی ETM⁺ انجام شده است. حذف باند سه به منظور جلوگیری از نقشه‌برداری اکسید آهن صورت گرفته است. با توجه به نسبت پنج به هفت که برای آشکارسازی کانی‌های رسی به کار می‌رود، بیشترین اختلاف بین باندهای پنج و هفت در PC4 (جدول ۳-۶) مشاهده می‌شود. با توجه به علامت

منفی باند پنج، باید این PC را نیز منفی کرد تا پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده‌ی کانی‌های رسی باشند. این تصویر را می‌توان تصویر هیدروکسیل یا H نامید.



شکل ۳-۱۱ تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی روی ۹ باند آستر در فیلترهای قرمز، سبز و آبی PC7, PC8, PC3 از منطقه‌ی هشترود (مناطق دگرسانی به رنگ آبی دیده می‌شوند).

جدول ۳-۵ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی ETM⁺ منطقه‌ی هشترود.

Eigenvector	Band1	Band3	Band4	Band5
PC1	0.312	0.473	0.404	0.717
PC2	0.362	0.370	-0.851	0.774
PC3	-0.582	-0.333	-0.333	0.662
PC4	0.656	-0.726	-0.017	0.202

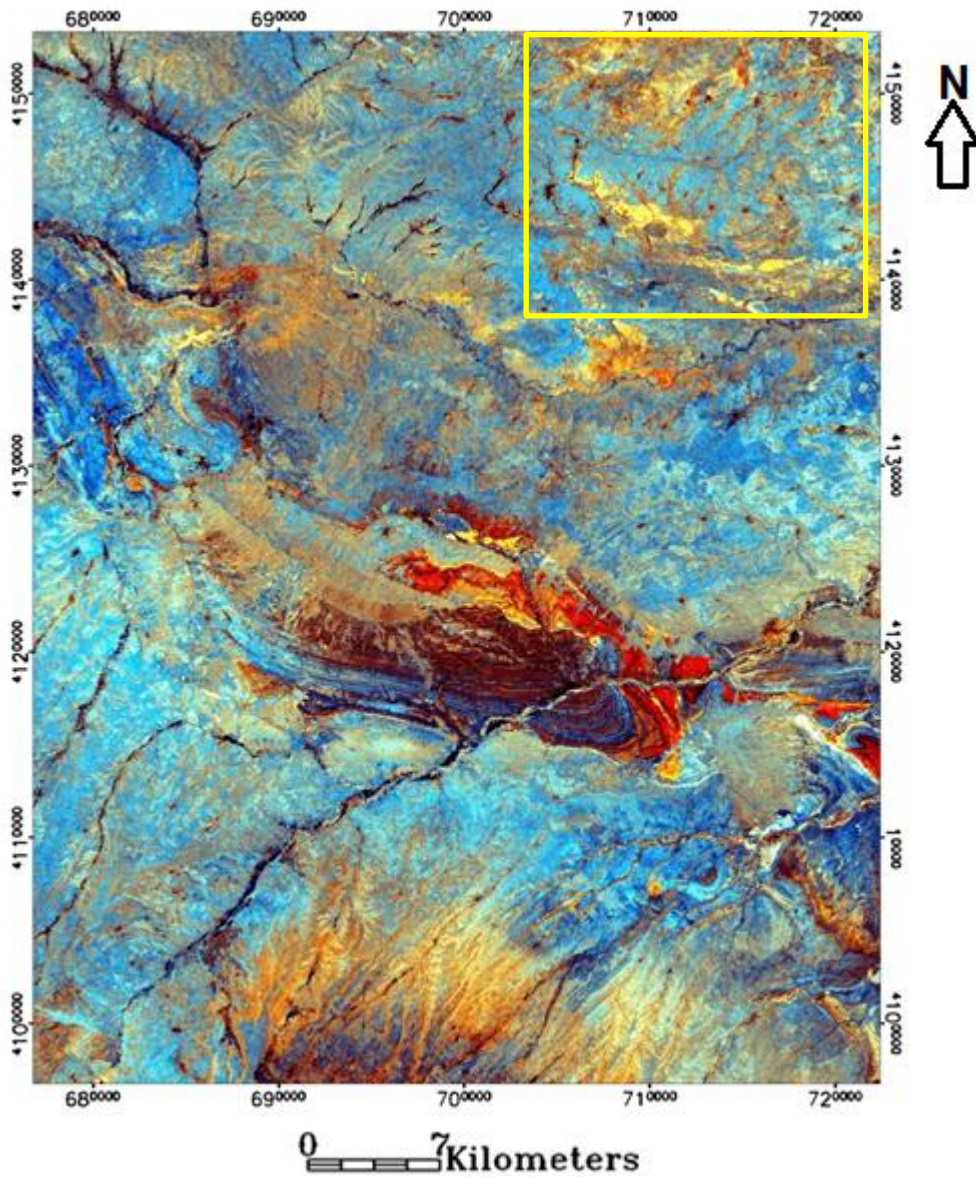
جدول ۳-۶ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی ETM⁺ منطقه‌ی هشترود.

Eigenvector	Band1	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.268	-0.338	-0.654	-0.620
PC2	-0.178	0.908	-0.041	-0.374
PC3	0.941	0.098	-0.268	-0.178
PC4	-0.098	0.222	-0.705	0.665

برای ایجاد یک ترکیب رنگی مناسب در محیط RGB ، PC4- (H) حاصل از روش کروستا روی باندهای یک، چهار، پنج و هفت را در فیلتر قرمز، حاصل جمع دو (PC4- + PC4-) یعنی تصویر حاصل جمع (H+F) را در فیلتر سبز و PC4- (F) روی باندهای یک، سه، چهار و پنج را در فیلتر آبی قرار داده شد. به این ترتیب، در این تصویر رنگ زرد نشان دهنده‌ی نقاط دگرسانی است (شکل ۳-۱۲). تحلیل مولفه‌ی اصلی برای نقشه‌برداری اکسید آهن بر روی باندهای یک، سه، چهار و هفت آستر انجام شد. بیشترین اختلاف بین دو باند سه و یک در PC3 مشاهده شد. به علت منفی بودن عدد باند سه، پیکسل‌های تیره نشان دهنده‌ی کانی‌های اکسید آهن می‌باشند (جدول ۳-۷).

جدول ۳-۷ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه‌برداری کانی‌های اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی آستر هشترود.

Eigenvector	Band 1	Band 3	Band 4	Band 7
PC1	0.558	0.467	0.503	0.465
PC2	0.811	-0.134	-0.448	-0.351
PC3	0.160	-0.850	0.180	0.466
PC4	0.0749	-0.198	0.715	-0.665



شکل ۳-۱۲ تصویر رنگی مجازی روش کروستای چهار باندهی سنجندهی ETM^+ حاصل از ترکیب H, H+F, F در محیط RGB از منطقه‌ی هشترود.

تحلیل مولفه‌ی اصلی برای نقشه‌برداری کانی‌های رسی بر روی باندهای شش، چهار، یک و هفت آستر انجام شد. با توجه به نسبت باندهی چهار به شش برای آشکارسازی کانی‌های رسی، بیشترین اختلاف بین دو باند مذکور در PC3 مشاهده می‌شود (جدول ۳-۸).

جدول ۳-۸ تحلیل مولفه‌ی اصلی برای نقشه‌برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی آستر هشت‌رود.

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	-0.546	-0.498	-0.484	-0.466
PC2	-0.837	0.321	0.321	0.303
PC3	0.003	-0.802	0.382	0.457
PC4	-0.004	0.053	-0.718	0.693

تحلیل مولفه‌ی اصلی برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپلیتیک بر روی باندهای یک، چهار، پنج و هشت

آستر انجام شد. بیشترین اختلاف بین دو باند پنج و هشت در PC4 مشاهده می‌شود (جدول ۳-۹).

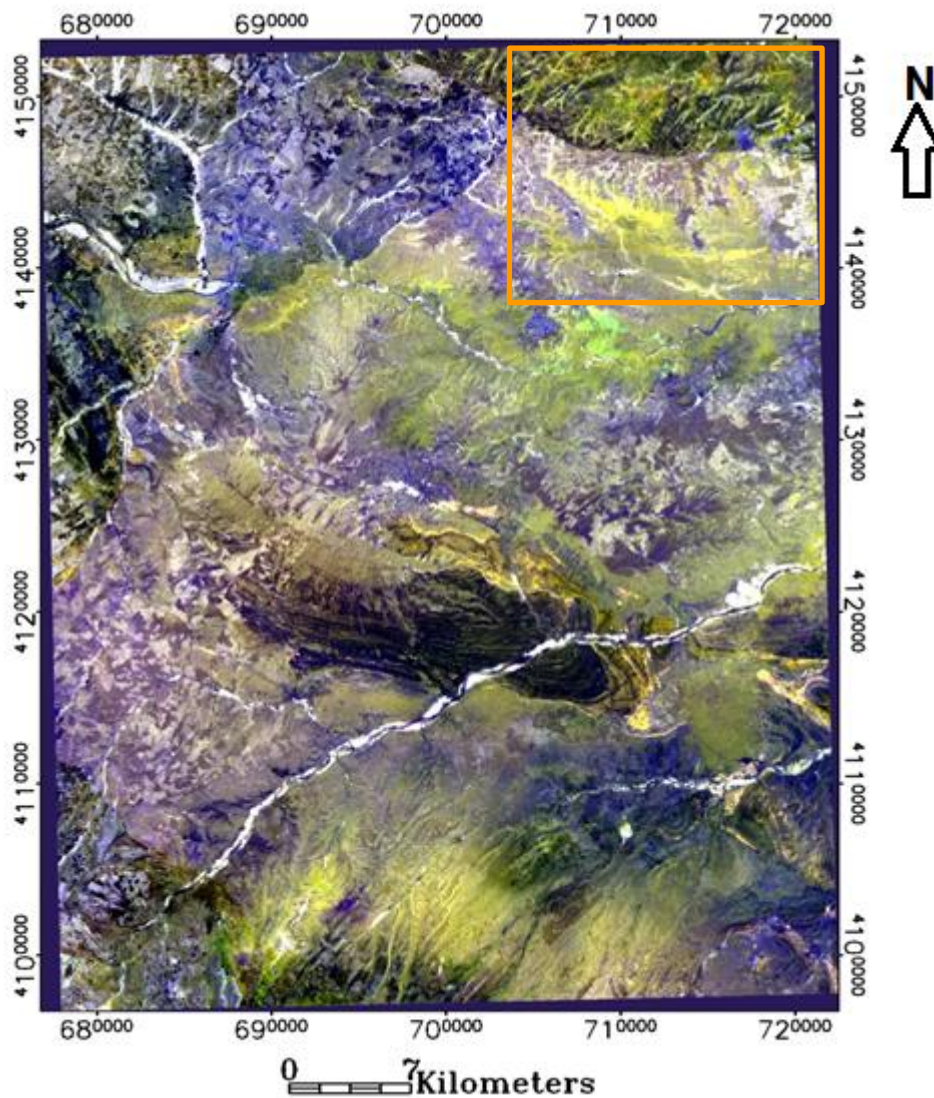
جدول ۳-۹ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپلیتیک بر روی چهار باند انتخابی آستر هشت‌رود.

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 8
PC1	-0.549	-0.500	-0.467	-0.478
PC2	-0.835	0.313	0.323	0.314
PC3	0.011	-0.762	0.159	0.627
PC4	-0.014	0.264	-0.806	0.527

با قراردادن PC3- حاصل از نقشه‌برداری کانی‌های رسی، PC4- حاصل از نقشه‌برداری دگرسانی

پروپلیتیک و PC3- حاصل از نقشه‌برداری کانی‌های اکسید آهن در کانال‌های RGB شکل (۳-۱۳)

حاصل شد که دگرسانی در داخل کادر مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۱۳ تصویر رنگی مجازی روش کروسا چهار باندهی آستر
 RGB: -PC3(1467), -PC4(1458), -PC3(1347) از منطقه‌ی هشتگرد.

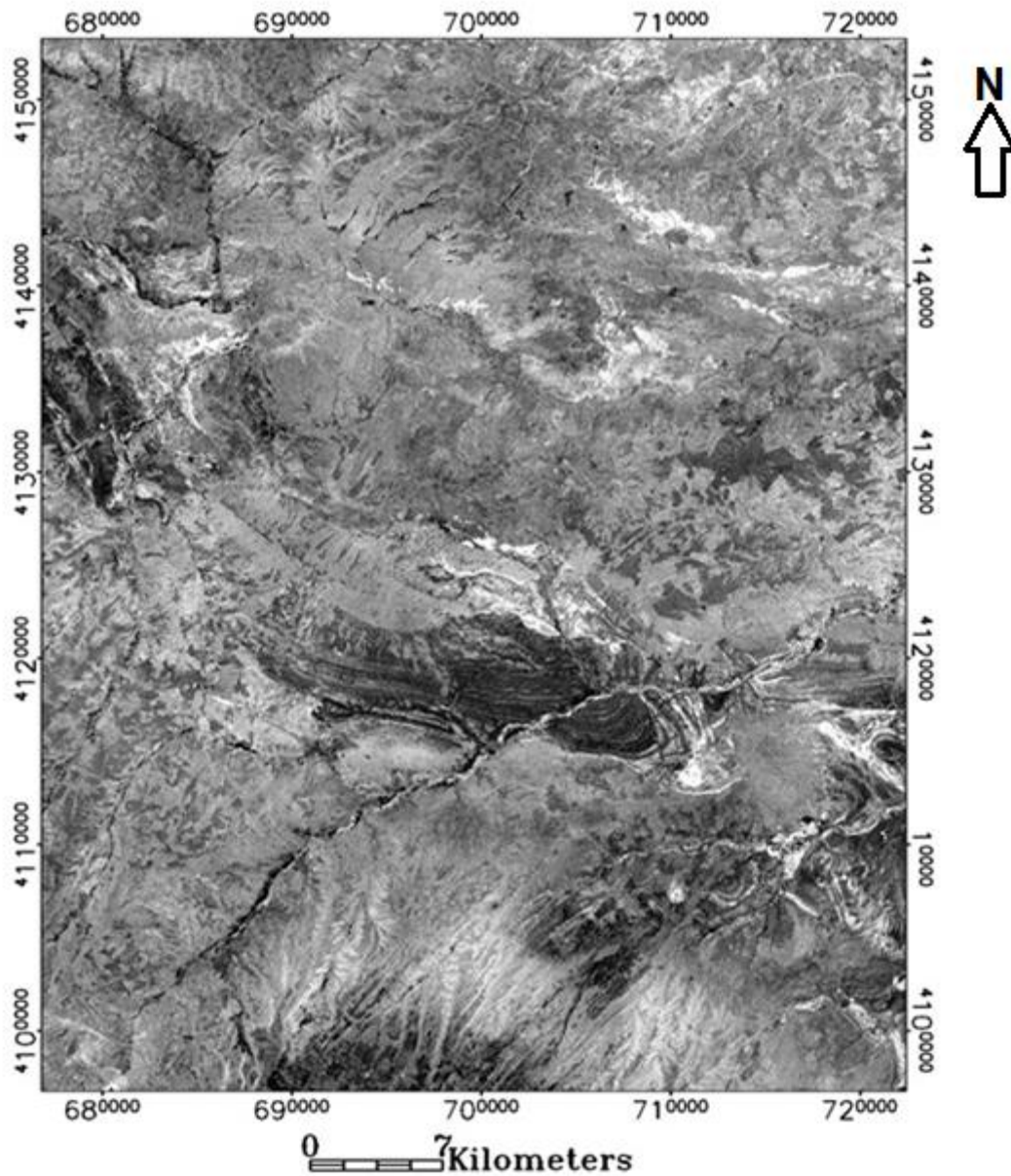
۳-۴-۴- روش کمترین مربعات برازش شده (LS-Fit)

کانی‌هایی که نسبت به یک باندهی خاص حساس هستند و اختلاف جذب و تشعشع خوبی در یک باندهی خاص نشان می‌دهند، با اختلاف مشاهده‌ای بین باندهی تخمین زده شده و باندهی اصلی، قابل تفکیک هستند (تفاوت میان باندهی تخمینی و باندهی واقعی، باندهی باقی‌مانده را تشکیل می‌دهد). این روش، بر اساس تخمین خط، که با به کار بردن روش کمترین مربعات به دست آمده، پایه‌گذاری شده است. اختلاف بین باندهی واقعی و باندهی مدل شده به عنوان یک تصویر خروجی محاسبه می‌شود. در واقع الگوریتم

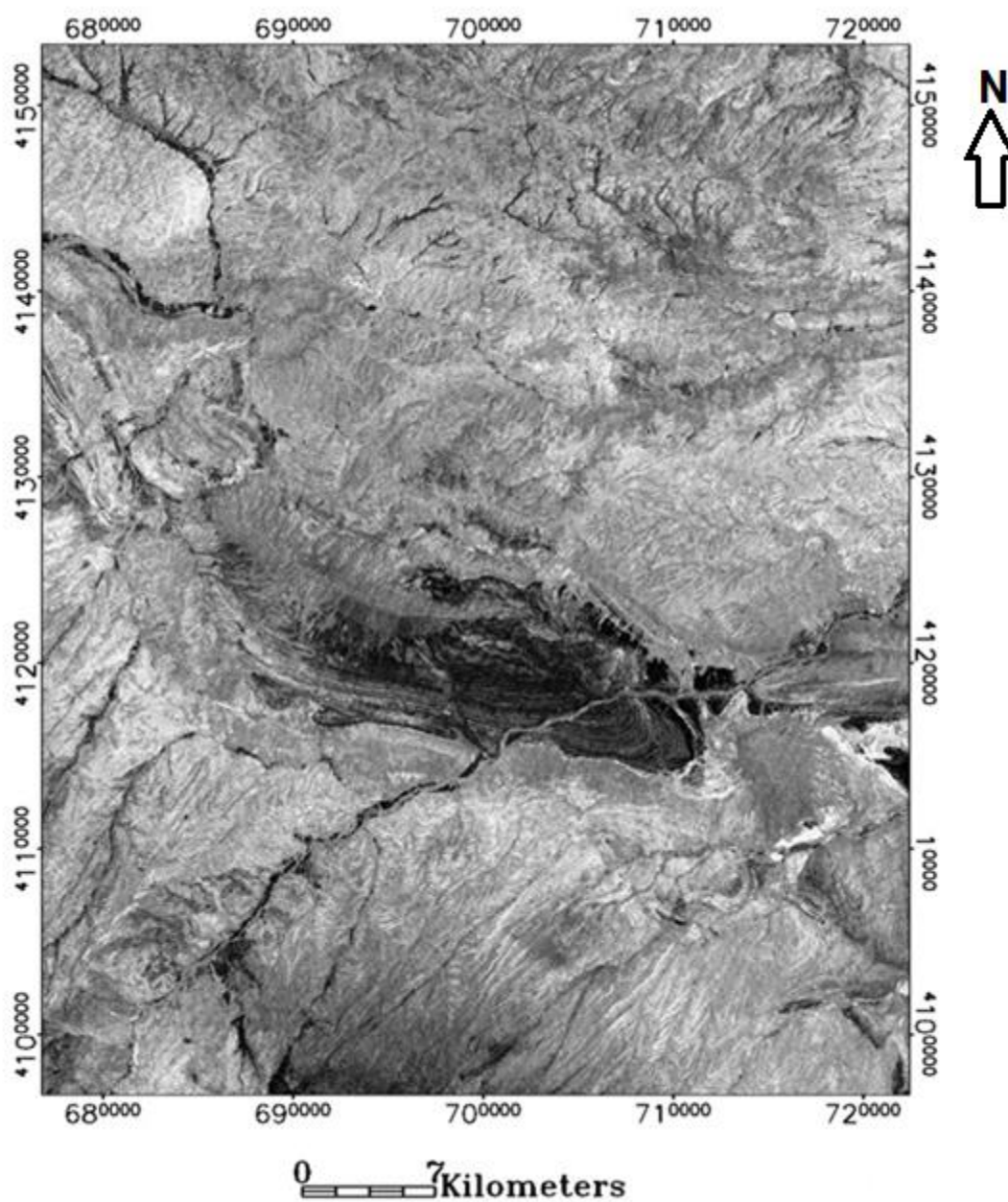
LS-Fit روش پیش‌بینی خطی باند با استفاده از روش آماری حداقل مربعات است که به پیش‌بینی یک باند بر اساس سایر باندها می‌پردازد. در این روش اگر در یک برازش خطی فرکانس بالا (جذب)، فرکانس‌های پایین باندها وجود داشته باشد؛ اگر یک چندجمله‌ای به روی آن برازش شده و نتیجه‌ی حاصل از مقدار کل کم شود، در این صورت فقط، فرکانس‌های بالا می‌مانند و تصویری تولید می‌شود که فقط جذب دارد. در این روش، باید محدوده‌ی جذب و دو شاخه‌ی اطراف آن برای پیش‌بینی باند، جذب داشته باشد. خروجی این الگوریتم دو تصویر سیاه و سفید، باقی‌مانده و پیش‌بینی شده می‌باشد. تصویر پیش‌بینی شده چون بر اساس پیش‌بینی سایر باندها بوده، بنابراین بیشترین شباهت را با سایر باندها دارد، اما در مقابل، تصویر باقی‌مانده چون خطای پیش‌بینی می‌باشد، نشان دهنده‌ی اختلاف باند مذکور با سایر باندها است. از این تصویر می‌توان جهت بارزسازی و استخراج عوارض مشخص استفاده کرد. در این تصویر مناطق دارای خطای کمتر (پیکسل‌های تیره)، مناطق هدف هستند. امتیاز این روش نسبت به سایر روش‌های رقومی مانند نسبت باندی و تحلیل مولفه‌ی اصلی کاهش نویزها در تصویر است.

با استفاده از روش LS-Fit، باند هفت که دارای شاخص جذب بالایی در کانی‌های دارای بنیان هیدروکسیل است، به عنوان باند مدل و بقیه باندها به عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شدند. تصویر مورد استفاده حاصل از این پردازش تصویر پیکسل‌های باقی‌مانده (Residual) تیره، بیانگر وجود کانی‌های رسی است که با معکوس کردن آن، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده‌ی وجود کانی‌های رسی هستند (شکل ۳-۱۴). باند سه نیز که میزان انعکاس بالایی در کانی‌های دارای اکسید آهن دارد، به عنوان باند مدل و بقیه به عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شدند. در تصویر حاصل، پیکسل‌های روشن نشان‌دهنده‌ی وجود اکسید آهن هستند (شکل ۳-۱۵). به همین ترتیب برای بارزسازی پوشش گیاهی نیز باند چهار را که میزان انعکاس بالایی در پوشش گیاهی دارد به عنوان باند مدل و بقیه‌ی باندها به عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شده و روش برازش کمترین مربعات

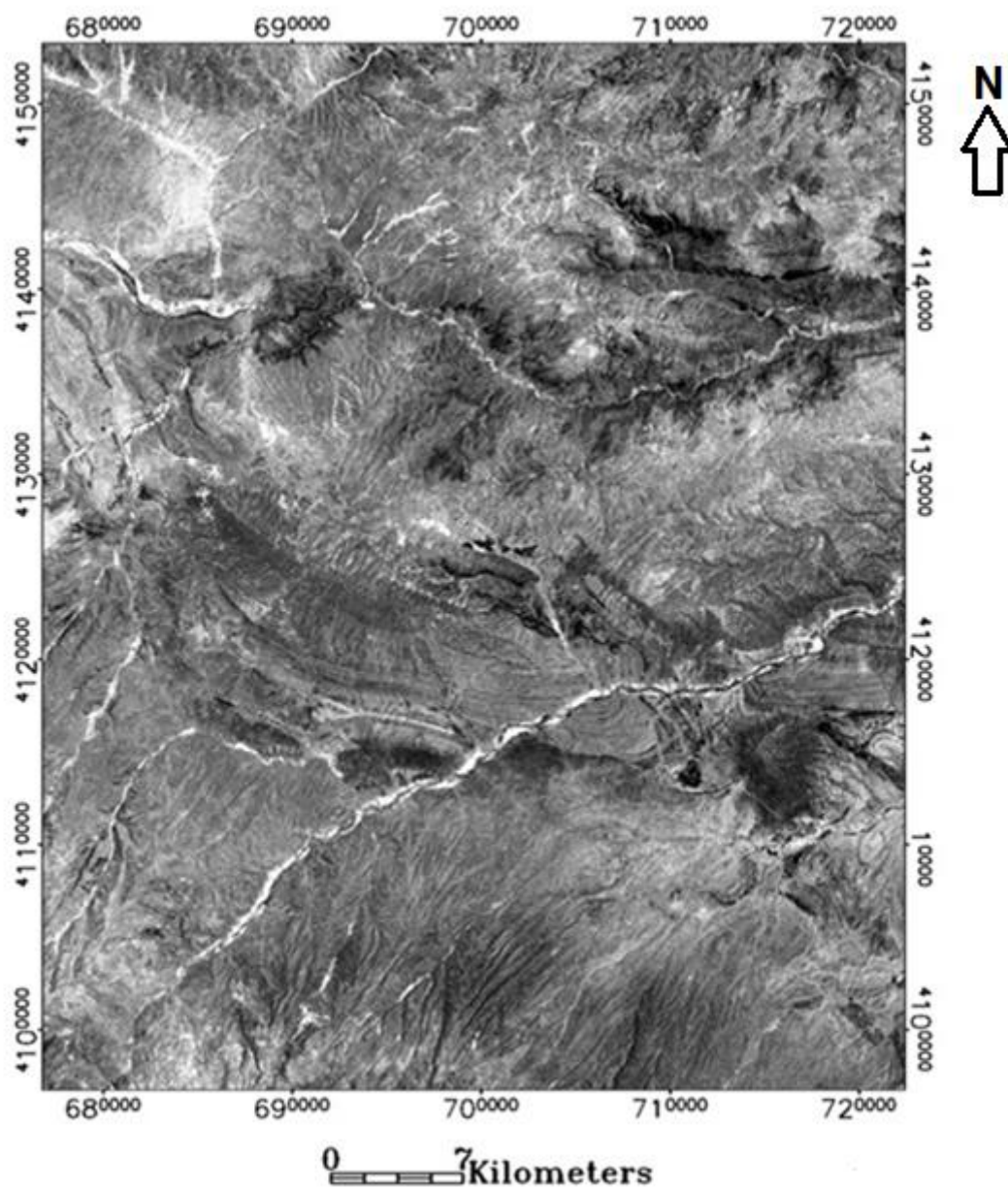
روی آن اعمال شد. نتیجه‌ی آن، تصویری است که پیکسل‌های روشن در آن پوشش گیاهی را نمایش می‌دهند (شکل ۳-۱۶). در شکل (۳-۱۷) نیز سه تصویر حاصل از برازش کمترین مربعات باندهای هفت، سه و چهار در محیط RGB قرار گرفتند، که در آن رنگ‌های زرد و نارنجی در گوشه‌ی شمال شرقی عکس محدوده‌های دگرسانی را نشان می‌دهد.



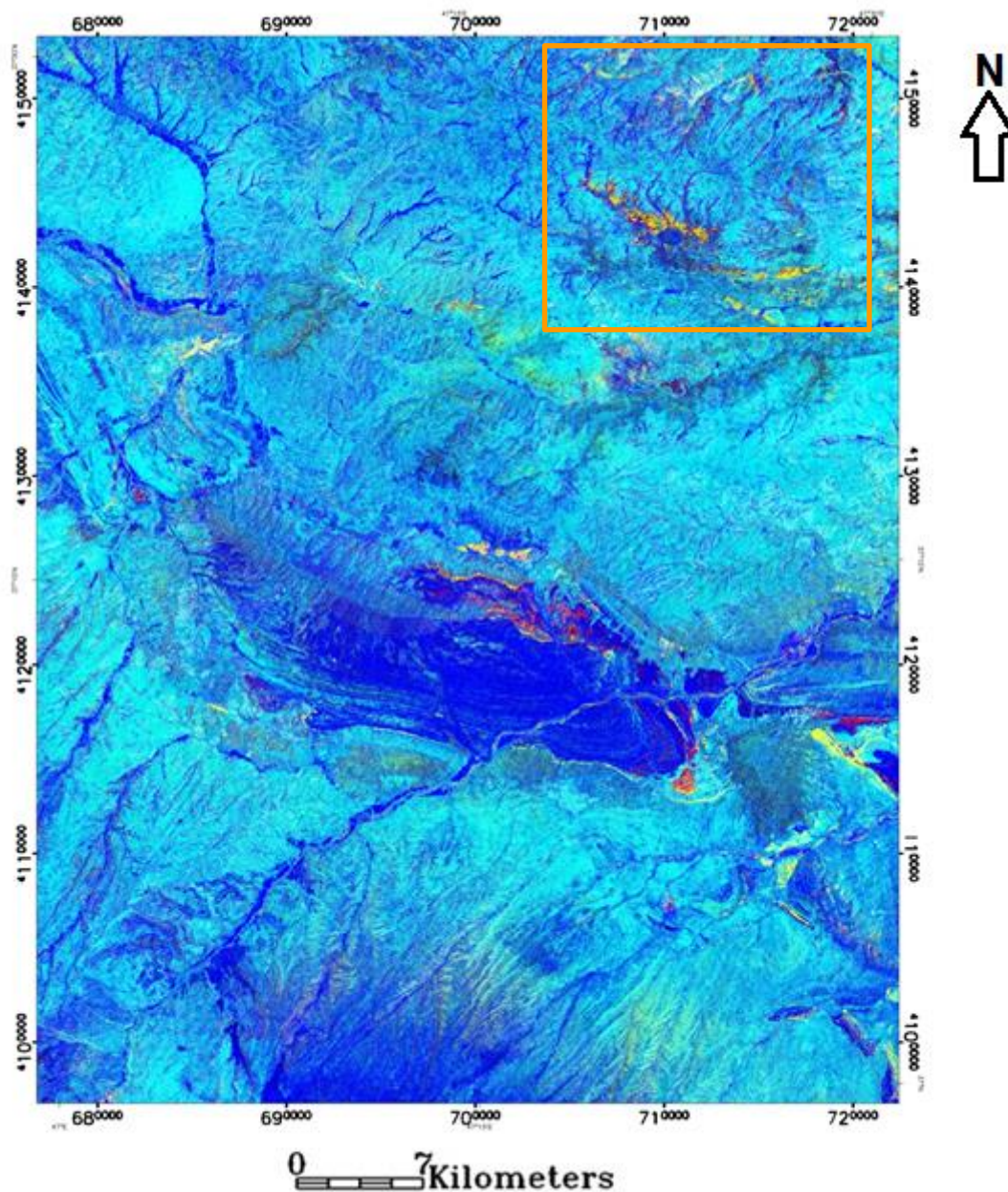
شکل ۳-۱۴ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند هفت از سنجنده‌ی ETM⁺ از منطقه‌ی هشترود (جزء تصویرهای روشن کانی‌های رسی هستند).



شکل ۳-۱۵ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند سه از سنجنده‌ی ETM^+ از منطقه‌ی هشترود (جزء تصویرهای روشن کانی‌های اکسید آهن هستند).



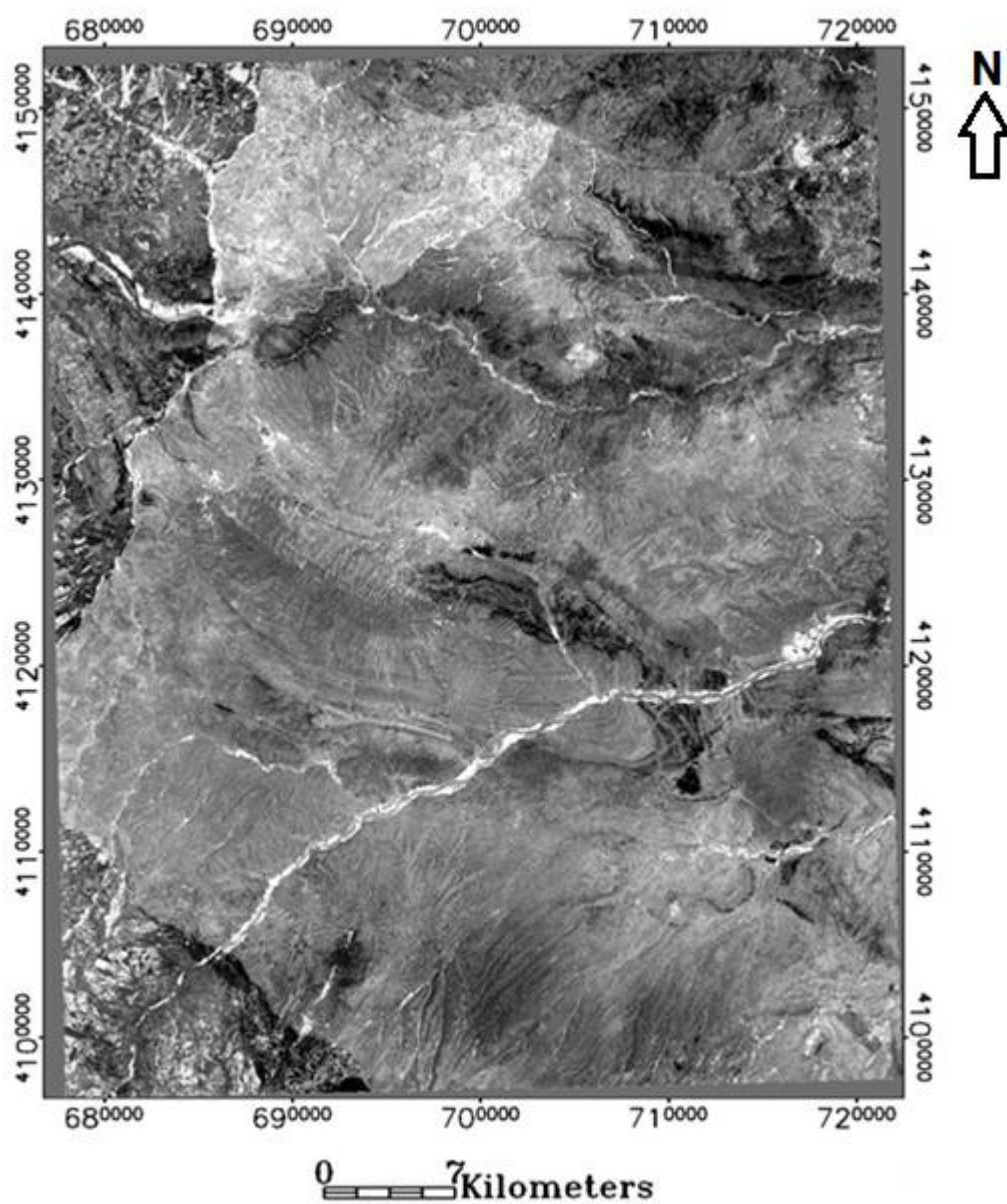
شکل ۳-۱۶ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند چهار از سنجنده‌ی ETM⁺ از منطقه‌ی هشتروود (جزء تصویرهای روشن پوشش گیاهی می‌باشند).



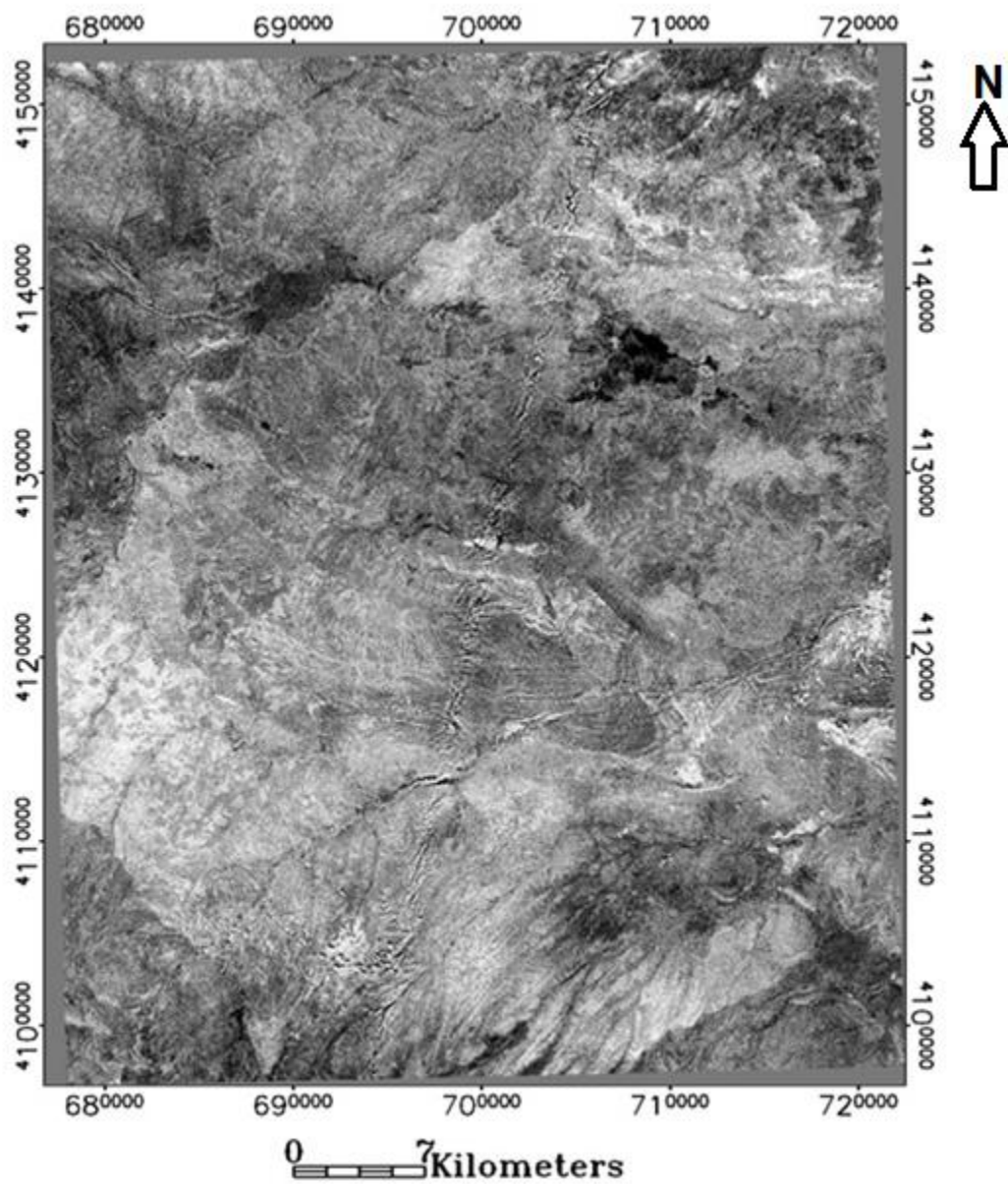
شکل ۳-۱۷ تصویر رنگی مجازی باقی مانده‌ی باندهای ۷، ۳ و ۴⁺ ETM⁺ به ترتیب در محیط قرمز، سبز و آبی از منطقه‌ی هشتگرد (رنگ زرد نارنجی دگرسانی را نمایش می‌دهد).

