

## تلفیق پردازش تصاویر لندست ۸ و ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای برای اکتشاف منابع معدنی: مطالعه

## موردی در ناحیه ده سلم، شرق ایران

محمد حسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

آزاده ملکزاده شفارودی

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۴

karimpur@um.ac.ir

## چکیده

محدوده ده سلم در ۳۰۰ کیلومتری جنوب- جنوب غربی بیرجند در شرق ایران قرار گرفته است. این منطقه بخشی از مجموعه ماگماتیسم ترشیری بلوک لوت است که میزبان کانی‌سازی‌های پورفیری و اپی‌ترمال شده است. زمین‌شناسی محدوده شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگون شده کرتاسه و واحدهای آتشفشانی ائوسن است که مورد نفوذ توده‌های مونزونیتی تا دیوریتی با سن ائوسن تا الیگوسن قرار گرفته‌اند. پردازش تصویر ماهواره لندست ۸ کانی‌های کائولینیت، سرسیت، کوارتز، کلریت آهن‌دار، کلریت منیزیم‌دار و اپیدوت را بارز کرده است. ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی از عناصر مس، سرب، روی و آرسنیک در کلیه آبراهه‌های منطقه مشاهده می‌شود. آثار کانی‌سازی نیز در برخی مناطق وجود دارد. تلفیق کلیه اطلاعات منجر به شناسایی ۷ محدوده امیدبخش در واحدهای آذرین ترشیری ۲ و محدوده در واحد آهکی کرتاسه شد. اکتشاف منابع معدنی در این بخش از ایران که از نقاط کویری و بسیار محروم جنوب استان خراسان جنوبی است، می‌تواند باعث رونق اقتصادی شود.

**کلمات کلیدی:** لندست ۸، ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای، اکتشاف منابع معدنی، ده سلم، بلوک لوت.

## مقدمه

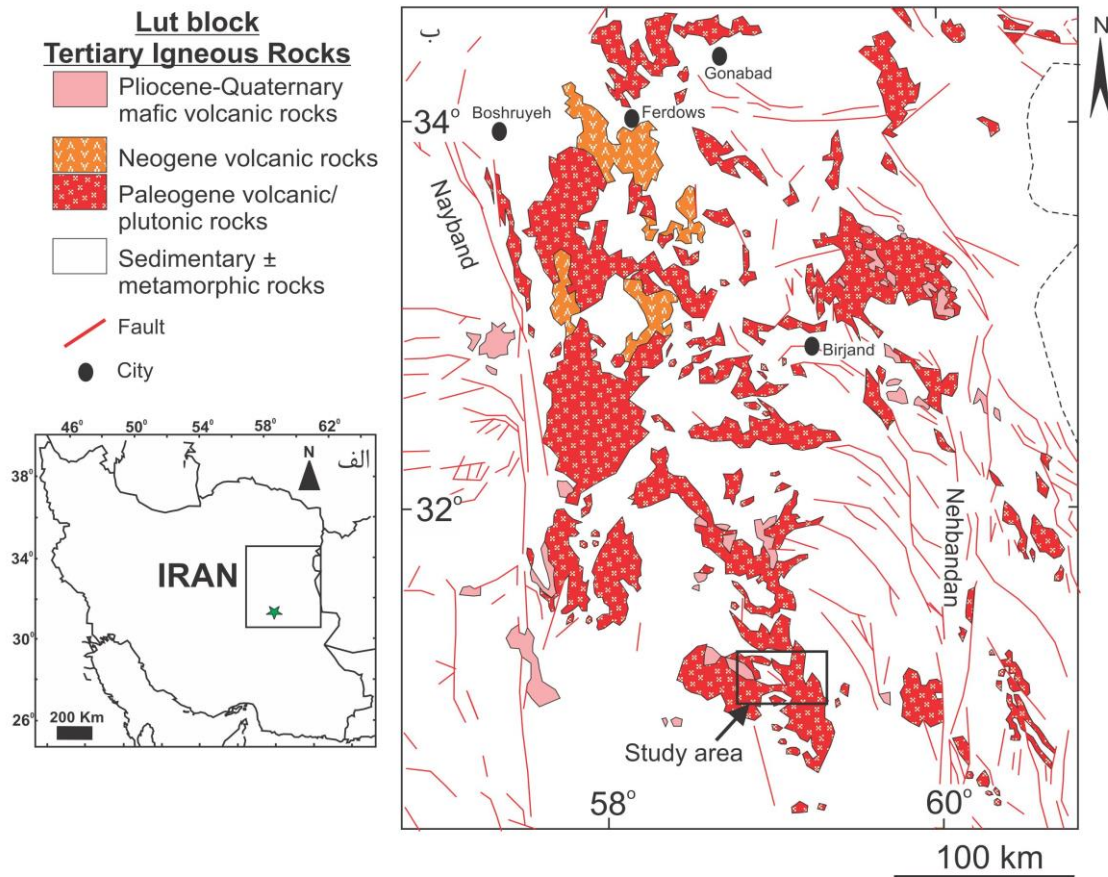
علیرغم پتانسیل بالای کانه‌زایی بلوک لوت، بخش زیادی از ذخایر آن هنوز ناشناخته مانده که این مسئله در نیمه جنوبی آن بیشتر مشهود است. زیرا راه‌های دسترسی و مراکز جمعیتی در این بخش‌ها بسیار اندک بوده و بدلیل شرایط کویری، قسمتهایی از آن پوشیده از نمکزار و شورزار است. همچنین آب و هوای گرم و خشک کویر لوت مزید بر علت شده است. یکی از بهترین روش‌های اکتشافی در چنین مناطقی پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از روش‌های مفید، آسان و کم هزینه در بارزسازی زون‌های آلتراسیون می‌باشد. این روش می‌تواند در کوتاهترین زمان ممکن، محل‌های محتمل برای کانی‌سازی را در نقاط دورافتاده و خشک و کویری مشخص کند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی می‌تواند یک ایده اولیه از کانی‌های آلتراسیونی موجود در منطقه و نحوه توزیع آنها ارائه دهد.

تلفیق نتایج پردازش با دیگر اطلاعات موجود از منطقه مانند زمین-شناسی، زمین‌شیمی رسوبات رودخانه‌ای و ژئوفیزیک هوایی (در صورت وجود داده) می‌تواند نقاط امیدبخش وجود منابع معدنی را آشکار کند که البته تایید نهایی آنها نیاز به بازدید صحرایی و کارهای تفصیلی دارد. منطقه ده سلم به وسعت تقریباً ۲۱۰۰ کیلومترمربع در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب- جنوب غربی بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، در محدوده بین طول‌های جغرافیایی "۳۰° ۴۲' ۵۸" تا "۱۵° ۵۹' ۵۹" و عرض‌های جغرافیایی "۰۱° ۳۱' ۳۱" تا "۱۸° ۳۱' ۳۱" قرار گرفته است (شکل ۱). این محدوده در جنوب غربی روستای ده سلم و در دل کویر لوت واقع شده است. به لحاظ تقسیمات ساختاری، منطقه ده سلم در

بیش از نیمی از بلوک لوت در شرق ایران پوشیده از مجموعه ماگماتیسم ترشیری بویژه با سن ائوسن است (شکل ۱). کریم‌پور و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی گرانیتوئیدهای مرتبط با کانی‌سازی‌های ترشیری دریافتند که بازه سنی بین ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال قبل (ائوسن میانی تا الیگوسن تحتانی) مهمترین دوره متالوژنی بلوک لوت است. ماگماتیسم این دوره در زون فرورانش تشکیل شده، ماگما از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی منشأ گرفته و با پوسته قاره‌ای نیز با نسبت‌های مختلف آلودگی پیدا کرده است. این ماگماتیسم، پتانسیل بالایی برای انواع مختلف کانی‌سازی مانند پورفیری، اپی‌ترمال، مس- طلا همراه با اکسید آهن (IOCG) و اسکارن فراهم آورده است. از آن جمله می‌توان به ذخایر مس- طلا پورفیری مانند ماهرآباد و خوپیگ (ملکزاده شفارودی، ۱۳۸۸) و ده سلم (ارجمندزاده، ۱۳۹۰)، کانسار اپی‌ترمال سولفید بالا مانند چاه شلجمی (ارجمندزاده، ۱۳۹۰ و Arjmandzadeh et al., 2011) و کوه‌شاه (عبدی و کریم‌پور، ۱۳۹۱)، کانسار نوع IOCG قلعه‌زری (Karimpour et al., 2005 and 2006)، کانسار اسکارن بیشه (نخعی و همکاران، ۱۳۹۳)، ذخایر مس اپی‌ترمال شمال خور (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013)، کانسار پلی‌متال مهور (میری و همکاران، ۱۳۹۳ الف)، ذخایر رگه‌ای مناطق شوراب، گله چاه و چوپان (Lofli, 1982؛ نخبه‌القهایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مهرابی و همکاران، ۱۳۹۰) و ذخایر سرب و روی رگه‌ای حوض رئیس (ملکزاده شفارودی و همکاران، ۱۳۹۱) و سه چنگی (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2015) اشاره نمود.

کمک نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۱) و نقشه‌های اکتشافی-کانی‌سازی موجود در نهایت معرفی مناطق مهم برای اکتشاف مواد معدنی بوده است.