از روش کم‌ترین مربعات برازش شده در تصاویر حاصل از سنجنده‌ی آستر نیز استفاده شد. در تصاویر آستر نیز باند شش را که دارای شاخص جذب بالایی در کانی‌های دارای بنیان هیدروکسیل است، به

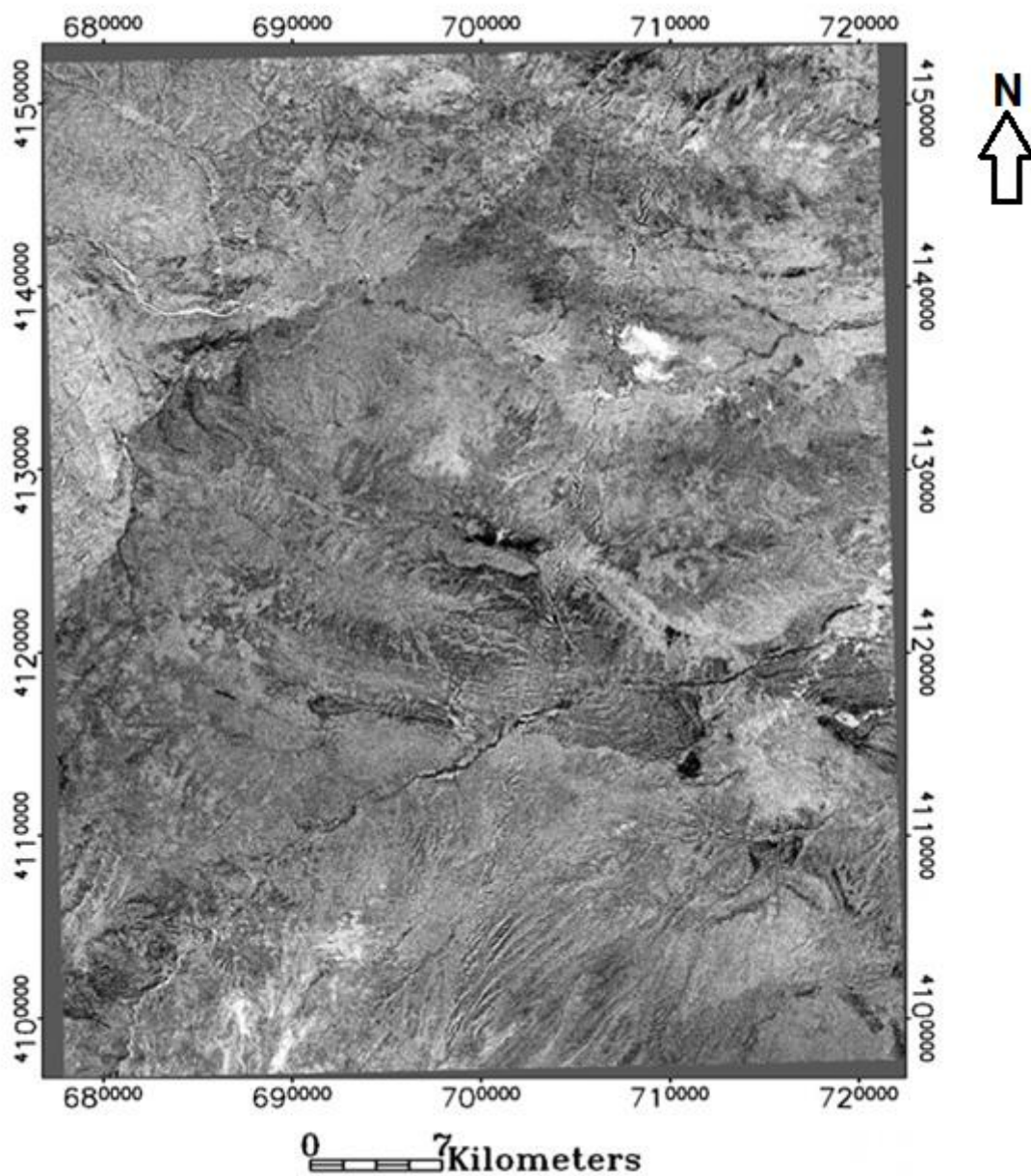
عنوان باند مدل و بقیه باندها به عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شدند. در تصویر مورد استفاده حاصل از این پردازش تصویر پیکسل‌های باقی‌مانده تیره، نشانگر وجود کانی‌های رسی است که با معکوس کردن آن، پیکسل‌های روشن نشان دهنده وجود کانی‌های رسی هستند (شکل ۳-۱۹). همچنین باند سه به عنوان باندی که شاخص انعکاس بالایی در کانی‌های اکسید آهن دارد، باند مدل و سایر باندها به عنوان باندهای پیش‌بینی کننده انتخاب شدند (شکل ۳-۱۸). باند هشت که با شاخص جذب بالا، در کانی‌های دگرسانی پروپلیتیک بوده، به عنوان باند مدل و بقیه باندها پیش‌بینی کننده تعریف شدند. در تصویر باقی‌مانده، پیکسل تیره نمایانگر دگرسانی پروپلیتیک است که برای روشن نمودن جزء تصویرهای تیره‌ی مرتبط به این کار از روش وارون سازی (معکوس) استفاده شد (شکل ۳-۲۰). در شکل (۳-۲۱) نیز سه تصویر حاصل از برازش کمترین مربعات باندهای شش، سه و هشت حاصل از تصاویر آستر در محیط RGB قرار گرفتند، که در آن قسمتی که با رنگ نارنجی مشخص شده است منطقه‌ی دگرسانی را نمایش می‌دهد.



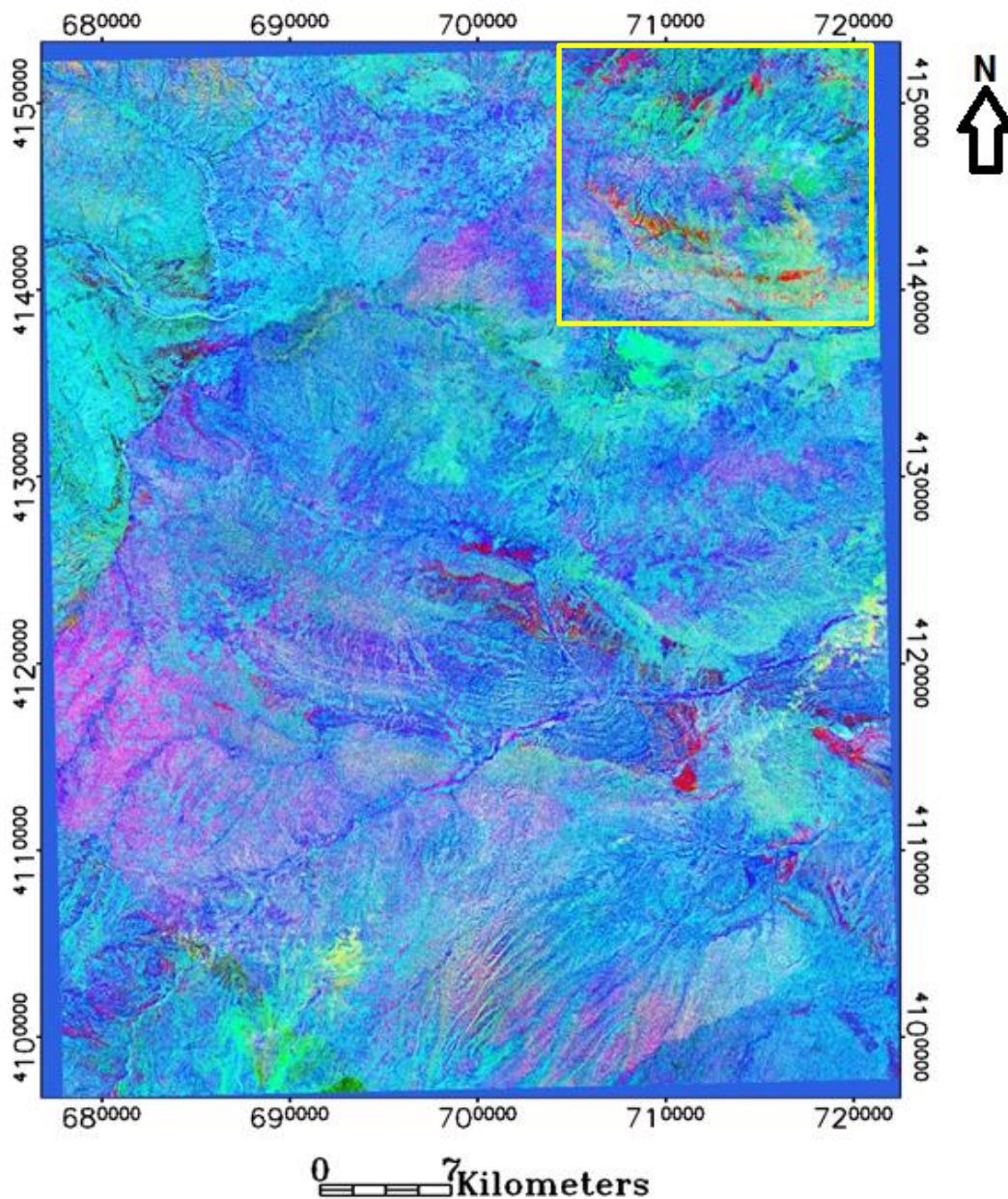
شکل ۳-۱۸ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند سه از سنجنده‌ی آستر منطقه‌ی هشترود (جزء تصویرهای روشن اکسید آهن هستند).



شکل ۱۳-۱۹ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند شش از سنجنده‌ی آستر منطقه‌ی هشرود (جزء تصویرهای روشن کانی‌های رسی را نمایش می‌دهند).



شکل ۳-۲۰ تصویر رنگی مجازی حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند هشت از سنجنده‌ی آستر منطقه‌ی هشترود (جزء تصویرهای روشن دگرسانی پروپلیتیک را نمایش می‌دهند).

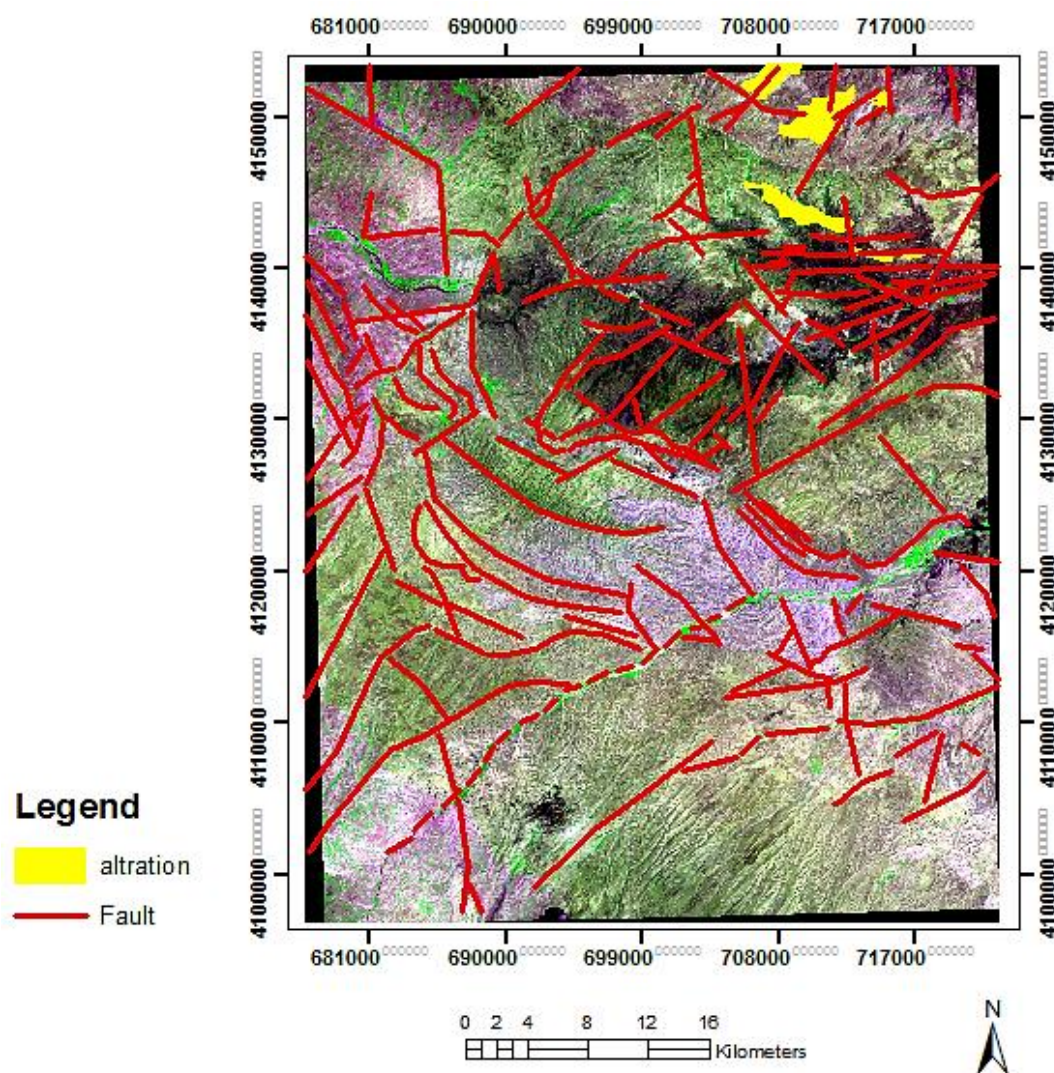


شکل ۳-۲۱ تصویر رنگی مجازی حاصل از ترکیب رنگی باقی مانده به روش کمترین مربعات باندهای ۶، ۸ و ۳ از سنجنده‌ی آستر منطقه‌ی هشترود، به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی. (مناطق دگرسانی به رنگ نارنجی دیده می‌شود).

۳-۵- رسم خطواره‌ها

خطواره‌ها به ویژه گسل‌ها در تشکیل کنسارها، به خصوص کنسارهای مرتبط با سیال‌های گرمایی، بسیار حائز اهمیت هستند. با شناسایی این خطواره‌ها می‌توان به ارتباط میان گسل و کانی‌زایی پی برد. در اغلب مواقع این گسل‌ها هستند که به عنوان معبر اصلی ورود و خروج سیالات موثر در تشکیل

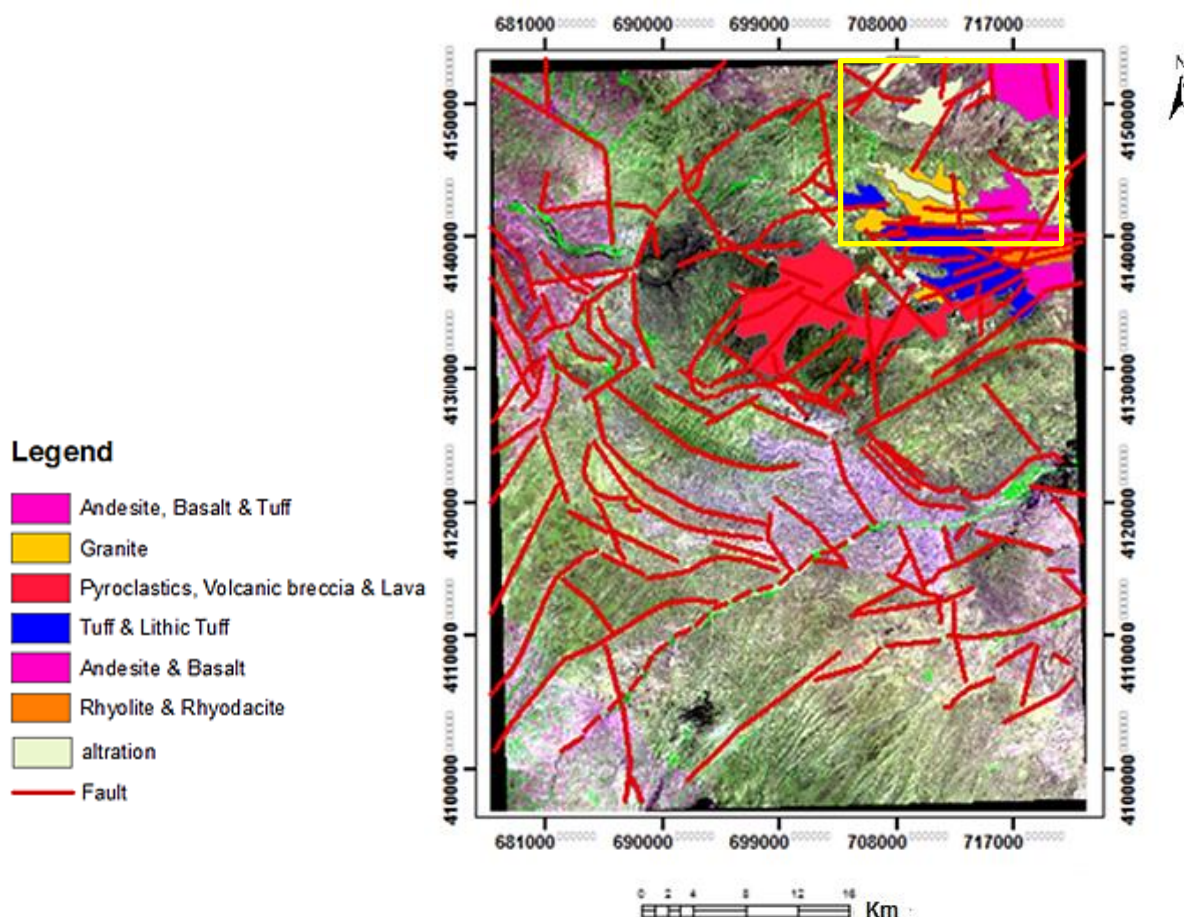
کانسار عمل می‌کنند، بنابراین شناسایی آن‌ها به عنوان خطواره‌های موجود در منطقه گامی موثر در جهت پی‌جویی کانسار می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از فیلتر sharpen و واضح کردن تصویر سنجنده‌ی ETM⁺ منطقه هشت‌رود و همین‌طور با مطابقت آن با نقشه زمین‌شناسی منطقه تعدادی از خطواره و گسل‌های موجود در منطقه بر روی تصویر شناسایی شدند (شکل ۳-۲۲). تمرکز گسل‌ها در منطقه‌ای که توده‌های نفوذی، آتشفشانی و دگرسانی وجود دارد بیشتر بوده و گسل‌ها در این منطقه بیشتر روند شرقی- غربی دارند.



شکل ۳-۲۲ تصویر رنگی حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۳ و ۵ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، برای نمایش خطواره‌ها و گسل‌ها در ورقه‌ی هشت‌رود.

۳-۶- تهیه نقشه‌ی واحدهای سنگی موثر در کانی‌زایی موجود در منطقه

تهیه‌ی نقشه‌ی واحدهای سنگی تا حدودی در مشخص کردن جنس سنگ‌ها و لایه‌ها و تطبیق آن با نقشه‌ی زمین‌شناسی موثر است. این مطلب در دقت هرچه بیشتر برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی مفید است. بر اساس تصاویر رنگی مختلف، سعی در بارز نمودن این واحدهای سنگی شد که نتیجه‌ی آن در شکل (۳-۲۳) ارائه شده است. در این راستا در شکل مذکور، محل، نوع و موقعیت سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی موجود در منطقه تا حدودی مشخص شد. منطقه‌ی دگرسانی نیز در همین موقعیت قرار دارد.



شکل ۳-۲۳ تصویر نهایی از منطقه‌ی هشترود که در آن، دگرسانی، واحدهای سنگی و توده‌های نفوذی منطقه مشخص شده‌اند.

۳-۷- تفسیر داده‌ها و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای دو سنجنده‌ی ETM^+ و آستر استفاده شد. روش‌های به کار رفته برای بارزسازی کانی‌ها و دگرسانی‌ها شامل روش ترکیب رنگی، نسبت‌گیری بانندی، آنالیز مولفه‌ی اصلی استاندارد و انتخابی، روش کمترین مربعات برازش شده و بارزسازی خطواره‌ها بود. در هر یک از روش‌های ذکر شده، تصویری به دست آمده که اطلاعاتی از منطقه، کانی‌ها و دگرسانی‌های موجود در آن را در دسترس قرار می‌دهد. بر اساس کلیه‌ی مطالعات دورسنجی انجام شده در منطقه و تصاویر به دست آمده با روش‌های مختلفی که در این فصل ذکر شد، و با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی هشترود و انطباق این دو (تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ی زمین‌شناسی) با یک‌دیگر، به محل دگرسانی و توده‌های نفوذی پی برده شد. در منطقه‌ای که توده‌های آذرین و نیز دگرسانی وجود دارد، گسل‌خوردگی‌های فراوانی وجود دارد که به نقش حائز اهمیت آن در ایجاد دگرسانی و آنومالی مس در منطقه اشاره دارد (شکل ۳-۲۳).

به این ترتیب، بر اساس شواهد چندگانه‌ی دورسنجی، بهترین نقاط برای ادامه‌ی فعالیت‌های اکتشافی، محدوده‌ی شمال شرقی ورقه‌ی هشترود، حوالی روستاهای گلوجه غمی و خاتون آباد و در محدوده‌ی عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 30' - 37^{\circ} 21'$ و طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 30' - 47^{\circ} 19'$ است که در شکل ۳-۲۳ داخل کادر نشان داده شده است.

فصل چهارم

بررسی داده‌های ژئوشیمیایی ورقه‌ی مشرود

۴-۱- مقدمه

ژئوشیمی به معنای وسیع آن، علم شیمی کره‌ی زمین است و مانند سایر علوم گرایش‌های زیادی دارد. از جمله، ژئوشیمی نظری، ژئوشیمی کاربردی، ژئوشیمی اکتشافی، ژئوشیمی حالت جامد، ژئوشیمی رسوبی، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار، ژئوشیمی هسته‌ای، ژئوشیمی آلی، ژئوشیمی عناصر کمیاب، ژئوشیمی زیست محیطی و ... در بررسی‌های ژئوشیمی اکتشافی ناحیه‌ای، روش‌های متفاوتی برای دست‌یابی به ماده‌ی معدنی وجود دارد که شامل روش‌های بررسی روی سنگ، خاک، رسوبات آبراهه‌ای، آب، خاک و گیاهان است، در این پژوهش با توجه به ویژگی منطقه از روش بررسی رسوبات آبراهه‌ای استفاده شده است. این روش بررسی اغلب و یا حتی به طور انحصاری در بررسی‌های مقدماتی اکتشافی در حوضه‌های آبریز تحت شرایط آب و هوایی گوناگون به ویژه با بارندگی متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد. امتیازی که این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد این است که در محیط‌های هوازده بسیاری از کانی‌ها به ویژه انواع سولفوری ناپایدار بوده و در اثر اکسیداسیون و سایر واکنش‌های شیمیایی تجزیه می‌شوند. این امر در پراکندگی هر چه بیشتر کانی‌ها و عناصر معرف آن‌ها در محلول‌ها نقش با اهمیتی ایفا می‌کند، به طوری که گاهی حمل و نقل آن‌ها تا فاصله‌ی نسبتاً دوری در حوضه‌ی آبریز ادامه می‌یابد. روش نمونه‌برداری از رسوبات رودخانه‌ای با توجه به گستردگی شبکه‌ی آبراهه‌ای در منطقه و امتیازات مثبت این روش از قبیل پوشش وسیع یک نمونه، آسانی نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها و وجود هاله‌های پراکندگی وسیع و وجود کانی‌های سولفوری و همین‌طور دسترسی به داده‌های حاصل از نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای، انتخاب شده و با روش‌های آماری مختلف از قبیل آمار تک متغیره، دو متغیره و چند متغیره مورد بررسی تحلیل قرار گرفت.

۴-۱-۱- برداشت و تجزیه‌ی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای

در این مقیاس پی‌جویی (۱/۱۰۰۰۰۰)، فواصل نمونه‌برداری حدود ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و تعداد نمونه‌ها (چگالی نمونه‌برداری) حدود سه نمونه در هر کیلومتر مربع است. برای طراحی نمونه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ استفاده شده و نمونه‌ها بر روی حوضه‌های آبریز طراحی شده‌اند. نمونه‌ها از بخش زیر هشتاد مش (۸۰-) از رسوبات بستر آبراهه‌ها برداشت شده است. وزن نمونه‌ها از حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم الک شده است. تعداد جزء نمونه‌ها در هر ایستگاه نمونه‌برداری حدود ۲۰ تا ۲۵ جزء بوده است. سپس نمونه‌ها در دستگاه آسیاب تا ۲۰۰- مش پودر شده و در آزمایشگاه ICP-OES برای ۴۳ عنصر آنالیز شدند.

۴-۱-۲- روش تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی

به طور کلی علم آمار را می‌توان به مجموعه روش‌های علمی اطلاق کرد که برای جمع‌آوری اطلاعات اولیه، مرتب و خلاصه کردن، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل اطلاعات و تفسیر آن‌ها به کار می‌رود. در عملیات اکتشافی، بسته به نوع عملیات و روش‌ها، از نقاط معدودی از کانسار، اطلاعات محدودی به دست می‌آید، که باید به کمک آن‌ها در مورد کل کانسار قضاوت کرد. بدیهی است چنین قضاوتی با عدم قطعیت همراه است، اما تفسیر و تحلیل داده‌ها باید بر اساس قوانین آماری به گونه‌ای انجام گیرد که تا حد امکان به واقعیت نزدیک‌تر باشد (مدنی، ۱۳۹۰).

۴-۲- آمار تک‌متغیره

در اکتشافات ژئوشیمیایی همیشه با تعداد زیادی از داده‌ها روبه‌رو بوده و بدین سبب به ناچار باید از روش‌های آماری استفاده کرد، لذا برای پی بردن به آنومالی‌های احتمالی موجود در منطقه باید از روش‌های آماری استفاده کرد. در آمار تک‌متغیره به بررسی ویژگی‌هایی از جامعه‌ی آماری همچون: میانگین، میانه، مد، حداقل، حداکثر، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، کشیدگی و چولگی پرداخته می‌شود.

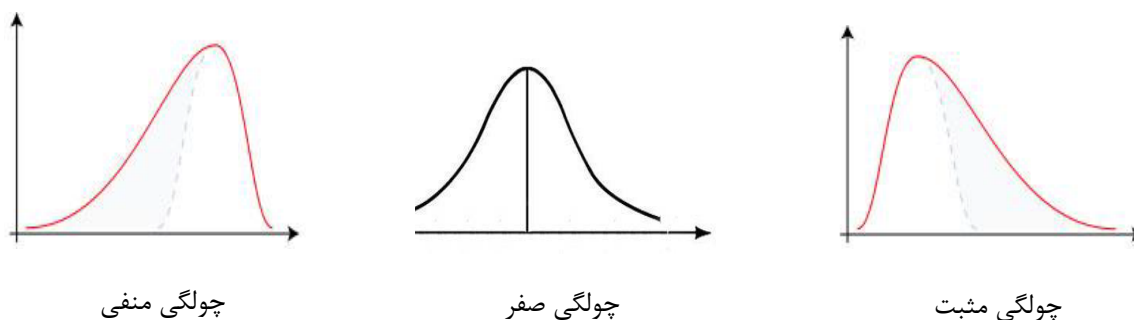
استفاده از آمار برای فنونی که با تعداد زیادی داده درگیر هستند، به صورت حقیقتی اجتناب ناپذیر درآمده و از آن گریزی نیست. اکتشافات ژئوشیمیایی از بدو امر تا کنون همیشه با انبوهی از داده‌ها و در طیف وسیعی از متغیرها سروکار داشته و بدیهی است که تلاش روزافزون متخصصان این علوم در چگونگی ارائه‌ی بهینه و انتقال اطلاعات و نتایج، توقف‌ناپذیر است. اولین گام در این راه، بررسی و نگاهی آماری به متغیرهاست. این نگاه، متغیرها را با این فرض که آن‌ها مستقل عمل کرده و به هم وابستگی ندارند، بررسی کرده و به پردازش آن‌ها اقدام می‌کند. هر عنصر، بر حسب شرایط محیط‌های ژئوشیمیایی عناصر، در محیط‌ها و شرایط مختلف تغییر می‌کند (حسنی پاک، ۱۳۸۹).

میانگین یک جامعه، کمیتی است که داده‌ها حول و حوش آن پراکنده‌اند. میانه، مقداری از یک جامعه است که ۵۰ درصد داده‌ها کمتر از آن هستند. از آن‌جا که میانه، داده‌های موجود را به دو قسمت تقسیم می‌کند، گاه آن را به نام مقدار میانی نیز می‌نامند. برای تعیین میانه، داده‌ها را به صورت صعودی مرتب می‌کنند. اگر تعداد داده‌ها فرد باشد، میانه عدد وسطی است و اگر این تعداد زوج باشد، میانه برابر میانگین دو عدد وسطی خواهد بود. مد یا نما، اگر داده‌ها جدا از هم باشند، اندازه‌ای از یک توزیع که فراوانی آن ماکزیمم باشد، به نام مد نامیده می‌شود. اگر متغیر مورد نظر پیوسته باشد طول نقطه‌ی ماکزیمم آن به این نام خوانده می‌شود. واریانس یا پراش، میانگین مجذور انحراف داده‌ها از میانگین است. انحراف استاندارد یا انحراف معیار، اگرچه واریانس تغییرات داده‌ها حول میانگین را به خوبی و به گونه‌ای اغراق‌آمیز نشان می‌دهد، اما این مشکل را دارد که بعد فیزیکی آن از جنس داده‌های جامعه نیست، به عنوان مثال در مورد یک کانسار، عیار نمونه‌ها معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود، حال آن‌که واریانس از جنس درصد نیست. برای رفع این مشکل، از جذر واریانس که به نام انحراف استاندارد و یا انحراف معیار معروف است، استفاده می‌شود.

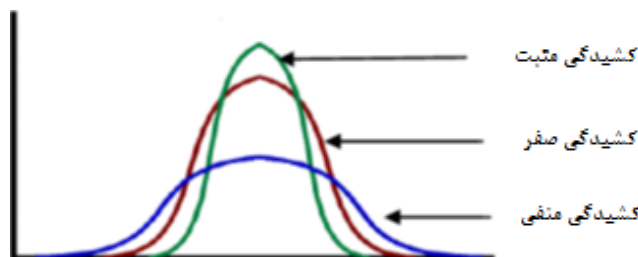
ضریب تغییرات، به عنوان مقیاسی از پراکندگی غلظت‌ها در شرایطی که متغیرهای مورد نظر از واحدهای اندازه‌گیری متفاوت برخوردار باشند، اهمیت دارد. چولگی و کشیدگی نیز پارامترهای آماری هستند که درباره‌ی چگونگی توزیع داده‌ها اطلاعاتی در اختیار مفسر می‌گذارند. میزان عدم تقارن یا چولگی توزیع به معنی آن است که توزیع داده‌ها به چه میزان از حالت نرمال یا متقارن انحراف یافته است. اگر چولگی به سمت صفر و کشیدگی به سمت ۳ میل نماید، این امر مبین توزیع نرمال داده‌ها است. در واقع ضریب چولگی و ضریب کشیدگی، دو شاخص اساسی توزیع داده‌ها هستند که با داشتن این شاخص‌ها تا حدودی می‌توان به نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها پی برد.

برای یک توزیع نامتقارن، ضریب چولگی مثبت یا منفی است (هر چه چولگی از صفر بیشتر فاصله داشته باشد، عدم تقارن بیشتر است) (شکل ۴-۱).

کشیدگی نشان‌دهنده‌ی میزان ارتفاع و بازشدگی منحنی یک توزیع است، به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از بلندی منحنی در نقطه‌ی ماکزیمم است. همیشه کشیدگی را با توزیع نرمال مقایسه می‌کنند. کشیدگی مثبت، یعنی قله‌ی توزیع مورد نظر از توزیع نرمال بالاتر است و کشیدگی منفی، نشانه‌ی پایین‌تر بودن قله‌ی توزیع نسبت به توزیع نرمال است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۱ نمایش توزیع نرمال (وسط) و نامتقارن داده‌ها



شکل ۲-۴ نمایش توزیع نرمال و توزیع‌های دارای کشیدگی

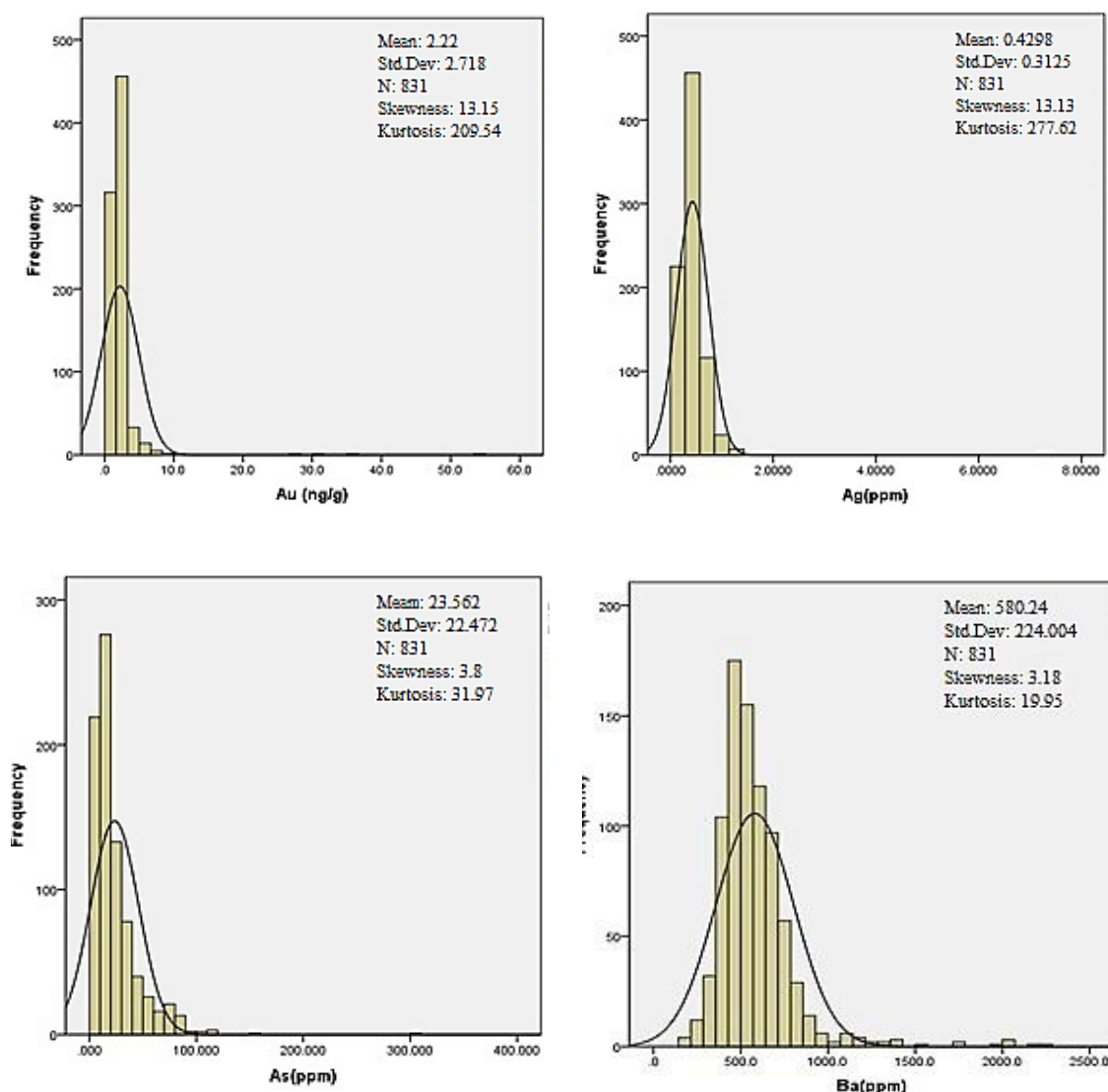
به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و پی بردن به آنومالی‌های احتمالی موجود در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌رود، ۴۳ عنصر به وسیله‌ی پارامترهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق روش‌های آماری تک متغیره، دو متغیره و چند متغیره است، که با استفاده از نسخه‌ی ۱۹ نرم‌افزار SPSS انجام شده‌اند.

ویژگی‌های آماری تک متغیره‌ی این عناصر از قبیل میانگین، واریانس، انحراف معیار، کشیدگی و چولگی در جدول (۱-۴) نشان داده شده‌اند. این جامعه‌ی آماری شامل عناصر طلا، نقره، آلومینیوم، آرسنیک، باریم، برلیوم، بیسموت، کلسیم، کادمیوم، سلنیم، کبالت، کرم، سزیم، مس، آهن، جیوه، پتاسیم، لانتانیم، لیتیم، منیزیم، منگنز، سدیم، نیوبیوم، فسفر، سرب، روبیدیم، گوگرد، آنتیموان، اسکاندیم، استرانسیم، تلوریم، توریم، تیتانیم، اورانیم، وانادیم، تنگستن، ایتریم، روی و زیرکونیم است. با توجه به جدول (۱-۴)، عناصر طلا، نقره، کادمیوم، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان، تنگستن و روی چولگی و کشیدگی مثبت و بالایی نشان می‌دهند.