جنوب بلوک لوت قرار گرفته و از ویژگی‌هایی تکتونوماگمایی و ساختاری آن تبعیت می‌کند (شکل ۱). هدف از این مطالعه پردازش تصاویر ماهواره لندست ۸ به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) برای کانی‌های مختلف آلتراسیونی، تلفیق این داده‌ها با نتایج زمین‌شیمیایی رسوبات رودخانه‌ای برای ۴ عنصر مهم مس، سرب، روی و آرسنیک، تفسیر نتایج به



شکل ۱. الف: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ب: نقشه زمین‌شناسی محدوده ده سلم در شرق ایران و جنوب بلوک لوت

## روش مطالعه

شده بودند. کلیه پردازش‌ها توسط نرم‌افزار ENVI 4.7 صورت گرفته است. پردازش نهایی به روش‌های ترکیب رنگی ساده کاذب و طبقه‌بندی نظارت‌شده انجام شد. طبقه‌بندی نظارت‌شده یک روش چندطیفی برای دسته‌بندی پیکسل‌ها براساس خصوصیات طیفی مشابه آنهاست. در این روش اپراتور ویژگی کلاسه‌بندی را شخصاً انتخاب می‌کند (Sabins, 1999). روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) (Kruse et al., 1993) از جمله روش‌های مرسوم طبقه‌بندی نظارت‌شده است که با حداقل اختلاف زاویه طیفی پیکسل‌ها، موقعیت کانی‌های زون‌های آلتراسیون را در تصویر مشخص می‌کند. از مزیت‌های این روش شناسایی دقیق نوع و محل کانی‌ها و گسترش و شدت آلتراسیون به تفکیک زون‌های مختلف است. در منطقه مورد مطالعه طیف‌های موجود در پیکسل‌های تصویر لندست ۸ با کتابخانه طیفی دیجیتال سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم‌افزار ENVI 4.7 (Clark et al., 1993) مورد مقایسه قرار گرفت. در این روش کانی کاتولینیت به عنوان شاخص زون آرژلیک، سرسیت معرف زون سرسیتیک، دو نوع کوارتز نماینده زون

پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی امروز مورد توجه خاصی قرار گرفته است. این روش خصوصاً برای کشف ذخایر پورفیری - اپی‌ترمال که با زون‌های آلتراسیونی وسیع همراه هستند، کاربرد بیشتری دارد. دقت پردازش داده‌های ماهواره‌ای به حدی است که می‌تواند کانی‌هایی را که در مقاطع میکروسکوپی از یکدیگر قابل تشخیص نیستند و تنها با دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) می‌توان آنها را شناسایی کرد (مانند کانی‌های رسی)، تفکیک کند. این مسئله به تفاوت‌های جزئی در دامنه طیف جذبی و انعکاسی امواج الکترومغناطیس کانی‌ها برمی‌گردد.

در این مطالعه داده‌های ماهواره لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه در جنوب شرقی صحنه اطلاعاتی با شماره 159-38 که در تاریخ ۲۰۱۵/۲/۷ تصویربرداری شده است، قرار دارد. در پردازش تصویر لندست ۸ ابتدا باندهای ۱ تا ۹ ادغام شدند و سپس محدوده مورد مطالعه بریده شد. تصویر مذکور توسط نقشه‌های توپوگرافی و با نقاط کنترلی مانند تقاطع جاده یا آبراه‌ها، به عنوان پیش پردازش، تصحیح هندسی شد. دیگر تصحیحات مقدماتی قبلاً بر روی تصویر اعمال

نموده‌اند. رخنمون این واحدها در جنوب، جنوب غربی و شرق نقشه مشاهده می‌شود (شکل ۲).

اما مطالعات صحرایی گسترده طی ۱۰ سال اخیر در بخش‌های مختلف بلوک لوت و تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس نشان می‌دهد که بخش زیادی از سنگ‌های آذرین ترشیری که در نقشه‌های زمین‌شناسی با نام‌های آتشفشانی نامگذاری شده‌اند، در واقع توده‌های نفوذی نیمه عمیق با بافت پورفیری هستند. این مسئله در محدوده مورد مطالعه نیز صدق می‌کند، بطوریکه مطالعات صحرایی تفصیلی میری و همکاران (۱۳۹۳) الف و ب) در بخش‌های مرکزی منطقه (مناطق مشخص شده با حروف B و C در شکل ۲) و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی اکتشافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی نیمه عمیق متعددی به شکل استوک کوچک و دایک با ترکیب کوارتز موزونیت، کوارتز موزودیوریت و دیوریت در این محدوده‌ها وجود دارند (شکل‌های ۳ الف و ب) که نفوذ آنها به درون سنگ‌های آتشفشانی منجر به آلتراسیون هیدروترمالی و کانی‌سازی شده است. همچنین مطالعات صحرایی تفصیلی (برآبادی و همکاران، ۱۳۹۴) در جنوب شرقی منطقه (منطقه مشخص شده با حرف E در شکل ۲) و تهیه نقشه زمین‌شناسی اکتشافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ نشان می‌دهد که دایک‌های متعددی با ترکیب دیوریت پورفیری، موزودیوریت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری سنگ‌های آتشفشانی را قطع نموده‌اند. استوک‌هایی با ترکیب موزونیت و دیوریت پورفیری نیز در بخش‌های مختلف منطقه رخنمون دارند (شکل‌های ۳ پ و ت). نفوذ این واحدهای نیمه عمیق به داخل سنگ‌های آتشفشانی باعث آلتراسیون گسترده شده است (برآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). لذا این مسئله در دیگر نقاط محدوده مورد مطالعه نیز می‌تواند صدق کند و رخنمون توده‌های نفوذی نیمه عمیق بیش از آنچه که در نقشه نشان داده است، می‌باشد.

### پردازش تصاویر لندست ۸

ماهواره لندست ۸ دارای سنجنده تصویربردار زمینی گردشی (OLI) و سنسور مادون قرمز حرارتی (TIRS) در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. این سنجنده دارای ۱۱ باند است که باندهای ۱ تا ۷ و باند ۹ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، باند ۸ (پان کروماتیک) ۱۵ متر و باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ تفکیک مکانی ۱۰۰ متر دارند (جدول ۱). علاوه بر آن باند ۱ برای مطالعات نواحی ساحلی و باند ۹ برای آشکارسازی ابرهای سیروس توانایی دارد. اندازه هر صحنه آن در جهت شمالی-جنوبی ۱۷۰ کیلومتر و در جهت شرقی-غربی ۱۸۳ کیلومتر است. [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

تصویر ماهواره لندست ۸ محدوده مورد مطالعه، ابتدا به روش ترکیب رنگی کاذب ساده RGB=753 پردازش شد. در این تصویر محدوده‌های آلتزه با پیکسل‌های سفید، سفید مایل به آبی روشن و مقداری آجری رنگ بارز شدند. بر این اساس ۷ محدوده مهم با نام‌های A تا G منطبق بر واحدهای آتشفشانی-نفوذی ترشیری تفکیک شد. البته در گوشه شمال غربی و نیز شرق محدوده، واحد آهک اوربیتولین‌دار کرتاسه نیز با رنگ آجری آشکار شده و آلتزه شده است (شکل ۴).

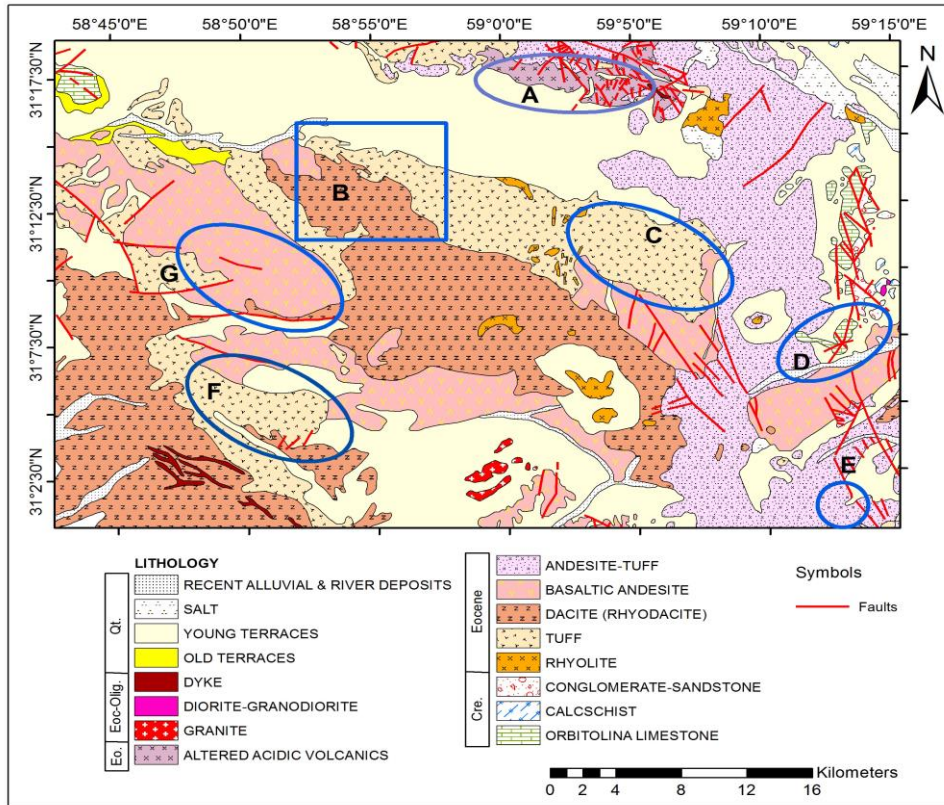
سیلیسی و کلریت آهن‌دار و منیزیم‌دار و اپیدوت به عنوان شاخص‌های زون پروپلیتیک، انتخاب شدند. همچنین داده‌های زمین‌شیمیایی مربوطه برای عناصر مهم مس، سرب و روی و آرسنیک براساس نتایج حاصله از تجزیه نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در برکه ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم برداشت شده با یکی از تصاویر حاصل از پردازش لندست ۸ تلفیق شد تا ارتباط بین ناهنجاریهای زمین‌شیمیایی با محل‌های آلتزه مشخص گردد. در نهایت نیز تعبیر و تفسیر لازم برپایه تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی (-کانی‌سازی)، پردازش تصاویر ماهواره و زمین‌شیمی در قالب معرفی مناطق امید بخش برای اکتشاف منابع معدنی ارائه گردیده است.

### زمین شناسی

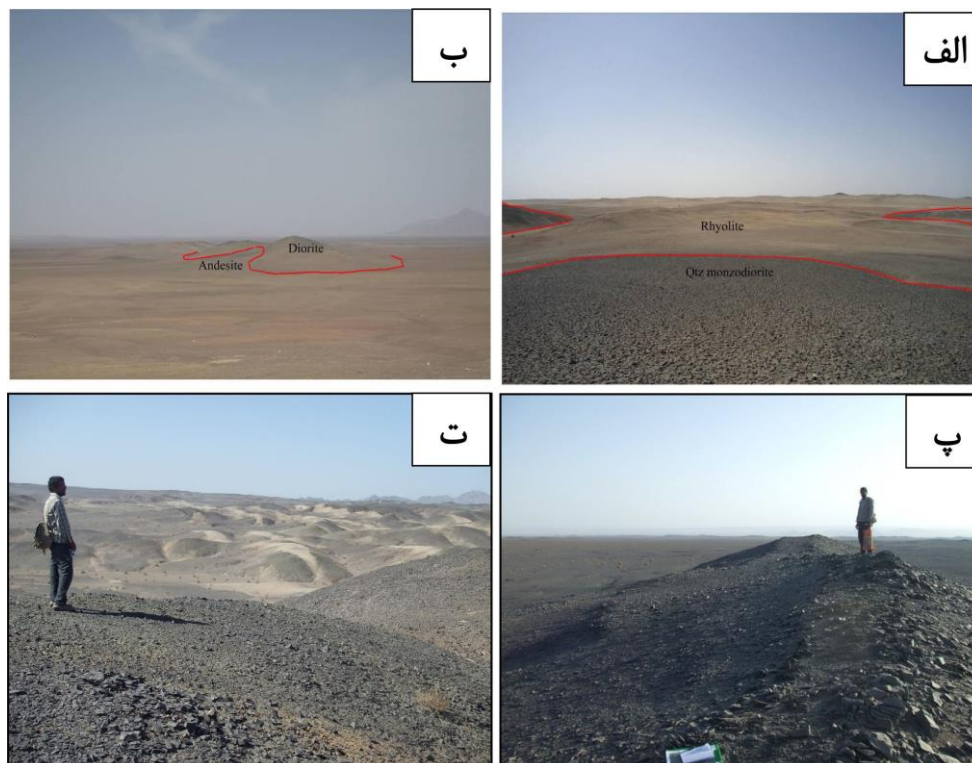
محدوده مورد مطالعه در جنوب غربی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۱) واقع شده است. بر طبق این نقشه، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه سنگ‌های رسوبی کرتاسه هستند که در برخی نقاط در مجاورت توده‌های نفوذی دچار دگرگونی همبری شده‌اند (شکل ۲). رخنمون اندکی از سنگ آهک اوربیتولین‌دار در شمال غربی و شرق محدوده به رنگ خاکستری و نخودی با لایه‌بندی نازک تا متوسط دیده می‌شود. این سنگ آهک از نوع اسپاری و دارای الیت، خرده فسیلی و ذرات ماسه است (اکرمی و نادری میقان، ۱۳۸۴). واحد کالک شیبست با رخنمون بسیار جزئی در شرق محدوده مشاهده می‌گردد. این واحد آهکی بر اثر نفوذ توده گرانیتی-گرانودیوریتی که در شرق منطقه (خارج از پنجره مطالعاتی) قرار دارد، دچار دگرگونی مجاورتی شده و کانی‌هایی مانند گارنت، اپیدوت، کوارتز و دیوپسید در آن تشکیل شده است. کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز کرتاسه نیز در شرق نقشه رخنمون دارد که به شدت گسل خورده است (شکل ۲).

براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم، بخش اعظم منطقه پوشیده از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن است. گدازه‌های آندزیت بازالتی، آندزیتی و داسیتی-ریوداسیتی و واحد آذرآواری توف بلورین بیشترین گسترش را در محدوده دارند. گدازه‌های آندزیت بازالتی به رنگ سیاه تا خاکستری تیره از شرق تا غرب منطقه گسترش دارند و در برخی نقاط در مجاورت توده‌های نفوذی دچار آلتراسیون شدید شده‌اند. کانی‌های شاخص آن پلاژیوکلاز کلسیک و پیروکسن است. مخلوطی از گدازه‌های آندزیتی و توف با روند شمالی-جنوبی در شرق محدوده ده سلم دیده می‌شود که در برخی نقاط آلتزه شده و دارای کانی‌سازی است. گدازه‌های داسیتی-ریوداسیتی به رنگ روشن در مرکز و جنوب غربی نقشه گسترش دارد. کانی‌های شاخص این واحد شامل کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات الکالی است که در برخی نقاط دچار آلتراسیون آرزلیک و سرسیتی شده است. توف بلورین رخنمون قابل توجه در محدوده دارد. دگرریختی و آلتراسیون نسبتاً وسیع سیلیسی، آرزلیکی و سرسیتی در اغلب نقاط این واحد دیده می‌شود. گدازه‌های ریولیتی با رخنمون‌های کوچک و پراکنده و سنگ‌های آتشفشانی به شدت آلتزه شده اسیدی در شمال محدوده، دیگر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن هستند (شکل ۲). لازم به ذکر است که مورفولوژی تمامی واحدهای آتشفشانی بسیار پست و تپه ماهوری است.

برطبق نقشه ده سلم، تنها واحدهای نفوذی و نیمه عمیق محدوده، گرانیت، دیوریت-گرانودیوریت و دایک‌های اسیدی ائوسن-الیگوسن هستند که به شکل استوک کوچک و دایک در واحدهای آتشفشانی نفوذ



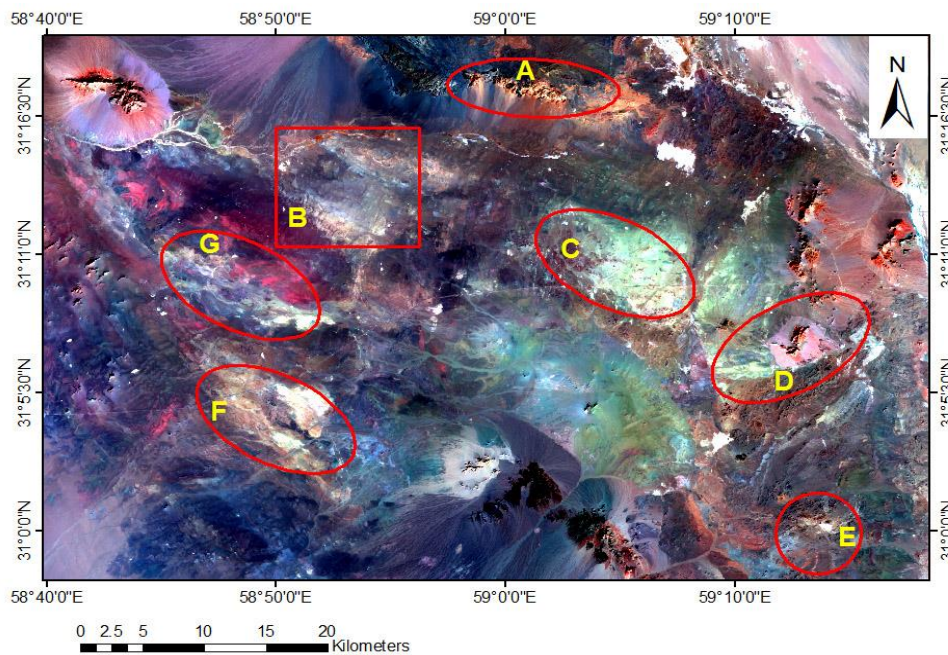
شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده ده سلم (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ ده سلم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۱)



شکل ۳- الف) نفوذ توده کوارتز مونزودیوریت در ریولیت در شمال محدوده (دید به جنوب)، ب) نفوذ استوک دیوریتی در آندزیت در شمال محدوده (دید به غرب)، پ) استوک دیوریت پورفیری در جنوب شرقی محدوده (دید به شمال)، ت) نفوذ دسته دایک های گرانودیوریتی با رنگ روشن در جنوب شرقی محدوده (دید به شمال غربی)

جدول ۱. مشخصات ماهواره لندست ۸

نام باند	دامنه طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
باند ۱- نواحی ساحلی	۰/۴۳ - ۰/۴۵	۳۰
باند ۲- آبی	۰/۴۵ - ۰/۵۱	۳۰
باند ۳- سبز	۰/۵۳ - ۰/۵۹	۳۰
باند ۴- قرمز	۰/۶۴ - ۰/۶۷	۳۰
باند ۵- نزدیک مادون قرمز (NIR)	۰/۸۵ - ۰/۸۸	۳۰
باند ۶- SWIR 1	۱/۵۷ - ۱/۶۵	۳۰
باند ۷- SWIR 2	۲/۱۱ - ۲/۲۹	۳۰
باند ۸- پان کروماتیک	۰/۵ - ۰/۶۸	۱۵
باند ۹- سیروس	۱/۳۶ - ۱/۳۸	۳۰
باند ۱۰- مادون قرمز حرارتی TIRS 1	۱۰/۶۰ - ۱۱/۱۹	۱۰۰
باند ۱۱- مادون قرمز حرارتی TIRS 2	۱۱/۵۰ - ۱۲/۵۱	۱۰۰