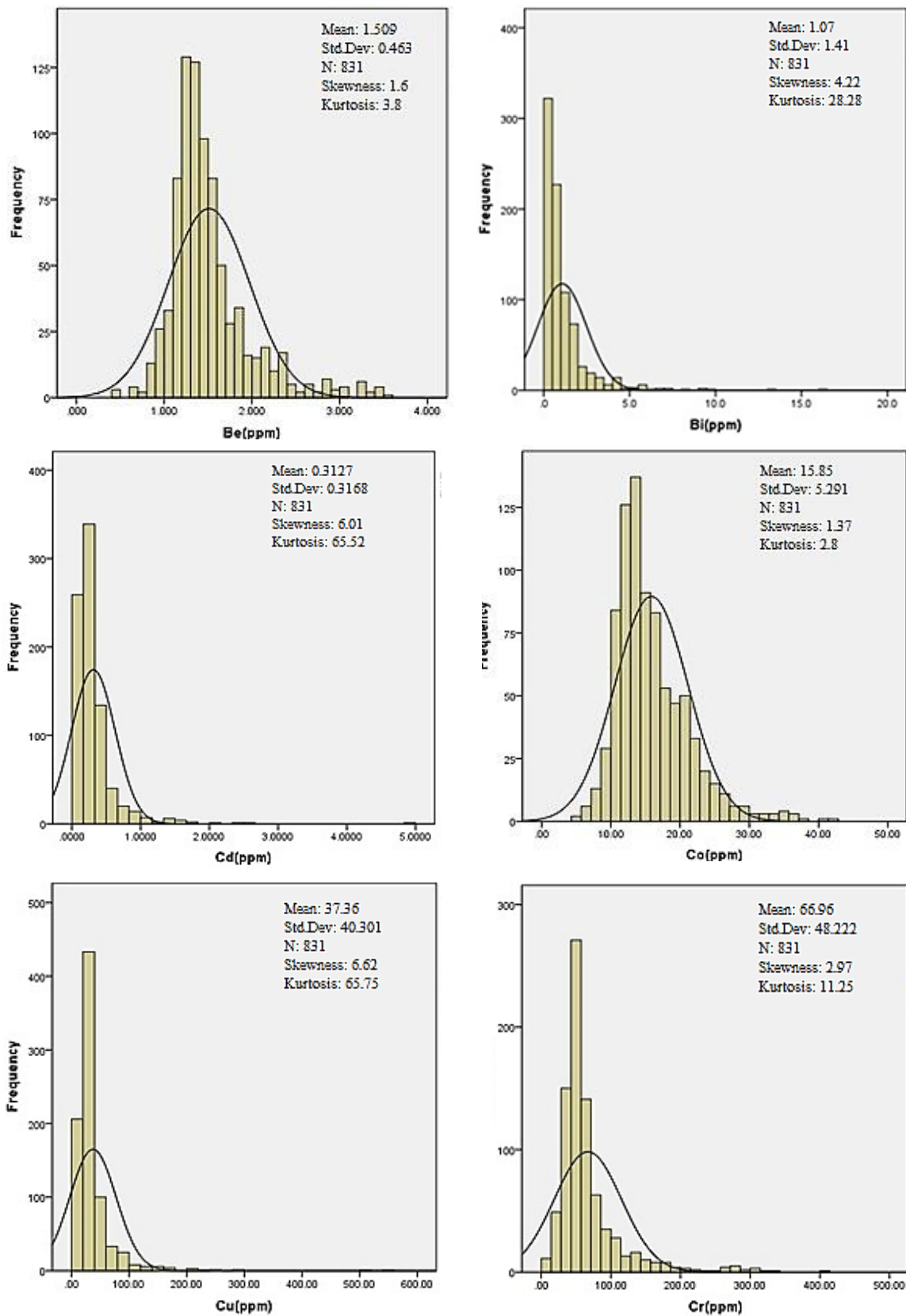
جدول ۴-۱ ویژگی‌های آماری تک متغیره‌ی عناصر در ورقه یکصد هزار هشترود

	N	Mean	Std.Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
Au	۸۳۱	۲,۲۲۸	۲,۷۱۸۲	۷,۳۸۹	۱۳,۱۵۱	۲۰۹,۵۴۱
Ag	۸۳۱	۴۲۹۸۵۳	۳۱۲۵۶۶۳	۰۹۸	۱۳,۱۳۳	۲۷۷,۶۲۷
Al	۸۳۱	۶۲۷۶۳,۵۷	۱۱۲۹۶,۶۰۳	۱,۲۷۶	۱۸۱	۰۹۳-
As	۸۳۱	۲۳,۵۶۲۲۸	۲۲,۴۷۲۱۹۵	۵۰۵,۰۰۰	۳,۸۰۰	۳۱,۹۷۹
Ba	۸۳۱	۵۸۰,۲۳۷	۲۲۴,۰۰۴۴	۵۰۱۷۷,۹۶۷	۳,۱۸۵	۱۶,۹۵۱
Be	۸۳۱	۱,۵۰۹۰۵	۴۶۳۲۷۳	۲۱۵	۱,۶۸۵	۳,۸۰۳
Bi	۸۳۱	۱,۰۷۲	۱,۴۱۰۱	۱,۹۸۸	۴,۲۲۵	۲۸,۲۸۱
Ca	۸۳۱	۷۰۵۸۹,۳۶	۲۷۴۴۰,۳۶۱	۷,۵۳۰	۲,۸۳۲	۱۵,۵۵۴
Cd	۸۳۱	۳۱۲۷۲۰	۳۱۶۸۴۶۱	۱۰۰	۶,۰۱۸	۶۵,۵۲۲
Ce	۸۳۱	۴۹,۳۹۲۷	۱۳,۶۸۳۳۳	۱۸۷,۲۳۳	۱,۹۸۱	۷,۷۱۰
Co	۸۳۱	۱۵,۸۵۴۰	۵,۲۹۱۲۵	۲۷,۹۹۷	۱,۳۷۳	۲,۸۷۲
Cr	۸۳۱	۶۶,۹۶۰۷	۴۸,۲۲۲۱۰	۲۳۲۵,۳۷۱	۲,۹۷۴	۱۱,۲۵۷
Cs	۸۳۱	۵,۷۴۳۹۱	۳,۱۲۴۷۹۷	۹,۷۶۴	۳,۱۹۹	۱۹,۶۳۵
Cu	۸۳۱	۳۷,۳۵۵۶	۴۰,۱۸۲۵۴	۱۶۱۴,۶۳۶	۶,۶۲۹	۶۵,۷۵۱
Fe	۸۳۱	۵۰۲۴۰,۵۱	۱۲۸۰۹,۲۱۶	۱,۶۴۱	۹۸۹	۱,۳۰۸
Hg	۸۳۱	۱۰۲۳۳۳	۰۲۸۴۵۷۴	۰۰۱	۴۱۴	۸۸۷
K	۸۳۱	۱۷۸۶۰,۱۳	۵۱۴۴,۷۰۸	۲۶۴۶۸۰۱۸,۲	۸۲۳	۱,۸۳۸
La	۸۳۱	۲۶,۸۰۴۷	۸,۲۰۶۳۲	۶۷,۳۴۴	۱,۶۹۲	۵,۲۶۷
Li	۸۳۱	۲۳,۷۴۴۹	۸,۱۰۷۶۹	۶۵,۷۳۵	۱,۴۳۰	۴,۷۶۲
Mg	۸۳۱	۱۰۲۲۰,۲۴	۴۲۷۶,۶۳۵	۱۸۲۸۹۶۰۸,۰	۱,۵۴۶	۳,۴۳۱
Mn	۸۳۱	۸۶۴,۷۵۲	۳۰۲,۰۲۰۰	۹۱۲۱۶,۰۸۰	۳,۰۴۱	۲۰,۱۱۳
Mo	۸۳۱	۱,۴۲۴۴۴	۲,۲۰۲۹۹۵	۴,۸۵۳	۹,۰۱۱	۹۶,۰۶۱
Na	۸۳۱	۱۳۲۲۳,۲۱	۴۵۱۸,۲۳۵	۲۰۴۱۴۴۴۸,۱	۷۲۱	۲,۳۳۳
Nb	۸۳۱	۱۵,۸۰۳۲	۶,۱۴۱۷۳	۳۷,۷۲۱	۲,۲۱۴	۹,۲۵۳
Ni	۸۳۱	۲۹,۰۹۱۱	۱۲,۸۸۱۸۲	۱۶۵,۹۴۱	۱,۶۴۴	۳,۸۶۷
P	۸۳۱	۸۷۷,۸۱۷	۵۶۳,۶۱۷۹	۳۱۷۶۶۵,۱۶۶	۵,۰۰۴	۴۸,۰۷۰
Pb	۸۳۱	۲۹,۷۲۲۸	۵۶,۰۰۶۵۲	۳۱۳۶,۷۳۱	۱۳,۱۲۹	۲۲۸,۷۳۲
Rb	۸۳۱	۶۴,۱۲۴۶	۲۴,۲۱۱۵۷	۵۸۶,۲۰۰	۱,۴۵۵	۳,۳۶۲
S	۸۳۱	۶۱۱۵,۲۹۴	۱۷۳۵۷,۳۶۶۹	۳,۰۱۳	۴,۶۴۴	۲۴,۶۵۸
Sb	۸۳۱	۲,۰۷۴۸۹	۱,۴۲۸۹۹۱	۲,۰۴۲	۶,۲۵۲	۸۹,۷۹۷
Sc	۸۳۱	۱۱,۸۲۹۹	۳,۵۸۶۱۵	۱۲,۸۶۰	۱,۵۶۷	۵,۴۴۶
Sn	۸۲۹	۲,۸۶۶	۷۶۷۷	۵۸۹	۷۵۸	۶۱۰
Sr	۸۳۱	۴۵۳,۱۷	۴۰۲,۲۴۲	۱۶۱۷۹۸,۲۴۶	۳,۹۱۴	۲۰,۰۶۵
Te	۸۳۱	۱۷۹۲۸۶	۰۹۶۵۲۳۵	۰۰۹	۲,۳۶۸	۷,۳۷۷
Th	۸۳۱	۱۲,۹۵۷	۴,۸۵۵۲	۲۳,۵۷۳	۱,۸۶۳	۷,۵۰۷
Ti	۸۳۱	۵۰۲۷,۵۹	۱۷۸۳,۲۰۳	۳۱۷۹۸۱۱,۳۲	۱,۳۲۹	۲,۸۱۷
Tl	۸۳۱	۸۹۹۱۹	۱۶۶۶۸۴	۰۲۸	۷۳۴	۷۶۷
U	۸۳۱	۳,۹۵۱۳۰	۱,۳۲۹۹۸۹	۱,۷۶۹	۱,۸۴۵	۹,۵۲۷
V	۸۳۱	۱۴۸,۳۷	۷۵,۶۵۶	۵۷۲۳,۸۸۷	۲,۱۰۵	۶,۳۶۳
W	۸۳۱	۱,۷۴۱۶۴	۲,۵۹۴۱۲۶	۶,۷۲۹	۱۲,۷۰۷	۲۱۹,۴۹۵
Y	۸۳۱	۲۴,۵۳۳۲	۵,۹۴۴۸۶	۳۵,۳۴۱	۱,۱۹۱	۳,۷۲۰
Zn	۸۳۱	۸۵,۲۶۰	۴۹,۲۰۸۶	۲۴۲۱,۴۹۰	۶,۷۹۴	۷۰,۶۲۳
Zr	۸۳۱	۲۸۴,۴۰	۹۱,۲۱۷	۸۳۲۰,۶۰۷	۷۶۲	۱,۶۰۸

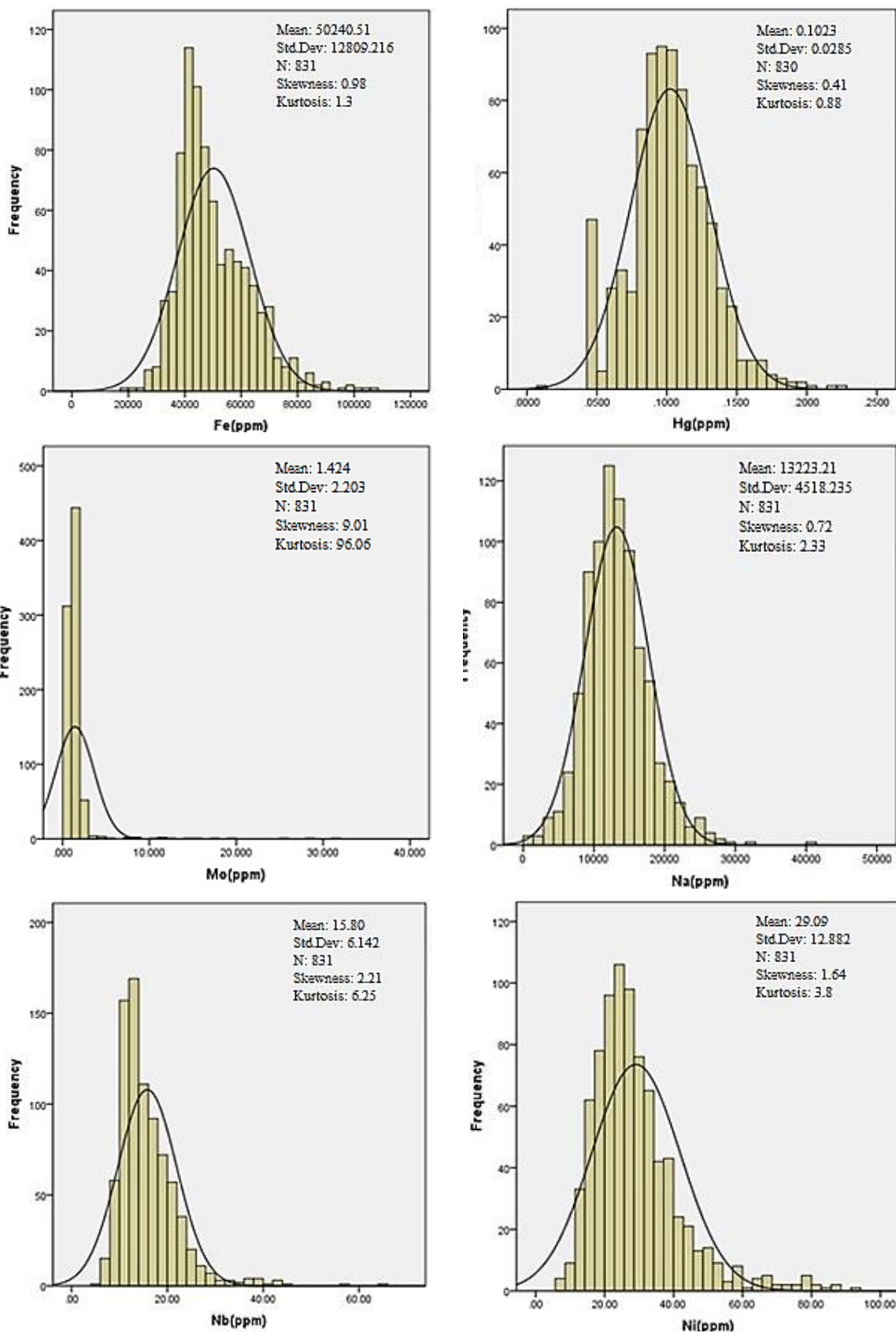
در شکل (۳-۴) از بین ۴۳ عنصر نمونه‌برداری شده تنها نمودار فراوانی ۲۸ عنصر ارائه شده است. با مشاهده‌ی این نمودارها و نتایج حاصل از بررسی‌های آماری، می‌توان گفت که عناصر طلا، نقره، کادمیوم، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان، تنگستن و روی از بین عناصر مورد نظر بیشترین چولگی و کشیدگی را دارند.



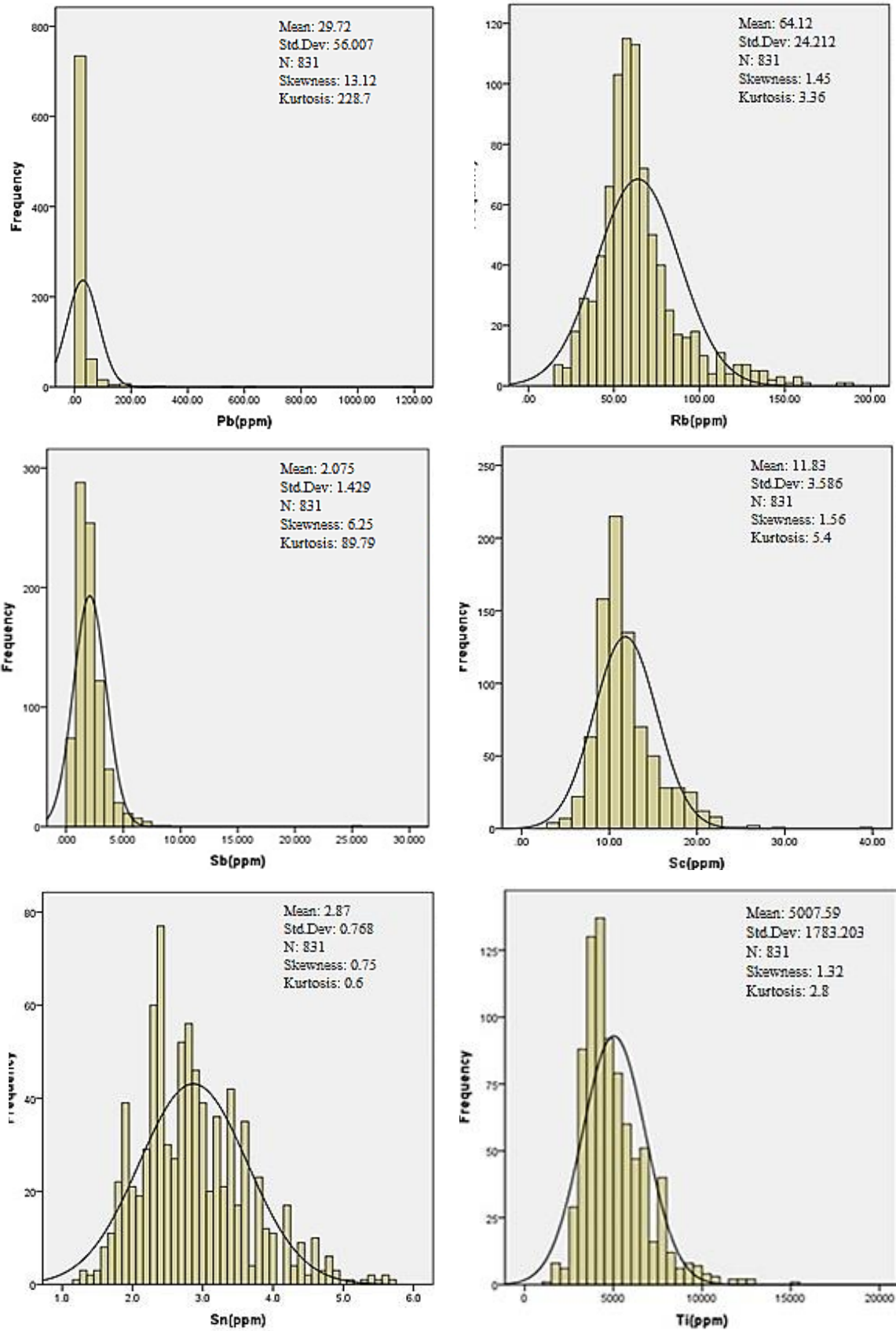
شکل ۳-۴ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار هشترود



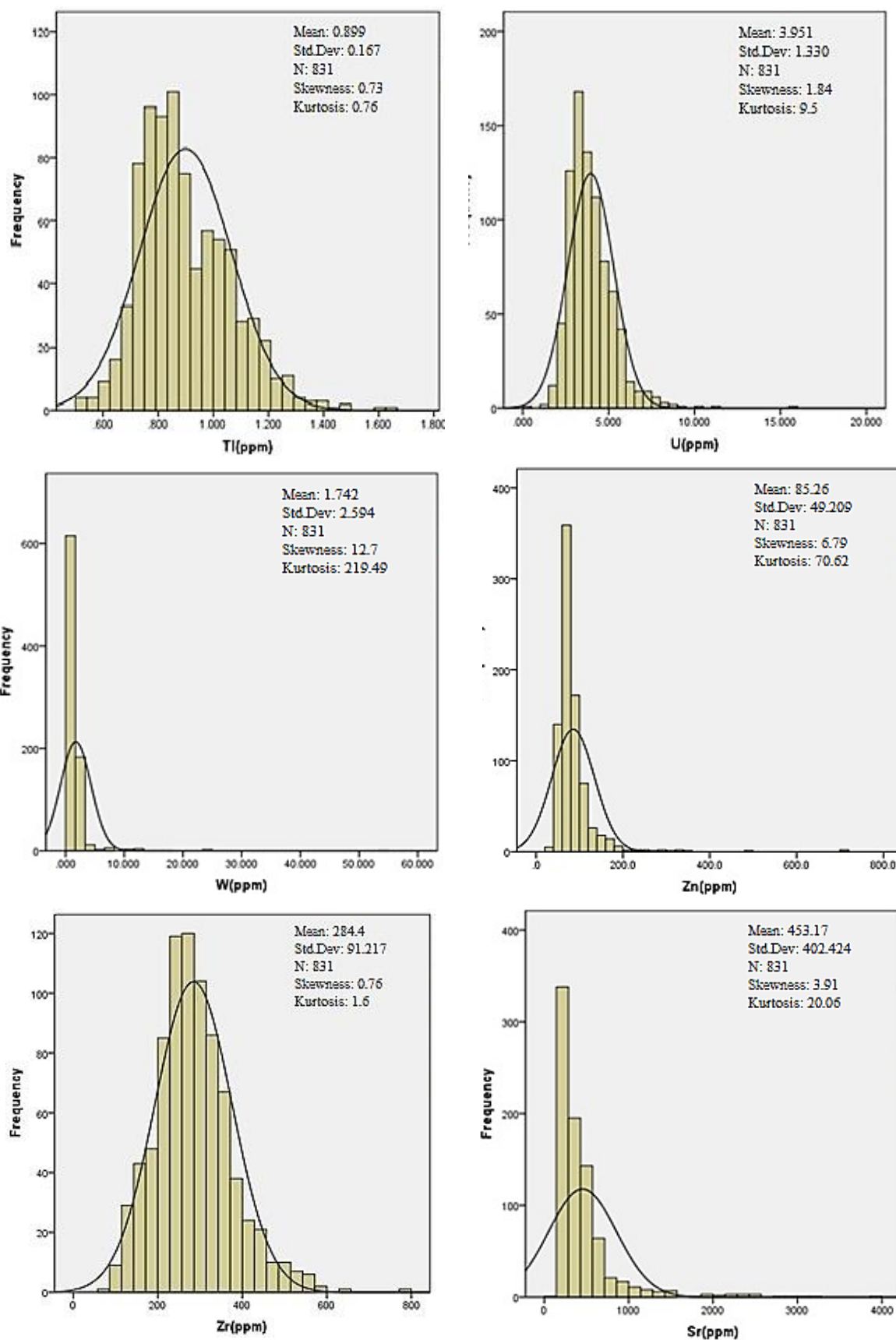
ادامه‌ی شکل ۳-۴ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار هشت‌رود



ادامه‌ی شکل ۳-۴ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار هشت‌رود



ادامه‌ی شکل ۳-۴ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار هشترود



ادامه‌ی شکل ۳-۴ نمودار توزیع فراوانی عناصر مورد بررسی در ورقه یکصد هزار

۴-۳- آمار دو متغیره

در آمار دو متغیره، تغییرپذیری هم‌زمان دو متغیر در یک جامعه‌ی نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد، یعنی در این بخش می‌توان عناصر موجود در منطقه را نسبت به هم مقایسه کرد. بدین ترتیب افزایش یا کاهش یک عنصر با عنصر دیگر مرتبط و بررسی می‌شود و می‌توان پاراژنز بودن را از لحاظ ژنتیکی بررسی کرد. این موضوع در تشخیص کانسارهایی که به نوعی تحریک‌پذیری و ایجاد هاله‌ی ژئوشیمی کمتری دارند، کمک می‌کند، تا بتوان به وجود دیگر مواد معدنی پی برد.

۴-۳-۱- ضریب همبستگی

برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، پارامتر آماری به نام ضریب همبستگی تعریف می‌شود. در محاسبه‌ی ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد، می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد که توزیع داده‌های تبدیل یافته نرمال شود. البته در اینگونه موارد تعبیر و تفسیر همبستگی متغیرها باید با دقت همراه باشد. بالاخره در حالتی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد و نتوان داده‌ها را تبدیل کرد، برای محاسبه‌ی ضریب همبستگی باید از روش‌های ناپارامتری که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشد استفاده کرد (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

۴-۳-۱-۱- ضریب همبستگی داده‌های با توزیع نرمال

به منظور رفع وابستگی کوواریانس به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، معمولاً از مقدار استاندارد شده‌ی آن استفاده می‌شود. برای این منظور لازم است مقادیر $(x_i - \bar{x})$ به انحراف معیار متغیر X و مقادیر $(y_i - \bar{y})$ بر انحراف معیار متغیر Y تقسیم شوند. بنابراین می‌توان مقدار کوواریانس را بر $s_y \cdot s_x$ تقسیم کرد. به مقدار حاصل، ضریب همبستگی پیرسون گفته می‌شود:

$$r_{xy} = \frac{\text{COV}(x, y)}{s_x \cdot s_y} \quad (1-4)$$

رابطه‌ی فوق را برای جامعه‌ی نمونه می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (2-4)$$

دامنه‌ی تغییرات مقدار ضریب همبستگی میان -۱ تا +۱ است. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو (افزایش یکی باعث افزایش دیگری شود) داشته باشند، ضریب همبستگی آن‌ها +۱ است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیرهمسو (افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود) باشند، ضریب همبستگی آن‌ها -۱ و بالاخره در صورتی که دو متغیر غیر همبسته (افزایش یکی تأثیری روی دیگری نداشته‌باشد) ضریب همبستگی آن‌ها صفر است. اگر نمودار پراکندگی داده‌ها به صورت یک خط افقی یا قائم درآید ($S_x = 0$ یا $S_y = 0$) مقدار ضریب همبستگی برای آن تعریف نمی‌شود. اگر مقدار ضریب همبستگی در خودش و در عدد ۱۰۰ ضرب شود، حاصل آن کمیتی است که به اصطلاح درصد پراش نامیده می‌شود. جدول (۲-۴) ضریب همبستگی داده‌های پردازش شده‌ی منطقه‌ی هشترود را نشان می‌دهد (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

$$\text{COV}(x, y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (3-4)$$

با توجه به جدول (۲-۴) میزان همبستگی مس با سایر عناصر مورد بررسی قرار گرفته است، که در نتیجه‌ی آن، مس با عناصر مولیبدن، تنگستن و بیسموت همبستگی بالایی نشان می‌دهد.

۴-۳-۱-۲- محاسبه‌ی ضریب همبستگی به روش ناپارامتری

اگر توزیع داده‌ها نرمال نباشد، برای محاسبه‌ی ضریب همبستگی می‌توان از روش‌های ناپارامتری استفاده کرد. این روش‌ها نسبت به توزیع داده‌ها حساس نیستند. یکی از روش‌های ناپارامتری محاسبه‌ی ضریب همبستگی به روش اسپیرمن است که با r_s نشان داده می‌شود و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum (\Delta^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (۴-۴)$$

که در آن $\sum (\Delta^2)$ جمع مربعات تفاضل شماره‌ی دو رتبه در دو سری داده‌ی به هم وابسته و n تعداد مشاهدات وابسته به یکدیگر است. در مواردی که بین یک سری داده‌ی معین شماره‌ی تعدادی از رتبه‌ها مساوی باشد، معادله‌ی فوق باید به صورت زیر تصحیح شود:

$$r_s = 1 - \frac{6[\sum (\Delta^2) + T_x + T_y]}{n(n^2 - 1)} \quad \text{که در آن:}$$

$$T_x = \frac{\sum (t_x^3 - t_x)}{12} \quad (۵-۴)$$

$$T_y = \frac{\sum (t_y^3 - t_y)}{12}$$

که t_x و t_y به ترتیب تعداد رتبه‌های تطبیقی هم شماره، بین داده‌های متغیرهای x و y هستند. در بررسی‌های ضریب همبستگی دو جنبه‌ی توصیفی و استنباط آماری مدنظر قرار می‌گیرد. تفسیر توصیفی شامل شدت یا ضعف همبستگی همراه با جهت تبعیت دو متغیر نسبت هم است. در تفسیر استنباطی معنی‌دار بودن یا واقعی بودن بررسی می‌شود. اگر همبستگی محاسبه شده ناشی از اثر عوامل تصادفی باشد، در تفسیر ضریب همبستگی، واقعی بودن همبستگی میان دو متغیر مطرح است نه سنجش مقدار آن.

تفسیر ضریب همبستگی شامل دو جنبه‌ی توصیفی و جنبه‌ی استنباط آماری آن است. تفسیر توصیفی آن شامل شدت یا ضعف همبستگی همراه با جهت تبعیت تغییرات دو متغیر نسبت به هم است. تفسیر استنباطی آن که مهم‌تر نیز می‌باشد به معنی‌دار بودن و یا به عبارت دیگر به واقعی بودن آن برمی‌گردد. اگر همبستگی میان دو متغیر x و y در سطح معینی از معنی‌داری بی‌اهمیت باشد دلالت بر آن دارد که همبستگی

مشاهده‌ای ممکن است ناشی از اثر عوامل تصادفی باشد. بنابراین در تفسیر استنباطی ضریب همبستگی، واقعی بودن همبستگی بین دو متغیر مد نظر بوده و بحث روی سنجش مقدار آن نیست. در بررسی‌های اکتشافی از یک ضریب همبستگی معین، ممکن است برداشته‌های متفاوتی را بر حسب شرایط بررسی به دست آورد. رتبه‌بندی شدت همبستگی دو متغیر و رده‌بندی آن‌ها اکثراً به طور دلخواه صورت می‌گیرد. برای مثال می‌توان از رده‌بندی زیر استفاده کرد (حسنی پاک، ۱۳۸۹).

جدول ۳-۴ مقادیر ضرایب همبستگی

مقدار ضریب همبستگی r	توضیحات
کمتر از ۰/۲	همبستگی بسیار ضعیف و ناچیز
$۰/۲ < r < ۰/۴$	همبستگی ضعیف
$۰/۴ < r < ۰/۶$	همبستگی متوسط
$۰/۶ < r < ۰/۸$	همبستگی قوی
بیشتر از ۰/۸	همبستگی بسیار قوی

نکات دیگری که در تفسیر ضریب همبستگی لازم است در نظر گرفته شود، به شرح زیر است:

۱- ضریب همبستگی خطی که معیاری از درجه‌ی تمایل دو متغیر به داشتن رابطه‌ی خطی است و ممکن است همبستگی کلی دو متغیر را نشان ندهد، بنابراین لازم است برای درک بهتر ضریب همبستگی، آن را همراه با نمودار پراکندگی مورد بررسی قرار داد.

۲- ضریب همبستگی ماهیت نسبی دارد، لذا نمی‌توان ضریب همبستگی یک گروه از داده‌ها را بدون در نظر گرفتن اختلافات دیگر آن‌ها با ضریب همبستگی گروه دیگری از داده‌ها مقایسه کرد.

البته مقایسه‌ی ضریب همبستگی متغیرهای مختلف در یک گروه داده امکان‌پذیر است. بدین معنی که می‌توان ضریب همبستگی متغیرهای x و y از یک گروه را با ضریب همبستگی متغیرهای z و y همان گروه داده مقایسه کرد و نتیجه گرفت که همبستگی متغیرهای x و y قوی‌تر یا ضعیف‌تر از همبستگی متغیرهای z و y است.

نتایج حاصل از بررسی‌های همبستگی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه‌ی هشتروود به روش اسپیرمن در جدول (۴-۴) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳-۴) مس با فسفر همبستگی بسیار قوی، با آلومینیم همبستگی قوی و با عناصر پتاسیم، لانتانیم، منیزیم، منگنز، نیوبیم، برلیوم، سلنیم، کبالت، آهن، توریم، تانتالیم، اورانیم، وانادیم، تنگستن و روی همبستگی متوسط نشان می‌دهد. عناصر نیکل با کروم، روبیدیوم با پتاسیم و سرب با روی نیز همبستگی قوی نشان می‌دهند.

معمولا داده‌های دو متغیره و چند متغیره بایستی روی داده‌های نرمال شده انجام شوند، شاید دلیل همبستگی مس با عناصر فسفر و آلومنیوم و عدم همبستگی آن با عناصر کانسارسازی مثل مولیبدن، تنگستن، سرب و روی به همین دلیل باشد، به طوری که در بخش آنالیز دو متغیره به روش پیرسون دیدیم، مس با عناصری مانند مولیبدن، تنگستن و بیسموت، همبستگی بسیار معناداری را نشان می‌دهد.

۴-۴- آمار چند متغیره

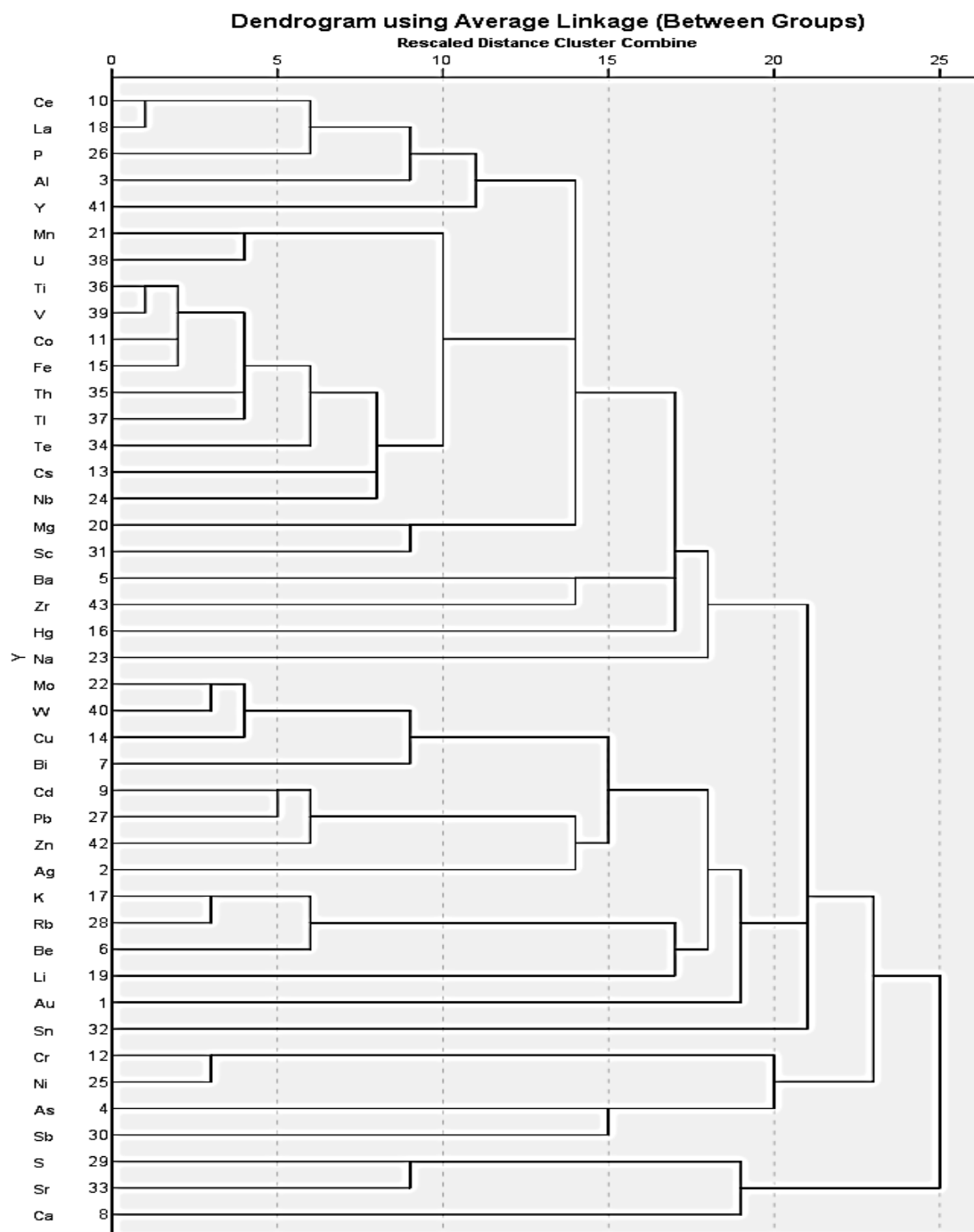
روش‌های چندمتغیره، امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند. مسائل مربوط به یک، دو و حتی سه متغیر را می‌توان تصور کرد یا به‌طور گرافیکی نمایش داد، ولی گاهی در مسائل اکتشافی با فضای ۱۰ و یا حتی ۲۰ متغیره روبه‌رو هستیم که بررسی روابط بین آن‌ها را دشوار می‌کند. در این‌گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به کاهش تعداد بعدها در فضای مورد بررسی پرداخت، به طوری که نتایج این ابعاد جدید (متغیرهای جدید) با تعدادی به مراتب کم‌تر از حالت قبل، بتواند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کنند. در ژئوشیمی اکتشافی می‌توان تغییرپذیری همزمان چندین عنصر (متغیر) را برای کشف دقیق‌تر آنومالی‌های احتمالی آن‌ها مورد بررسی قرار داد.

نکته‌ای که در آمار چند متغیره باید به آن توجه شود، تعداد نمونه‌ها در جوامع تحت بررسی است. معمولاً روش‌های چندمتغیره نیازمند تعداد زیادی نمونه است. از نظر تئوری با اندازه‌گیری دو متغیر در دو نمونه می‌توان ضریب همبستگی را محاسبه کرد. در این حالت حتی اگر دو متغیر هیچ‌گونه وابستگی نداشته باشند، ضریب همبستگی ۱- به دست می‌آید که غیر واقعی است. از این‌رو اعتبار تحلیل‌های چندمتغیره تا حدودی تابع بزرگی جامعه‌ی نمونه‌ی تحت بررسی است.

۴-۴-۱- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

معمولاً نتیجه‌ی حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به صورت یک نمودار سلسه مراتبی به نام دندوگرام یا شاخه درختی نمایش می‌دهند. دندوگرام یک ساختار سلسه مراتبی است که نحوه‌ی اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها را به یکدیگر نشان می‌دهد. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار داده می‌شود، محل اتصال هر نمونه یا متغیر به یک خوشه یا یک خوشه به خوشه‌ی دیگر روی این مقیاس خطی، متناظر با درجه‌ی شباهت آن است. در واقع دندوگرام ساختار سلسه مراتبی نمونه‌ها و یا متغیرها را بر

اساس معیار شباهت بین آن‌ها نشان می‌دهد، ولی مرز طبقه‌بندی بین آن‌ها را مشخص نمی‌کند. هر کاربری بعد از رسم دندوگرام نیاز دارد بداند که کدام بخش از دندوگرام را تحت عنوان یک گروه طبقه‌بندی کند. این کار از طریق رسم یک خط قائم به ازای یک ضریب شباهت معین مطلوب انجام می‌گیرد. این خط را خط جدایش می‌نامند که دندوگرام را در نقاطی قطع می‌کند. ضریب شباهت مطلوب را کاربر بر اساس ایجاد شباهت درون خوشه‌ای و حداقل شباهت بین خوشه‌ای انتخاب می‌کند (حسینی پاک، ۱۳۸۰). این روش تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی، بیشتر به منظور طبقه‌بندی عناصر مورد بررسی در گروه‌ها و زیرگروه‌ها است، به نحوی که همبستگی بین عناصر در هر گروه یا یک گروه با گروه دیگر حداکثر شود. هدف از این روش دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. طرز عمل به این‌گونه است که متغیرها (عناصر مختلف و یا ...) از روی ضریب همبستگی بین آن‌ها با رعایت سلسله مراتب به شکل یک دندوگرام (دیاگرام درختی شکل) مشخص می‌شود. دندوگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه‌ی اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها را به یک‌دیگر نشان می‌دهد. در انتخاب هر شاخه، یک عنصر و یا یک نمونه خاص قرار می‌گیرد. این شاخه به وسیله‌ی بازوهای به یک‌دیگر متصل شده و سرانجام تشکیل یک دندوگرام را می‌دهد.



شکل ۴-۴ نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر در منطقه هشت‌رود

با توجه به شکل (۴-۴) که نمودار آنالیز خوشه‌ای عناصر نمونه‌برداری شده از رسوبات آبراه‌های در ورقه‌ی

یکصد هزار هشترود را به نمایش می‌گذارد، عناصر مس، مولیبدن و تنگستن پاراژنز بوده و همبستگی نزدیکی نیز با بیسموت نشان می‌دهند. در این میان عناصر روبیدیم و پتاسیم، عناصر کروم و نیکل و عناصر کادمیوم، سرب و روی با یکدیگر پاراژنز هستند.

۴-۴-۲- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

هنگامی که دو متغیر دارای همبستگی خطی بسیار قوی باشند، اگر برداری در امتداد محور بزرگ پراکندگی داده‌ها و محور دیگری عمود بر آن رسم شود، یک دستگاه مختصات جدید به دست می‌آید که می‌توان پراکندگی داده‌ها را در آن مطالعه کرد. در واقع یک محور مختصات جدید به دست می‌آید، در انتقال به این محور جدید همبستگی متغیرها یا مولفه‌های اصلی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. محور دوم به اندازه‌ی محور اول دوران داده می‌شود تا عمود بر آن باقی بماند، به این دورانی که زاویه قائم بین محورهای اولیه را حفظ کند دوران متعامد گفته می‌شود. در دستگاه مختصات اولیه دو متغیر تقریباً پراش یکسانی دارند ولی در دستگاه مختصات جدید، پراش در جهت محور اول حداکثر و در جهت محور دوم حداقل خواهد بود. با توجه به آن که محور اول بیشترین تغییرپذیری داده‌ها را توجیه می‌کند، می‌توان به قیمت از دست‌دادن توجیه بخشی از تغییرپذیری به کاهش بعد (از دو بعد به یک بعد) دست یافت. به این ترتیب می‌توان بقیه بررسی‌ها را در دستگاه مختصات جدید یک بعدی دنبال کرد. معمولاً اولین مولفه‌های اصلی (چند مولفه‌ی اول) می‌توانند قسمت اعظم تغییرپذیری را توجیه کنند. لذا در عمل می‌توان تعداد مولفه‌های اصلی را نسبت به متغیرهای اولیه تا حد بسیار زیادی کاهش داد.

این خصوصیت کاهش تعداد بعدها یا متغیرها ممکن است برای یک فضای دو بعدی چندان با اهمیت نباشد ولی وقتی مزیت آن در بررسی یک فضای ۴۳ عنصری در نظر گرفته شود و آن‌ها به پنج بعد کاهش داده شوند، چه از نظر نمایش اطلاعات و فهم و درک تغییرپذیری و چه از جهت حجم محاسبات بسیار با اهمیت خواهد شد. این روش تکنیکی است برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که

تشکیل یک دستگاه محور مختصات جدید را بدهند، روش تحلیل یا آنالیز مولفه اصلی (PCA)¹ گویند. این ترکیبات خطی، مولفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و دارای خواص زیر هستند:

۱- بخش زیادی از تغییرپذیری می‌تواند به وسیله‌ی تعداد محدودی از متغیرهای جدید (K) توجیه شود. در این صورت گفته می‌شود که تعداد بعدها از P به K کاهش یافته است.