شکل ۴. پردازش تصویر لندست ۸ به روش ترکیب رنگی کاذب ساده RGB=753

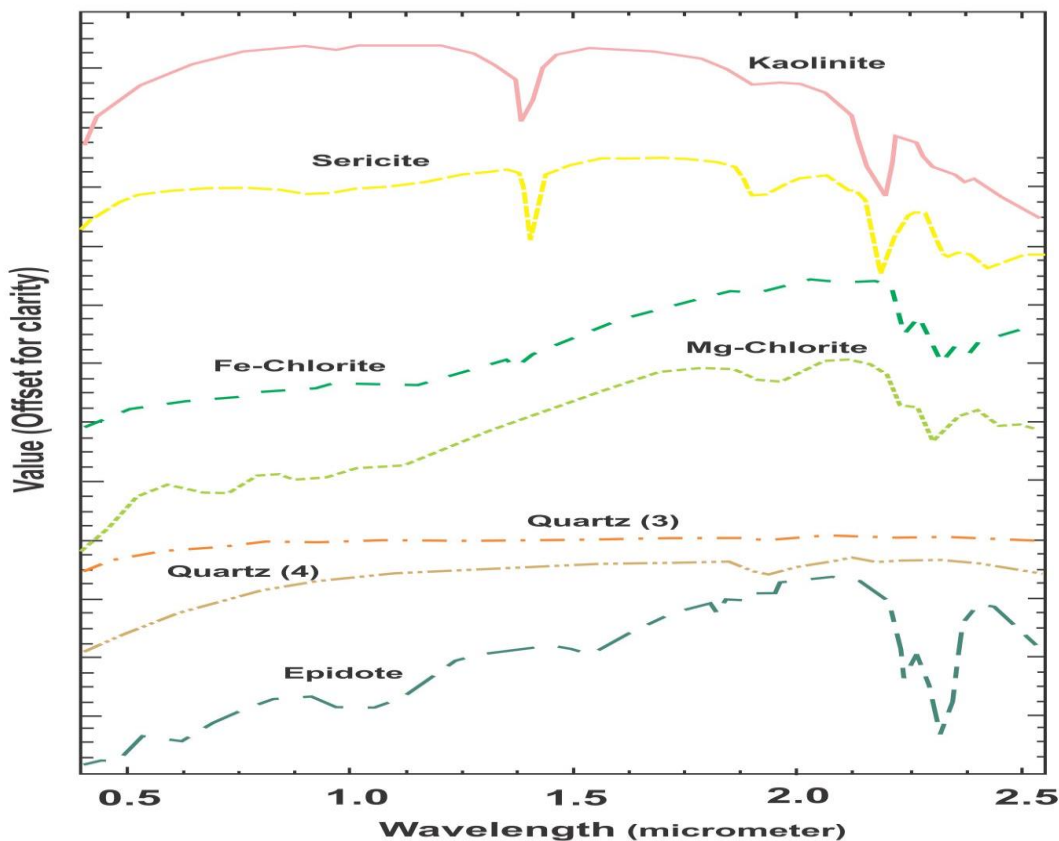
زیادی کائولینیت در منطقه C منطبق بر سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی ترشیری بارز شده است که در دیگر محدوده‌های معرفی شده دیده نمی‌شود. آشکار شدن کائولینیت در مرکز تا جنوب شرقی محدوده عمدتاً منطبق بر رسوبات کواترنری بوده و مربوط به وجود آلتراسیون آرژیلیک نیست (شکل ۶). آلتراسیون سرسیتیک نیز بطور وسیعی در شمال آلتراسیون آرژیلیک در محدوده C دیده می‌شود. مقدار جزئی از کانی سرسیت در حاشیه محدوده A, D و F بارز شده است. اما آلتراسیون سیلیسی برخلاف دیگر زون‌های آلتراسیون در هر ۷ محدوده مهم شناسایی شده، کم و بیش حضور دارد. در منطقه A آلتراسیون سیلیسی وسیعی دیده می‌شود که طیف پیکسل‌های آن بخش، به طیف کوارتز (۴) در بانگ اطلاعاتی شبیه‌تر است.

همچنین تصویر ماهواره لندست ۸ محدوده مورد مطالعه، با استفاده از طیف‌های موجود در کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم‌افزار ENVI 4.7 (Clark et al., 1993) به روش SAM پردازش شد. در این روش از طیف کانی‌های کائولینیت (۷)، سرسیت (۷)، کوارتز (۴)، کوارتز (۳)، کلریت آهن‌دار (۱)، کلریت منیزیم‌دار (۶) و اپیدوت (۱) استفاده شد (شکل ۵) و حداقل اختلاف زاویه طیفی پیکسل‌های تصویر با آنها به شکل هوشمندانه و با آگاهی از زمین‌شناسی منطقه مدنظر قرار گرفت. نتایج پردازش داده‌های لندست ۸ برای کانی‌های کائولینیت، سرسیت و کوارتز به عنوان شاخص زون‌های آلتراسیون آرژیلیک، سرسیتیک و سیلیسی بر روی باند ۱ در (شکل ۶) ارائه شده است. مقدار

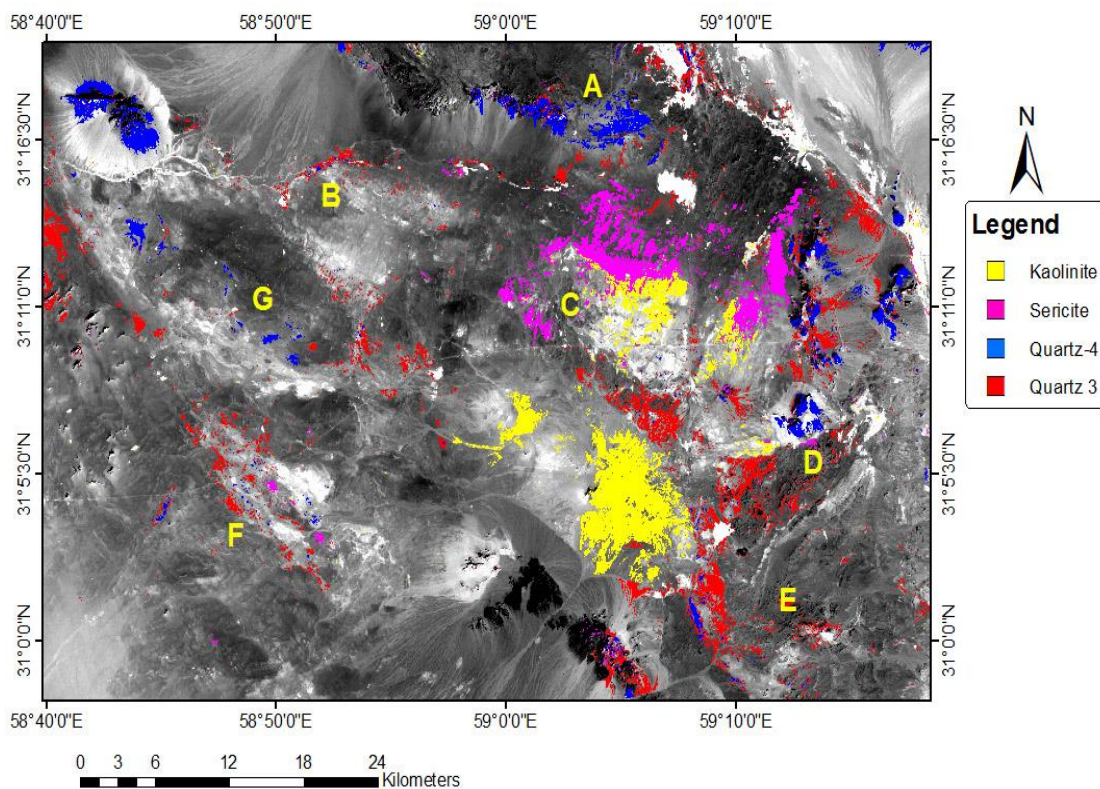
روی باند ۱ در (شکل ۷) ارائه شده است. در منطقه A آلتراسیون پروپلیتیک وسیعی در سنگ‌های آتشفشانی آتزه شده دیده می‌شود که عمدتاً با وجود کلریت منیزیم‌دار و به ندرت کلریت آهن‌دار و اپیدوت بارز شده است. در منطقه B اپیدوت و کلریت آهن‌دار و به ندرت کلریت منیزیم‌دار در حاشیه واحدهای آتشفشانی- نفوذی ترشباری و به شکل خطی آشکار شده است. آلتراسیون پروپلیتیک وسیع در قالب اپیدوت و کلریت آهن‌دار و کمتر کلریت منیزیم‌دار در منطقه C منطبق بر سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی ائوسن دیده می‌شود. منطقه D با آشکارسازی مقدار زیادی کلریت منیزیم‌دار، اپیدوت و کمتر کلریت آهن‌دار در تصویر مشخص شده است. در منطقه E مقدار اندکی اپیدوت و کلریت آهن‌دار بارز شده است. در منطقه F اپیدوت و کلریت آهن‌دار با روند شمال غربی- جنوب شرقی در واحدهای داسیتی- ربوداسیتی و توف اسیدی ائوسن دیده می‌شود. این روند آلتراسیون در منطقه F با روند دایک‌های جنوب محدود هم‌هنگی دارد. در منطقه G هر دو نوع کلریت و اپیدوت به شکل پراکنده و عمدتاً در حاشیه آندزیت بازالتی ائوسن مشاهده می‌گردند (شکل ۷). همچنین مقدار زیادی آلتراسیون پروپلیتیک در قالب کلریت منیزیم‌دار و کمتر کلریت آهن‌دار و اپیدوت در آهک کرتاسه در شمال- شمال شرقی منطقه D و شمال غربی محدوده آشکار شده است (شکل ۷).

زمین‌شناسی این منطقه نیز به شکل سنگ‌های آتشفشانی شدیداً آتزه شده در نقشه معرفی شده است. در منطقه B کوارتز (۳) در حاشیه محدوده و به شکل خطی در واحدهای آتشفشانی- نفوذی ترشباری آشکار شده است. آلتراسیون سیلیسی در قالب کوارتز (۳) عمدتاً در جنوب منطقه C دیده می‌شود. مناطق D و E با آشکارسازی کوارتز (۳)، عمدتاً به شکل خطی و با روند غالب شمال شرقی- جنوب غربی در تصویر مشخص شده‌اند. در این محدوده‌ها دایک‌های زیادی از توده‌های نفوذی نیمه عمیق به درون سنگ‌های آتشفشانی ترشباری نفوذ نموده است. در منطقه F کوارتز (۳) و کمتر کوارتز (۴) با روند شمال غربی- جنوب شرقی در واحدهای آتشفشانی اسیدی ائوسن بارز شده است. در منطقه G مقدار کمی آلتراسیون سیلیسی در حاشیه آندزیت بازالتی ائوسن مشخص شده است (شکل ۶). همچنین مقدار زیادی آلتراسیون سیلیسی در شمال منطقه D و شرق منطقه C در واحدهای رسوبی کرتاسه بویژه سنگ آهک دیده می‌شود که می‌تواند مرتبط با ورود محلول‌های گرمایی کانه‌دار در اثر نفوذ توده‌های نیمه عمیق اطراف این محدوده به داخل سنگ کربناته و جان‌شینی متاسوماتیسم باشد. این وضعیت در گوشه شمال غربی محدوده و در آهک اوربیتولین‌دار کرتاسه با بارز شدن مقدار زیادی کوارتز (۴) و آلتراسیون سیلیسی شدید با روند شمال غربی- جنوب شرقی تکرار شده است (شکل ۶).

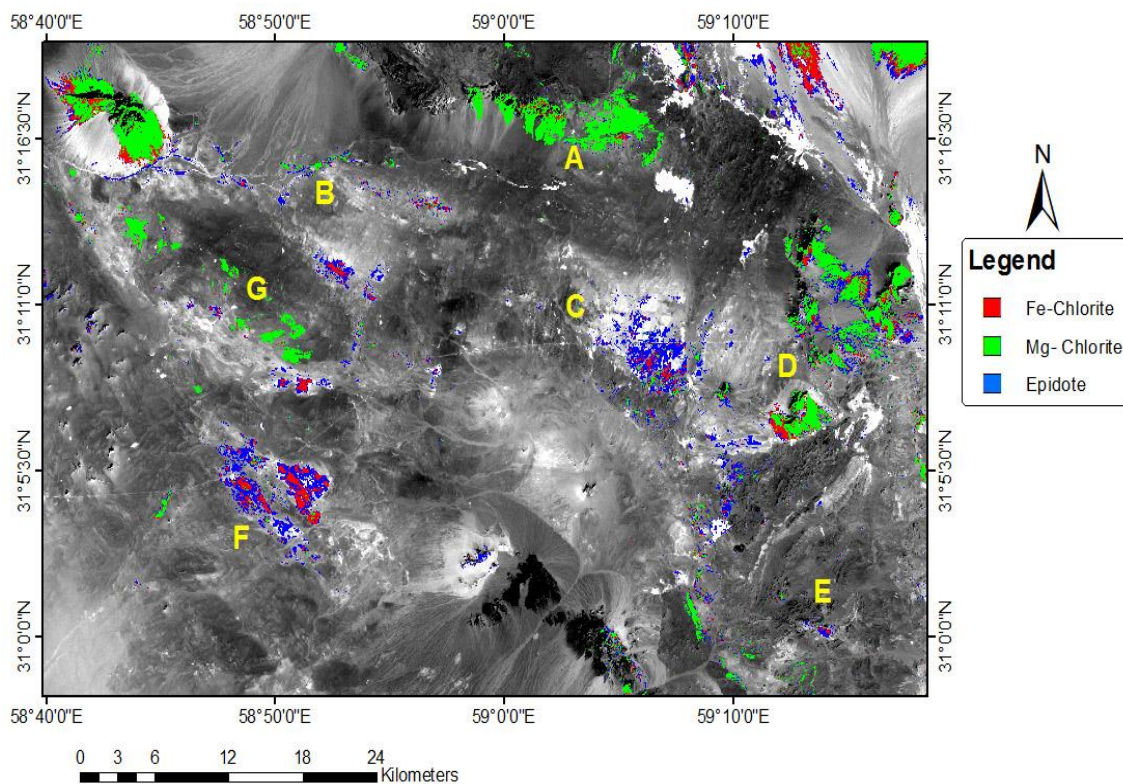
همچنین نتایج پردازش داده‌های لندست ۸ برای کانی‌های کلریت آهن‌دار، کلریت منیزیم‌دار و اپیدوت به عنوان نماینده زون پروپلیتیک بر



شکل ۵. طیف کانی‌های استفاده شده در پردازش به روش SAM



شکل ۶. پردازش تصویر لندست ۸ به روش SAM برای کانیه‌های کائولینیت، سرسیت، کوارتز (۳) و (۴) قرار گرفته بر روی باند ۱



شکل ۷. پردازش تصویر لندست ۸ به روش SAM برای کانیه‌های کلریت آهن‌دار، کلریت منیزیم‌دار و اپیدوت قرار گرفته بر روی باند ۱

### زمین شیمی رسوبات رودخانه‌ای

نتایج زمین‌شیمی نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای برداشت شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در برگه ۱:۲۵۰۰۰ ده سلم برای چهار عنصر مهم مس، سرب، روی و آرسنیک با تصویر پردازش شده لندست ۸ برای کانی‌های کلریت و اپیدوت در شکل‌های (۸) تا (۱۱) ارائه شده است.

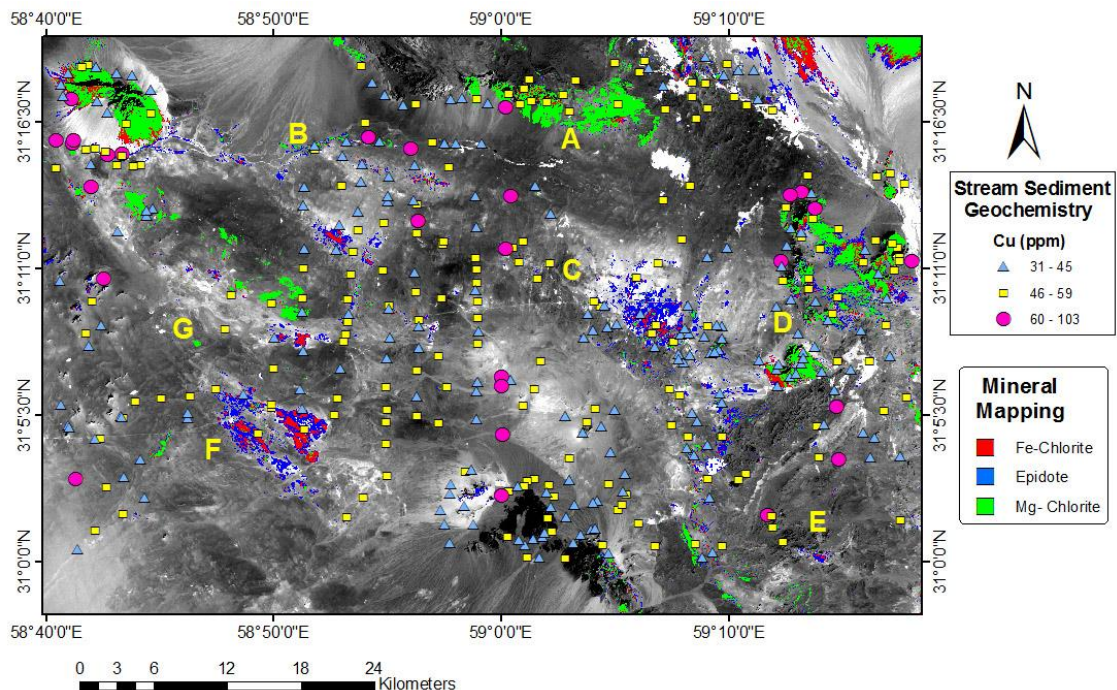
مقدار مس در آبراهه‌های محدوده بین ۳۱ تا ۱۰۳ گرم در تن متغیر است. مقدار زمینه مس در سنگ‌های آذرین اسیدی- حدواسط در روش تجزیه بخشی کمتر از ۱۰ گرم در تن و در روش تجزیه کلی حدود ۴۰ تا ۶۰ گرم در تن است. لذا در مجموع ناهنجاری قابل توجهی از مس در کل محدوده وجود دارد. نمونه‌هایی با مقدار مس بیش از ۶۰ گرم در تن در آبراهه‌های سرچشمه گرفته از مناطق آلتزه A, B, D و کمتر C و E منطبق بر واحدهای آذرین ترشیاری دیده می‌شود. تعداد نمونه‌های با مقدار بیش از ۶۰ گرم در تن مس در اطراف واحدهای آلتزه کرتاسه در شرق و شمال غربی منطقه قابل توجه است. مقدار زمینه مس در سنگ آهک بین ۵ تا ۲۰ گرم در تن است (شکل ۸).