۲- متغیرهای جدید که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند بین خود همبستگی نشان نمی‌دهند. این امر آزمون روش مورد نظر را آسان می‌کند.

در واقع در یک فضای P بعدی با استفاده از ابزار روش تحلیل مولفه‌ی اصلی به دنبال دست‌یابی به دستگاه محورهای مختصاتی هستیم که بتواند با تعداد کمی بعد (متغیر جدید) بخش عمده تغییرپذیری را توجیه کند. از خصوصیات فوق می‌توان دو نتیجه گرفت:

الف- اگر متغیرهای اولیه همبسته نباشند (ضریب همبستگی کوچکی داشته باشند)، دلیلی برای به کارگیری روش آنالیز مولفه‌های اصلی وجود ندارد. لذا معمولاً توصیه می‌شود که قبل از به کارگیری این روش به ماتریس همبستگی و نمودار پراکندگی داده‌ها توجه شود.

ب- اگر تعداد متغیرهای اولیه‌ی تحت بررسی کم باشد (دو تا پنج متغیر) می‌توان از ارقام موجود در ماتریس همبستگی و نمودارهای پراکندگی بین متغیرها جهت‌های تغییرپذیری حداکثر و حداقل را مشاهده کرد و نیاز به تحلیل مولفه‌های اصلی نخواهد بود (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

برای مشخص کردن روابط پاراژنزی بین همه عناصر (متغیرها) مورد بررسی و همچنین تعیین عوامل موثر در پراکندگی آن‌ها می‌توان از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده کرد. هدف این تحقیق، پی‌جویی مس و عناصر همراه آن در منطقه‌ی مورد مطالعه است. با توجه به جدول (۴-۲) که اطلاعات

¹ Principle Component Analysis

مربوط به مولفه‌های دوران یافته در آزمون مولفه‌های اصلی در منطقه هشترود است، که در قالب PC یک تا ده به وسیله‌ی نرم‌افزار مشخص شده است، با توجه به این که عنصر مس مدنظر می‌باشد در PC دوم، مس بیشترین مقدار را دارد و سایر عناصری که بعد از مس دارای بیشترین مقدار هستند شامل، مولیبدنیم، تنگستن و بیسموت هستند.

جدول ۴-۵ اطلاعات مربوط به مولفه‌های دوران یافته در آزمون مولفه‌های اصلی در منطقه هشترود

	Component									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au	-.073	.265	-.025	.226	.135	.008	.097	-.200	.352	.016
Ag	.125	.007	-.083	.130	.667	-.149	.213	.058	-.093	.031
Al	.417	.101	.606	.232	.093	-.190	.401	-.125	.070	.025
As	.160	-.178	-.375	.177	.525	.350	-.244	-.081	.041	-.067
Ba	.347	-.127	.091	.208	.517	-.316	-.034	.123	.019	-.032
Be	.060	.383	.385	.732	.062	-.069	-.003	-.112	-.153	.021
Bi	.311	.660	.000	.074	-.024	-.006	.027	.028	.446	.019
Ca	-.168	.089	-.293	-.210	-.075	.247	-.134	.344	-.221	-.523
Cd	-.023	.431	.023	-.081	.785	.079	-.086	-.019	.014	.020
Ce	.345	.222	.758	.289	.046	.225	.060	-.012	-.116	.014
Co	.898	.120	.088	-.073	.061	.155	.219	-.070	.114	.046
Cr	.176	-.066	.045	-.190	-.062	.879	-.013	-.078	.049	-.010
Cs	.706	-.084	.187	-.088	-.007	-.033	.057	-.013	.495	.056
Cu	.258	.836	.132	.276	.093	-.019	.183	-.027	.013	-.060
Fe	.881	.172	.146	.022	.097	-.006	.193	-.058	.137	.042
Hg	.442	-.143	-.109	.004	-.056	.039	.115	.215	.593	.102
K	-.084	.104	.183	.827	.123	-.266	.001	.030	.073	.102
La	.355	.116	.813	.235	.091	.134	.019	-.021	-.093	-.009
Li	-.087	.126	-.302	.432	.080	-.010	.567	.274	.005	.116
Mg	.233	-.001	.178	-.170	.042	.029	.799	.182	.057	-.097
Mn	.606	.293	.047	.090	.249	-.005	.180	.016	-.239	-.209
Mo	.039	.853	.087	.147	.244	-.012	-.024	.036	-.075	.076
Na	.174	-.132	.743	-.251	.039	-.178	-.083	-.095	.008	.146
Nb	.689	.173	.287	.313	-.090	.070	.007	-.023	.098	.094
Ni	-.107	-.082	-.040	-.157	-.076	.880	.088	-.064	.044	.033
P	.358	.226	.577	.371	-.082	.124	.089	.070	.092	-.140
Pb	-.065	.453	.208	-.064	.680	-.038	-.025	.003	.189	-.003
Rb	-.082	.219	-.012	.888	.036	-.095	-.092	-.072	.112	.047
S	-.200	.040	-.173	.000	-.063	-.023	.077	.832	.052	.017
Sb	.450	.078	-.131	.104	.266	.119	-.276	-.052	.504	-.127
Sc	.589	.121	.081	-.085	.034	.231	.626	-.111	.013	-.085
Sn	.180	.127	-.008	.071	.037	.073	-.091	.061	-.022	.826
Sr	.004	-.048	.085	-.054	.232	-.170	.115	.837	-.021	-.024
Te	.802	.014	.007	-.229	.126	-.121	-.080	-.052	-.041	.141
Th	.847	.203	.257	.175	.065	-.007	.017	-.008	.003	.090
Ti	.905	-.083	.211	-.161	.068	.082	-.007	-.059	.095	.094
Tl	.799	.023	.402	.017	.056	-.029	.172	-.050	.104	.040
U	.800	.082	.107	.100	.108	.038	-.002	-.030	-.100	-.073
V	.938	.045	.044	-.101	.059	-.040	.011	-.005	.147	.100
W	.122	.849	.025	.176	.225	-.033	-.033	-.015	-.086	.078
Y	.359	.070	.411	.247	-.053	.597	.139	-.077	-.133	-.037
Zn	.249	.280	.124	.037	.804	-.109	.096	.091	.074	.088
Zr	.433	-.247	.087	.167	.134	-.506	.372	-.046	-.031	.007

در ماتریس مولفه‌ی دوران یافته^۱ به این صورت است که چهار عنصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت در PC دوم بیشترین مقدار خود را دارا می‌باشند.

مطابق شکل (۴-۴) که نمودار خوشه‌ای عناصر در ورقه‌ی هشت‌رود را نشان می‌دهد، تعدادی از عناصر با هم همبستگی دارند، یا به عبارتی پارائنز و با یک‌دیگر هستند. این گروه‌ها با جدول (۴-۵) که گویای مولفه‌های دوران یافته در آزمون مولفه‌ی اصلی در منطقه هستند، مقایسه شده‌اند و نتایج امید بخشی حاصل شده است.

گروه اول که با PC₁ منطبق است، شامل عناصر V،U،Ti،Tl،Th،Te،Sc،Nb،Mn،Fe،Cs،Co است.

گروه دوم که با PC₂ منطبق است، شامل عناصر W،Mo،Cu،Bi است.

گروه سوم که با PC₃ منطبق است، شامل عناصر Al،P،La،Ce است.

گروه چهارم که با PC₄ منطبق است، شامل عناصر Rb،K،Be است.

گروه پنجم که با PC₅ منطبق است، شامل عناصر Zn،Pb،Cd،Ag است.

گروه ششم که با PC₆ منطبق است، شامل عناصر Ni،Cr است.

گروه هفتم که با PC₇ منطبق است، شامل عناصر Sc،Mg است.

گروه هشتم که با PC₈ منطبق است، شامل عناصر Sr و S است.

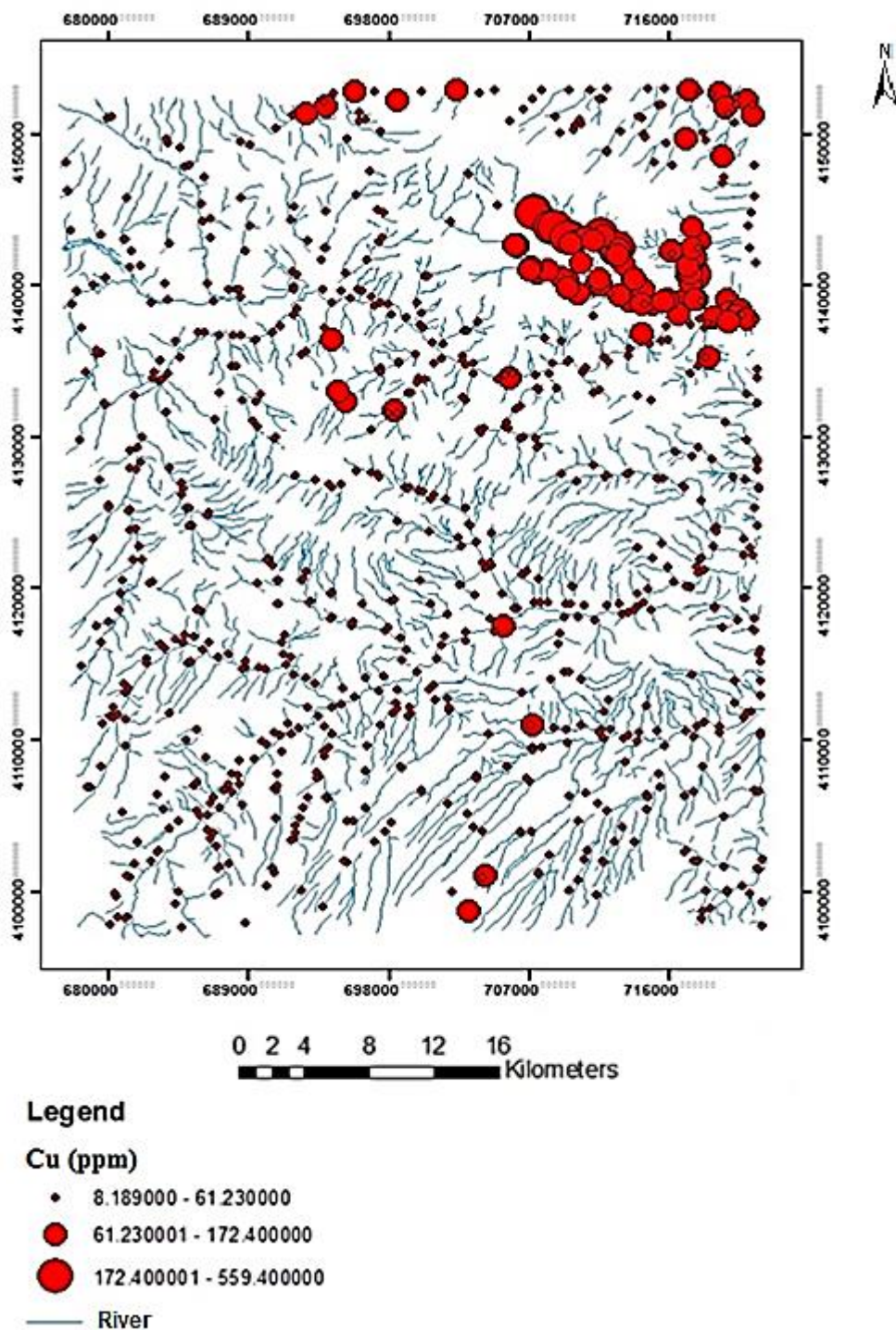
در نتیجه وجود آنومالی مس در منطقه‌ی هشت‌رود، با روش‌های آماری تک متغیره، دو متغیره و چند متغیره به اثبات رسید، به این صورت که در روش آماری تک متغیره مس، مولیبدن و تنگستن دارای چولگی و کشیدگی مثبت هستند. در روش آماری دو متغیره تا حدودی همبستگی مس با مولیبدن و

¹ Rotate Component Matrix

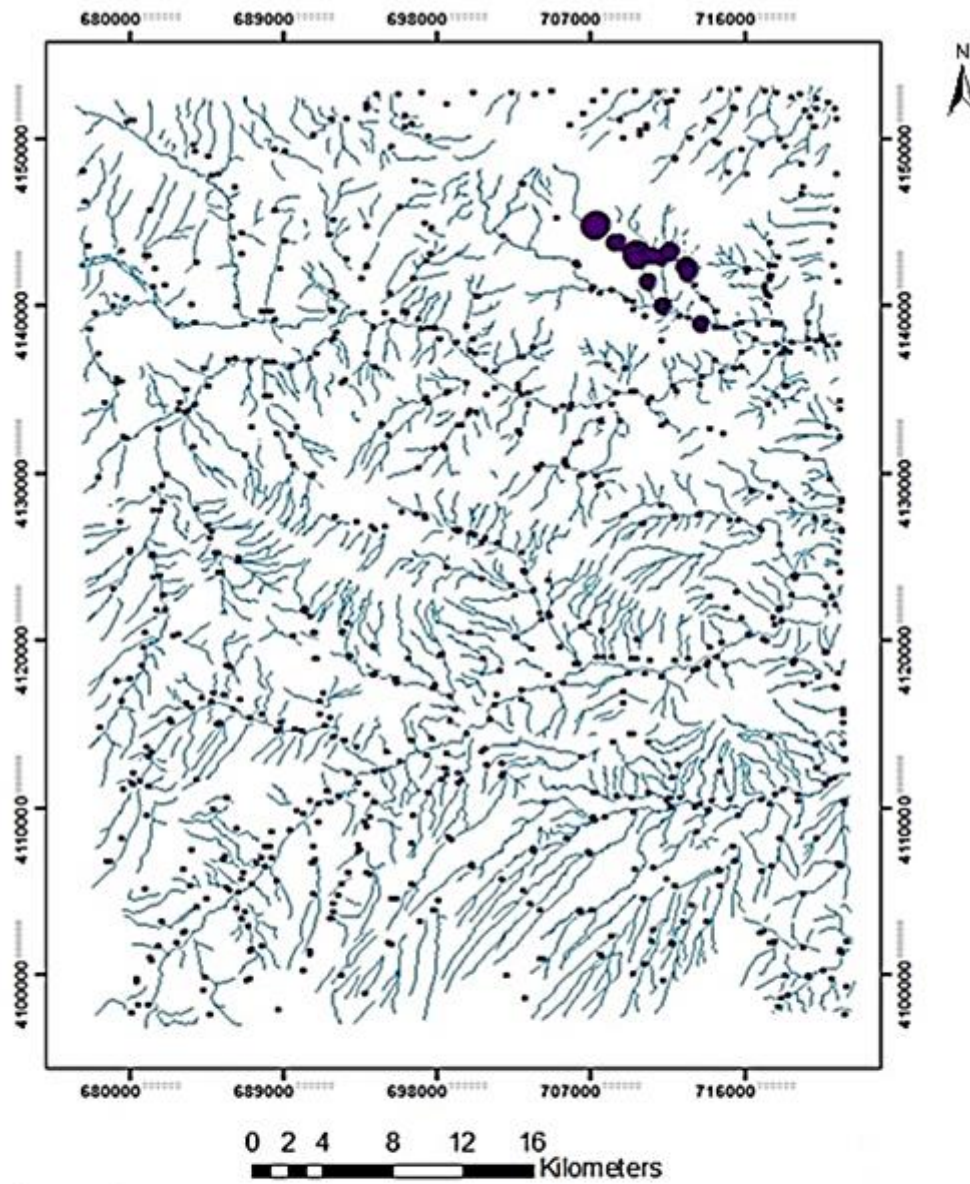
تنگستن مشاهده می‌شود. در نمودار خوشه‌ای عناصر مشاهده می‌شود که عناصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت با هم پاراژنز بوده و در یک گروه قرار دارند. علاوه بر این عناصر، عناصر دیگری از قبیل کادمیوم، سرب و روی و همین‌طور پتاسیم، روبیدیوم و برلیوم نیز با هم پاراژنز هستند. با توجه به جدول حاصل از آزمون مولفه‌های اصلی نیز عناصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت در PC دوم بیشترین مقدار خود را دارا می‌باشند. با توجه به نتایج حاصل از این روش‌ها و قرار گرفتن عناصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت در یک گروه، می‌تواند نشان‌دهنده‌ی کانی‌سازی مس پورفیری باشد.

۴-۵- نمایش آنومالی‌های ژئوشیمیایی منطقه با داده‌های موجود در محیط GIS

داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای در ورقه‌ی هشترود، در محیط نرم‌افزار GIS مورد پردازش قرار گرفت و نتایج حاصل از آن به صورت نقشه‌هایی که در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) و (۴-۷) مشاهده می‌شود، درآمد. در شکل (۴-۵) دایره‌های بزرگ که در یک قسمت تجمع دارند، نقاط دارای آنومالی یا تجمع غیرعادی مس را به نمایش می‌گذارند. شکل (۴-۶) نیز با وارد کردن داده‌های حاصل از PC دوم در محیط GIS که حاصل پاراژنز چهار عنصر مس، مولیبدن، تنگستن و بیسموت است، به دست آمده است. دایره‌های بزرگی که در یک نقطه تجمع دارند، نشان‌دهنده‌ی این هستند که هر چهار عنصر در این منطقه آنومالی دارند. شکل (۴-۷) نیز با وارد کردن داده‌های حاصل از PC اول در محیط GIS که حاصل پاراژنز عناصر کبالت، سزیم، آهن، منگنز، نیوبیم، اسکاندیم، تلوریم، توریم، تانتالیم، تیتانیوم، اورانیم، وانادیم است. نقشه‌های به دست آمده نیز نشان‌دهنده‌ی وجود تمرکز غیر عادی مس در منطقه است.



شکل ۴-۵ نقشه‌ی پراکندگی غلظت عنصر مس در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌رود.

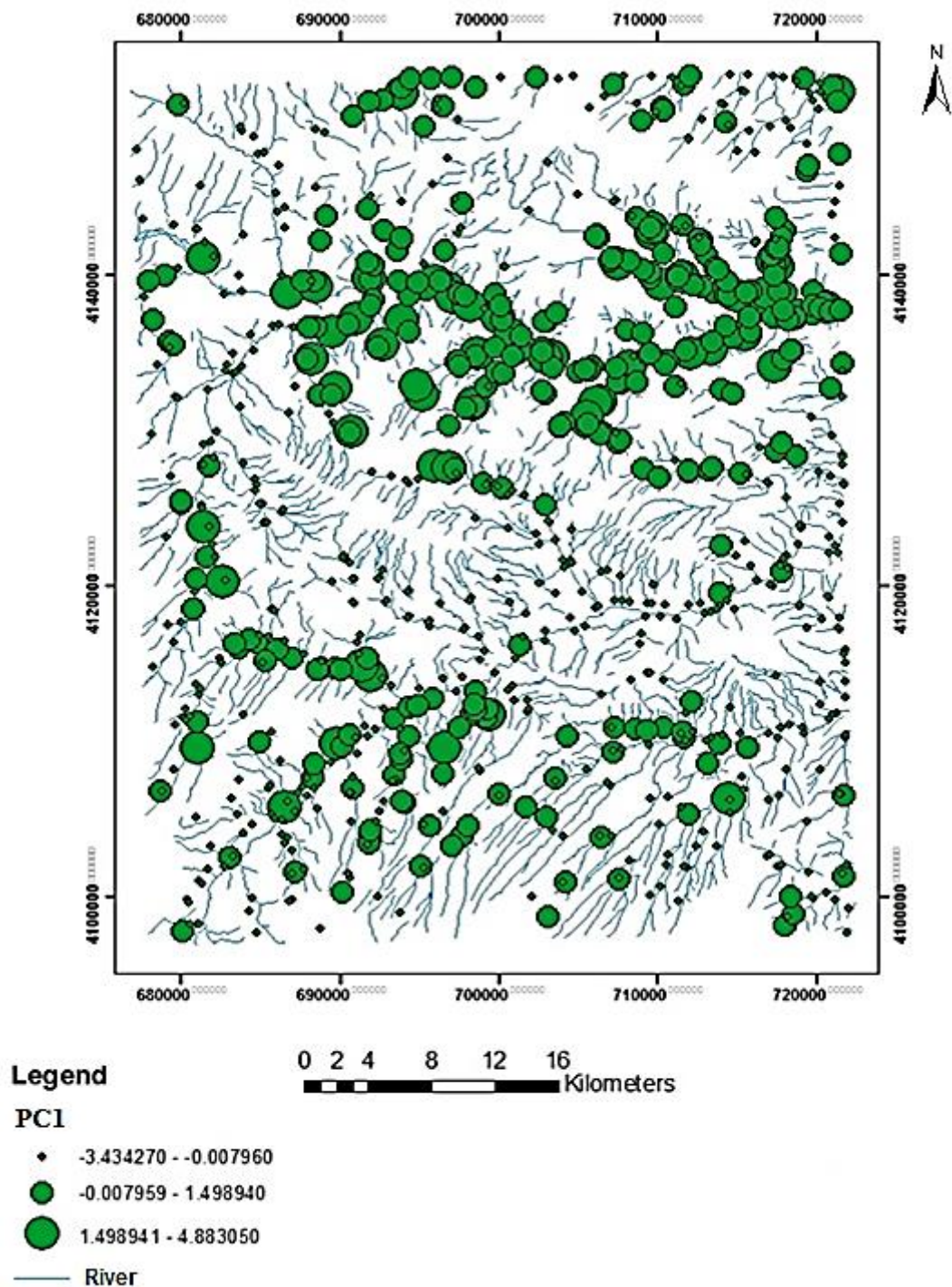


Legend

PC2

- -5.014962 - 1.439892
- 1.439893 - 6.759534
- 6.759535 - 14.669896
- River

شکل ۴-۶ نقشه‌ی پراکندگی مقادیر عاملی شماره‌ی دو (Cu, Mo, W, Bi) در ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود.



شکل ۴-۷ نقشه‌ی پراکندگی مقادیر عاملی شماره‌ی یک (U، Ti، Tl، Th، Te، Sc، Nb، Mn، Fe، Cs، Co) در ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود.

فصل پنجم

مطالعات معناطیس، هواپرد

۵-۱- مقدمه

مشاهده‌ی علمی و ساختار میدان مغناطیسی زمین از حدود ۵۰۰ سال پیش آغاز شده‌است. ویلیام گیلبرت اولین جزوه‌ی عملکرد و بررسی علمی میدان مغناطیسی زمین را به عنوان مغناطیس انتشار داد. در این بررسی گیلبرت نشان داد علت آن‌که عقربه قطب‌نمای زمین به سمت قطب شمال می‌ایستد، این است که زمین خود به عنوان یک مغناطیس بزرگ رفتار می‌نماید. او همچنین نشان داد که میدان مغناطیسی زمین تقریباً معادل میدان مغناطیسی میله‌ای آهنربایی است که در امتداد محور چرخش زمین قرار گرفته است. در اواسط قرن بیستم کارل فردریش گائوس ضمن تایید مشاهدات گیلبرت نشان داد که مشاهدات حاصل از میدان مغناطیسی بر روی سطح زمین نمی‌توانند براساس منابع مغناطیسی خارج از زمین باشند و بلکه می‌بایست منبعی در درون زمین داشته باشند (کلاگری، ۱۳۸۹).

در این بخش داده‌های ژئومغناطیس هوابرد توسط نرم افزار ژئوسافت و با اعمال فیلترهای مختلفی نظیر فیلتر برگردان به قطب، روند سطحی، مشتق قائم، گسترش میدان به سمت بالا و فیلتر زاویه‌ی تمایل پردازش شده و مورد تفسیر قرار گرفته است.

۵-۲- خودپذیری سنگ‌ها و کانی‌ها

با وجود این‌که ساختار مغناطیسی نمودن القایی می‌تواند کمی پیچیده باشد، میدان ایجاد شده به وسیله‌ی این ساختار را می‌توان به اجزای مشخص و ساده‌ی خودپذیری مغناطیسی تفکیک کرد. با این وجود همان‌طور که در جدول (۵-۱) نیز دیده می‌شود، تشخیص انواع کانی‌ها از روی اطلاعات خودپذیری مغناطیسی ارائه شده موضوع بسیار دشوارتری از تشخیص این نوع سنگ‌ها از طریق جرم مخصوص است. بر خلاف جرم مخصوص، بازه‌ی بزرگی از مقدار خودپذیری نه تنها در بین انواع سنگ‌ها بلکه در نوع مشابه سنگ و کانی نیز مشاهده می‌شود. هم‌چنین مشاهده‌ی خودپذیری با بزرگای متفاوت در حد چند برابر در بین نمونه‌های سنگ‌های آذرین غیر معمول نیست. به علاوه همانند جرم مخصوص، یک هم پوشانی قابل

توجه در بین خودپذیری‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد. در نتیجه، تنها وجود اطلاعات در مورد خودپذیری مغناطیسی نمی‌تواند به طور کامل نوع سنگ را مشخص کند و تنها وجود اطلاعاتی در مورد نوع سنگ می‌تواند مشخص کننده‌ی مقدار خودپذیری مغناطیسی باشد. بازه‌ی بزرگ مقادیر خودپذیری بیان می‌دارد که تغییرات مکانی در میدان مغناطیسی مشاهده‌ای زمین می‌تواند به آسانی تحت تاثیر ساختارهای زمین‌شناسی باشد، هرچند که تغییرات در نوع سنگ مفروض نیز می‌تواند زیاد باشد. بنابراین ایجاد تصحیحات برای مشاهدات میدان مغناطیسی براساس مقداری از خودپذیری به عنوان خودپذیری مفروض دشوار است (کلاگری، ۱۳۸۹).

جدول ۵-۱: خودپذیری برخی از مواد معدنی و سنگ‌ها (Telford et al., 1991).

ماده مورد نظر	خودپذیری در سیستم SI ($\times 10^3$)	ماده مورد نظر	خودپذیری در سیستم SI ($\times 10^3$)
هوا	تقریباً صفر	ماسه سنگ	۱-۲۰
کوارتز	-۰/۰۱	شیل	۰/۰۱-۱۵
سنگ نمک	-۰/۰۱	شپست	۰/۳-۳
کلسیت	-۰/۰۰۱ - ۰/۰۱	گنیس	۰/۱-۲۵
اسفالریت	۰/۴	اسلیت	۰-۳۵
پیریت	۰/۰۵-۵	گرانیت	۰-۵۰
هماتیت	۰/۵-۳۵	گابرو	۱-۹۰
ایلمنیت	۳۰۰-۳۵۰۰	بازالت	۰/۲-۱۷۵
مگنتیت	۱۲۰۰-۱۹۲۰۰	پریدوتیت	۹۰-۲۰۰
لیمونیت	۰-۳		

۵-۳- خواص مغناطیسی سنگ‌ها و کانی‌ها

مواد از نقطه نظر خواص مغناطیسی به سه دسته‌ی، دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس تقسیم می‌شوند (حیدریان شهری، ۱۳۸۴).

الف- کانی‌های دیامغناطیس

این کانی‌ها، گروهی هستند که ضریب القای مغناطیسی آن‌ها منفی و قابلیت نفوذ مغناطیسی آن‌ها کمتر از واحد است. بیشتر اجسام موجود در طبیعت، دارای خاصیت دیامغناطیس هستند و میدان مغناطیسی القایی که در آن‌ها به وجود می‌آید، در خلاف جهت میدان القا کننده است. اگر میدان خارجی حذف شود، این‌گونه اجسام نیز مغناطیس القایی خود را از دست می‌دهند. از جمله مواد معدنی مهمی که دارای این خاصیت هستند می‌توان کوارتز، مرمر، گرانیت، سنگ نمک، ژیپس و انیدریت را نام برد.

ب- کانی‌های پارامغناطیس

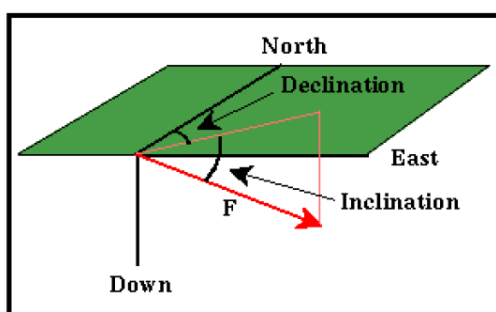
ضریب القای مغناطیسی این کانی‌ها، مثبت و قابلیت نفوذ مغناطیسی‌شان، بزرگ‌تر از واحد است. میدان مغناطیسی القایی این اجسام در جهت میدان خارجی است و خاصیت مغناطیسی شدن آن‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد، به طوری که هر جسم در دمای خاصی موسوم به نقطه کوری (Curie Point)، به کلی خاصیت مغناطیسی را از دست می‌دهد. بسیاری از ترکیبات آهن نظیر لیمونیت، هماتیت، سیدریت، پیریت، بیوتیت، پیروکسن و الیوین، دارای این خاصیت هستند. همچنین سنگ‌هایی نظیر گنایس، پگماتیت، دولومیت، سینیت و سنگ‌های مشابه، که حاوی کانی‌های آهن به‌ویژه مگنتیت و یا ایلمنیت هستند، این خاصیت را دارند.

ج- کانی‌های فرومغناطیس

کانی‌های فرومغناطیس گروهی هستند که ضریب القایی و قابلیت نفوذ مغناطیس‌شان خیلی بالاست. از جمله این مواد می‌توان کانی‌های مگنتیت و ایلمنیت و عناصر آهن، کبالت، کروم و نیکل را نام برد. در مورد کانی‌های فرومغناطیس نیز با افزایش درجه حرارت، خاصیت مغناطیسی کاهش می‌یابد و در نقطه‌ی کوری، خاصیت خود را از دست می‌دهند. مثلاً نقطه کوری مگنتیت ۵۷۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و آهن فلزی، ۷۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

۴-۵- اجزای میدان مغناطیس

میدان مغناطیسی، تنها در یک راستای قابل تعریف مشاهده نشده و عمل نمی‌کند. بنابراین پژوهشگران علوم زمین برای تعریف میدان مغناطیسی در هر نقطه‌ی کره‌ی زمین واژه‌ها و تعاریف مناسب به کار می‌برند. در هر نقطه‌ای در روی سطح زمین میدان مغناطیسی F دارای بزرگی و جهت‌یابی در امتدادهای مختلف است و مطابق شکل (۱-۵) استفاده از مولفه‌های زیر برای بیان میدان مغناطیسی کاربرد دارد.



شکل ۱-۵: اجزای میدان مغناطیسی

۱- زاویه‌ی انحراف^۱: زاویه‌ای است که میان شمال جغرافیایی و امتداد تصویر میدان مغناطیسی در صفحه‌ی افق تشکیل می‌شود. این زاویه با علامت مثبت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بیان می‌شود و مقدار آن از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می‌کند.

۲- زاویه‌ی میل^۲: زاویه‌ای میان بردار میدان کل مغناطیسی و امتداد تصویر آن در صفحه‌ی افقی است که اگر مقدار این زاویه مثبت باشد نشانه‌ی آن است که جهت میدان به سمت پایین است و مقادیر منفی بیان‌گر آن است که جهت میدان مغناطیسی به سمت بالا است و تغییرات زاویه‌ی میل می‌تواند بین ۹۰ تا -۹۰ درجه باشد.

¹ Declination

² Inclination

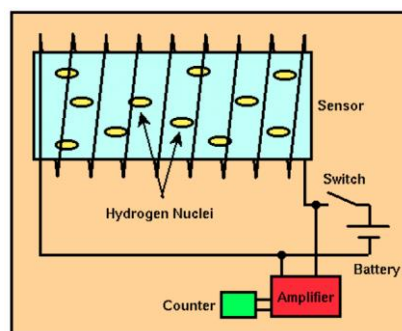
۳- استوای مغناطیسی: مکانی بر روی سطح زمین است که در آنجا زاویه‌ی میل صفر است و یا به عبارتی بردار میدان کل مغناطیسی در صفحه افق قرار دارد این مکان با استوای جغرافیایی ارتباطی ندارد.

۴- قطب مغناطیسی: مکانی بر روی سطح زمین است که در آنجا زاویه‌ی میل ۹۰ درجه بوده و به عبارتی بردار میدان کل مغناطیسی زمین عمود است. این مکان نیز ارتباطی با قطب‌های جغرافیایی ندارند. لازم به ذکر است که میدان اصلی مغناطیسی زمین شامل بخش‌هایی مانند میدان القا شده‌ی حاصل از سنگ‌های پوسته و بخش‌های دیگری است که منشأ خارجی دارند. میدان اصلی مغناطیسی زمین بخشی از این میدان است. اعتقاد بر آن است که منشأ این بخش در هسته‌ی خارجی بوده و تشکیل‌دهنده‌ی بخش عمده‌ی میدان مغناطیسی زمین می‌باشد که موجب القا شدن خاصیت مغناطیسی در سنگ‌های پوسته‌ی زمین شده و از این خاصیت اصلی و مهم در اکتشافات استفاده می‌شود. در پیمایش‌های مغناطیسی معمولاً واحد اندازه‌گیری میدان مغناطیسی برحسب نانو تسلا یا گاما بیان می‌شود (Telford et al., 1991).

۵-۵- اندازه‌گیری و برداشت داده‌های مغناطیسی

۵-۵-۱ مغناطیس‌سنج Proton Precession

اغلب برداشت‌های هوایی، از جمله در پیمایش داده‌های مغناطیس منطقه‌ی مورد مطالعه از این نوع مغناطیس‌سنج (شکل ۵-۲) استفاده می‌کنند. برخلاف مغناطیس‌سنج فلاکس‌گیت، این نوع از مغناطیس‌سنج‌ها تنها می‌توانند بزرگی میدان کلی مغناطیسی زمین را مشخص کنند.

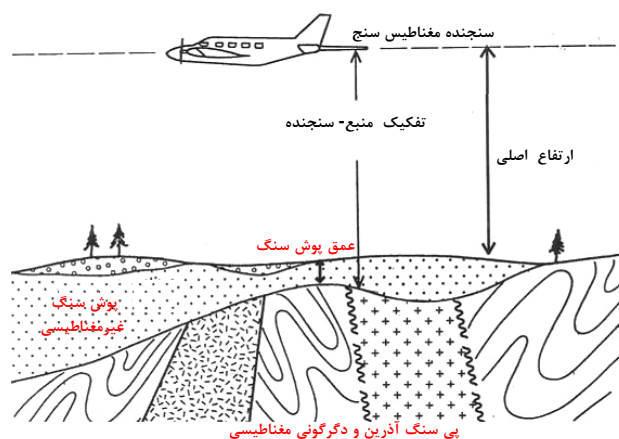


شکل ۵-۲: ساختار نمادین (راست) و نمایی از کار با مغناطیس سنج Proton Precession

بخش حساس این نوع مغناطیس سنج به شکل استوانه است که به وسیله مایعی اشباع از اتم‌های هیدروژن پر شده و با یک سیم پیچ احاطه شده است. مایعی که درون استوانه وجود دارد شامل بخش‌هایی مانند آب، نفت و الکل است. این بخش حساس، به وسیله یک سیم رابط به بخشی که شامل قسمت‌هایی مانند باتری، کلید الکترونیکی، تقویت کننده و شمارنده‌ی فرکانس است، مرتبط می‌شود. وقتی که کلید بسته می‌شود، جریان مستقیم از باطری در سیم پیچ ایجاد می‌شود که در نتیجه، میدان مغناطیسی نسبتاً قوی در سیال موجود در استوانه به وجود می‌آید. هسته‌های اتم هیدروژن یا به عبارتی پروتون‌های اتم هیدروژن که مانند دو قطبی‌های کوچک در حال گردش هستند، در جهت میدان به وجود آمده گردش می‌کنند و جهت می‌گیرند. سپس، جریان باتری توسط باز شدن کلید درون سیم پیچ قطع می‌شود. اما از آنجایی که میدان مغناطیسی گشتاوری در جهت گردش پروتون به دور خود (اسپین) ایجاد می‌کند، در نتیجه، پروتون‌ها شروع به حرکت فرره‌ای در حول محوری هم جهت با میدان مغناطیسی می‌کنند. این حرکت فرره‌ای، میدان مغناطیسی متغیر با زمان ایجاد می‌کند که باعث القای جریان متناوب کوچکی در سیم پیچ می‌شود. فرکانس این جریان متناوب، با فرکانس حرکت فرره‌ای پروتون برابر است. بنابراین بزرگی میدان مغناطیسی را می‌توان با دقت تعیین کرد. حد حساسیت این دستگاه در حدود 0.1 نانو تسلا است (Telford et al, 1991).

۵-۵-۲- روش مطالعاتی مغناطیس‌سنجی هوایی

این روش یکی از روش‌های مطالعات ژئوفیزیکی است که جهت اکتشاف منابع طبیعی به ویژه مواد معدنی از آن استفاده می‌شود. در واقع روش مغناطیس‌سنجی هوایی، زیرشاخه‌ای از روش اکتشافی مغناطیس‌سنجی است که با استفاده از هلیکوپتر و یا هواپیما عملیات برداشت داده‌ها صورت می‌گیرد (شکل ۵-۳). استفاده وسیع روش مغناطیس‌سنجی هوایی با توجه به پیشرفت تکنولوژی در زمینه دستگاه‌های اندازه‌گیری و نیز سکوه‌های مورد استفاده در شروع مطالعات ژئوفیزیک اکتشافی غیرقابل انکار است.



شکل ۵-۳: نمایی از پیمایش مغناطیس‌سنجی هوایی

شرکت‌های زیادی در سراسر جهان به منظور اکتشاف منابع هیدروکربوری، مواد معدنی و مخازن زمین‌گرمایی از این روش بهره برده و می‌برند. در ایران متولی انجام این روش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بوده که نتایج این بررسی‌ها به صورت نقشه‌هایی در راستای چهارگوش‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ تقسیم‌بندی‌های کشوری و یا به صورت رقومی قابل دسترس پژوهشگران و علاقمندان است. دقت برداشت مغناطیس‌سنجی هوایی معمولاً به علت به‌کارگیری دستگاه‌های پیشرفته‌تر هوابرد نسبت به

دستگاه‌های قابل حمل زمینی بیشتر است. با وجود هزینه‌ی زیاد به‌کارگیری هواپیما در این روش، اما حساسیت بیشتر در اندازه‌گیری هوایی بیش از روش مغناطیس‌سنجی زمینی است. به منظور انجام این تحقیق داده‌های مغناطیس هوایی ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور خریداری شد.

۵-۳- مزایا و معایب روش مغناطیس‌سنجی هوایی

اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی هوابرد به علت سرعت پیمایش در عملیات شناسایی بسیار مورد توجه است. این سرعت سبب کاهش هزینه در هر خط-کیلومتر برداشت شده و علاوه بر آن از آثار مربوط به تغییرات زمانی میدان مغناطیسی زمین می‌کاهد. عوارض مغناطیسی نامطلوب که در نزدیکی سطح زمین قرار داشته و اغلب در مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی سبب اختلال و نوفه می‌شوند با پرواز هواپیما در ارتفاع کاهش یافته و یا حتی حذف می‌شوند.

در برخی موارد، به منظور شناسایی دقیق‌تر ساختارهای زمین‌شناسی دارای اندازه و عمق معین، ارتفاع پرواز به طور دقیق انتخاب می‌شود. در عملیات مغناطیس‌سنجی هوایی به طور کلی عامل توپوگرافی که گاهی اوقات در اندازه‌گیری زمینی سبب مسائلی می‌شود، ایجاد مشکل نمی‌کند. از این روش می‌توان در مناطقی که محدودیت‌های طبیعی مثل مناطق پوشیده از آب و برف و یا کوهستان‌ها و بیابان‌های غیرقابل دسترس است، استفاده کرد.

به طور کلی برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوایی در مقیاسی بزرگ‌تر برای به نقشه درآوردن ساختارهای زمین‌شناسی به‌کار می‌روند. در مناطقی که توالی مواد رسوبی خیلی ضخیم است گاهی اوقات می‌توان عوارض ساختاری عمده را نیز پیدا کرد. زیرا این توالی شامل افق‌های مغناطیسی است که ممکن است از جنس ماسه‌سنگ، شیل‌های آهن‌دار، توف‌ها یا احتمالاً جریان‌های گدازه‌ای باشند. ولی در بسیاری مناطق، پی‌سنگ آذرین و دگرگونی که در زیر توالی رسوبی قرار دارد، عامل اصلی در کنترل نقش میدان آنومال

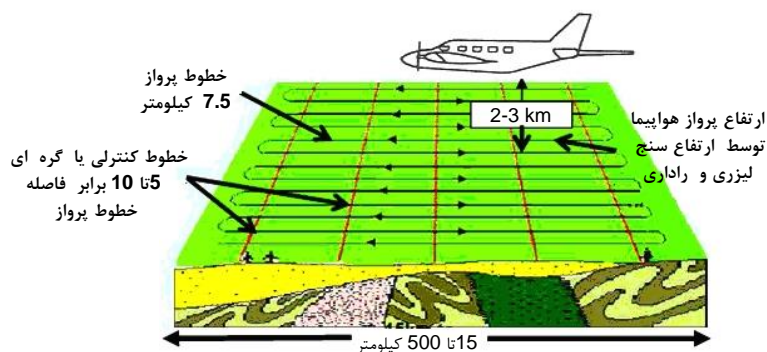
است. در مناطقی که پی‌سنگ در بلندی‌های ساختاری به سطح زمین نزدیک‌تر باشد، آنومالی‌های مغناطیسی بزرگتر بوده و با توپوگرافی زیاد مشخص می‌شوند. برخلاف این موضوع، در حوضه‌های رسوبی عمیق، عمدتاً آنومالی با مقادیر کم و خطوط تراز مغناطیسی آرامی را ایجاد می‌کنند. در برخی مناطق با این ویژگی زمین‌شناسی می‌توان با بررسی کیفی نه کمی آنومالی‌های مناسب، ایده‌ی خوبی از ضخامت پوشش رسوبی پیدا کرد. اغلب شکل منحنی‌های میدان مغناطیسی تا حدود زیادی به روندهای ساختاری خود پی‌سنگ مربوط است و در برخی موارد با آن می‌توان وضعیت ساختارها، موقعیت چین‌خوردگی‌ها و روند گسل‌ها را در رسوبات فوقانی تعیین کرد.

۵-۴-۵- داده‌های مغناطیس هوایی

داده‌های مورد استفاده در ایران از سری داده‌های مغناطیسی است که بین سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۷۷ میلادی با دو برداشت مغناطیسی هوابرد با حساسیت بالا توسط شرکت ایرسرویس^۱ برای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام شده است. هدف از انجام این عملیات، کسب اطلاعات بیشتری از تکتونیک و زمین‌شناسی ناحیه‌ای ایران و نیز تعیین مناطق مناسب برای اکتشاف تفضیلی کنسارهای معدنی و منابع هیدروکربنی بوده است. پیمایش‌های مغناطیسی مذکور در دو مرحله زمانی در طی سال‌های ۱۹۷۴-۷۵ و ۱۹۷۶-۷۷ شامل ۸۹۰۵۸ ایستگاه و تقریباً ۱۶۲۶۱۲ کیلومترخط پروازی با فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی یا گره‌ای^۲ ۴۰ کیلومتر انجام شده‌اند (شکل ۵-۴). هواپیمای به‌کار رفته یک هدایت‌گر هوایی دو موتوره بوده که حاوی یک مغناطیس‌سنج بخار سزیم با حساسیت ثبت ۰/۰۲ (نانوتسلا) گاما بوده است (گزارشات مغناطیس هوایی).

^۱. Aero service Houston, Texas

^۲. Tie Line



شکل ۴-۵: نمای شماتیکی از پیمایش مغناطیسی هوابرد با فاصله خطوط پرواز و خطوط کنترلی و ارتفاع پرواز

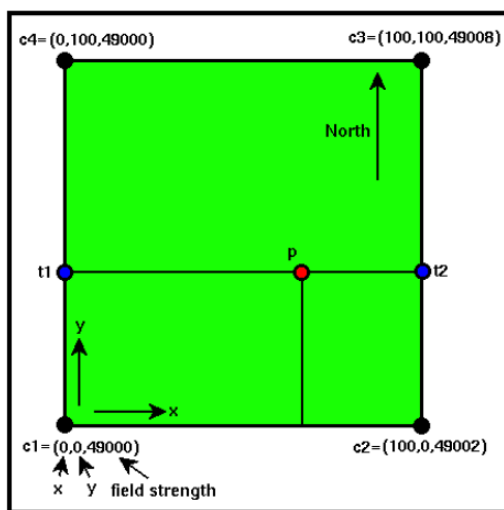
۵-۶- تصحیح و پردازش داده‌های مغناطیسی

پس از پیمایش داده‌های ژئوفیزیکی از جمله روش مغناطیسی، باید تمامی عوامل مزاحمی که سبب ایجاد نویز یا اختلال در اطلاعات اصلی می‌شوند، مشخص شده و حذف شوند. برای تصحیح این گونه داده‌ها، تمام اثرات مربوط به منشأهایی غیر از پوسته‌ی زمین حذف می‌شوند. از جمله اثرات دستگاهی و اختلالات با استفاده از فیلترهای مناسب، اثر میدان مغناطیسی هسته‌ی زمین با استفاده از مقدار ¹IGRF و تغییرات میدان خارجی زمین با استفاده از داده‌های ایستگاه مبنای زمینی از داده‌ها حذف شده و برای هم‌سطح‌سازی داده‌ها از خطوط کنترلی استفاده می‌شود. برای تصحیح داده‌های سامانه موقعیت مکانی (GPS) هواپیما و همچنین تصحیح روزانه‌ی داده‌های مغناطیسی، از ایستگاه مبنا استفاده می‌شود که نزدیک به محل استقرار یا کمپ است. علاوه بر موارد فوق، مواردی که داده‌ها تحت تأثیر میدان‌های مغناطیس قوی ناشی از طوفان‌های مغناطیسی قرار می‌گیرند، باید تصحیح شوند. در پروژه‌ی حاضر با توجه به خریدهای شبکه‌ای ورقه‌ی مورد نظر، تصحیحات روزانه و یا طوفان‌های مغناطیسی روی داده‌های قبلی اعمال شده است و تنها تصحیح IGRF انجام شده است.

¹International Geomagnetic Reference Field

۵-۶-۱- تصحیحات مرتبط با تغییرات میدان اصلی

تصحیحاتی که برای تصحیحات مکانی در شدت میدان مغناطیسی اعمال می‌شود با عنوان تصحیحات ژئومغناطیسی نامیده می‌شوند. یکی از معمول‌ترین روش‌هایی که برای مواجهه با این تغییرات مکانی به کار گرفته می‌شوند، به کار بردن یکی از نمونه‌ها و مدل‌های میدان اصلی مغناطیسی زمین است که از جمله مشهورترین این مدل‌ها، مدل مرجع جهانی ژئومغناطیس (IGRF) است. به کمک این مدل می‌توان تصحیحات دراز مدت میدان مغناطیسی کلی زمین را در نقاط مختلف روی آن محاسبه کرد. یکی از روش‌های مورد استفاده در این زمینه آن است که با استفاده از درون‌یابی خطی، مقادیر محاسبه شده در رئوس منطقه را به سایر نقاط مورد برداشت نسبت داد (شکل ۵-۵) (کلاگری، ۱۳۸۹).



شکل ۵-۵: درون‌یابی خطی در یک برداشت دوبعدی

حال مقادیری از میدان مغناطیسی به وسیله مدل IGRF برای چهار گوشه‌ی منطقه‌ی موردنظر محاسبه می‌شود که این مقادیر عبارتند از: C_4, C_3, C_2, C_1 . حال برای تخمین بزرگی میدان در نقطه‌ای مانند p ابتدا به وسیله دو میان‌یابی خطی در جهت محور y برای رسیدن به نقطه t_1 (به وسیله میان‌یابی بین دو نقطه C_4, C_1) و t_2 (به وسیله میان‌یابی بین دو نقطه C_2, C_3)، در نهایت میان‌یابی بین دو نقطه‌ی t_2, t_1

جواب نهایی به دست خواهد آمد که همان نقطه‌ی p است، ولی در این تحقیق با داشتن موقعیت جغرافیایی نقاط گره در شبکه‌ی داده‌ها مقدار IGRF برای هر نقطه گره‌ای در نرم‌افزار ژئوسافت محاسبه گردید و نقشه‌ی IGRF رسم شد (شکل ۵-۱۰).

۵-۷- آنومالی‌های مغناطیسی

بر خلاف آنومالی‌هایی که بر اثر تغییرات جرم حجمی در لایه‌های زیر سطحی (آنومالی‌های گرانی) ایجاد می‌شوند، آنومالی‌های مغناطیسی بر اثر تغییرات خودپذیری لایه‌های زیرسطحی ایجاد می‌شوند. اما تشخیص آن‌ها به وسیله‌ی حواس مشکل بوده و به همین دلیل است که عوامل متعددی در تعیین شکل این آنومالی‌ها موثر است.

آنومالی‌های مغناطیسی تابعی از دو متغیر وابسته به هم مانند خودپذیری مغناطیسی مواد زیرسطحی (عامل اسکالر) و همچنین جهت میدان مغناطیسی اصلی زمین (عامل برداری) هستند. به عبارتی شکل یک آنومالی مغناطیسی فقط به ابعاد فیزیکی و خودپذیری مغناطیسی توده بستگی ندارد، بلکه به جهت پلاریزاسیون توده و جهت میدان ناحیه‌ای نیز وابسته است (Hinze, 1990). مفهوم آن این است که دو آنومالی مشخص با خودپذیری مغناطیسی برابر در دو نقطه مختلف بر روی زمین با یکدیگر برابر نیستند. یک توده‌ی متقارن در قطب‌های مغناطیسی که جهت میدان ناحیه‌ای و پلاریزاسیون در آن‌ها عمودی است، یک آنومالی متقارن تولید می‌کند.

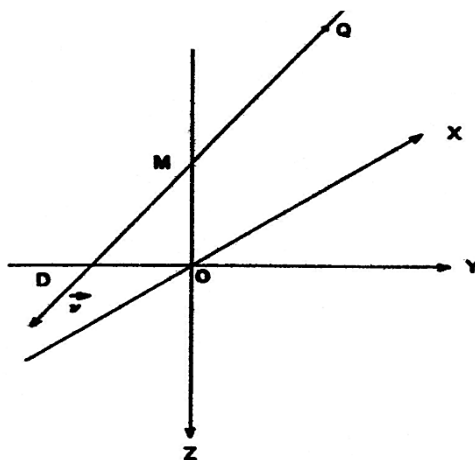
بنابراین روش برگردان به قطب، روشی برای حذف نامتقارنی‌های ایجاد شده به وسیله میدان ناحیه‌ای و پلاریزاسیون غیرعمودی می‌باشد. به عبارت دیگر این روش برای رفع اثرات تغییر شکل ناشی از تغییرات زوایای میل و انحراف پلاریزاسیون مغناطیسی با فرض این که پلاریزاسیون به وسیله‌ی میدان زمین هدایت می‌شود، به کار می‌رود (Hinze, 1990). رفع این انحراف به وسیله روش برگردان به قطب با تعدیل

داده‌ها به حالت تصویری پلاریزاسیون عمودی در قطب‌ها، انجام می‌شود. با این روش آنومالی‌ها بر مرکز توده‌های مولد آنومالی قرار می‌گیرند (Dobrin, and Savit, 1988).

جهت میدان مغناطیسی زمین (میل و انحراف) به صورت تابعی از موقعیت جغرافیایی تغییر می‌کند. زمانی که ناحیه‌ی مورد مطالعه کوچک باشد (از مرتبه 10^2 کیلومتر مربع)، خطای روش برگردان به قطب ناشی از استفاده‌ی یک زاویه میل و انحراف به دلیل تغییرات آرام جهت میدان مغناطیسی کوچک خواهد شد. اما این خطا برای نواحی بزرگ‌تر (از مرتبه 10^4 کیلومتر مربع) به عنوان مثال در مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای اهمیت پیدا خواهد. برای کاهش این خطا باید روش برگردان به قطب بر اساس میل و انحراف مغناطیسی مناسب در هر نقطه مشاهده‌ای طراحی شود.

۵-۷-۱- روش محاسبه‌ی برگردان به قطب

فرض کنید که XOY در شکل (۵-۶) سطح افقی گذرنده از داده‌های میدان مغناطیسی کل اندازه‌گیری شده باشد. در این شکل خط QMD نشان دهنده جهت مغناطیس‌شدگی است. متناظر با هر آنومالی مغناطیسی، یک پتانسیل مغناطیسی V و یک پتانسیل برگردان به قطب U وجود دارد.



شکل ۵-۶ سیستم مختصات انتخابی برای آنالیز و جهت مغناطیس‌شدگی (Bhattacharyya & Chan, 1977)

اگر ds_0 یک المان در امتداد بردار یکه V در جهت مغناطیس شدگی باشد، (Bhattacharyya & Chan, 1977) داریم:

$$V = \frac{dU}{ds_0} \quad (1-5)$$

این معادله نشان می‌دهد که پتانسیل مغناطیسی V به وسیله مشتق اول U در جهت V و برعکس میدان برگردان به قطب به وسیله انتگرال گیری از V در امتداد MQ وقتی که Q به سمت بی‌نهایت میل می‌کند به دست می‌آیند. اگر امتداد MQ برای انتگرال گیری انتخاب شود نه امتداد MD خطی که انتگرال گیری در امتداد آن انجام می‌شود، نباید ناحیه‌ی در برگیرنده‌ی توده‌ی مغناطیسی را قطع کند. میدان مغناطیسی کل یک آنومالی را می‌توان به صورت زیر نشان داد (Bhattacharyya, & Chan, 1977):

$$T = -\frac{d^2U}{ds_0 d\gamma} \quad (2-5)$$

که در آن $d\gamma$ یک المان در امتداد بردار یکه γ در جهت میدان مغناطیسی کل زمین است. در این جا حالتی فرض می‌شود که γ و V در دو جهت اختیاری باشند. با استفاده از پژوهش‌های باتاچاریا و چان¹ (۱۹۷۷)، جهت محاسبه‌ی مقدار RTP از فرمول زیر استفاده شده است که برای تعیین مقادیر از نرم‌افزار ژئوسافت استفاده شده است.

$$(-U)_Q = \frac{1}{2 \sin I_{0s} \sin I_s} \sum_m \sum_n e^{-P_{mn}z} [P_{mn} \cos(k_m x + k_n y) + Q_{mn} \sin(k_m x + k_n y) + R_{mn} \cos(k_m x - k_n y) + S_{mn} \sin(k_m x - k_n y)] \quad (3-5)$$

که در آن:

$$P_{mn} = \frac{1}{p_{mn}^2 + \psi_3^2} (p_{mn} E_{mn} + \psi_3 F_{mn}), \quad Q_{mn} = \frac{1}{p_{mn}^2 + \psi_3^2} (p_{mn} F_{mn} - \psi_3 E_{mn})$$

¹ Bhattacharyya & chan

$$R_{mn} = \frac{1}{p_{mn}^2 + \psi_4^2} (P_{mn} G_{mn} + \psi_4 H_{mn}), \quad S_{mn} = \frac{1}{p_{mn}^2 + \psi_4^2} (P_{mn} H_{mn} - \psi_4 G_{mn})$$

$$E_{mn} = \frac{P_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (A_{mn} - D_{mn}) + \frac{\psi_1}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (B_{mn} + C_{mn}),$$

$$F_{mn} = \frac{P_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (B_{mn} + C_{mn}) - \frac{\psi_1}{p_{mn}^2 + \psi_1^2} (A_{mn} - D_{mn})$$

$$G_{mn} = \frac{P_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (A_{mn} + D_{mn}) + \frac{\psi_2}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (B_{mn} - C_{mn}),$$

$$H_{mn} = \frac{P_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (B_{mn} - C_{mn}) - \frac{\psi_2}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (A_{mn} + D_{mn})$$

$$H_{mn} = \frac{P_{mn}}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (B_{mn} - C_{mn}) - \frac{\psi_2}{p_{mn}^2 + \psi_2^2} (A_{mn} + D_{mn})$$

$$I_s = 180^\circ - I$$

$$\theta_3 = k_m x_I + k_n y_I - z_I \cot I_s (k_m \cos D + k_n \sin D)$$

$$\theta_4 = k_m x_I - k_n y_I - z_I \cot I_s (k_m \cos D - k_n \sin D)$$

$$\psi_3 = \cot I_s (k_m \cos D + k_n \sin D)$$

$$\psi_4 = \cot I_s (k_m \cos D - k_n \sin D)$$

معادله (۳-۵) بسط کامل پتانسیل برگردان به قطب مغناطیسی است که از مقادیر معلوم آنومالی میدان

مغناطیسی کل بر روی یک سطح افقی به دست آمده است. این بسط وقتی که زاویه میل میدان

مغناطیسی کل یا پلاریزاسیون توده‌ی مغناطیسی و یا هر دو صفر یا ۱۸۰ درجه باشد برقرار نیست.

۵-۸- جداسازی و تفکیک آنومالی‌ها

پس از حذف اثر میدان مغناطیس زمین به روش زمین مرجع کردن (IGRF) و تبدیل کل میدان

مغناطیس به قطب (RTP)، میدان کل مغناطیس روی آنومالی‌های مغناطیسی واقع شده و قابل بررسی و

تغییر مدل‌سازی است. برای نیل به این هدف معمولاً از روش‌های مختلف برای اثر ناحیه‌ای آنومالی‌ها

استفاده شده، تا مقدار آنومالی محلی در محدوده ظاهر شود. در ادامه مرسوم‌ترین روش‌ها برای این کار به

اختصار ارائه می‌شود.

۵-۸-۱- روش روند سطحی

یکی از انعطاف پذیرترین روش‌های تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روند سطحی است. در این روش، میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده‌ای به وسیله‌ی روش کمترین مربعات یا روش اورتونرمال تقریب زده می‌شود (Abdelrahman et al., 1985). این روش بر محاسبه‌ی سطحی (به روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد.

در این روش بر داده‌های گرانی مشاهده‌ای، صفحه‌ای عبور داده می‌شود که پیچیدگی معادله‌ی ریاضی آن به روند حاکم بر داده‌ها بستگی دارد. در حالت کلی معادله‌ی صفحه مذکور برای حالت دوبعدی به صورت زیر است (Miller and Singh, 1994):

$$T(x, y) = A_{00} + A_{10}x + A_{01}y + A_{11}xy + A_{20}x^2 + A_{02}y^2 + A_{21}x^2y + \dots + A_{mm}x^m y^n \quad (۴-۵)$$

پس از عبور دادن سطح مزبور بر داده‌های مغناطیس یا گرانی ناحیه برداشت شده، مقدار باقی‌مانده‌ی آن‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_i = G_i - T_i \quad (۵-۵)$$

که در آن G_i داده‌های مشاهده‌ای، T_i پاسخ سطح مزبور به عنوان اثر ناحیه‌ای و R_i نماینده‌ی آنومالی باقی‌مانده است. درجه‌ی روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای بستگی دارد. از درجه‌ی روند سطحی بیشتر برای همپوشانی بین مقادیر سطح مزبور و مقادیر داده‌های مشاهده‌ای در شرایط پیچیده‌تر زمین‌شناسی استفاده می‌شود. بنابراین، مقادیر باقی‌مانده به سمت صفر میل خواهند کرد. در این حالت، تفکیک اطلاعات به دو مولفه‌ی باقی‌مانده و ناحیه‌ای مفهومی نخواهد داشت و به این ترتیب هدف اصلی ممکن است نادیده گرفته شود.

۵-۸-۲- روش گسترش میدان به سمت بالا^۱ (روش ادامه‌ی فراسو)

یکی از روش‌های تفکیک آنومالی میدان‌های پتانسیل (شکل ۵-۷)، روش گسترش میدان به سمت بالا است که روش ادامه‌ی فراسو گفته می‌شود. با کاربرد این روش، تأثیرات سطحی حذف شده و تأثیرات عمیق به وضوح مشخص می‌شوند. در این روش داده‌های میدان پتانسیل به وسیله‌ی معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازوی در بالای آن تصویر می‌شوند. در نقشه‌های تهیه شده به این روش، هرچه از سطح مبنا دور شویم آنومالی‌های کوچک با طول موج کوتاه ضعیف شده و در نتیجه آنومالی‌های منطقه‌ای با طول موج بلند باقی می‌مانند.

فرض کنید که یک سری داده‌های گرانی به صورت $g(x', y')$ بر روی صفحه $S_1(x', y', 0)$ موجود باشد. حال می‌خواهیم مقادیر هم ارز $g(x, y)$ را در یک نقطه $P(x, y, z)$ بر روی صفحه $S_2(x, y, z)$ در بالای صفحه S_1 حساب کنیم که z به طرف پایین مثبت است. آنومالی نقطه مذکور به شکل زیر است [Bhattacharyya, 1972]:

$$g(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-z \cdot G \sigma(x', y') dx' dy'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2]^{3/2}} \quad (۶-۵)$$

در عمل، یک شبکه بر روی نقشه آنومالی بوگه پیاده می‌شود، سپس به مرکز $O(r_i = 0)$ یعنی نقطه‌ای که گسترش برای انجام آن می‌شود، دوایری به شعاع‌های $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ رسم می‌کنند. اگر مقدار متوسط گرانی در روی هر یک از دوایر مذکور $g(r_1), g(r_2), \dots, g(r_n)$ نامیده شود، در این صورت مقدار میدان گسترش یافته به طرف بالا از فرمول زیر مشخص می‌شود:

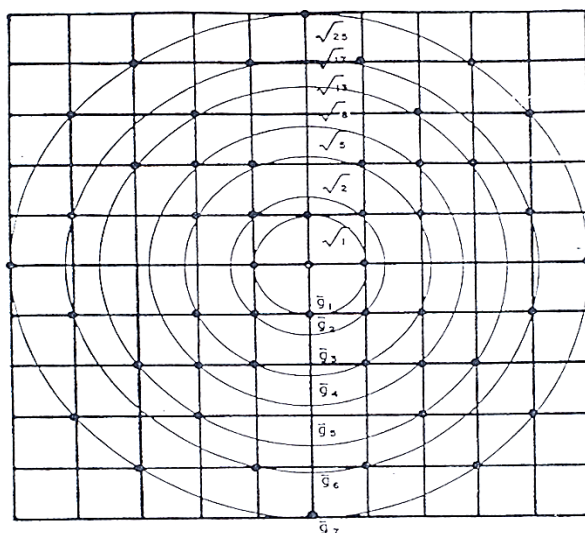
$$U.C. = K_0 g(0) + k_1 \bar{g}(r_1) + K_2 \bar{g}(r_2) + \dots + K_n \bar{g}(r_n) \quad (۷-۵)$$

^۱ Upward Continuation method

$$\sum_{i=0}^x K_i = 1$$

که در آن $\bar{g}(r_i)$ مقدار متوسط گرانی بر روی هر یک از دواير در روی صفحه $z = 0$ ، شعاع دواير r_i ، مختلف؛ k_i ثابت‌های گسترش به سمت بالا و $g(0)$ مقدار آنومالی بوگه بر روی مرکز دواير است. قابل ذکر است که در روش تحلیلی، گسترش میدان به سمت پایین که مشابه روش گسترش دید آن به سمت بالاست، داده‌های گرانی از سطح برداشت بر روی سطوح تراز پایین‌تر از سطح برداشت داده‌ها تصویر می‌شوند. برای اعمال این روش، ابتدا مقادیر آنومالی بوگه شبیه روش گسترش به سمت بالا برای رؤوس شبکه‌های منظم مربعی محاسبه می‌شوند. سپس، دوايري با شعاع‌های مختلف به مرکز رؤوس شبکه رسم شده و مقادیر میدان گرانی گسترش یافته به سمت پایین با تغییر علامت Z به صورت مثبت در رابطه (۵-۶)

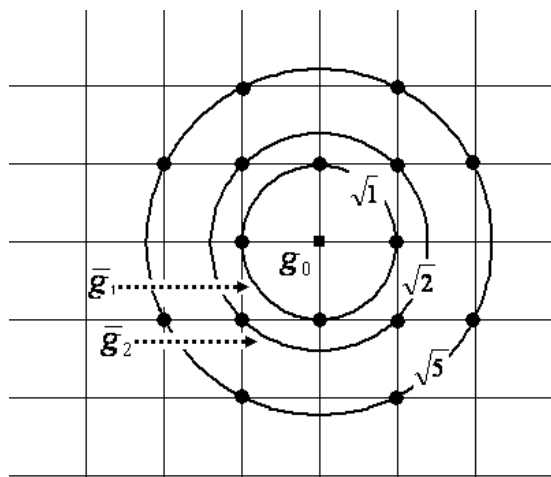
(۶) محاسبه می‌شوند (Robinson and Coruh, 1988).



شکل ۵-۷: تفکیک مقدار مغناطیس باقی‌مانده و ناحیه‌ای با روش گسترش میدان به سمت بالا.

۵-۸-۳- روش مشتق قائم

به منظور بررسی وجود احتمالی ساختارهای کم عمق نظیر گسل، تاقدیس، ناودیس، حفرات زیرسطحی و توده‌های نفوذی از فیلتر مشتق اول قائم که تغییرات میدان را در جهت قائم نشان می‌دهد، استفاده می‌شود. این روش، به عنوان یک ابزار مناسب جهت آشکارسازی مولفه‌های میدان پتانسیل با طول موج کوتاه‌تر مربوط به آنومالی‌های کم عمق است (Robinson and Coruh, 1988). مشتق دوم قائم به طور معمول در آشکارسازی آنومالی‌های محلی که توسط آنومالی‌های ناحیه‌ای محو شده‌اند و نیز برای تشخیص لبه‌های اجسام آنومال، به کار می‌رود. در عمل برای محاسبه مشتق دوم قائم از روش‌های تحلیلی استفاده می‌شود. در این روش‌ها چند دایره متحد‌المركز با شعاع‌های مختلف بکار گرفته می‌شود (شکل ۵-۸). به اثر هر دایره یک ضریب وزنی داده می‌شود.



شکل ۵-۸: تفکیک آنومالی‌های محلی از ناحیه ای به روش مشتق قائم دوم

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{K}{S^2} (k_0 T_0 + k_1 T_1 + k_2 T_2 + \dots) \quad (۵-۸)$$

که T_i مقدار متوسط میدان مغناطیسی بر روی هر یک از دواير ، r_i شعاع دواير مختلف ؛ k_i ضرایب وزنی ($\sum_{i=0}^n k_i = 0$) و $T(0)$ مقدار آنومالی مغناطیسی بر روی مرکز دواير هستند. مقدار مشتق‌ها قادر به تشخیص و تعیین ویژگی‌های نزدیک سطحی با افزایش توان بعد خطی در عمل‌گر هستند، زیرا اثر مغناطیسی به طور معکوس با مربع فاصله تغییر می‌کند.

۵-۹- فیلترهای فازی محلی

به منظور بررسی وضعیت و گسترش افقی اجسام آنومال و همچنین بارزسازی ساختارهای خطی و خطواره‌ها از فیلترهای مختلفی استفاده می‌شود، که در ادامه دو فیلتر ارائه می‌شود.

۵-۹-۱- زاویه‌ی تمایل

فیلتر زاویه‌ی تمایل، یکی از فیلترهای فاز محلی است که ابتدا توسط میلر و سینگ (۱۹۹۴) ارائه شد. از آنجا که این فیلتر مبتنی بر نسبت مشتقات میدان است، لذا در متعادل کردن دامنه‌ی آنومالی‌های عمیق نسبت به آنومالی‌های کم عمق موثر است. اما الزاماً این فیلتر یک فیلتر تشخیص لبه نیست، به عبارتی زاویه‌ی تمایل دامنه‌ی آنومالی‌های عمیق‌تر را نسبت به آنومالی‌های سطحی تقویت می‌کند (Cooper and Cowan 2008).

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\partial T / \partial z}{THDR} \right) \quad (9-5)$$

که در آن T میدان مغناطیسی، TA زاویه‌ی تمایل، $\partial T / \partial z$ مشتق قائم میدان مغناطیسی و $THDR$ مشتق افقی کل هستند.

فیلتر زاویه‌ی تمایل هنگامی که نقاط مشاهده روی چشمه‌ی آنومالی قرار دارد، دارای مقادیر مثبت است. در لبه‌ی آنومالی‌ها مقدار گرادیان قائم برابر با صفر و گرادیان‌های افقی بیشینه هستند، بنابراین مقدار این فیلتر در لبه‌ها برابر با صفر و در سایر نقاط فیلتر دارای مقدار منفی خواهد بود. مقادیر زاویه‌ی تمایل با

صرف نظر از مقدار مشتقات افقی و قائم در بازه‌ی $(-\pi/2, \pi/2)$ قرار می‌گیرند (Miller and Singh, 1994). با اعمال فیلتر زاویه‌ی تمایل بر روی داده‌های گرانی می‌توان موقعیت افقی آنومالی‌ها و نیز گسل‌ها را شناسایی کرد. به کمک زاویه‌ی تمایل می‌توان تا حدودی به جهت شیب گسل نیز پی برد، چون از محل گسل در جهت شیب مقدار زاویه‌ی تمایل منفی است.

۵-۹-۲- مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل

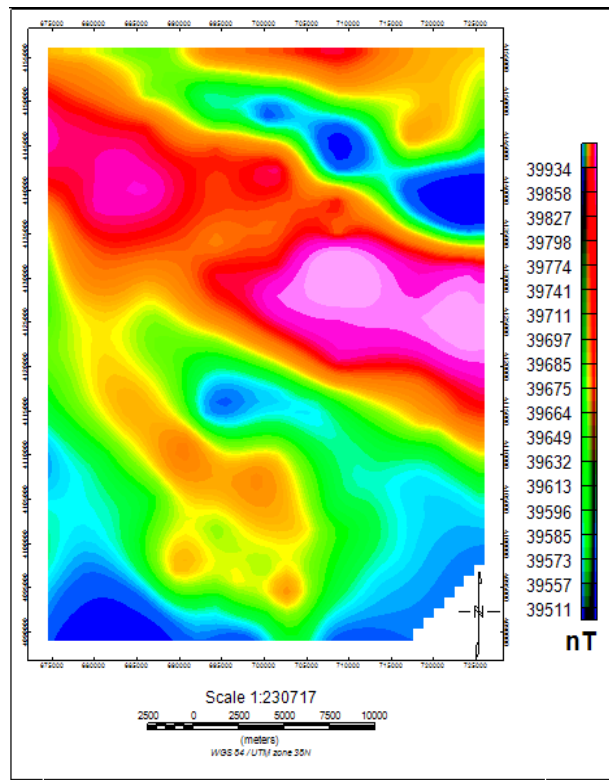
وردوزکو و همکاران (۲۰۰۴) از گرادیان افقی کل زاویه‌ی تمایل (THDR-TA) به منظور آشکارسازی لبه‌ها استفاده کردند (Verduzco et al., 2004).

$$\text{THDR} - \text{TA} = \sqrt{(\partial \text{TA} / \partial x)^2 + (\partial \text{TA} / \partial y)^2} \quad (5-10)$$

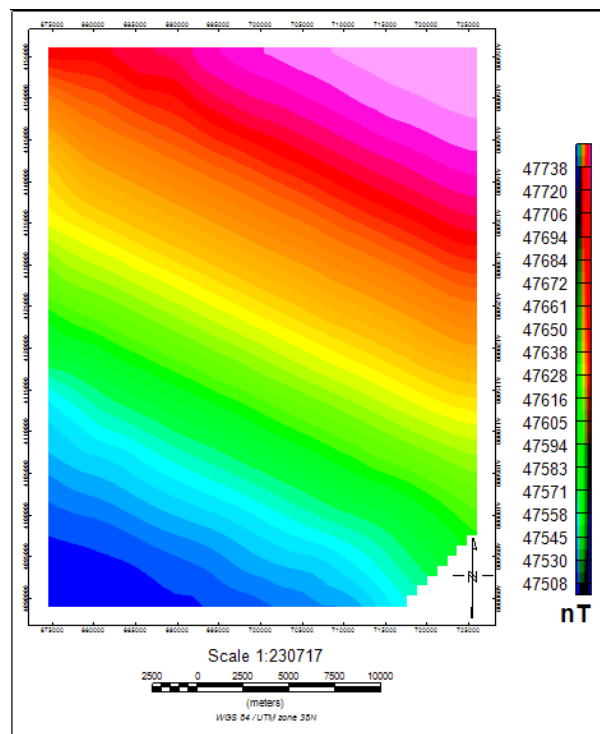
مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل مشابه با سیگنال تحلیلی دو بعدی مستقل از شیب میدان است، ولی نسبت به سیگنال تحلیلی ماکزیمم‌های تیزتری بر روی لبه‌های چشمه‌ی آنومالی تولید می‌کند و با کاهش عرض مدل این ماکزیمم‌ها آهسته‌تر در هم ادغام می‌شوند. بنابراین، مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل قابلیت تفکیک بهتری نسبت به سیگنال تحلیلی دارد، اما چون این فیلتر با مشتق‌گیری از تابعی که خود بر اساس مشتق‌گیری از تابع دیگری به دست می‌آید، بنابراین نسبت به نوفه حساس است (Verduzco et al., 2004).

۵-۱۰- تفسیر و پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد ورقه‌ی یکصد هزار هشترود

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، داده‌های محدوددهی مورد بررسی از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه و خریداری شد. پس از اعمال و حذف اثر IGRF روی داده‌ها در محیط نرم‌افزار ژئوسافت (نسخه‌ی ۶/۴) فیلتر تبدیل میدان به قطب انجام شد. اشکال ۵-۹ و ۵-۱۰ به ترتیب میدان مغناطیسی کل و نقشه‌ی تغییرات مقدار IGRF در منطقه را نشان می‌دهند.



شکل ۵-۹ نقشه‌ی شدت کل میدان مغناطیسی

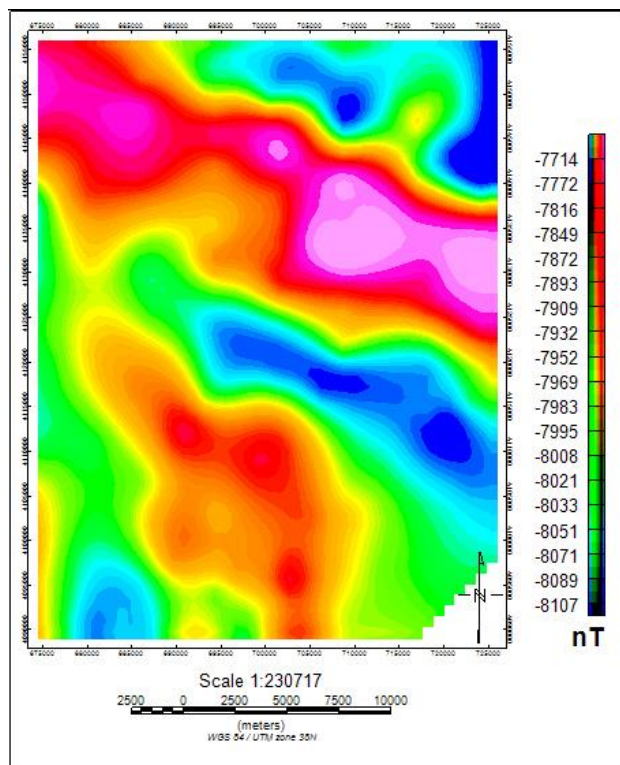


شکل ۵-۱۰ IGRF

۵-۱۰-۱- فیلتر برگردان به قطب روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد هشترود

با اعمال فیلترهای متفاوت بر روی داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه، بررسی از جهات مختلف انجام گرفته و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، منطقه، مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته است. اولین فیلتر اعمال شده، فیلتر برگردان به قطب است. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیب‌دار است، به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان القایی قائم است، منتقل می‌شود. زیرا، اگر میدان زمین مایل باشد شکل ناهنجاری‌های مغناطیسی که به صورت القایی به وجود آمده‌اند، نسبت به منابع به وجود آورنده نامتقارن خواهند بود. ولی در صورتی که میدان القایی قائم باشد، ناهنجاری‌های به وجود آمده در اثر القای مغناطیسی بر روی منبع خودشان قرار می‌گیرند، لذا تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی به طور معمول بر روی تصاویر مختلف برگردان به قطب صورت می‌گیرد.

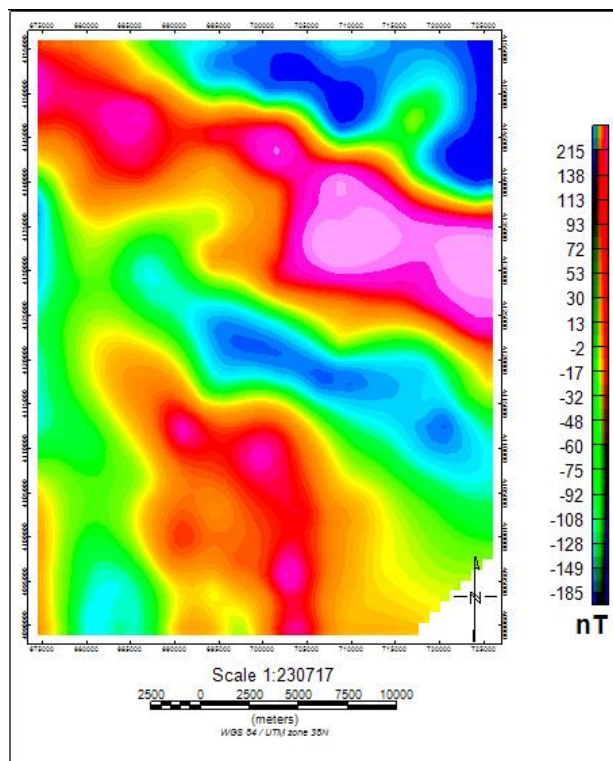
با اعمال این فیلتر روی داده‌های هشترود، جابه‌جایی در موقعیت آنومالی‌ها ظاهر می‌شود که در شکل (۵-۱۱) ارائه شده است. در این شکل آنومالی‌های مثبت مغناطیسی که ناشی از وجود سنگ‌های آذرین نسبت به رسوبی‌ها است، به رنگ قرمز و سایر آنوالی‌ها (منفی) که ناشی از وجود سنگ‌های رسوبی یا مناطق آذرین با دگرسانی شدید است، به رنگ آبی ظاهر می‌شود.