مقدار سرب در آبراهه‌های محدوده بین ۹ تا ۳۲ گرم در تن متغیر است. مقدار زمینه سرب در سنگ‌های آذرین اسیدی- حدواسط در روش تجزیه بخشی کمتر از ۵ گرم در تن و در روش تجزیه کلی حدود ۲۰ تا ۳۰ گرم در تن است. ناهنجاری سرب در برخی محدوده‌ها قابل توجه است. نمونه‌هایی با مقدار سرب بیش از ۲۴ گرم در تن در آبراهه‌های سرچشمه گرفته از مناطق آلتزه A تا G به غیر از منطقه E از واحدهای آذرین

اوسن دیده می‌شود. تعداد نمونه‌های با مقدار بیش از ۲۴ گرم در تن سرب در اطراف واحدهای آهکی آلتزه کرتاسه در شرق و شمال غربی منطقه قابل تامل است. مقدار زمینه سرب در سنگ آهک بین ۵ تا ۱۰ گرم در تن است (شکل ۹).

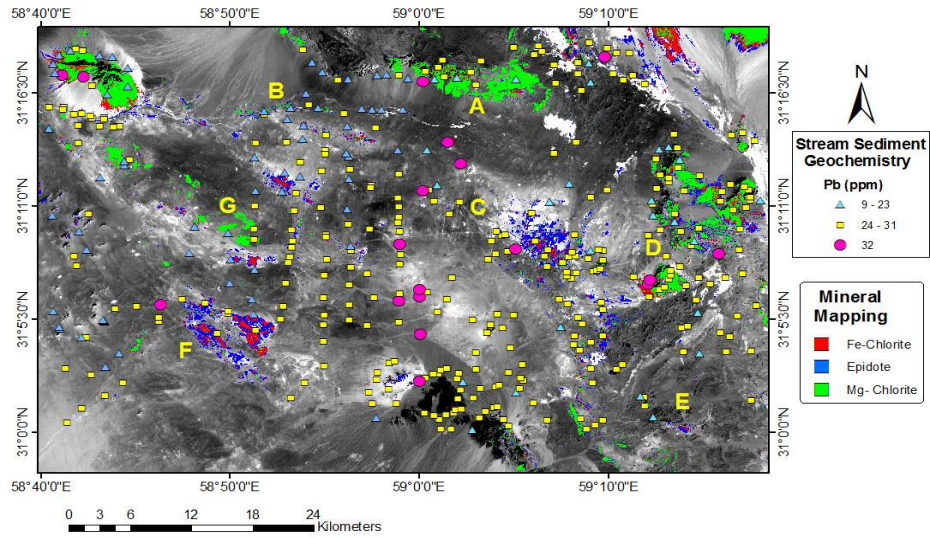
مقدار روی در آبراهه‌های محدوده بین ۵۱ تا ۱۵۸ گرم در تن متغیر است. مقدار زمینه روی در سنگ‌های آذرین اسیدی- حدواسط در روش تجزیه بخشی کمتر از ۱۰ گرم در تن و در روش تجزیه کلی حدود ۴۰ تا ۶۰ گرم در تن است. ناهنجاری قابل توجهی از روی در کل محدوده وجود دارد. نمونه‌هایی با مقدار روی بیش از ۸۶ گرم در تن در آبراهه‌های سرچشمه گرفته از مناطق A تا D و کمتر F و G به غیر از منطقه E مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی آلتزه ترشیاری دیده می‌شود. تعداد نمونه‌های با مقدار بیش از ۱۰۶ گرم در تن روی در اطراف واحدهای آهکی آلتزه کرتاسه در شرق و شمال غربی منطقه قابل توجه است. مقدار زمینه روی در سنگ آهک بین ۴ تا ۲۵ گرم در تن است (شکل ۱۰).

مقدار آرسنیک در آبراهه‌های محدوده بین ۳ تا ۱۶ گرم در تن متغیر است. مقدار زمینه آرسنیک در سنگ‌های آذرین اسیدی- حدواسط در روش تجزیه بخشی کمتر از ۲ گرم در تن و در روش تجزیه کلی حدود ۴ تا ۵ گرم در تن است. ناهنجاری از آرسنیک در آبراهه‌های محدوده وجود دارد اما چندان قابل توجه نیست. نمونه‌هایی با مقدار آرسنیک بیش از ۱۴ گرم در تن در آبراهه‌های سرچشمه گرفته از مناطق A, C و D منطبق بر سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی آلتزه اوسن دیده می‌شود (شکل ۱۱).

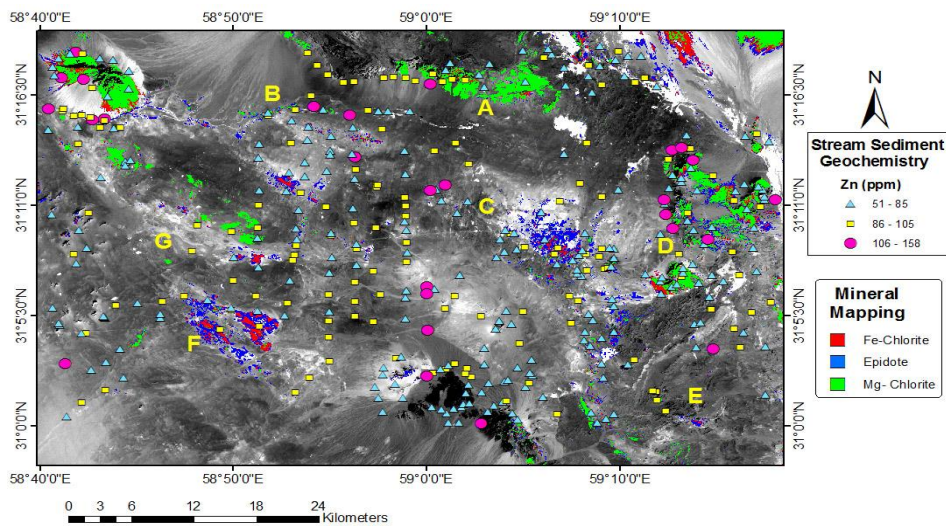


شکل ۸. نتایج زمین‌شیمی عنصر مس بر روی تصویر پردازش شده لندست ۸ به روش SAM

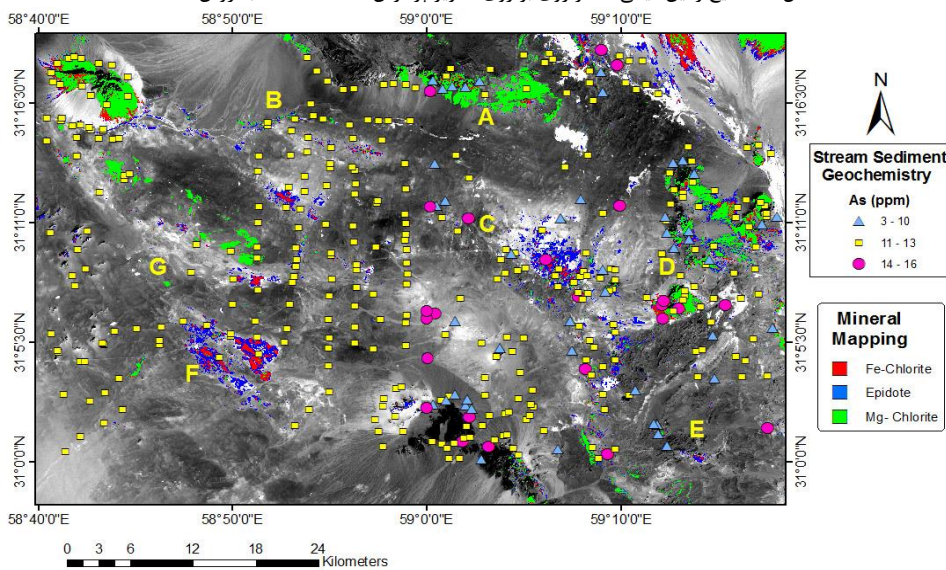




شکل ۹. نتایج زمین‌شیمی عنصر سرب بر روی تصویر پردازش شده لندست ۸ به روش SAM



شکل ۱۰. نتایج زمین‌شیمی عنصر روی بر روی تصویر پردازش شده لندست ۸ به روش SAM



شکل ۱۱. نتایج ژئوشیمی عنصر آرسنیک بر روی تصویر پردازش شده لندست ۸ به روش SAM

**بحث و نتیجه گیری**

نتایج تلفیق اطلاعات بدست آمده از پردازش تصویر ماهواره لندست ۸، زمین شیمی رسوبات رودخانه‌ای، زمین شناسی منطقه با توجه به نقشه زمین شناسی موجود و مطالعات صحرایی و تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس در برخی از مناطق و شواهد کانی سازی در بخشهایی که مورد بازدید صحرایی قرار گرفته است، در (جدول ۲) خلاصه شده است. این نتایج منجر به شناسایی ۷ محدوده امیدبخش منطبق بر واحدهای آتشفشانی- نفوذی ترشیاری و ۲ محدوده اکتشافی در واحد آهکی کرتاسه شد که چند محدوده به دلیل داشتن راه دسترسی مناسب مورد بازدید صحرایی و تایید زمینی قرار گرفته است.

منطقه A در شمال محدوده مورد مطالعه پوشیده از سنگ‌های آتشفشانی آلترو شده است که البته قطعا به دلیل آلتراسیون شدید تشخیص ماهیت اولیه سنگ دشوار است و این امکان وجود دارد که بخشی از این واحدهای آتشفشانی در واقع توده‌های نفوذی نیمه عمیق با بافت پورفیری باشند. آلتراسیون این منطقه وسیع بوده و عمدتا از نوع سیلیسی و پروپلیتیک است. ناهنجاری مس عمدتا بیش از ۴۶ گرم در تن، سرب بیش از ۲۴ گرم در تن، روی بیش از ۸۶ گرم در تن و آرسنیک بیش از ۱۱ گرم در تن در آبراهه‌های نشات گرفته از آن دیده می‌شود (جدول ۲). این منطقه تاکنون بازدید زمینی نشده است، اما شواهد مذکور نشان می‌دهد که می‌بایست کانی سازی بزرگی در این منطقه اتفاق افتاده باشد. با توجه به وسعت و نوع آلتراسیون و ناهنجاریهای زمین شیمیایی این منطقه به عنوان یک منطقه امیدبخش برای کانی سازی مس پورفیری و اپی ترمال وابسته به آن معرفی می‌شود.