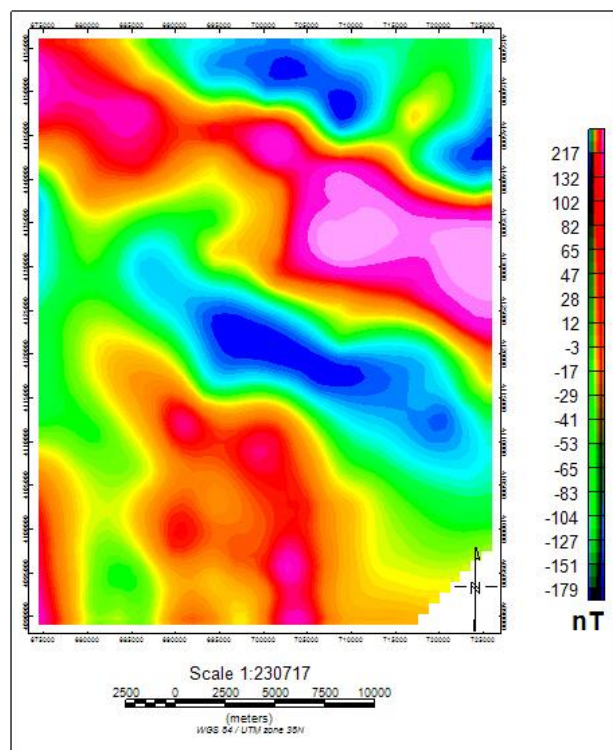
۱۱-۵ نقشه‌ی آنومالی میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب

۵-۱۰-۲- اعمال روش روند سطحی روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد هشترود

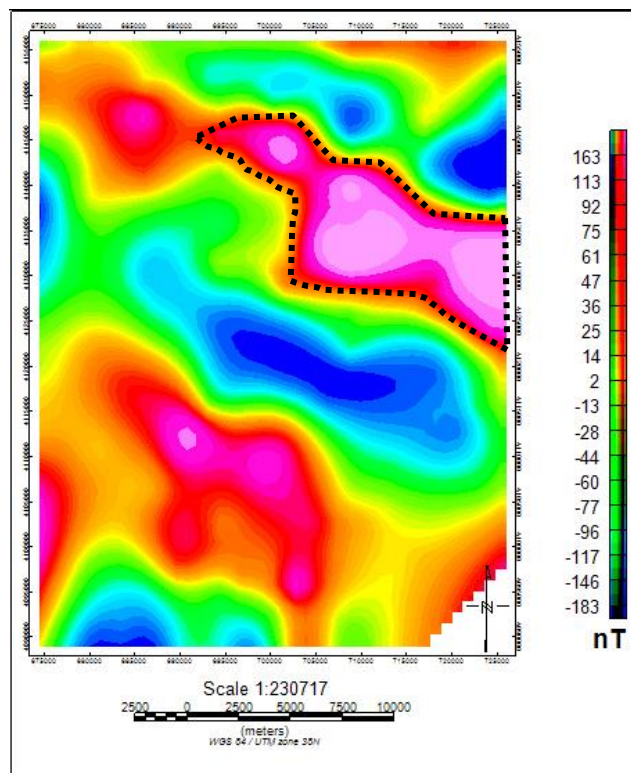
به منظور حذف اثر آنومالی‌های عمیق و اثرات ناحیه‌ای از روش روند سطحی با مرتبه‌های مختلف استفاده شده است. در این روش اثرات ناحیه‌ای با استفاده از چندجمله‌ای‌های با درجات مختلف تخمین زده شده و پس از کسر از مقدار آنومالی، تبدیل به قطب شده، و اثر آنومالی‌های محلی (طول موج کوتاه) بارزتر شده است (اشکال ۵-۱۲، ۵-۱۳ و ۵-۱۴). در شکل (۵-۱۳) توده‌ی نفوذی مشخص شده است.



۱۲-۵ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی اول



۱۳-۵ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی دوم

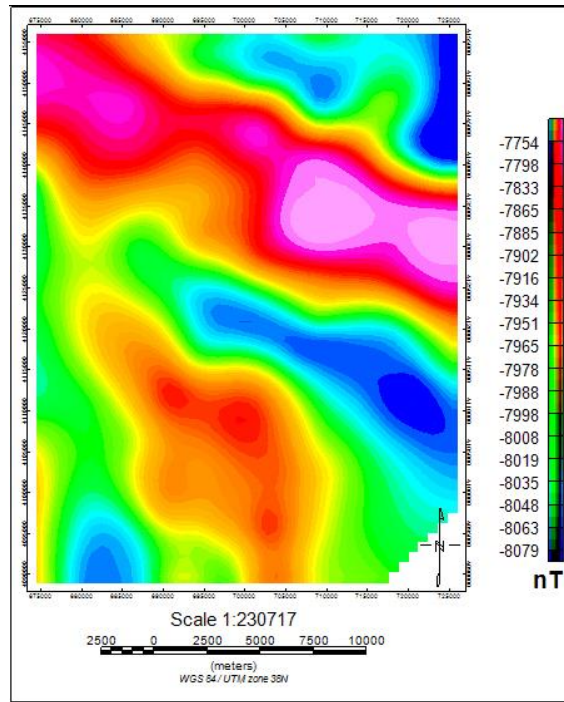


۱۴-۵ نقشه‌ی آنومالی باقی‌مانده‌ی حاصل از حذف روند سطحی مرتبه‌ی سوم

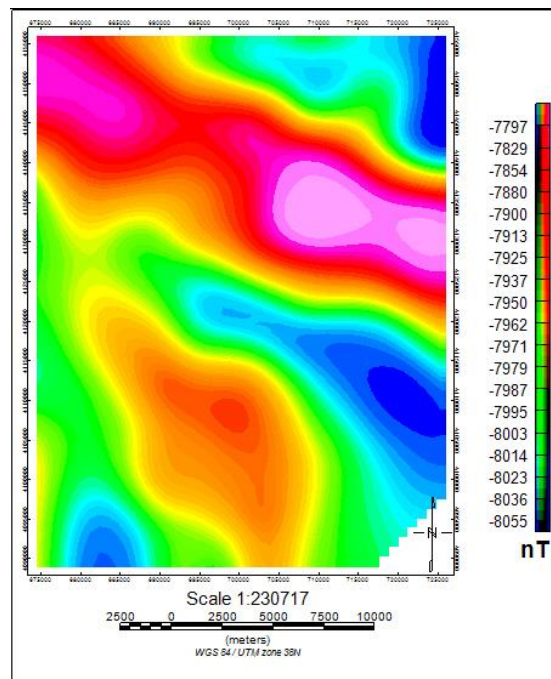
۵-۱۰-۳- اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های ژئومغناطیس هوابرد

هشترود

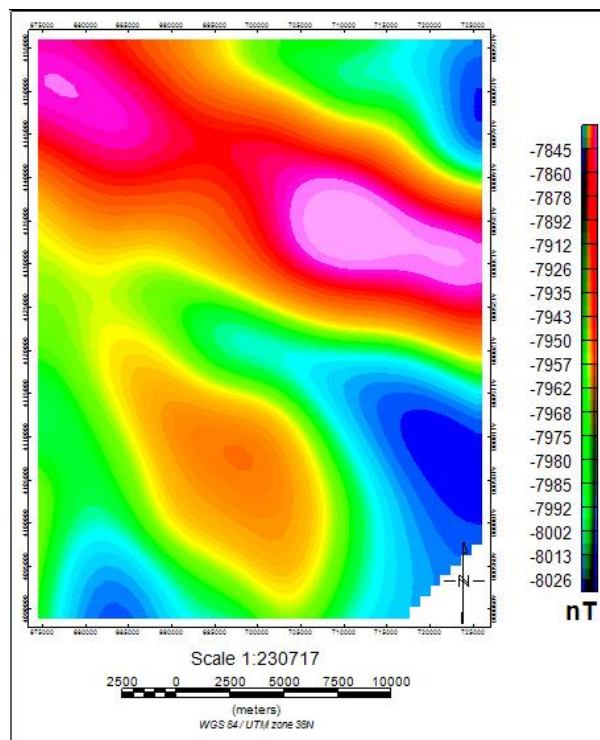
برای تفکیک آنومالی و تفسیر کیفی از عمق آنومالی، از فیلتر گسترش میدان به سمت بالا استفاده می‌شود. فیلتر گسترش به سمت بالا برای ارتفاع ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰، ۷۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ متر محاسبه شده است، و نقشه‌های مربوط به آن رسم شده که در ادامه قابل مشاهده است. در نتایج حاصل از اعمال این روش روی داده‌ها، سبب حذف اثرات محلی شده و آنومالی‌هایی که دارای گسترش وسیع (طول موج بلند) بوده و در اعماق زیاد قرار دارند، مشخص شده‌اند. به این ترتیب اگر اثر آنومالی‌ها روی این نقشه‌ها دیده شود، نشان از ریشه‌دار بودن آن‌ها دارد. بنابراین می‌توان گفت که توده‌های نفوذی موجود در قسمت شمال شرقی نقشه دارای عمق و وسعت بیشتری بوده و از ریشه‌ی عمیقی برخوردارند (شکل‌های ۵-۱۵ تا ۵-۲۰).



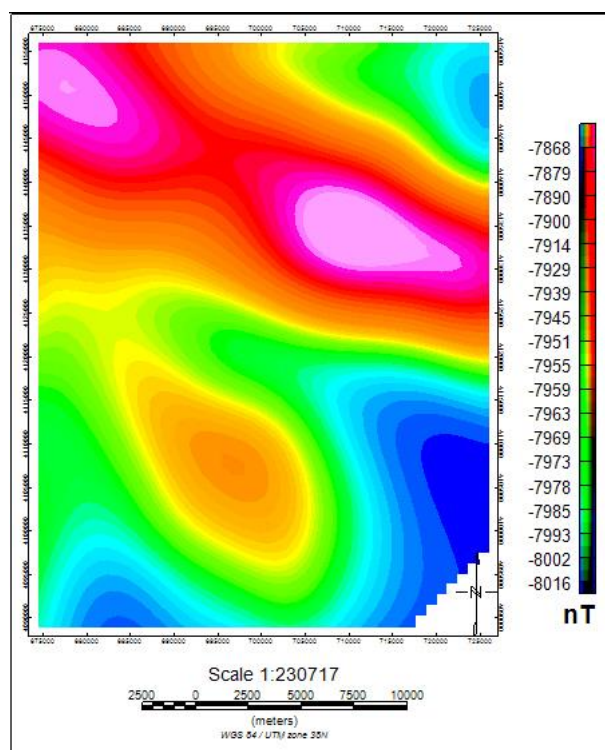
۵-۱۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هشتگرد با ارتفاع ۱۰۰۰ متر



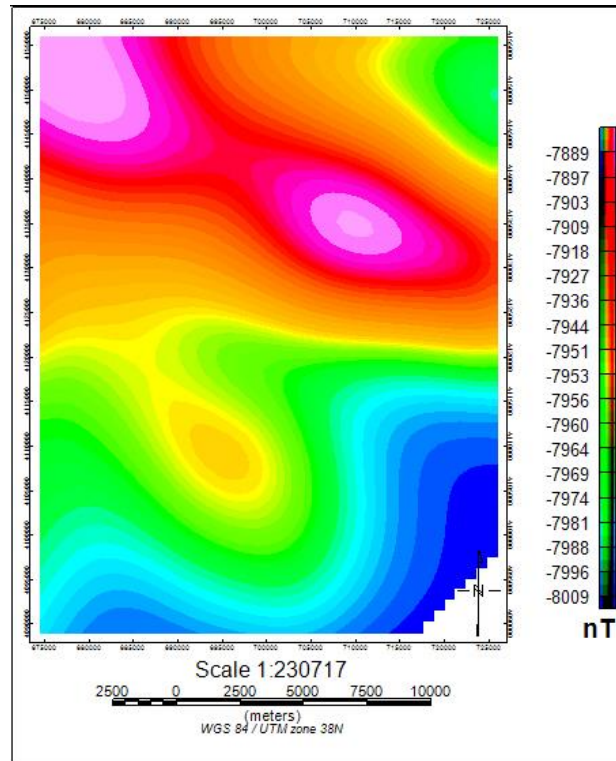
۵-۱۶ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هشتگرد با ارتفاع ۲۵۰۰ متر



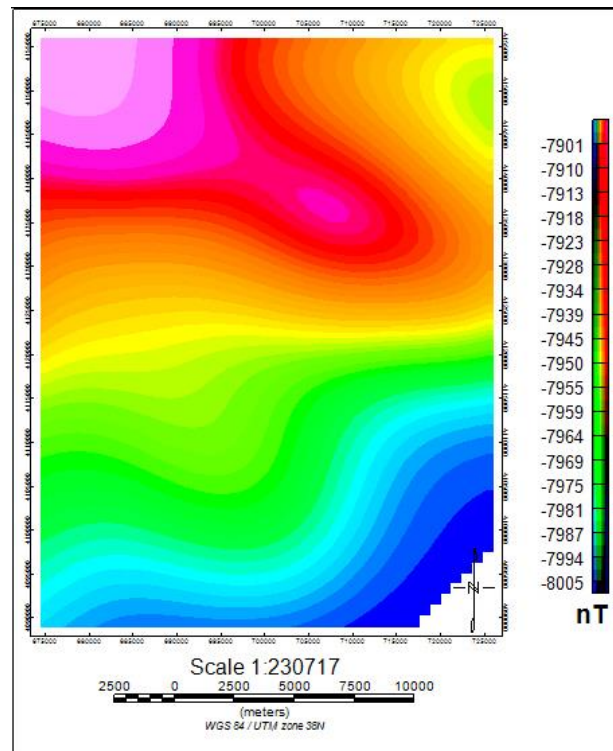
۱۷-۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هشرود با ارتفاع ۵۰۰۰ متر



۱۸-۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هشرود با ارتفاع ۷۰۰۰ متر



۱۹-۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هسترود با ارتفاع ۱۰۰۰۰ متر

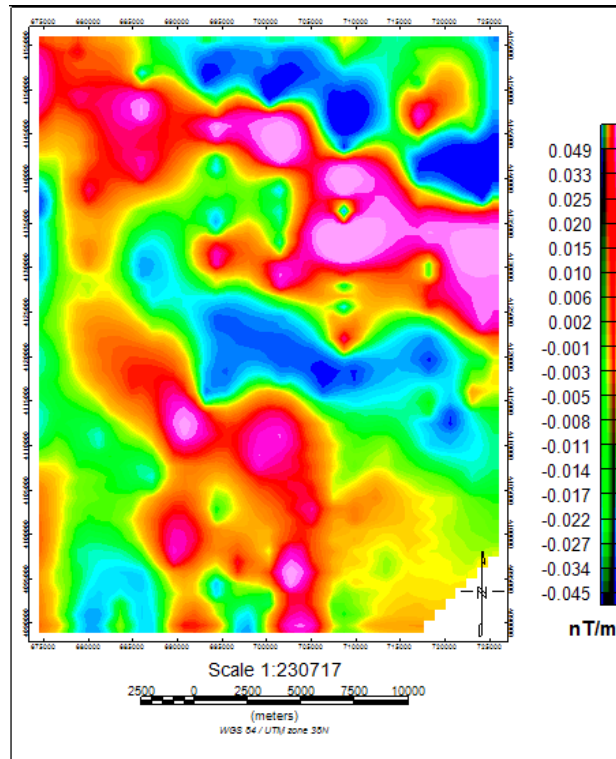


۲۰-۵ نقشه‌ی اعمال روش گسترش میدان به سمت بالا روی داده‌های مغناطیسی هسترود با ارتفاع ۱۴۰۰۰ متر

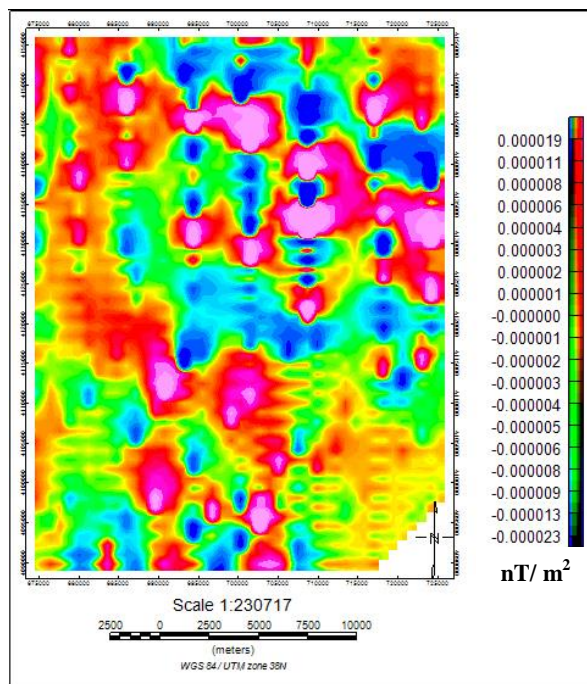
همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع از سطح برداشت داده‌های هوایی، از دقت نمایش منطقه‌ی آنومالی ما کاسته می‌شود تا جایی که در ارتفاع ۱۴۰۰۰ متر از سطح برداشت آنومالی اصلاً مشخص نمی‌شود. این موضوع نشان دهنده‌ی این مطلب است که توده‌های نفوذی در منطقه دارای ریشه‌ی نسبتاً عمیقی است و دگرسانی آن‌ها در بخش‌هایی سبب کاهش اثر مغناطیسی شده است که می‌تواند مرتبط با کانی‌زایی باشد.

۵-۱۰-۴- اعمال روش مشتق قائم (اول و دوم) روی آنومالی‌های مغناطیسی هشت‌رود

پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب، فیلتر بالاگذر مشتق قائم درجه‌ی اول و دوم روی داده‌ها اعمال شده است. برای حذف اثرات ناحیه‌ای با طول موج بلند و تداخل بین ناهنجاری‌های مجاور از فیلتر مشتق قائم استفاده می‌شود. مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است، زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می‌دهد. در نتیجه اثر ناهنجاری‌های بزرگ (ناهنجاری‌های بزرگ مغناطیسی دارای طول موج بلند و بسامد پایین هستند) که مربوط به مناطق عمیق و منطقه‌ای هستند، بر روی ناهنجاری‌های کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌شوند (Silva and Barbosa, 2003). در شکل‌های ۵-۲۱ و ۵-۲۲ که به ترتیب مشتق درجه‌ی یک و دو هستند نیز محل آنومالی مشخص است.



۵-۲۱ نقشه‌ی آنومالی حاصل از فیلتر مشتق قائم درجه‌ی یک

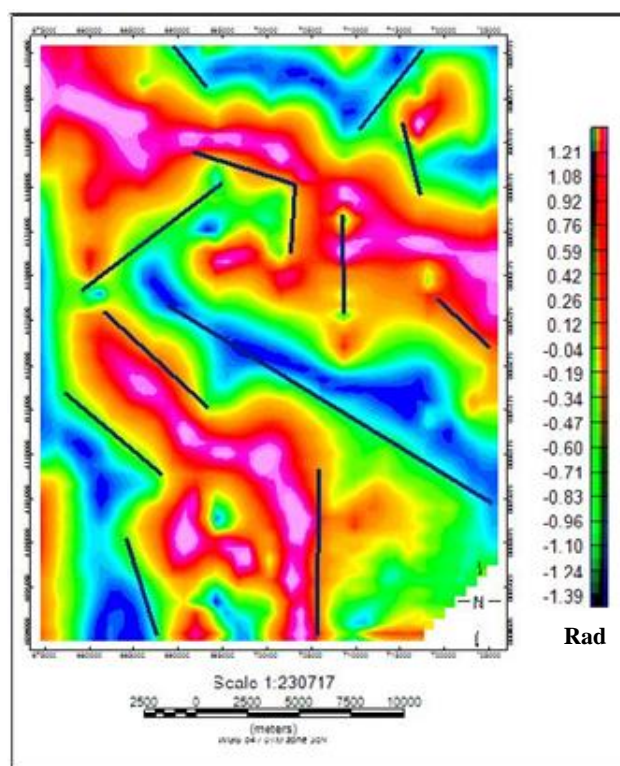


۵-۲۲ نقشه‌ی آنومالی حاصل از فیلتر مشتق قائم درجه‌ی دو

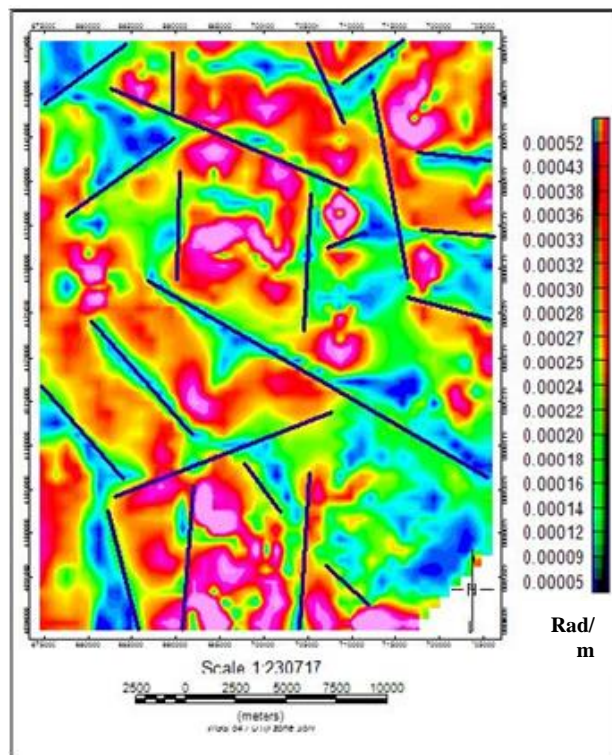
۵-۱۰-۵- اعمال فیلترهای فازی زاویه‌ی تمایل و مشتق کل زاویه‌ی تمایل روی داده‌های

هشترود

ویژگی این فیلتر این است که آنومالی‌ها را صرف‌نظر از عمق قرارگیری‌شان با دقت یکسانی تفکیک می‌کند. این فیلتر بر روی آنومالی، مقدار مثبت یا منفی و بر روی مرز آنومالی، مقدار صفر دارد. در این نقشه تعدادی آنومالی مثبت و منفی دیده می‌شود. بر اساس این دو نقشه، محل خطواره‌های اصلی تا حدودی مشخص شده است، ولی به علت عدم برداشت داده‌ها در فاصله‌ی کم، خطواره‌های کوچک قابل تفکیک و بررسی نیستند (شکل ۵-۲۳ و ۵-۲۴).



۵-۲۳ نقشه‌ی زاویه‌ی تمایل



۵-۲۴ نقشه‌ی مشتق کل زاویه‌ی تمایل

۵-۱۱- شناسایی گسل‌های منطقه

برای شناسایی گسل‌ها در تصاویر حاصل از مغناطیس‌سنجی هوایی از فیلتر فاز محلی یا زاویه‌ی تمایل استفاده می‌شود. با اعمال فیلتر زاویه‌ی تمایل بر روی داده‌های مغناطیسی، بر روی نقشه‌ی به دست آمده می‌توان گسل‌های موجود در منطقه را تا حدودی مشخص نمود، به این صورت که مقدار زاویه‌ی تمایل در حالی که زاویه‌ی میل میدان مغناطیسی ۹۰ درجه است، بر روی گسل صفر است. به کمک زاویه‌ی تمایل می‌توان تا حدودی به جهت شیب گسل نیز پی برد، زیرا از محل گسل در جهت شیب مقدار زاویه‌ی تمایل منفی است (Verduzco et al. 2004).

با توجه به گسل‌های موجود در منطقه روند کلی گسل‌ها شمالی- جنوبی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است

(شکل ۵-۲۴)

در نتیجه، اعمال فیلترهای به کار رفته در این پژوهش به نمایش دادن و مشخص کردن آنومالی‌های موجود در منطقه کمک می‌کند. با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی منطقه‌ی هشتروود و تبدیل آن‌ها به نقشه بر اساس فیلترهای اعمال شده می‌توان توده‌های نفوذی و آنومالی‌های احتمالی موجود در منطقه را شناسایی کرد، با استفاده از فیلتر زاویه‌ی تمایل می‌توان گسل‌های موجود در منطقه را نیز شناسایی کرد. تمام نقشه‌های به دست آمده در این بخش گویای وجود توده‌ی نفوذی و همچنین دگرسانی در قسمت شمال شرقی ورقه‌ی یکصد هزار هشتروود است.

فصل هشتم

تولید و تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش منطق فازی

۶-۱ منطق فازی

۶-۱-۱ مقدمه

منطق فازی نخستین بار در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده معرفی شد و به سرعت جای خود را در رشته‌های فنی و علوم باز کرد و به یکی از مهم‌ترین ابزارها برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و مبهم تبدیل شد. منطق فازی منطق بازه‌هاست، به این معنی که در مقابل منطق کلاسیک که در آن برای گزاره‌های درست، ارزش یک، و برای گزاره‌های غلط، ارزش صفر منظور می‌شود، در منطق فازی الزامی وجود ندارد که این ارزش‌ها صفر و یک باشند، زیرا گزاره‌ها تا حدی درست هستند و در واقع صحیح بودن آن‌ها درجه‌ای است. این درجه را تابعی مشخص می‌کند که تابع عضویت نام دارد و برد آن بازه [۰ و ۱] است (مدنی، ۱۳۹۰). به این ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل و مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه است. در نظریه‌ی فازی مجموعه‌ها، مجموعه‌ی فازی به عنوان زیرمجموعه‌ای از عناصری تعریف می‌شود که درجه‌ی عضویت‌شان در مجموعه‌ی بین صفر و یک است (Zahed, 1965).

علم ریاضیات به شکل کلاسیک آن، نگرشی دو ارزشی به قضایا دارد، بود یا نبود و هست یا نیست، ارزش‌های آن است. از این منظر پاسخ‌های یک مسأله، درست یا نادرست و مقادیر نظیر آن‌ها صفر یا یک است، حالت بینابینی وجود ندارد.

در تحلیل سیستم‌ها، برای سیستم‌هایی که با روابط انسانی سروکار ندارند، از قبیل سیستم‌های مکانیکی، الکتریکی، فیزیکی و نظایر آن‌ها، شکل دوگانه‌ی تحلیل امکان‌پذیر است، در حالتی که این تحلیل برای سیستم‌هایی که با روابط انسانی سروکار دارد، درست کار نمی‌کند. علت آن است که در دنیای واقعیت‌ها پدیده‌هایی فعال هستند که توجیه آن‌ها در چهارچوب یک طیف پیوسته میان بود یا نبود، به طور مناسب‌تری صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، سیستم‌هایی که با روابط انسانی سروکار دارند، فاقد مرزها و محدوده‌های مشخص و دقیق هستند و این سیستم‌ها مرزهای نامعین دارند. در مورد درستی و نادرستی

پدیده‌های واقعی، همواره درجاتی از عدم قطعیت وجود دارد. به عبارت دیگر پدیده‌های واقعی فقط درست یا نادرست نیستند.

در حالت کلی ریاضیات را می‌توان به دو شاخه‌ی کلی ریاضیات کلاسیک و ریاضیات فازی تقسیم کرد. در ریاضیات کلاسیک، استدلال‌ها دقیق و صریح هستند، اما ریاضیات فازی نشان دهنده‌ی استدلال تقریبی است. در منطق کلاسیک (صریح)، استدلال‌ها قطعی هستند، در حالی که در منطق فازی استدلال‌ها نسبی و سیستم‌هایی که با منطق فازی کار می‌کنند، هوشمندتر هستند (مدنی، ۱۳۹۰).

۶-۱-۲ ویژگی‌های مجموعه‌های فازی

داده‌های گردآوری شده از مطالعات زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک، حجم زیادی از اطلاعات در اختیار ما قرار می‌دهند، که تا وقتی به درستی با یک‌دیگر تلفیق و تبدیل به نقشه‌های پتانسیل معدنی مطمئنی نشوند، نتایج مفید و قابل اطمینانی را نشان نمی‌دهند. یک سیستم فازی مبتنی بر منطق فازی را می‌توان به عنوان مبنایی برای بیان شکل‌های مختلف سیستم‌های دانش یا به منظور مدل کردن اثرهای متقابل و روابط بین متغیرهای سیستم به کار برد. اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرمنطقی را توصیف می‌کنند، اما خود تئوری فازی، یک تئوری دقیق است.

دلایل استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد: (حسینی پاک، ۱۳۸۴)

۱- درک تئوری مجموعه‌های فازی از لحاظ مفهومی آسان و مفاهیم ریاضی که پشت استدلال فازی وجود دارند، خیلی ساده است و آنچه که تئوری فازی را جذاب می‌سازد، ساده بودن آن است.

۲- مجموعه‌های فازی انعطاف پذیر هستند.

۳- مجموعه‌های فازی، با داده‌های غیر دقیق سازگار هستند.

۴- به کمک مجموعه‌های فازی می‌توان توابع غیر خطی با پیچیدگی مختلف را مدل‌سازی کرد.

۵- تئوری فازی را می‌توان با تکنیک‌های معمولی ترکیب کرد.

در یک مجموعه‌ی فازی، بر خلاف مجموعه‌ی کلاسیک (قطعی)، که یک عبارت ممکن است درست یا نادرست باشد و ارزش آن به صورت صفر یا یک تعریف شود، برای نشان دادن درجه‌ی درستی یک عبارت از هر مقدار بین صفر و یک [۰ و ۱] می‌توان استفاده کرد. به طور کلی مجموعه‌های فازی شامل یک سری اعداد هستند که هر کدام یک درجه‌ی عضویت $a_A(x)$ هستند. اگر X مجموعه‌ی مرجع (قلمرو هستی) باشد، هر مجموعه‌ی فازی در X به صورت زوج مرتب‌های زیر نشان داده می‌شود:

$$A = \{x, a_A(x)\}, \quad x \in X \quad (۱-۶)$$

که در آن x مقدار متغیر و $a_A(x)$ ، بیان‌گر تابع عضویت برای یک مجموعه‌ی فازی A است، که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$a_A(x): X \rightarrow [0, 1] \quad (۲-۶)$$

به طور کلی کاربرد منطق فازی در مدل‌سازی پتانسیل معدنی شامل سه مرحله است (یوسفی و کامکار، ۱۳۸۹). مرحله‌ی اول شامل فازی‌سازی داده‌های مربوط به شواهد، مرحله‌ی دوم ترکیب منطقی نقشه‌های شاهد فازی با کمک شبکه‌ای از مجموعه عمل‌گرهای مناسب فازی و مرحله‌ی سوم قطعی‌سازی و خروج از حالت فازی به منظور کمک به تفسیر بهتر است. فازی‌سازی، فرآیند تبدیل شواهد فضایی به مجموعه‌های فازی است. یک مجموعه‌ی فازی به صورت گروه‌هایی از عضوهای که میزان عضویت و تعلق آن‌ها به مجموعه، با توجه به تخصیص عددی بین صفر و یک تعیین می‌شود. هر عضو مجموعه‌ی فازی به وسیله‌ی درجه و رتبه‌ی عضویت خود در مجموعه تعریف می‌شود.

۲-۶ انواع عملگرهای فازی

در کارهای اکتشاف منابع زیرزمینی مثل معدن، هیدروکربور، آب و ... هدف اصلی تعیین مناسب‌ترین محل برای ادامه‌ی فعالیت‌های اکتشافی است. پنج عملگر فازی مختلف که در ترکیب مجموعه داده‌های

اکتشافی استفاده می‌شوند، عملگرهای "و"، "یا"، "حاصل ضرب جبری"، "جمع جبری" و عملگر فازی "گاما" هستند (Bonham, 1995; Zimmerman, 1991) که در ادامه به اختصار معرفی می‌شوند:

۶-۲-۱- عملگر فازی "و"^۱

تلفیق فازی "و" بر اساس ارزش حداقل سلول‌ها عمل می‌کند، به عبارت دیگر، حداقل امتیاز هر پیکسل را در نظر می‌گیرد و با هم تلفیق می‌کند. این عملگر از رابطه‌ی زیر برای انجام عمل تلفیق استفاده می‌کند.

$$\mu_{combine} = \text{Min}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (3-6)$$

که در آن μ_A, μ_B, μ_C به ترتیب مقادیر عضویت فازی برای نقشه‌های A، B و C در یک موقعیت خاص از هر نقشه هستند. واضح است که استفاده از این عملگر به تولید نقشه‌ی خروجی با کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی در هر موقعیت منجر می‌شود. به بیان دیگر، استفاده از این عملگر با تمایل به ایجاد مقادیر کوچک، به پدید آمدن تخمینی محافظه‌کارانه کمک خواهد کرد. عملگر فازی "و"، در شرایطی که دو یا چند قسمت از مدارک یا شواهد برای اثبات فرضیه‌ای باید باهم وجود داشته باشند، کارایی داشته و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bonham, 1994).

۶-۲-۲- عملگر فازی "یا"^۲

تلفیق فازی "یا" بر اساس ارزش حداکثر سلول‌ها عمل می‌کند، به عبارت دیگر، حداکثر امتیاز هر پیکسل را در نظر می‌گیرد. این عملگر به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = \text{Max}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (4-6)$$

تأثیر این عملگر آن است، که نقشه‌ی خروجی توسط بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد، کنترل می‌شود. به عبارت دیگر مقدار عضویت ترکیب شده در یک موقعیت توسط

¹And

²Or

مناسب‌ترین نقشه‌های فاکتور محدود می‌شود. این عملگر در جایی که فاکتورهای مورد نظر در تشخیص کانی‌سازی کم باشند و حضور هر فاکتور مثبت می‌تواند برای اظهار مطلوبیت کافی باشد، به کار می‌رود. در استفاده از عملگرهای فازی "و" و "یا"، عضویت فازی نقشه‌ی خروجی در هر موقعیت، توسط یک فاکتور کنترل می‌شود. عملگرهای بعدی اثرات دو یا چند قسمت از شواهد را به صورت نتیجه‌ای مختلط ترکیب می‌کنند، به گونه‌ای که هر قسمت از شواهد بر روی خروجی مقداری تأثیر می‌گذارد (Bonham, 1994).

۶-۲-۳- عملگر فازی حاصل ضرب جبری

نتیجه‌ی عمل تلفیق توسط دو عملگر "و" و "یا"، فقط متأثر از یکی از نقشه‌های مورد استفاده برای انجام عمل تلفیق است، در حالی که عملگرهای دیگر، اثرات کلیه‌ی شواهد به کار رفته برای تلفیق را در نظر گرفته و نقشه‌ی خروجی مختلط تولید می‌کنند. حاصل ضرب جبری فازی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (۵-۶)$$

که در آن، n فاکتور کنترل کننده‌ی کانی‌سازی، μ_i تابع عضویت فازی برای i امین نقشه و $i = 1, 2, 3, \dots, n$ تعداد نقشه‌هایی است که باید با یکدیگر ترکیب شوند. مقادیر عضویت فازی ترکیب شده با این عملگر، به مقادیر بسیار کوچک میل می‌کند، که این امر، به علت اثر ضرب کردن چندین عدد کوچک‌تر از یک است، و خروجی همواره کوچک‌تر یا مساوی کوچک‌ترین مقدار عضویت خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت که این عملگر اثر کاهشی دارد. در این روش بر خلاف عملگرهای فازی و و یا، کلیه‌ی مقادیر عضویت نقشه‌های ورودی در نقشه‌ی خروجی تأثیر می‌گذارند. عملگر ضرب جبری هنگامی که اثر ترکیب دو نقشه در مقابل نقشه‌های ورودی ضعیف‌تر است و دو فاکتور یکدیگر را تضعیف می‌کنند، به کار می‌رود (Bonham, 1994).

۴-۲-۶- عملگر فازی جمع جبری

این عملگر، مکمل حاصل ضرب جبری فازی بوده و به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود.

$$\mu_{combine} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (۵-۶)$$

بر خلاف حاصل ضرب جبری فازی، این عملگر دارای اثر افزایشی است و نتیجه‌ی آن همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی خواهد بود. به این ترتیب که دو قسمت از شواهد که هر دو تأیید کننده‌ی فرضیه‌ی واحد هستند، یکدیگر را تقویت می‌کنند (Bonham, 1994).

۵-۲-۶- عملگر فازی گاما

عملگر گاما بر حسب دو عملگر ضرب و جمع جبری فازی بوده و به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = (\prod_{i=1}^n \mu_i^\gamma) (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)^\gamma) \quad (۵-۶)$$

که در آن γ پارامتری در محدوده‌ی صفر تا یک است. در صورتی که بخواهیم اهمیت روش جمع جبری بیشتر باشد، مقدار گاما نزدیک به یک انتخاب می‌شود، و در صورتی که بخواهیم روش ضرب جبری بیشتر مد نظر باشد، مقدار گاما نزدیک به عدد صفر انتخاب می‌شود. بدون شک، انتخاب صحیح و آگاهانه‌ی γ ، در خروجی، مقادیری را ارائه می‌دهد، تا سازگاری قابل انعطافی مابین گرایش‌های افزایشی جمع جبری فازی و اثرات کاهشی حاصل ضرب جبری فازی ایجاد شود. اثرات افزایشی مقادیر بزرگ γ ، تصمیم‌گیری ذهنی مهندسان اکتشافی را به بهترین شکل منعکس می‌کند.

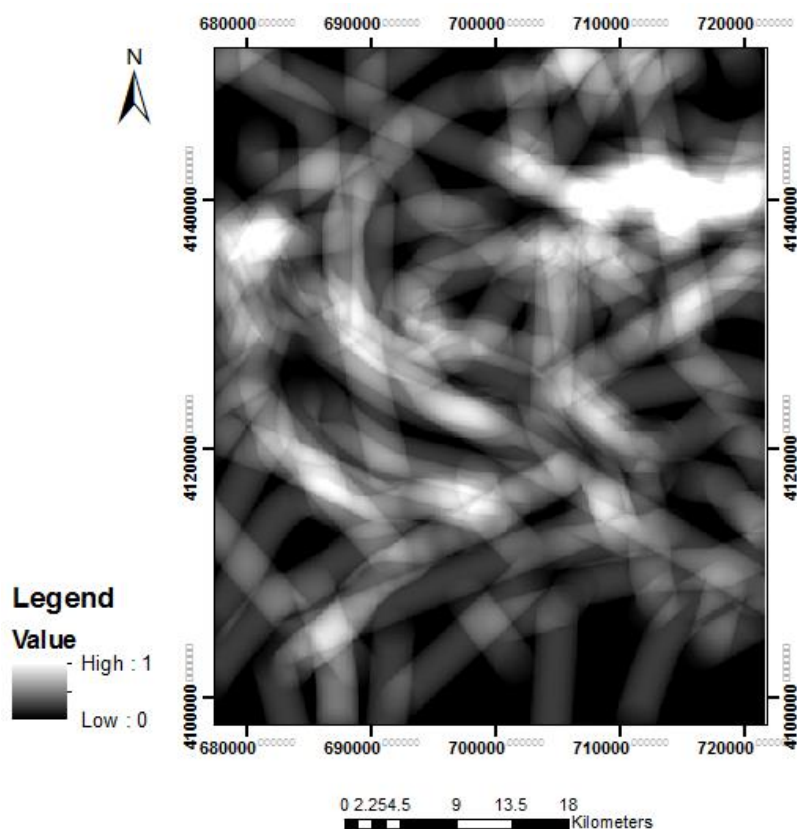
۳-۶- تولید لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی

برای انجام عمل تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS، ابتدا باید هر یک از لایه‌های اطلاعاتی را که در دورسنجی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی به دست آمده را فازی کرد و سپس تمام این لایه‌های اطلاعاتی را با یکدیگر تلفیق کرد. روشی که برای فازی کردن این لایه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، روش

MS Small بود. این روش، تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک‌تر عضویتی نزدیک به یک می‌گیرند.

۶-۳-۱- تولید لایه‌ی اطلاعاتی گسل‌ها و خطواره‌ها به روش فازی

در تولید این لایه، گسل‌های موجود در نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه، گسل‌ها و خطواره‌های به دست آمده از تفسیر تصاویر دورسنجی و گسل‌هایی که با استفاده از نقشه‌های مغناطیس هوابرد شناسایی شده‌اند، با یکدیگر تلفیق شده و نتیجه‌ی حاصل به عنوان لایه‌ی اطلاعاتی گسل‌ها (ساختاری) تهیه شده است (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱ لایه‌ی اطلاعاتی خطواره‌ها و گسل‌ها در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.

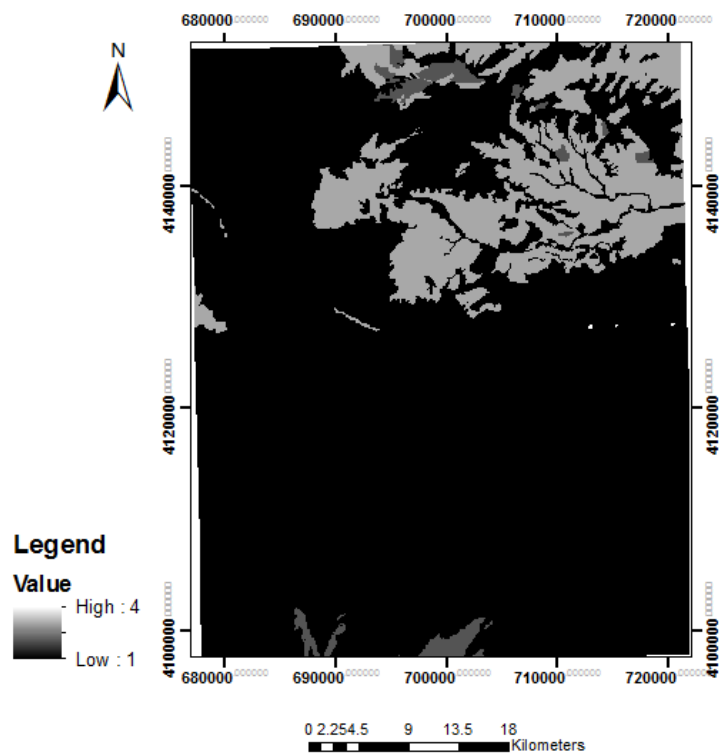
همان‌طور که در شکل (۶-۱) مشاهده می‌شود، قسمت‌های سفید رنگ موجود در گوشه‌ی شمال شرقی نقشه، نشان می‌دهد که بیش‌ترین تمرکز گسل‌ها در این قسمت است.

۶-۳-۲- تولید لایه‌ی اطلاعاتی زمین‌شناسی ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود و واحدهای سنگی

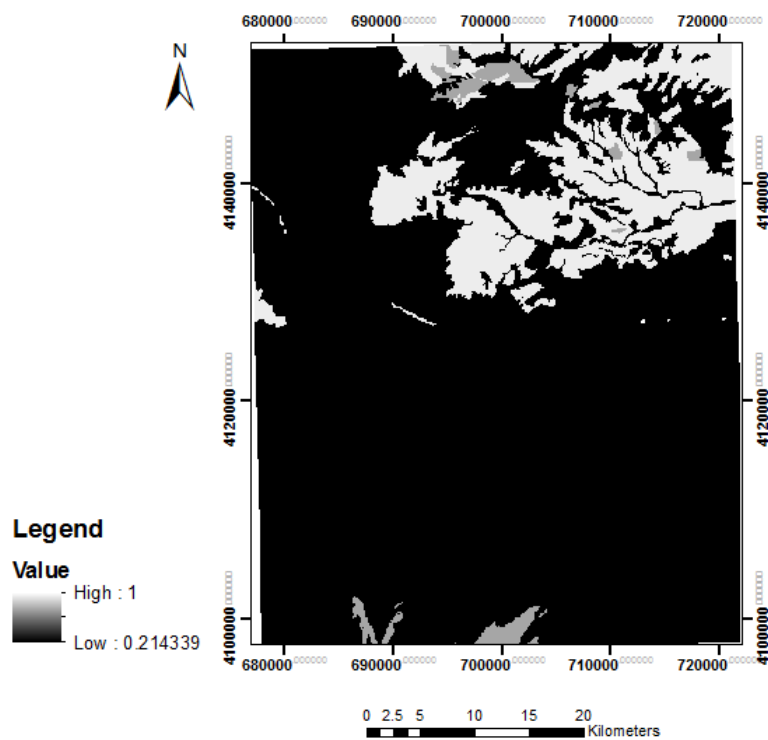
حاصل از تصاویر دورسنجی به روش فازی

برای آماده‌سازی نقشه‌ی رقومی زمین‌شناسی مرحله‌ی به شرح زیر طی شد.

ابتدا به واحدهای سنگی رسم شده در نقشه‌ی زمین‌شناسی و واحدهای مشخص شده به وسیله‌ی تصاویر دورسنجی، بر اساس جنس‌شان وزن‌های متفاوت داده شد، به این صورت که به واحدهای آذرین درونی منطقه وزن یک، به واحدهای آذرین خروجی وزن $0/8$ و به واحدهای رسوبی وزن $0/1$ داده شد. پس از ادغام این دو واحد مجزا و تبدیل آن به یک لایه، لازم بود که این لایه رستری شود، پس از رستری شدن این لایه، عمل *Reclassify* یا کلاس‌بندی به وسیله‌ی نرم‌افزار صورت گرفت، در نهایت پس از انجام تمامی این مراحل در قسمت *Fuzzy membership* نرم‌افزار، عملیات فازی شدن روی آن انجام و تبدیل به یک لایه‌اطلاعاتی فازی شد. نقشه‌ی کلاس‌بندی شده ولایه‌ی فازی شده‌ی این واحدها در شکل‌های (۶-۲) و (۶-۳) مشاهده می‌شود.



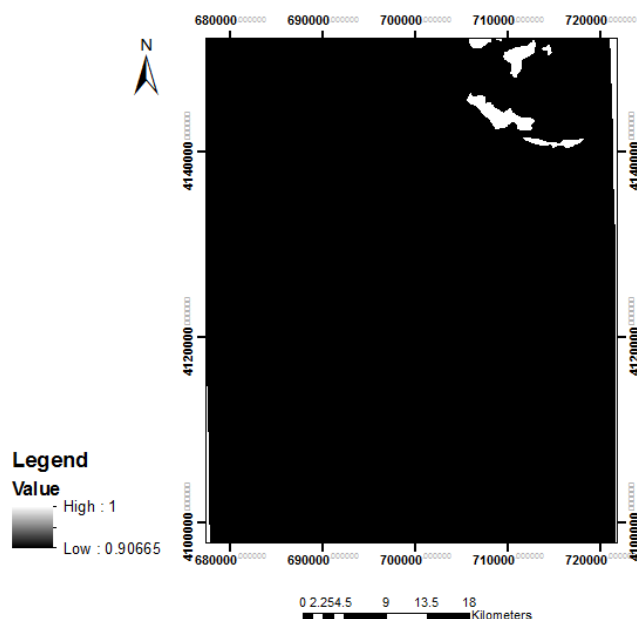
شکل ۶-۲ نقشه‌ی کلاس‌بندی شده‌ی زمین‌شناسی ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌تروم.



شکل ۶-۳ لایه‌ی اطلاعاتی زمین‌شناسی به روش فازی در ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌تروم.

۳-۳-۶- تولید لایه‌ی اطلاعاتی دگرسانی به روش فازی

با توجه به تصاویر به دست آمده در دورسنجی، با روش‌های مختلف پردازش تصویر نظیر روش ترکیب رنگی، نسبت‌گیری باندی، آنالیز مولفه‌ی اصلی استاندارد و انتخابی و روش کمترین مربعات برازش شده، مناطق دگرسان شده مشخص شده و پس از این‌که به وسیله‌ی پلی‌گون در محیط نرم‌افزار GIS رسم شد، نیاز بود تا رستری شود، تا بتوان آن را کلاس‌بندی کرد. پس از کلاس‌بندی شدن این لایه‌ی رستری، آن را فازی کرده و به صورت یک لایه‌ی اطلاعاتی در آمد (شکل ۴-۶).



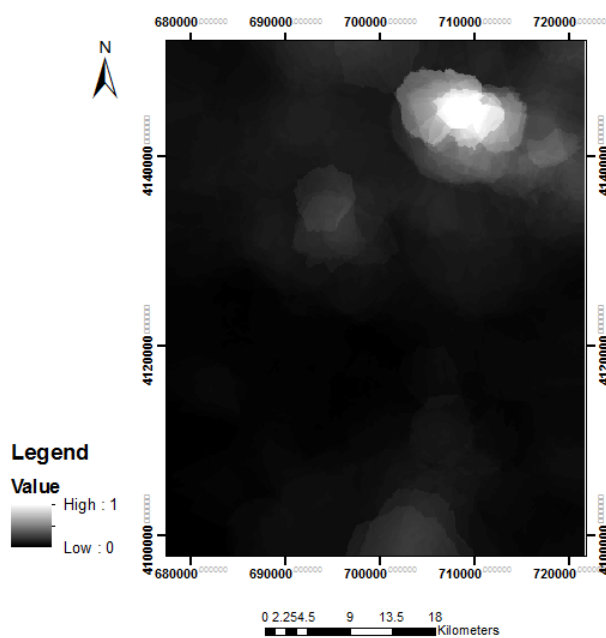
شکل ۴-۶ لایه‌ی اطلاعاتی دگرسانی به روش فازی در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.

۴-۳-۶- تولید لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش فازی

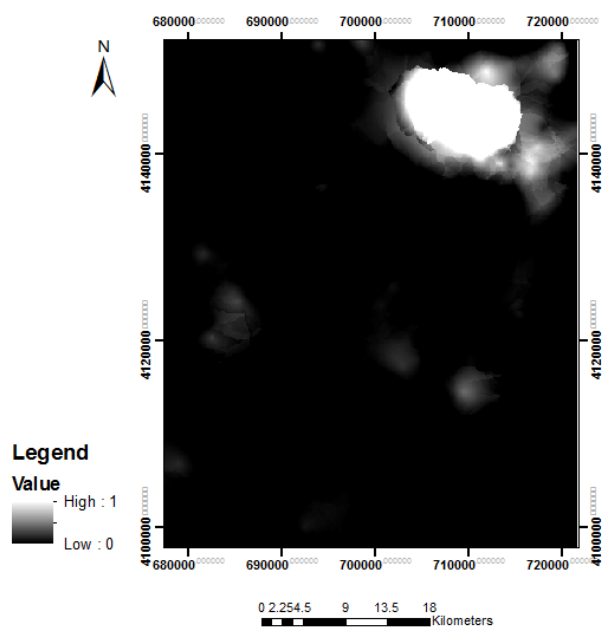
داده‌های ۴۳ عنصر به روش نمونه‌برداری رسوبات آبراه‌ای در محیط GIS به نقشه‌های رستری تبدیل شدند، در این بخش دو نقشه به دست آمده است که یکی مربوط به تمرکز عنصر مس در منطقه و دیگری مربوط به تمرکز مس و عناصر همراه آن از قبیل مولیبدنیم، تنگستن و بیسموت است که نتیجه‌ی آن در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) مشاهده می‌شود. پس از فازی کردن هر یک از این دو نقشه برای یکی کردن

این دو لایه به عنوان یک لایه‌ی ژئوشیمی در قسمت تلفیق برای رسیدن به نتیجه‌ی بهتر و قابل قبول‌تر، به روش‌های "و"، "یا"، "ضرب جبری"، "جمع جبری"، گامای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ با یکدیگر تلفیق شدند که نتیجه‌ی آن در شکل‌های (۶-۷)، (۶-۸)، (۶-۹)، (۶-۱۰)، (۶-۱۱)، (۶-۱۲) و (۶-۱۳) مشاهده

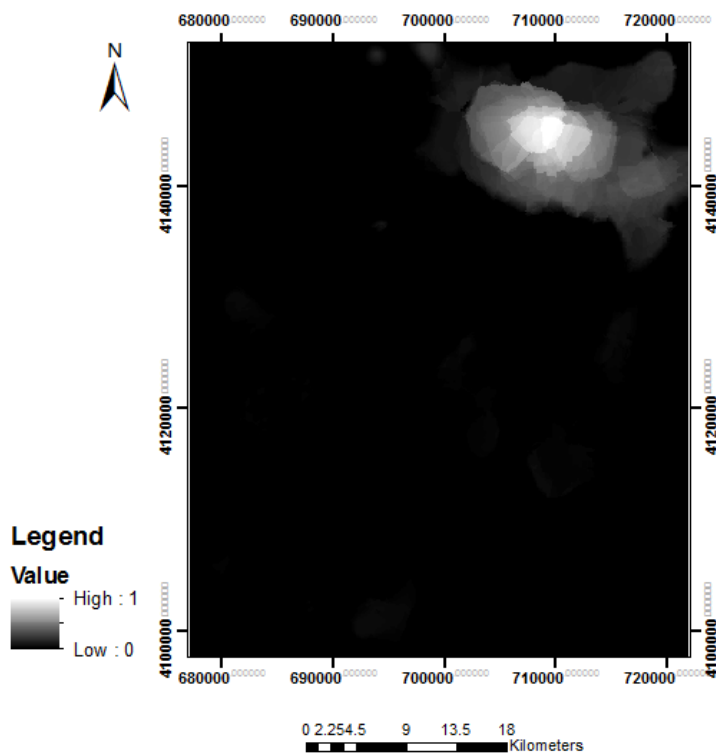
می‌شود.



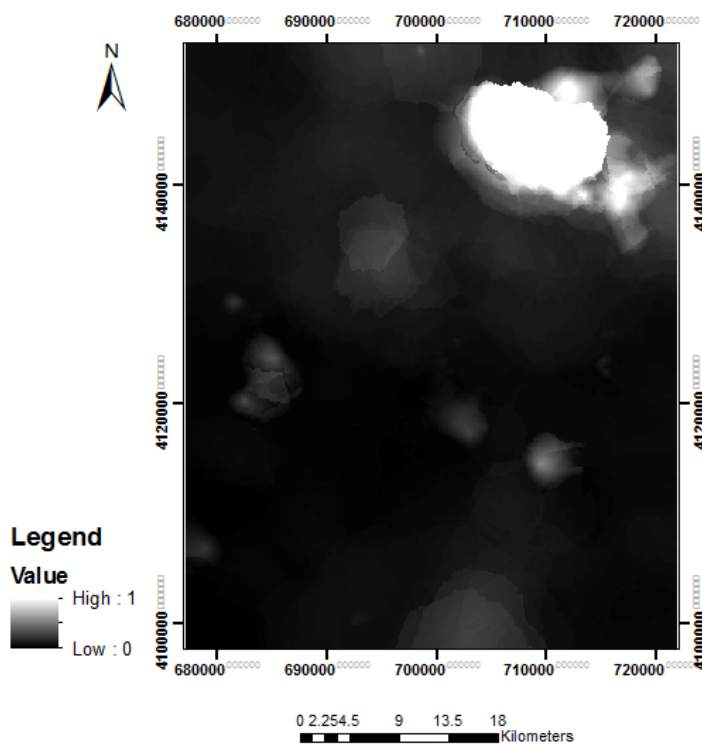
شکل ۶-۵ نقشه‌ی رقومی آنومالی مس به روش فازی برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.



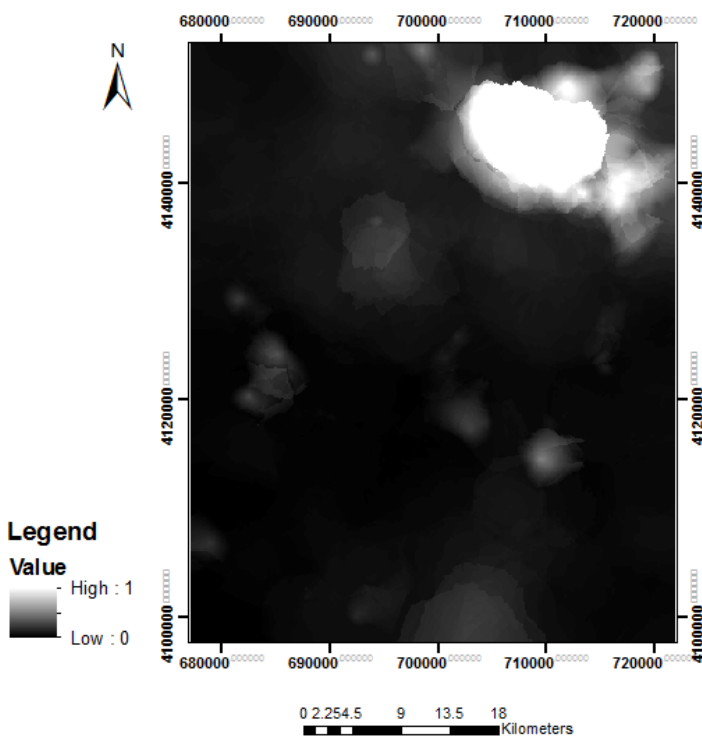
شکل ۶-۶ نقشه‌ی رقومی فازی شده‌ی PC₂ شامل عناصر مس، مولیبدنیم، تنگستن و بیسموت به روش فازی برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.



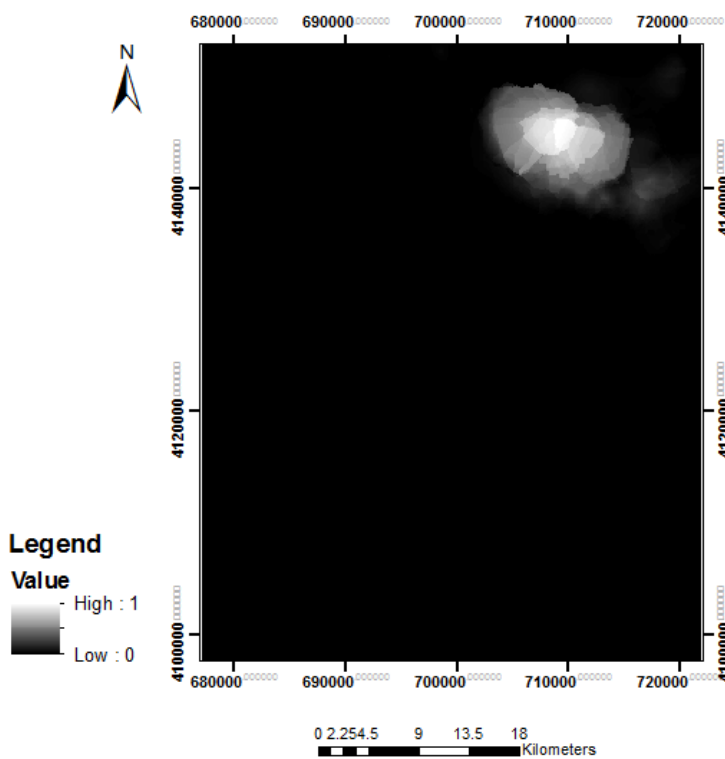
شکل ۶-۷ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی "و" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند



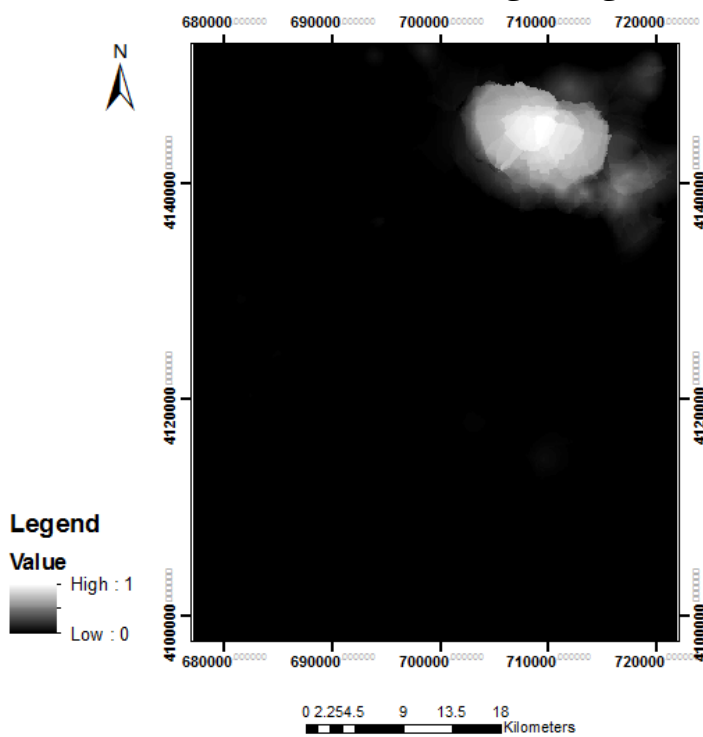
شکل ۶-۸ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی "یا" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتتروم.



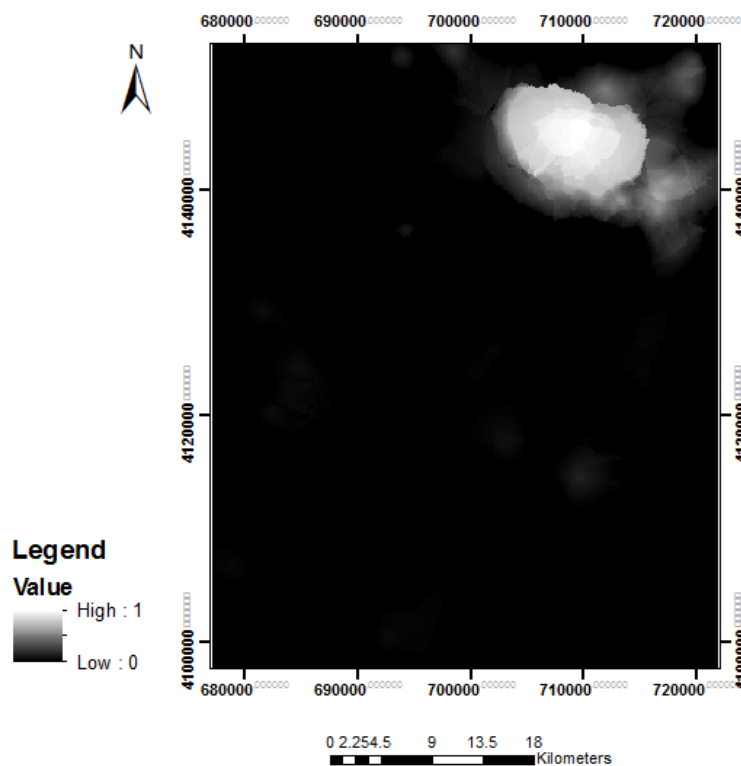
شکل ۶-۹ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی "جمع جبری" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتتروم.



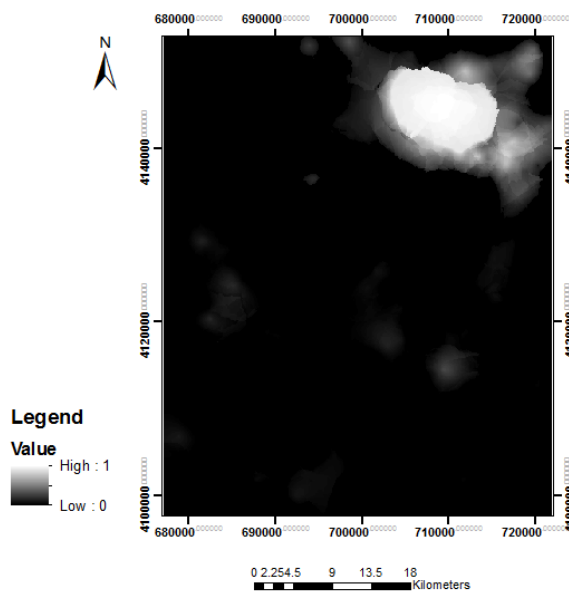
شکل ۶-۱۰ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی "ضرب جبری" در ورقه‌ی یکصد هزار هشتتروم.



شکل ۶-۱۱ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی گامای ۰/۵ در ورقه‌ی یکصد هزار هشتتروم.



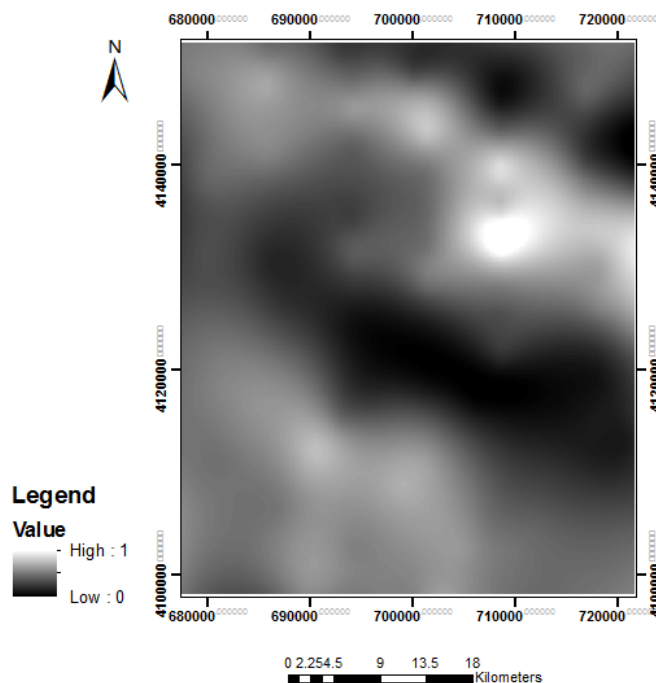
شکل ۶-۱۲ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی گامای ۰/۷ در ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌ترو.



شکل ۶-۱۳ لایه‌ی اطلاعاتی ژئوشیمی به روش عملگر فازی گامای ۰/۹ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌ترو

۶-۳-۵- تولید لایه‌ی اطلاعاتی مغناطیس هوابرد به روش فازی

با استفاده از داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه، نقشه‌ی مغناطیسی منطقه رسم شده و عملیات فازی شدن روی آن انجام شد، که نتیجه‌ی حاصل از آن در شکل (۶-۱۴) مشاهده می‌شود.



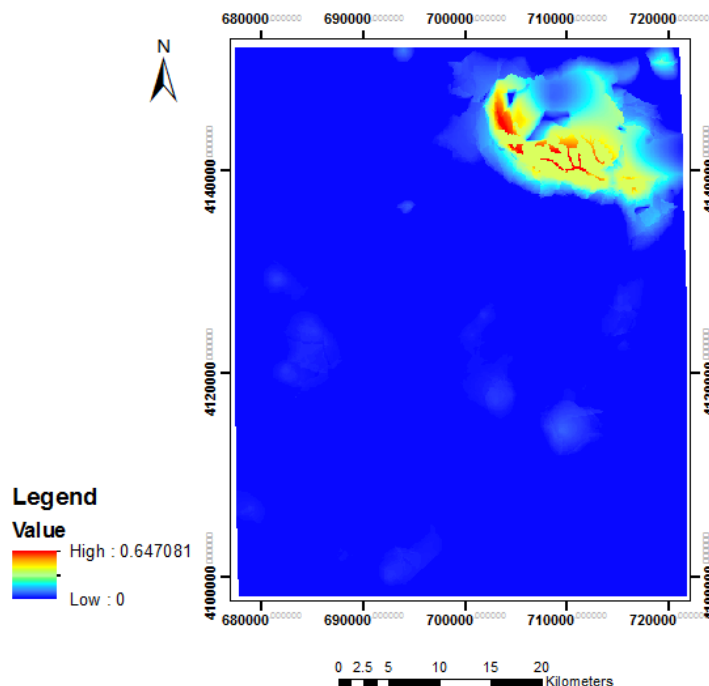
شکل ۶-۱۴ لایه‌ی اطلاعاتی مغناطیس هوابرد به روش فازی برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.

۶-۴-۶- تولید نقشه‌های نهایی حاصل از عمل تلفیق

۶-۴-۶-۱- تلفیق به روش عمگکر فازی "و"

پس از انجام عمل فازی کردن هر یک از لایه‌ها، در نهایت آن‌ها را با روش‌های مختلف تلفیق نظیر روش "و"، "یا"، "جمع جبری"، "ضرب جبری" و "گاما"، تلفیق کرده و نتایج آن‌ها با هم مقایسه شده است. برای تلفیق این لایه‌ها با یکدیگر، در بخش ژئوشیمی، از بین چند لایه‌ی فازی شده به روش‌های "و"، "یا"، "ضرب جبری"، جمع جبری و گامای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹، گامای ۰/۵ به عنوان مناسب‌ترین لایه انتخاب شد و مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۶-۱۵) نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش فازی "و" مشاهده

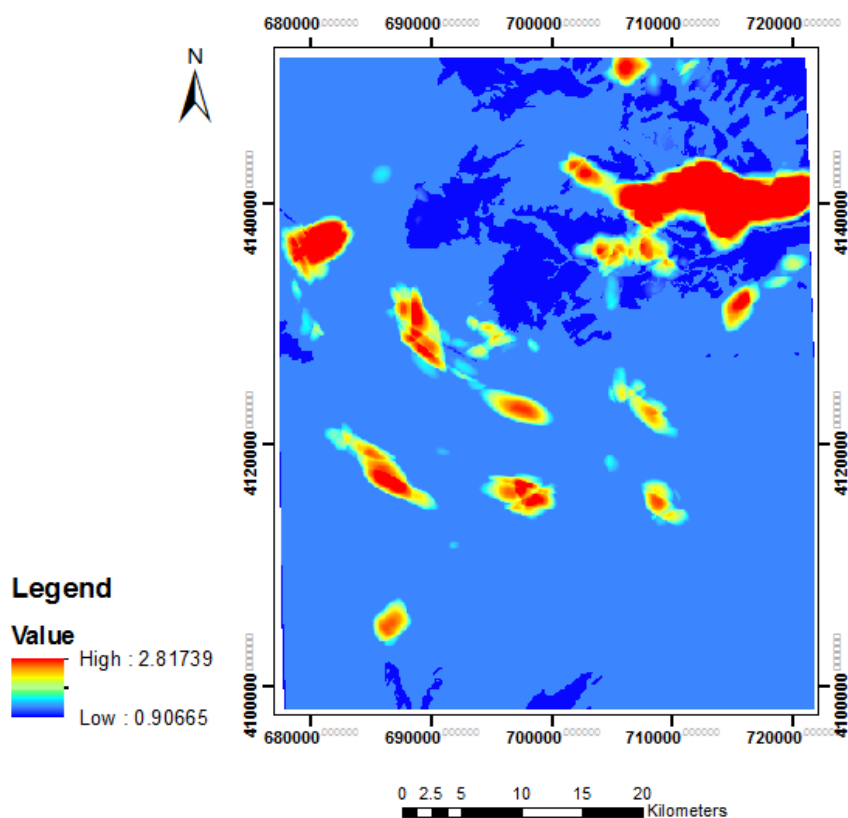
می‌شود. در این تصویر حداکثر پتانسیل شناسایی شده در ورقه، هم‌سو با نتایج حاصل از، تک تک لایه‌های مورد مطالعه است. در نتیجه نقشه‌ی حاصل از این عملگر، یک نقشه‌ی مطلوب برای پتانسیل یابی مس و عناصر همراه در ورقه‌ی یکصد هزار هشتتروم است.



شکل ۶-۱۵ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی "و" برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتتروم.

۶-۴-۲- تلفیق به روش عملگر فازی "یا"

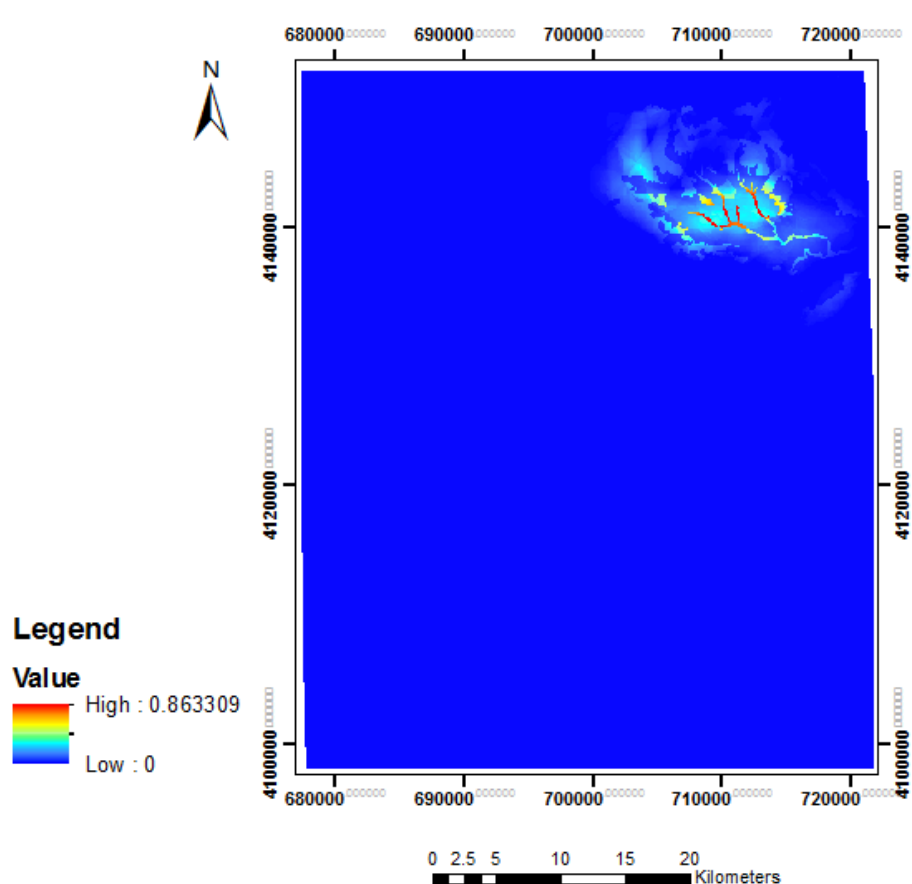
نقشه‌ی حاصل از عملگر فازی "یا" در شکل (۶-۱۶) مشاهده می‌شود. با توجه به لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده، به نظر می‌رسد که این عملگر نقشه‌ی مناسبی ارائه نمی‌دهد.



شکل ۶-۱۶ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی "یا" برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هکتار است.

۶-۴-۳- نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی ضرب جبری

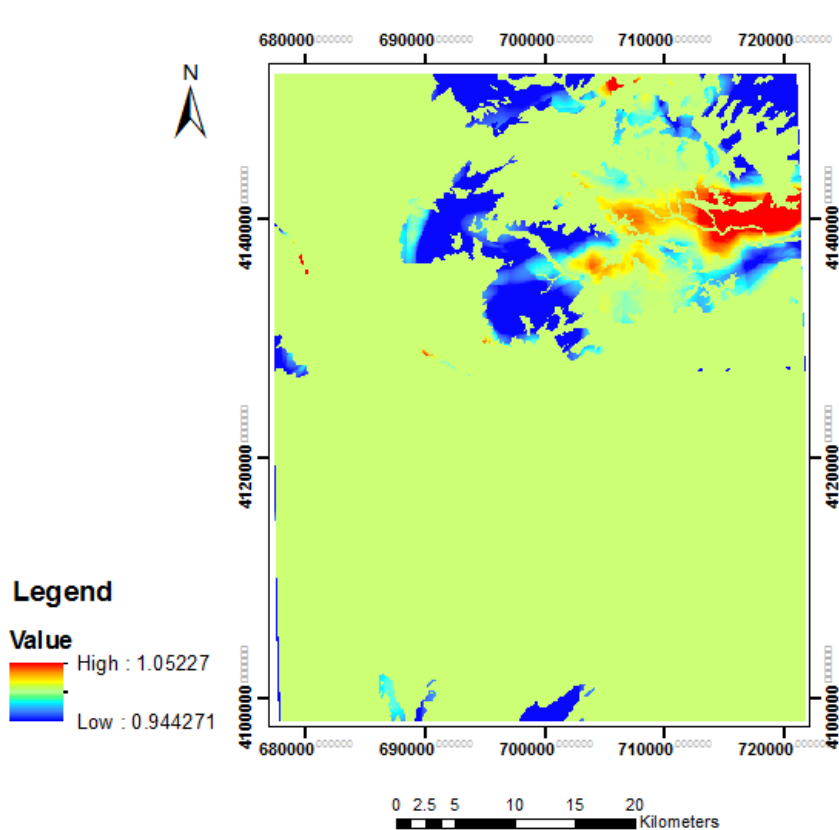
در این روش تلفیق نیز، مناطق با پتانسیل بالا در گوشه‌ی شمال شرقی نقشه کاملاً مشخص است. این روش نیز نقشه‌ی مناسبی برای پتانسیل‌یابی مس در منطقه را در دسترس قرار می‌دهد (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۷ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی ضرب جبری برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هکتار.

۶-۴-۴- نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی جمع جبری

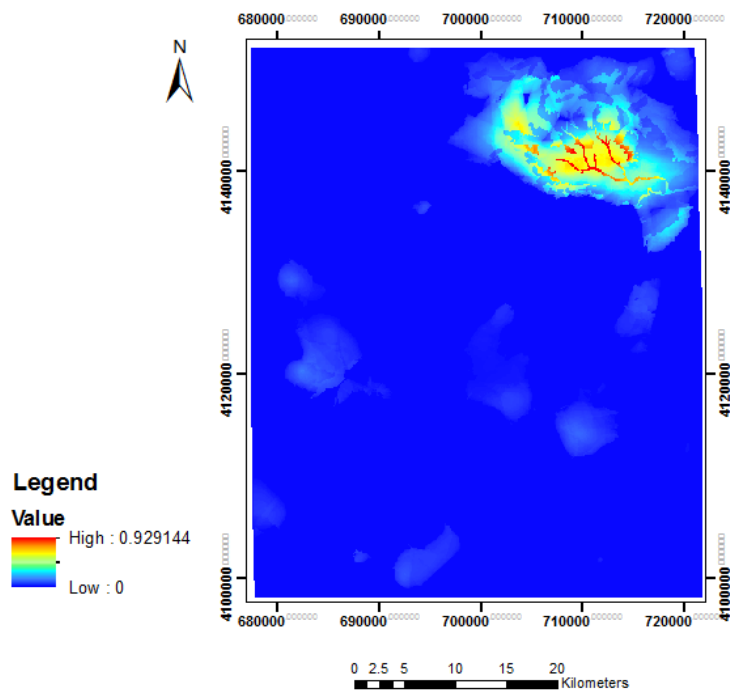
در نقشه‌ی به دست آمده از روش عملگر فازی جمع جبری که در شکل (۶-۱۸) مشاهده می‌شود، مناطق پریپتانسیل به گونه‌ای غیر واقعی بخش وسیعی از منطقه را تحت پوشش خود قرار می‌دهد، بنابراین، این عملگر برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ورقه‌ی هشت‌رود چندان مناسب نیست.



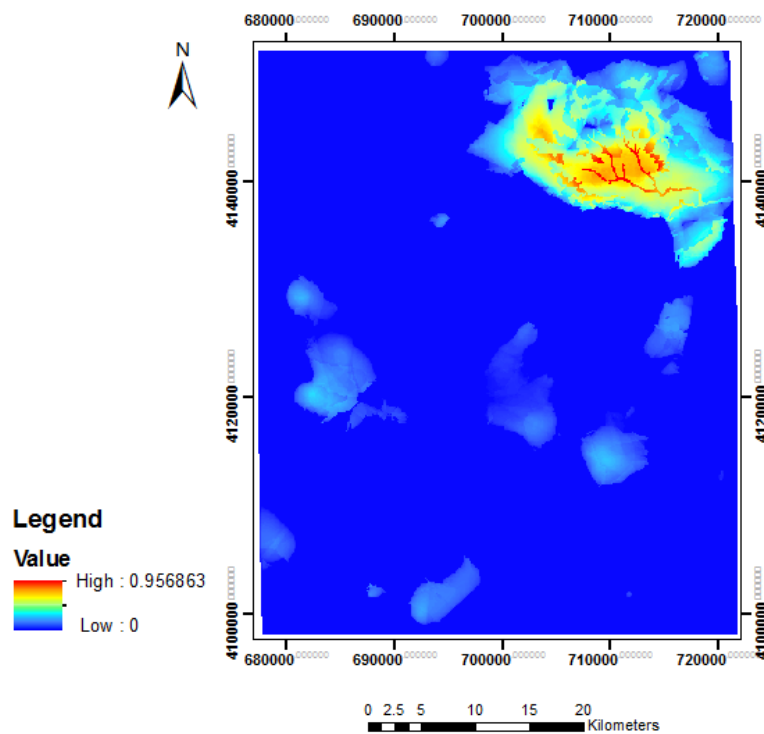
شکل ۶-۱۸ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از عملگر فازی جمع جبری برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌رود.