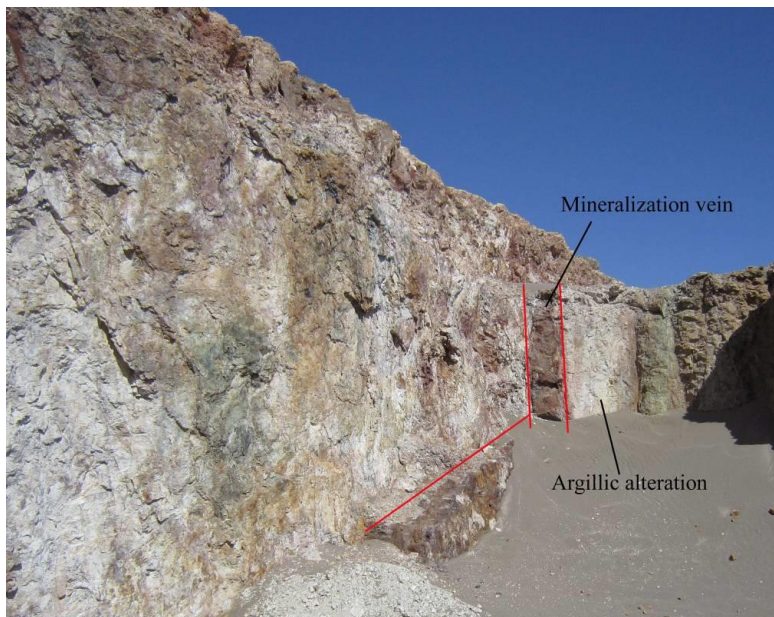
منطقه B تقریبا در شمال غربی محدوده مورد مطالعه واقع شده و به عنوان منطقه اکتشافی ماهر شناخته می‌شود که عملیات اکتشاف آن از

سال ۱۳۸۶ آغاز شده است. میرزایی راینی (۱۳۹۱ الف و ب) نوع کانی سازی این منطقه را اپی ترمال تا مزو ترمال رگه‌ای معرفی نموده است. زمین شناسی آن متشکل از سنگ‌های آتشفشانی ترشیاری با ترکیب آندزیت، داسیت و ریولیت است که مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق به شکل استوک کوچک و دایک با ترکیب مونزودپوریت و دیوریت قرار گرفته است (میری و همکاران، ۱۳۹۳ الف). پردازش داده‌های ماهواره لندست ۸ آلتراسیون‌های سیلیسی و پروپلیتیک را عمدتا به شکل خطی در حاشیه محدوده نشان می‌دهد (جدول ۲). مطالعات صحرایی نیز حضور این زون‌های آلتراسیون را تایید می‌کند و علاوه بر آن آلتراسیون آرتزلیک در شمال رگه کانی سازی وجود دارد (شکل ۱۲). لازم به ذکر است که زون سیلیسی همراه با پیریت و سرسیت در صحرا است و می‌توان آن را زون فیلیک نیز نامگذاری کرد. آلتراسیون پروپلیتیک عمدتا در حاشیه رگه‌هاست (میری و همکاران، ۱۳۹۳ الف). ناهنجاری مس تا بیش از ۴۶ گرم در تن، سرب بین ۹ تا ۳۱ گرم در تن، روی تا ۱۵۸ گرم در تن و آرسنیک عمدتا بین ۱۱ تا ۱۳ گرم در تن در آبراهه‌های نشات گرفته از این منطقه دیده می‌شود (جدول ۲). کانی سازی رگه‌های ماهر، با روند N18W و با شیب 80NE درجه به سمت شرق و ضخامت متغیر بین کمتر از ۱ تا حدود ۲ متر و طول تقریبی تا حداکثر ۳۰۰۰ متر مشاهده می‌شود. سنگ میزبان رگه، هورنبلند دیوریت پورفیری است که آلترو شده است. در زون اکسیدان تا عمق تقریبی ۴۰ متر، کانی‌های آناکامیت، گوتیت، پیرولولویت، هماتیت، لیمونیت، آزوریت و ملاکیت (شکل ۱۲) و در زون هیپوزن از عمق ۴۰ به بعد، کانی‌های اسفالریت، کالکوپیریت، گالن و پیریت مشاهده می‌شود. عیار متوسط بدست آمده برای عناصر مس و روی به ترتیب برابر با ۲/۵ و ۰/۵ درصد می‌باشد (میری و همکاران، ۱۳۹۳ الف).

جدول ۲. جمع بندی نتایج پردازش به روش SAM، زمین شیمی رسوبات رودخانه‌ای، زمین شناسی و کانی سازی در محدوده ده سلم

نام محدوده	A	B	C	D	E	F	G	شمال- شمال شرقی D	شمال غربی محدوده
وجود توده نفوذی نیمه عمیق	؟	+	+	؟	+	+	؟	-	-
کانی سازی	؟	+++	+++	؟	+	؟	؟	؟	؟
کائولینیت	-	-	+++	++	-	-	-	-	-
سرسیت	+	-	+++	+	-	++	-	-	-
کوارتز (۴)	+++	+	+	++	+	+	++	+++	+++
کوارتز (۳)	+	++	+++	+++	++	++	++	+++	-
کلریت آهن دار	+	+	+	++	+	++	++	+	+
کلریت منیزیم دار	+++	+	+	+++	+	+	++	+++	+++
اپیدوت	+	++	+++	++	+	+++	++	+++	+
ناهنجاری مس	++	++	++	+	+	+	+	+++	+++
ناهنجاری سرب	++	++	+++	+++	+	+	+	++	++
ناهنجاری روی	++	+++	++	+	+	+	+	+++	+++
ناهنجاری آرسنیک	++	++	+++	+++	-	+	+	++	++

؟ نامعلوم، + ضعیف، ++ متوسط، +++ زیاد، - ندارد



شکل ۱۲. تصویری از رگه کانی‌سازی و آلتراسیون آرژیلیک اطراف آن در محدوده اکتشافی ماهور (منطقه B). دید به شمال شرقی

این منطقه هستند. زون گوسان گسترده‌ای با حضور کانی‌های کولیت، کالکوزیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن ثانویه منطقه را در بر گرفته است (شکل ۱۳) (میری و همکاران، ۱۳۹۳ ب). ناهنجاری مس عمدتاً بیش از ۴۶ گرم در تن، سرب بین ۲۴ تا ۳۲ گرم در تن، روی بین ۵۱ تا ۱۰۵ گرم در تن و آرسنیک عمدتاً بیش از ۱۱ گرم در تن در آبراهه‌های این منطقه دیده می‌شود (جدول ۲). این درحالیست که زمین‌شیمی خرده‌سنگی از محل‌های کانی‌سازی تا ۲/۵ گرم در تن طلا، ۱۱۴ گرم در تن نقره، ۰/۱ درصد مس، ۰/۲ درصد روی، ۱۰۳ گرم در تن آنتیموان، ۹۸ گرم در تن آرسنیک و ۹۶۸ گرم در تن سرب نشان داده است (میری و همکاران، ۱۳۹۳ ب). وجود توده‌های نفوذی نیمه عمیق، گسترش و نوع آلتراسیون، شکل کانی‌سازی و نوع کانه‌ها همراه با ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی حکایت از بخش‌های فوقانی یک کانی‌سازی بزرگ مانند مس-طلا پورفیری دارد که به دلیل وجود فضاها گسلی و درز و شکستگی‌ها، بخشی از محلول کانه‌دار وارد آنها شده و کانی‌سازی رگه‌ای را تشکیل داده است.

منطقه C تقریباً در مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارد و به نام محدوده اکتشافی بالازرد شناخته می‌شود. این منطقه پوشیده از گدازه و واحدهای آذرآواری ریولیتی-آندزیتی است که مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق پورفیری به شکل استوک‌های کوچک و دایک با ترکیب کوارتزموزنویت، کوارتزموزنودیوریت و دیوریت قرار گرفته‌اند (میری و همکاران، ۱۳۹۳ ب). پردازش داده ماهواره لندست ۸ آلتراسیون بسیار وسیعی را از آرژیلیک، سرسیتیک، سیلیسی و پروپلیتیک در این محدوده نشان می‌دهد که با زون بندی خاصی نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند (جدول ۲). مطالعات صحرایی نیز وجود این زون‌های آلتراسیون را به اضافه آلتراسیون آلونیتی در سنگهای آتشفشانی و نفوذی منطقه تایید می‌کند (میری و همکاران، ۱۳۹۳ ب). کانی‌سازی به دو شکل رگه‌ای و افشان در این منطقه وجود دارد. کانی‌های پیریت و کالکوپیریت به شکل افشان در توده‌های نفوذی محدوده دیده می‌شوند و رگه‌هایی از پیریت-اسفالریت-کالکوپیریت-گالن همراه با کوارتز و کلسیت با روند شمالی-جنوبی تا شمال شرقی-جنوب غربی به ضخامت یک متر از ویژگی‌های کانی‌سازی



شکل ۱۳. تصویری از زون گوسان در محدوده اکتشافی بالازرد (منطقه C). دید به شمال غربی

منطقه G تقریباً در غرب محدوده مورد مطالعه قرار دارد و زمین‌شناسی آن عمدتاً شامل واحد آندزیت بازالتی ائوسن است. بازدید صحرایی این منطقه به دلیل نبود راه دسترسی مناسب انجام نشده است و وجود توده نفوذی نیمه عمیق نیز در آن نامشخص است. پردازش داده ماهواره لندست ۸ آلتراسیون‌های سیلیسی و پروپلیتیک را به شکل خطی و در حاشیه محدوده بارز کرده است که عمدتاً از روند گسل‌ها تبعیت می‌کند. ناهنجاری مس عمدتاً بین ۳۱ تا ۵۹ گرم در تن، سرب بین ۲۴ تا ۳۱ گرم در تن، روی بین ۵۱ تا ۱۰۵ گرم در تن و آرسنیک بین ۱۱ تا ۱۳ گرم در تن در آبراهه‌های نشات گرفته از منطقه دیده می‌شود (جدول ۲). شواهد زمین‌شناسی، آلتراسیون و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این منطقه می‌تواند برای کانی‌سازی اپی‌ترمال مناسب باشد.