۶-۴-۵ نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی گاما

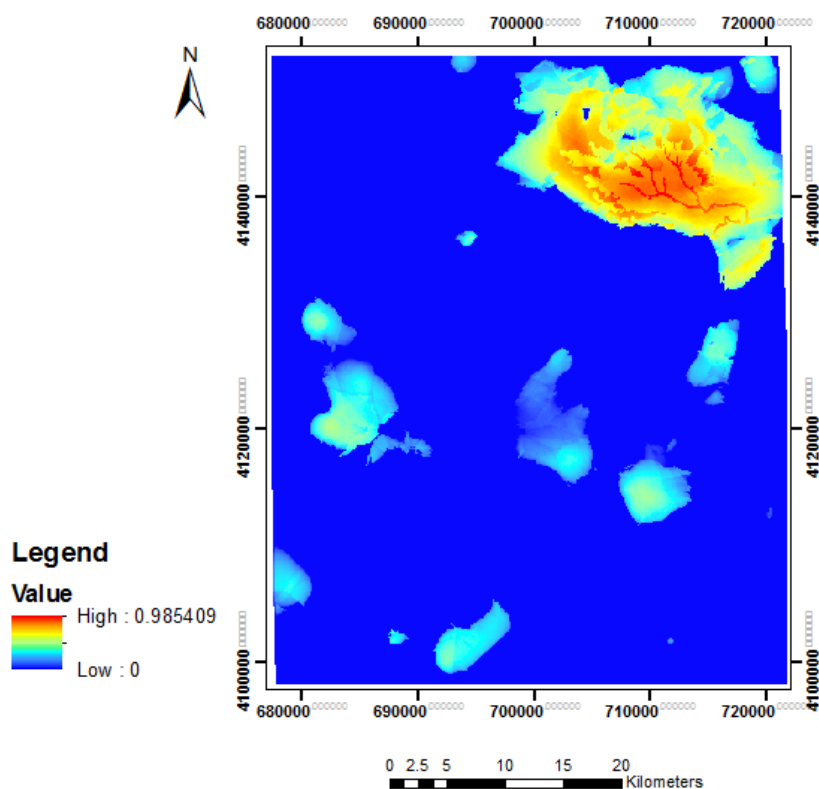
در این روش تلفیق، گامای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ مورد استفاده قرار گرفتند، که در نتایج حاصل از آن در شکل‌های (۶-۱۹)، (۶-۲۰)، (۶-۲۱) مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد که تلفیق به روش گامای ۰/۵ نقشه‌ی مناسب‌تری را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۶-۱۹ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از تلفیق به روش عملگر فازی گامای ۰/۵ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتتروم.



شکل ۶-۲۰ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از عملگر فازی گامای ۰/۷ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتتروم.



شکل ۶-۲۱ لایه‌ی اطلاعاتی حاصل از گامای ۰/۹ برای ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشتروند.

هدف این فصل، به دست آوردن نقشه‌ای مناسب برای پتانسیل‌یابی عنصر مس با استفاده از نتایج و داده‌های به دست آمده از فصل‌های قبلی در ورقه‌ی یکصد هزار هشتروند بود. برای نیل به این هدف، بعد از فازی کردن لایه‌هایی که از دورسنجی (دگرسانی)، زمین‌شناسی، ژئوشیمی (مس و عناصر همراه با آن)، ژئوفیزیک و گسل‌ها به دست آمد، عمل تلفیق روی این لایه‌ها به روش عملگرهای فازی، "و"، "یا"، "ضرب جبری"، "جمع جبری" و "گاما" انجام شد. از بین این روش‌ها نقشه‌ی حاصل از تلفیق به روش گامای ۰/۵، ضرب جبری و "و" نتیجه‌ی مناسب‌تری ارائه داد.

فصل ہفتم

اعتبار سنجی، نتیجہ گیری و پیشہا دہا

۷-۱- اعتبارسنجی و نتیجه‌گیری

هدف این پروژه، پتانسیل‌یابی عنصر مس در ورقه‌ی یکصد هزار هشت‌رود بود. برای نیل به این هدف، از لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی استفاده شد.

نرم‌افزارهای استفاده شده در این پروژه شامل نرم‌افزار GIS نسخه‌ی ۱۰/۱ و ۱۰/۲، نسخه‌ی ۱۹ نرم‌افزار آماری SPSS، نسخه‌ی ۵ نرم‌افزار ENVI، نسخه‌ی ۶/۴ نرم‌افزار Oasis Montaj و Excel 2010 هستند.

در بخش دورسنجی با استفاده از روش‌های مختلف پردازش تصاویر از قبیل ترکیب رنگی، نسبت‌گیری باندی، تحلیل مولفه‌ی اصلی استاندارد و انتخابی (کروستا) و روش کمترین مربعات برازش شده روی داده‌های حاصل از دو سنجنده‌ی ETM⁺ و آستر، محل دگرسانی‌ها در تصاویر مشخص شد و در نرم‌افزار GIS به صورت یک لایه‌ی اطلاعاتی درآمد.

در بخش ژئوشیمی، داده‌های حاصل از نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای، با نرم‌افزار SPSS با روش‌های آماری تک متغیره (میانگین، میانه، چولگی، کشیدگی و ...)، دو متغیره (ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن) و چند متغیره از قبیل روش تحلیل مولفه‌ی اصلی و نمودار خوشه‌ای، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. نتیجه‌ی به دست آمده از این روش‌ها نشان‌دهنده‌ی وجود غیرعادی عنصر مس (آنومالی) و عناصر پاراژنز آن از قبیل مولیبدن، تنگستن و بیسموت در بخش شمال شرقی منطقه بود. این داده‌ها در نرم‌افزار GIS به صورت یک لایه‌ی اطلاعاتی درآمد.

در بخش ژئوفیزیک نیز بر اساس داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه، با استفاده از فیلترهای روند سطحی، مشتق قائم درجه‌ی اول و دوم، گسترش میدان به سمت بالا (ادامه‌ی فراسو) و فیلترهای محلی زاویه‌ی تمایل و مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل، نقشه‌هایی به دست آمد که گویای وجود توده‌ی نفودی و آنومالی هستند و همچنین با استفاده از فیلترهای زاویه‌ی تمایل و مشتق افقی کل زاویه‌ی تمایل گسل‌های منطقه نیز تا حدی شناسایی شدند.

با استفاده از تصاویر دورسنجی و نقشه‌های ژئوفیزیک و زمین‌شناسی، گسل‌ها و خطواره‌های موجود در منطقه رسم شده و به صورت یک لایه‌ی اطلاعاتی درآمد. در تمام نقشه‌های به دست آمده با روش‌های مختلفی که ذکر شد، وجود توده‌ی نفوذی و آنومالی با هم تطبیق داشته و گویای وجود آنومالی در قسمت شمال شرقی ورقه‌ی هشترود است. پس از فازی‌سازی این لایه‌ها، که شامل لایه‌ی گسل‌ها و خطواره‌ها، لایه‌ی زمین‌شناسی، دگرسانی، لایه‌های ژئوشیمی (لایه‌ی غلظت عنصر مس و مس و عناصر پاراژنز آن) و لایه‌ی ژئوفیزیکی منطقه است، عملیات تلفیق به روش منطق فازی صورت گرفت. در این تلفیق روش‌های "و"، "یا"، "ضرب جبری"، "جمع جبری" و "گاما" استفاده شد. از بین این روش‌ها، مناسب‌ترین نتیجه متعلق به تلفیق به روش گامای ۰/۵، "و" و "ضرب جبری" است. روش "جمع جبری" و روش "یا"، نقشه‌ی چندان مناسبی ارائه نداد.

پس از انجام تمامی این مراحل و دست یافتن به یک نتیجه‌ی جامع که در بخش تلفیق به دست آمد، نیاز بود تا این نتایج با مشاهدات صحرایی مقایسه و اطمینان نهایی حاصل شود. لذا در بازدید از قسمت شمال شرقی منطقه، محلی که تمامی لایه‌های اطلاعاتی وجود دگرسانی را به اثبات می‌رسانند، مشخص شد که این نتایج و مشاهدات صحرایی یک‌دیگر را تأیید می‌کنند.

واحدهای سنگی موجود در ورقه‌ی یکصد هزار هشترود، اغلب متعلق به دوران سنوزوئیک (پالئوژن، نئوژن و کواترنری) هستند. پالئوژن و نئوژن شامل ائوسن، الیگومیوسن، میو- پلیوسن و پلیوسن است. سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی که در این ورقه وجود دارند، بیشتر در قسمت شمال شرقی نقشه رخنمون دارند. مطالعات صحرایی در این ناحیه، در پنج نقطه بین دو شهر هشترود و میانه و در نزدیکی روستاهای گلوچه غمی و خاتون آباد، صورت گرفته است. این مطالعات صحرایی شامل بازدید از منطقه و برداشت نمونه‌های دستی است. از این نمونه‌ها مقاطع نازک، صیقلی و نازک- صیقلی تهیه شده است. سنگ‌هایی که در این نواحی حضور دارند از تنوع زیادی برخوردار بوده و شامل سنگ‌های درونی مانند گرانیت، گرانودیوریت و

مونزونیت، سنگ‌های بیرونی از جمله آندزیت، لاتیت، بازالت، ریولیت و آذرآواری مانند توف‌ها هستند و در سه دسته‌ی اسیدی، حدواسط و بازیک جای می‌گیرند.

در برخی از این نواحی، بیرون‌زدگی گرانیت، آندزیت، لاتیت (تراکی آندزیت) و بازالت دیده می‌شود. توده‌ی گرانیتی بعد از ائوسن (احتمالاً الیگومیوسن) داخل آندزیت‌ها و آذرآواری‌های ائوسن نفوذ کرده است. آندزیت‌ها در صحرا به سه صورت پلاژیوکلاز پورفیری، پیروکسن پورفیری و پیروکسن-پلاژیوکلاز پورفیری قابل مشاهده بوده (شکل ۷-۱)، و در محل تماس توده‌های گرانیتوئیدی با آندزیت‌ها، دگرسانی آرژیلیتی به وضوح قابل مشاهده است. در همین محل‌های تماس رگه‌های کوارتزی دارای پیریت و کالکوپیریت وجود دارند، که سولفیدهای آن به اکسیدهای آهن و مالاکیت و آزوریت دگرسان شده است (شکل ۷-۲). در آندزیت‌های با پلاژیوکلازهای درشت و فراوان، مالاکیت و اپیدوت (حاصل دگرسانی پلاژیوکلاز) نیز وجود دارد، که نشان‌دهنده‌ی حضور مس در آندزیت (به مقدار کم) است، بعد از نفوذ توده‌ی آذرین به داخل آندزیت‌ها، مس تحرک و تمرکز مجدد پیدا کرده و غلظت آن افزایش یافته است. محل برخورد گرانیت و آندزیت دارای حاشیه‌ی انجماد سریع است، به همین دلیل است که گرانیت‌ها در این محل‌ها (برخورد با آندزیت‌ها) دانه‌ریز بوده و اپیدوتی شده‌اند



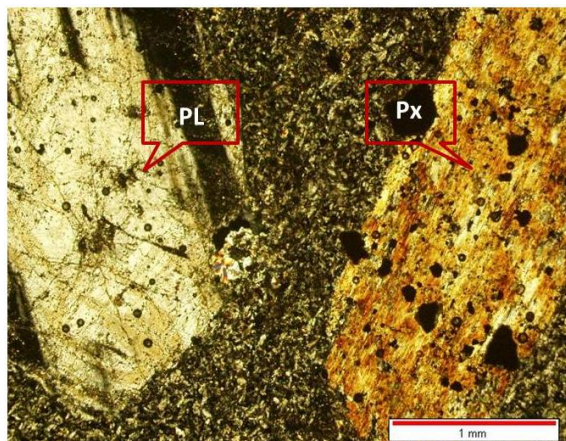
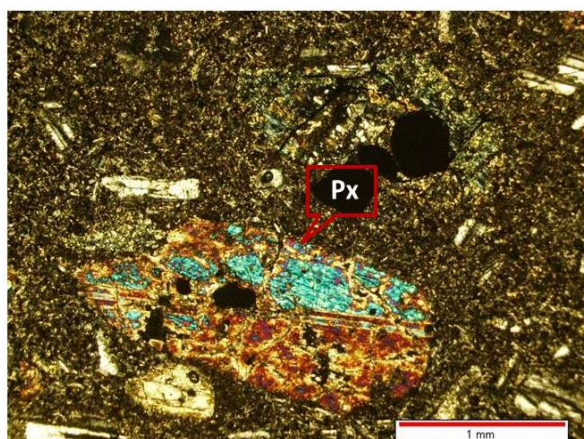
شکل ۷-۲ مالاکیت و آزوریت در نمونه‌ی دستی



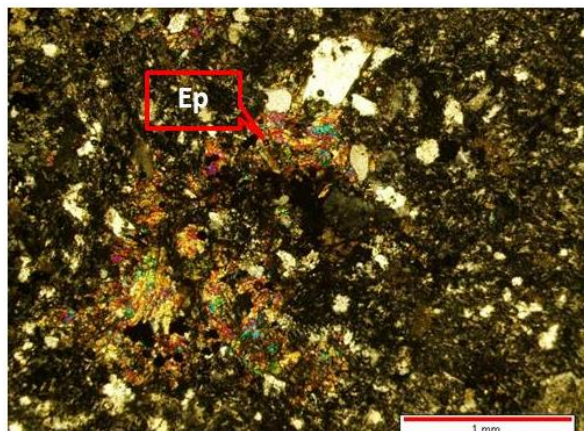
شکل ۷-۱ آندزیت با بلورهای درشت پلاژیوکلاز

در محل برخورد دو زون سولفیدی و آرژیلیتی فرآیندهای هماتیتی و لیمونیتی شدن قابل مشاهده است. تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک برخی از سنگ‌های آذرین منطقه در شکل‌های (۷-۳ تا ۷-۷) مشاهده می‌شود. در برخی مناطق دو نوع گرانیت سفید رنگ به وضوح قابل رویت است. یکی از نوع آپلیتی و دانه شکری و دیگری از نوع درشت بلور و پگماتیتی، که نشان‌دهنده‌ی تفریق در حین تبلور است. در دیوریت‌ها نیز نمونه‌های پیریت و کالکوپیریت وجود دارند که به مقدار اندک و دانه پراکنده در سنگ قابل مشاهده هستند (۷-۱۰) و (۷-۱۱).

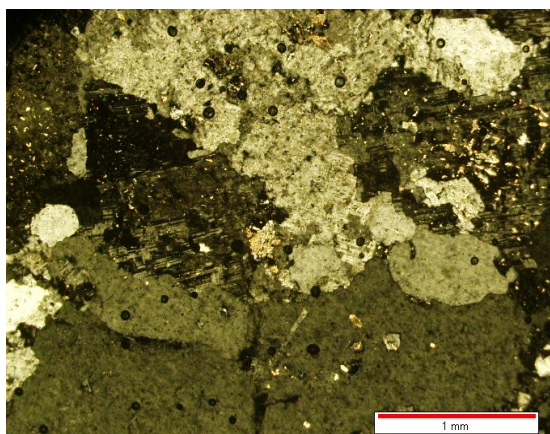
گرانیت درشت بلور و ریز بلور، نیز به عنوان بخشی از سنگ میزبان رگه‌های مس وجود دارد، به این صورت که ابتدا گرانیت‌های درشت بلور تشکیل شده و سپس در اثر انقباض و شکستگی در داخل این گرانیت‌ها مایعات باقی مانده‌ی همین گرانیت‌ها به صورت آپلیتی و ریز بلور درآمده است. داخل این گرانیت‌ها بلورهای بسیار بزرگ فلدسپار و بیوتیت‌های دگرسان شده وجود دارند. شکستگی دیاکلازی (گرانیت به صورت شکستگی‌های مستطیلی شکل در می‌آید) یکی از ویژگی‌های بارز گرانیت‌های موجود در این منطقه است.



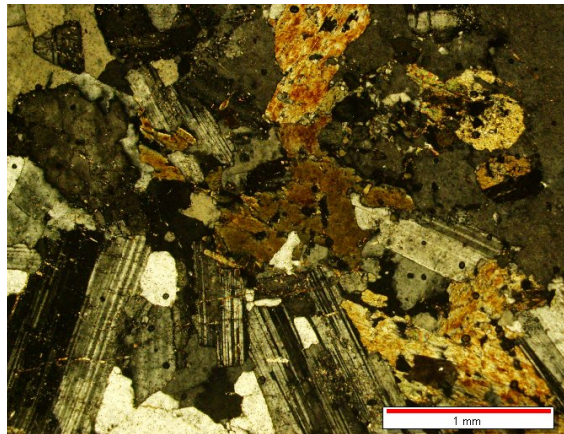
شکل ۷-۴ تصویری از بازالت در مقطع نازک، نور XPL (پلاریزه) شکل ۷-۳ تصویری از آندزیت در مقطع نازک، نور XPL (پلاریزه)



شکل ۵-۷ تصویری از تراکی آندزیت (لاتیت) در مقطع نازک، نور XPL (پلاریزه)



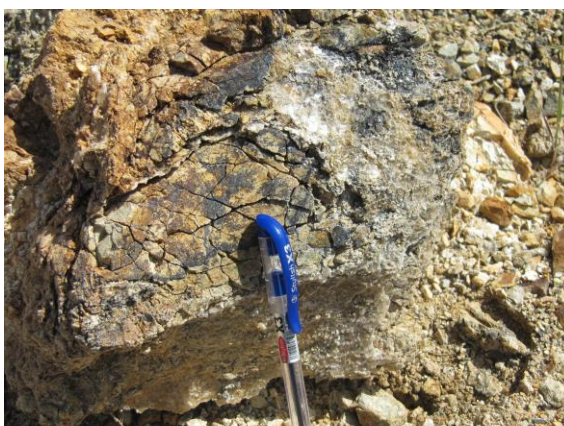
شکل ۷-۷ تصویری از آلکالی گرانیت در مقطع نازک، نور PPL (طبیعی)



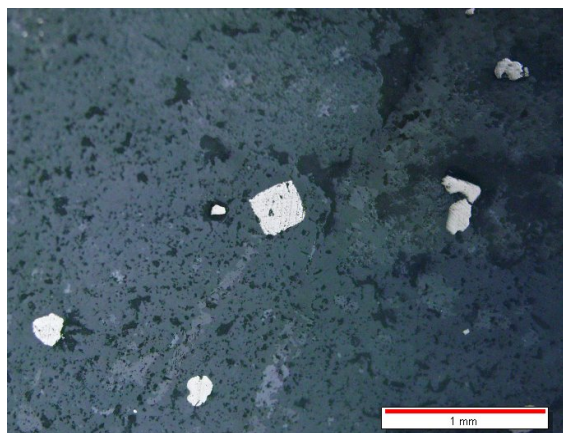
شکل ۶-۷ تصویری از مونزونیت در مقطع نازک، نور XPL (پلاریزه)



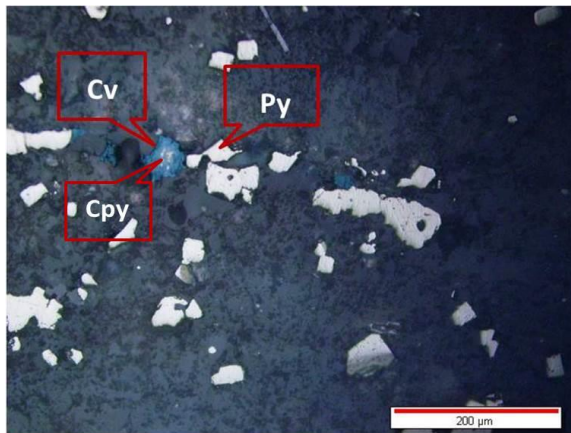
شکل ۷-۹ تصویری از زون سولفیدی



شکل ۷-۸ تصویری از دگرسانی سولفید به سولفات کلسیم



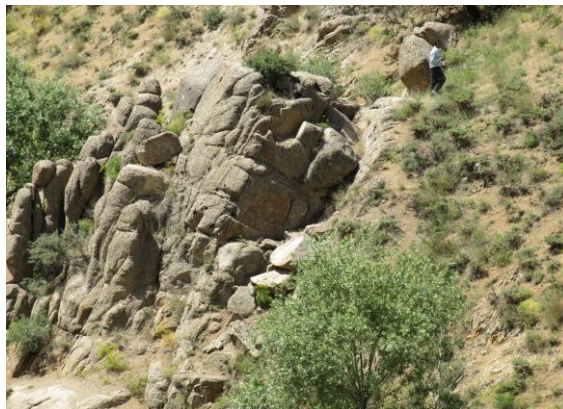
شکل ۷-۱۱ تصویری از بلورهای خودشکل پیریت در مقطع صیقلی، نور انعکاسی



شکل ۷-۱۰ تصویری از بلورهای پیریت، کالکوپیریت و کولین در مقطع صیقلی، نور انعکاسی

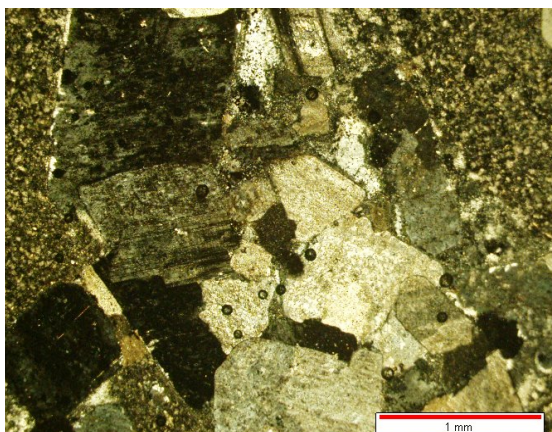


شکل ۷-۱۳ تصویری از گرانیت آپلیتی



شکل ۷-۱۲ تصویری از شکستگی دیاکلازی

همچنین نمونه‌های صحرایی گرفته شده از منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ‌های گرانیتی و ریولیتی مربوط به دوره‌ی انوسن تحت تأثیر محلول‌های گرمابی، رگه‌های تیره رنگی از اکسید آهن را در خود نشان می‌دهند.



شکل ۷-۱۴ تصویری از ریولیت در مقطع نازک، نور PPL

در بررسی‌های صحرایی در محدوده‌ی شمال شرقی ورقه، جایی که در مطالعات سنجش از دور، ژئوشیمی و ژئوفیزیک، به عنوان مناطق دگرسان شده تفکیک شده و تشخیص داده شد، سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی تحت تأثیر فرآیند گرمایی متحمل دگرسانی‌های آرژیلیتی و لیمونیتی شده‌اند و سولفیدهای آنها به اکسید تبدیل شده‌اند. نمونه‌ی بارز آن را می‌توان در محدوده‌ی روستای گلوجه غمی مشاهده کرد (شکل ۷-۱۴).



شکل ۷-۱۵ تصویری از دگرسانی‌های اکسیدهای آهن و آرژیلیتی در مقیاس محلی

در نتیجه، با توجه به شواهد به دست آمده از بخش‌های قبلی، وجود دگرسانی و تجمع غیرعادی مس در قسمت شمال شرقی ورقه‌ی هشترود تأیید می‌شود.

با توجه به کارهای نرم‌افزاری که روی داده‌های ماهواره‌ای، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی صورت گرفت و نیز شواهد صحرایی موجود در منطقه احتمال می‌رود که آنومالی مس از نوع پورفیری و کانسار احتمالی کانسار مس پورفیری باشد.

مدل توصیفی کانسار

نوع سنگ: درونی (گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت). بیرونی (آندزیت، تراکی آندزیت، ریولیت، بازالت و آذرآواری‌ها).

بافت: سنگ‌های درونی دارای بافت گرانولار. سنگ‌های بیرونی دارای بافت‌های پورفیری، تراکیتی، میکرولیتی، گلومروپورفیری.

دامنه‌ی سن: سنگ‌های بیرونی (میزبان) به سن ائوسن (عمدتاً ائوسن میانی - بالایی). سنگ‌های نفوذی به سن بعد از ائوسن (ائوسن بالایی - الیگوسن).

محیط بروز دگرسانی و کانه‌زایی: قسمت‌های بالایی توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق جایی که آب‌های جوی، زیرزمینی و ماگمایی (سیال کانه‌دار) در شکستگی‌های فراوان موجود در سنگ‌ها باعث ایجاد دگرسانی و کانه‌زایی می‌شوند.

خاستگاه تکتونیک: زون ماگمایی کالک آلکالن آندی فرورانش حاشیه‌ی قاره‌ی (ارومیه - دختر) که با روند شمال غربی - جنوب شرقی در امتداد زاگرس قرار دارد.

کانسارهای مرتبط: کانسارهای مس - مولیبدن و تنگستن پورفیری.

کانی‌شناسی: عمدتاً پیریت و کالکوپیریت به همراه کانی‌های کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت، پیروکسن، کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفور ثانویه‌ی مس (کولین).

ساخت: استوک‌ورک، دانه پراکنده و رگه- رگچه‌ای.

دگرسانی: سولفیدی، آرژیلیتی، پروپلیتی به همراه آغشتگی‌های اکسید آهن.

عوامل کنترل‌کننده‌ی کانه‌زایی: رژیم زمین‌ساختی، فرآیندهای ماگمایی و گرمایی، تکتونیک ناحیه‌ای و محلی به عنوان کنترل‌کننده‌های ساختاری محل کانه‌زایی.

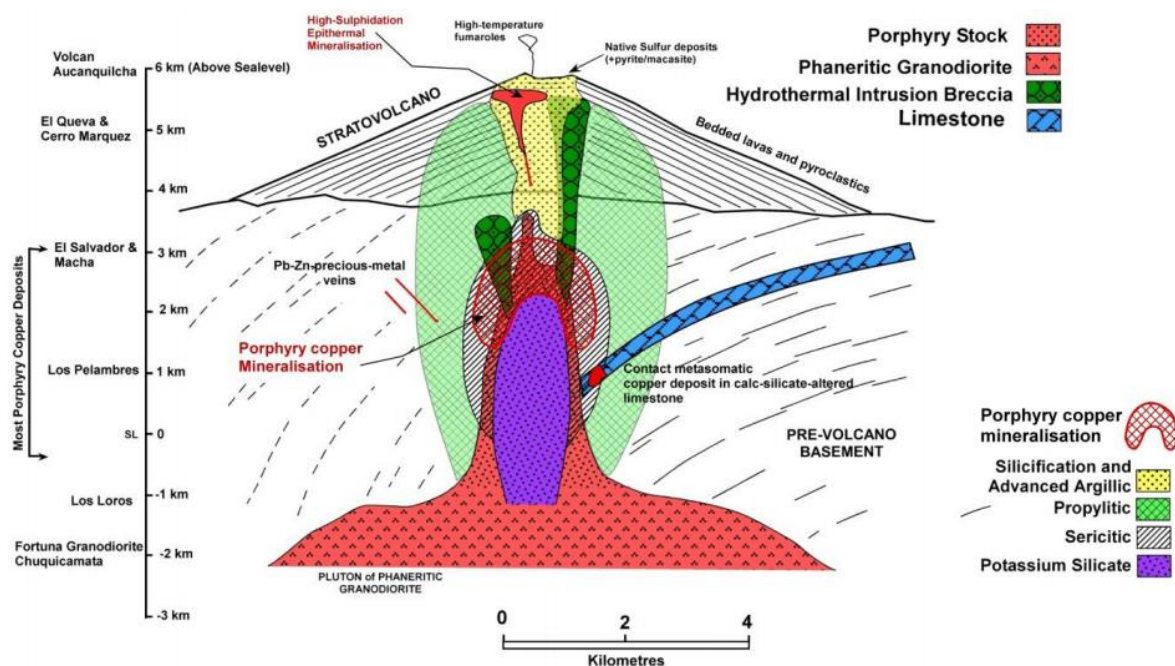
هوازدگی: آب‌های جوی و سیالات باعث شست و شوی مواد معدنی از قسمت‌های سطحی زون کانه‌دار (زون شست و شو) و ایجاد سولفورهای ثانویه‌ی مس مانند کولین در اعماق (زون غنی شده) می‌شوند.

لازمه‌ی این فرآیند، وجود پیریت فراوان، نفوذپذیری بالا و آب‌های اکسیژن‌دار است.

مشخصه‌ی ژئوشیمیایی: عناصر مس، مولیبدن و تنگستن عناصر اصلی را تشکیل می‌دهند. سایر عناصر قابل توجه، طلا، نقره، کادمیوم، سرب، آنتیموان و روی هستند. سرب و روی عناصری هستند که به علت تحرک‌پذیری بالا معمولاً در اطراف این کانسارها مشاهده می‌شوند.

مدل شماتیکی از کانسار مس پورفیری

شکل (۷-۱۶)، مدل شماتیکی از کانسار پورفیری، از جمله نوع کانسار مورد نظر ما در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌رود است، که در آن زون‌های دگرسانی و نحوه و محیط تشکیل مشاهده می‌شود.



شکل ۷-۱۶ مقطع عرضی نشان دهنده‌ی زون‌های دگرسانی در اطراف سیستم پورفیری و مقیاس عمودی از سیستم کانه‌زایی که تا عمق هشت کیلومتری پوسته را نشان می‌دهد (modified from Sillitoe, 2010).

۲-۷- پیشنهادها

همان‌گونه که از نتیجه‌ی روش‌های به کار رفته در این پروژه دیده می‌شود، منطقه‌ی شمال شرق ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشت‌رود به ویژه محدوده‌ی روستاهای گلوچه غمی و خاتون آباد، مناطق آنومال برای اکتشاف مس هستند که پیشنهاد می‌شود، در ادامه مطالعات زیر انجام شود:

- ۱- تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده‌ی مورد بررسی.
- ۲- نمونه‌برداری ژئوشیمی سنگ بستر و انجام مطالعات ژئوشیمیایی به منظور تعیین کانه‌زا بودن آن.
- ۳- انجام عملیات ژئوفیزیکی زمینی مثل مغناطیس‌سنجی و ژئوالکتریک.
- ۴- در صورت دستیابی به نتایج مثبت حفر گمانه‌ی آزمایشی و مغزه‌گیری گمانه‌ها.

منابع

منابع فارسی

- افتخارنژاد ج، (۱۳۵۹)، " تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی"، نشریه‌ی انجمن نفت، شماره‌ی ۸۲، ص ۱۹-۲۸.
- باباخوانی ع، (۱۳۶۰)، پایان‌نامه‌ی ارشد، "مطالعه‌ی پتروگرافی و ژئوشیمی نفلین سینیت‌های شمال آذربایجان"، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران.
- جاهدی ف، فرخی ش، (۱۳۷۵)، "مبانی سنجش از دور"، مرکز سنجش از دور ایران . ۳۲۸ ص. انجمن سنجش از دور ژاپن.
- جبارزاده ز، حسین زاده م، موید م، فرامرزی ر، (۱۳۹۲)، "کانی‌شناسی و زمین‌شیمی دگرسانی‌های گرمابی در رخداد یارالوجه (شمال غرب اهر - آذربایجان شرقی)" *مجله‌ی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، سال بیست و سوم، شماره‌ی اول، ص ۷۵ تا ۸۶.
- حسنی‌پاک ع (۱۳۸۹) "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۲۶۶.
- حسنی‌پاک ع، شرف‌الدین م (۱۳۸۰) "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۹۸۷ ص.
- حیدری ر، نوروزی غ، (۱۳۹۰)، "پتانسیل‌یابی مس با استفاده از روش آنالیز ویژگی در اطراف قاپاچ تپه از توابع شهرستان هشترود" *پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*، دانشگاه تربیت معلم.
- حیدریان شهری م. ر، (۱۳۸۴)، "مبانی اکتشافات ژئوفیزیک"، تألیف ادوین اس، رابینسون و س. کورو. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۷۵۰ ص.
- درویش‌زاده ع (۱۳۸۹) "زمین‌شناسی ایران" چاپ چهارم، انتشارات امیرکبیر، تهران، ص ۹۳.

- درویش‌زاده ع (۱۳۷۰) "زمین‌شناسی ایران" چاپ اول، انتشارات امیرکبیر، تهران، ص ۲۵۷.
- رفاهی د، (۱۳۹۱)، "شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های در ارتباط با کانی‌زایی طلای اپی‌ترمال و مس پورفیری به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌ای استر در منطقه‌ی اوغلانسر"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- زمردیان ح، حاجب حسینی ح، (۱۳۸۶)، "ژئوفیزیک کاربردی"، تألیف تلفورد دلیو. ام، جلدات ار. ای، شریف ای، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- قربانی م، (۱۳۸۶)، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، چاپ اول، انتشارات آرین زمین، تهران، ۴۹۲ ص.
- کلاگری ع. ا، (۱۳۸۹)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی (اکتشاف‌های زیرزمینی- روش‌های ژئوفیزیکی)"، تبریز- لطفی م، (۱۳۵۴)، پایان‌نامه‌ی ارشد، "بررسی زمین‌شناسی و پترولوژی منطقه‌ی شمال خاور میانه (آذربایجان شرقی)"، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه تهران.
- مدنی ح، (۱۳۹۰)، "مبانی اکتشاف مواد معدنی" جلد اول، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ۱۰۲۷ ص.
- ملکیان ع. ر، (۱۳۹۱)، "تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل مطلوب منابع آب زیرزمینی حوزه‌ی آبریز بسطام در محیط GIS"، دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- مقصودی ع، پارسا صدر م، رحیمی ا، (۱۳۹۳)، "ارائه‌ی روش ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منطق فازی برای پتانسیل‌یابی مس پورفیری در ورقه‌ی یکصد هزار اهر" پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، مصلی امام خمینی تهران.
- نقشه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزار هشترو، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ میانه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- هاشمی تنگستانی م، مظهري ن، (۱۳۸۳)، "بارزسازی و تفکیک زون‌های دگرسانی مس پرفیری با استفاده از باندهای فرسرخ موج کوتاه سنجندهی آستر، مطالعه موردی منطقه‌ی میدوک، شمال شهر بابک، کرمان" هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- یوسفی م، کامکار روحانی ا، (۱۳۸۹)، "اصول روش‌های مدل‌سازی پتانسیل معدنی"، جلد اول، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۵۵.

منابع انگلیسی

- Abdelrahman E.M., Raid S., Refai E., and Amin Y., (1985), "On the least-squares residual anomaly determination", **Geophysics**, v.50, pp.473-480.
- Ansari, H.J., (1965), Geology of southern Meyaneh basin in Azarbayjan, Iran, Petroleum Geologists bull., V. 49, No. 1.
- Asadi Haroni H. and Lavafan A. "Integrated Analysis of ASTER and Landsat ETM to Map Exploration Target in the Muteh Gold- Mining Area, Iran".
- Bhattacharyya, B.K. (1972) "Design of spatial filter and their application to high resolution aeromagnetic data" *Geophysics*, 37, pp 68-91.
- Bhattacharyya, B.K. and Chan, K. C., (1977), Reduction of magnetic and gravity data on an arbitrary surface acquired in a region of high topographic relief, *Geophysics*; 42(7):1411-1430.
DOI: 10.1190/1.1440802
- Bonham-Carter, G.F., (1994): *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*, Pergamon Press, Ontario, Canada.
- Bonham- Carter, G.F, 1995, Geological applications of GIS mineral Potential mapping, Cooperative Research Centre for Australian Mineral Exploration Technologic (CRCAMET), Department of Exploration Geophysics, Curtin University of Technology western Australia.
- Cooper G.R. Cowan D.R. (2008). "Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics", **Geophysics**, 73(3),pp. H1-H4.
- Dobrin M.B. & Savit C.H., (1988), "**Introduction to Geophysical Prospecting**", 4th edition, McGraw-Hill (New York), pp.867.
- Eftekhari Nezhad, J., (1975), Brief description of tectonic history and structural development of Azarbayjan, Field Excursion Guide, No. 2. Note A Sym. Geodynamic of southeast Asia, Tehran: 469- 478.
- Ferreir G. White K. Griffiths G. Bryant R. and Stefofuli M. (2002), "The mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Levos, Greece using an integrated remote sensing dataset", *International journal of remote sensing*.

- Hinze, W.J., (1990), "The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies ", in Ward (Ed), Geotechnical and environmental geophysics, **The Society of Exploration Geophysicists**, pp.75-126.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, D., Villari, L., and Brozolo, f., (1976), Evolution of the Volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake van, Eastern, Turkey), I, Volcano, Geothermal, Res. V. I, No. 2: 103- 112.
- Jensen R. John, (1996), "Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective", 2nd edition, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Miller H. G. and Singh V., (1994), "Potential Field tilt- A new concept for location of potential field", **Jurnal of Applied Geophysics**, v.32, pp.213-217.
- Moon W.M, & Rencz A, 1991, Application of Fuzzy set theory for integration of geological, geophysics and remote sensing data, Canadian Jurnal of exploration Geophysics, 27, 1-11.
- Neawsuparp K, Charusiri P, Meyers J, 2005, New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface in the Loei area, Northeastern Thailand, Science Asia, 31, 283-298.
- Robinson E. and Caruh C. (1988), "Basic exploration geophysics", Virginia polytechnic Institute and State University
- Sabins F.F, (1999). "Remote sensing for mineral exploration", Ore Geology Reviews,14, pp 157-183.
- Silva Joao B. C. and Barbosa Val eria C. F. (2003), "3D Euler deconvolution: Theoretical basis for automatically selecting good solution", **Geophysics**, 68, 1962-1968.
- Sillitoe R. H., (2010), Porphyry copper system. Economic Geology, 105(1), 3- 41.
- Srivastav S.K. Bhattacharya A. Kamaraju M.V.V. Sreenivasa Reddy G. Shrimal A.K. Mehta D.S. List F.K. and Burger H. (2000), "Remote sensing and GIS for locating favourable zones of lead-zinc-copper mineralization inRajpura-Dariba area, Rajasthan, India", International Journal of Remote Sensing, v. 21, N. 17, p. 3253-3267.
- Telford W.M. Geldart L.P. and Sheriff R.C. (1991), "**Applied Geophysics**",2nd edition Cambridge University Press, pp. 770
- Thomas M. Lillesand and Ralph W. Kiefer (1994), "Remote Sensing and Image Interpretation", third edition, John Wiley & Sons, New York, NY 1994.

- Verduzco B. J. D., Fairhead C. M., Green C. MacKenzie, (2004) "The meter reader -New insights into magnetic derivatives for structural mapping", The Leading Edge 23, 116-119.
- Yetkin E. (2003). M.SC thesis, "Alteration Mapping By Remote Sensing: Application To Hasandağ – Melendiz Volcanic Complex", The Department Of Geological Engineering, The Middle East Technical University, Turkey.
- Zahed L.A. 1965, Fuzzy sets. IEEE Information and Control, v.8, p. 338-353.
- Zimmerman H.J. 1991, Fuzzy Set Theory and its Application, 2nd, Edition, Kluwer Academic Publisher, Boston. 399 pp.

Abstract

Geological Map 1/100000 of Hashtrud include an area in eastern Azerbaijan province and western Alborz-Azerbaijan zone. The purpose of this study, the combination of the different layers of information in a GIS environment to determine suitable areas for exploration for copper and associated elements. To understand the problem has been used of satellite data, geochemistry, geophysics and geology of the area. In the chapter of Remote Sensing sensors of ASTER and ETM + images are examined and processed. For processing the images from color mixing techniques, band ratio, principal component analysis and least squares regression was used. The resulting images, the alteration was found. In geochemistry, stream sediment geochemistry data is used and a map of the anomalies of copper and associated elements are obtained. In geophysics, airborne magnetic data were used in the maps of various filters, including filters applied to pole, surface process, extending the upward vertical derivative, angle of inclination and horizontal differentiation of the angle of inclination, place the mass of intrusive and alteration in the region were identified.

Final data obtained from geological layers of processing, remote sensing, geochemistry and geophysics each layer of information obtained in application environment GIS, using fuzzy logic and the final result to determine the optimal together to locate potential copper was obtained. The host rock of copper in the area include Middle Eocene intrusive and volcanic rocks such as granite and granodiorite, diorite, andesite, Trachyandesite, basalt and monzonite.

Keywords: Geology, Remote sensing, Airborne Geomagnetic, Geochemistry, GIS, copper Mineralization, Hashtrud



دانشگاه شاهرود

University of Shahrood

Faculty of Earth Sciences

Department of Petrology and Economic Geology

**Mapping Optimal potential for copper exploration in GIS environment using satellite,
geophysical and geochemical data in one hundred thousand sheet Hashtrood**

Zahra Hamid

Spervisor:

Dr. H. Aghajani

Dr. H. Ghasemi

Advisor:

MSc. M. Rezaei

September 2015