در محدوده شمال-شمال شرقی منطقه D و گوشه شمال غربی محدوده مورد مطالعه آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه گسترش دارند. پردازش تصاویر ماهواره آلتراسیون سیلیسی و پروپلیتیک شدیدی را با روند خطی در این واحد آشکار ساخته است. ناهنجاری شدید مس عمدتاً بیش از ۶۰ گرم در تن، سرب بیش از ۲۴ گرم در تن، روی بیش از ۱۰۶ گرم در تن و آرسنیک بین ۱۱ تا ۱۳ گرم در تن در آبراهه‌های نشات گرفته از هر دو محدوده دیده می‌شود (جدول ۲). این شواهد نشان می‌دهد که قطعا کانی‌سازی به شکل رگه‌ای و جان‌شینی در سنگ کربناته در این مناطق تشکیل شده است. نفوذ توده‌های نفوذی نیمه عمیق متعدد به شکل استوک و دایک در کل محدوده ده سلم که باعث ورود محلول‌های ماگمایی- گرمابی و آلتره شدن سنگ‌های آتشفشانی و تشکیل انواع کانی‌سازی شده است، می‌تواند عامل تشکیل کانی‌سازی در سنگ‌های کربناته شده باشد. سنگ‌های کربناته به دلیل واکنش‌پذیری شدید با محلول‌های گرمابی، ظرفیت ویژه‌ای برای تشکیل کانی‌سازی دارند.

شرق ایران به دلیل وقوع موقعیت تکتونوماگمایی خاص که ناشی از فروزانده شدن بلوک افغان به زیر بلوک لوت در ترشیری بوده است، پتانسیل بالایی برای انواع کانی‌سازی بویژه ذخایر پورفیری و اپی‌ترمال وابسته به آن دارد. ناحیه ده سلم نیز از این قاعده مستثنی نبوده و با نفوذ واحدهای نیمه عمیق به داخل سنگ‌های آتشفشانی و کربناته به شدت آلتره شده، ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی ایجاد شده و کانی‌سازی‌های مختلف در آن شکل گرفته است. اکتشاف منابع معدنی در این بخش از ایران که از نقاط کویری و بسیار محروم جنوب استان خراسان جنوبی است، می‌تواند باعث رونق اقتصادی شود. لذا ضرورت دارد تا مناطق معرفی شده در این پژوهش مورد بررسی‌های تفصیلی صحرایی و مطالعات زیرسطحی قرار بگیرد.

### سپاسگزاری

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲/۲۹۰۶۵ مورخ ۱۳۹۲/۱۰/۳ انجام شده است.

منطقه D در شرق محدوده مورد مطالعه قرار دارد و زمین‌شناسی آن شامل بخشی از آهک کرتاسه و واحدهای آتشفشانی آندزیتی-بازالتی ائوسن است. توده نفوذی نیمه عمیقی از این پنجره گزارش نشده است، اما در اطراف آن وجود دایک‌هایی با ترکیب مونزونیتی تأیید شده است. آلتراسیون سیلیسی و پروپلیتیک و کمتر آرژبلیک و سرسیتیک عمدتاً به شکل خطی با روند شمال شرقی- جنوب غربی و کمتر متمرکز در این منطقه بارز شده است. ناهنجاری مس عمدتاً بین ۳۱ تا ۴۵ گرم در تن، سرب بیش از ۲۴ گرم در تن، روی بین ۵۱ تا ۸۵ گرم در تن و آرسنیک بیش از ۱۱ گرم در تن در آبراهه‌های آن دیده می‌شود (جدول ۲). این منطقه تاکنون بازدید زمینی نشده است، اما شواهد مذکور نشان می‌دهد که احتمال وجود کانی‌سازی رگه‌ای چندفلزی در منطقه D زیاد است.

منطقه E در جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه قرار دارد و به نام محدوده اکتشافی سیمرغ شناخته می‌شود. برخلاف زمین‌شناسی ساده این محدوده در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم که شامل توف آندزیتی و گدازه‌های آندزیتی است (شکل ۲)، دایک‌های متعددی با ترکیب دیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری سنگ‌های آتشفشانی را قطع نموده‌اند (برآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). پردازش داده ماهواره لندست ۸ آلتراسیون سیلیسی و جزئی پروپلیتیک را در منطقه آشکار نمود (جدول ۲). مطالعات صحرایی نیز حضور این زون‌ها به اضافه زون سرسیتیک ضعیف تا متوسط را نشان می‌دهد. کانی‌سازی به شکل پیریت افشان عمدتاً اکسید شده در دایک‌ها دیده می‌شود. ناهنجاری مس عمدتاً بین ۴۶ تا ۵۹ گرم در تن، سرب کمتر از ۳۱ گرم در تن، روی بین ۸۶ تا ۱۰۵ گرم در تن و آرسنیک کمتر از ۱۰ گرم در تن در آبراهه‌های غرب منطقه دیده می‌شود (جدول ۲). گسترش کم آلتراسیون و کانی‌سازی و ناهنجاری نسبتاً کم زمین‌شیمیایی می‌تواند نشان‌دهنده بخش‌های تحتانی یک کانی‌سازی فرسایش یافته باشد که اثبات نیاز به بررسی‌های تفصیلی و زیرسطحی دارد.

منطقه F در جنوب غربی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. زمین‌شناسی محدوده شامل گدازه‌های داسیتی- ریوداسیتی و توف اسیدی است. در جنوب منطقه دایک‌های نیمه عمیق با ترکیب اسیدی به داخل سنگ‌های آتشفشانی نفوذ نموده است و البته ممکن است گسترش توده‌های نفوذی نیمه عمیق بیش از این باشد. در پردازش تصویر ماهواره، آلتراسیون‌های پروپلیتیک و سیلیسی و کمتر سرسیتیک با روند شمال غربی- جنوب شرقی و با زون بندی خاصی آشکار شده است که منطبق با روند دایک‌ها می‌باشد. ناهنجاری مس عمدتاً بین ۴۶ تا ۵۹ گرم در تن، سرب بین ۲۴ تا ۳۱ گرم در تن، روی بین ۵۱ تا ۱۰۵ گرم در تن و آرسنیک بین ۱۱ تا ۱۳ گرم در تن در آبراهه‌های نشات گرفته از منطقه دیده می‌شود (جدول ۲). کانی‌سازی در این منطقه در نقشه‌ها گزارش نشده است و مورد بازدید زمینی قرار نگرفته است، اما شواهد مذکور نشان می‌دهد که می‌تواند به عنوان یک منطقه امیدبخش برای کانی‌سازی اپی‌ترمال معرفی می‌شود.

### منابع

ارجمندزاده. ر.، ۱۳۹۰، مطالعات کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن‌سنجی و تعیین جایگاه تکتونوماگمایی توده‌های نفوذی در اندیس معدنی ده سلم و چاه شلجمی، بلوک لوت، شرق ایران، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۶۹ صفحه.

- اکرمی. الف. نادری میقان. ن. ۱۳۸۴، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ده سلم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. برآبادی. ر.، مظاهری. س.ا.، کریم‌پور. م.ح.، ۱۳۹۴، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و اکتشاف ژئوشیمیایی در منطقه اکتشافی سیمرخ، جنوب غربی نهبندان، خراسان جنوبی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴ (۲۳)، ص ۶۲۵-۶۳۸.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۱، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم (چاه وک). عبیدی. م.، کریم‌پور. م. ح.، ۱۳۹۱، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، پتروژنز، سن‌سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد اکتشافی منطقه کوه شاه، جنوب غربی بیرجند، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۴)، ص ۷۷-۱۰۷.
- کریم‌پور. م. ح.، ملکزاده شفارودی. الف.، فارمر. ل.، استرن. ج.، ۱۳۹۱، پتروژنز گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیری در بلوک لوت، شرق ایران، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۴)، ص ۱-۲۷.
- ملکزاده شفارودی. الف.، ۱۳۸۸، زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشاء کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویپک، استان خراسان جنوبی، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۰۰ صفحه.
- ملکزاده شفارودی. م.، کریم‌پور. م.ح.، ۱۳۹۱، زمین‌شناسی، کانی‌سازی و مطالعات سیالات درگیر کانسار سرب-روی-مس حوض رئیس، شرق ایران، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ص ۶۳-۷۳.
- مهرابی. ب.، طالع فاضل. الف.، نخبه‌فقهایی. ع.، ۱۳۹۰، کانه‌زایی پلی‌متال سرب-روی، مس و آنتیموان نوع انتشاری، رگه‌چهای و رگه‌های در محدوده معدنی گله‌چاه-شوراب، مجموعه ماگمایی شرق ایران، زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱ (۳)، ص ۶۱-۷۷.
- میرزایی رایینی. ر.، احمدی. الف.، میرزاد. ح.، ۱۳۹۱، الف، بررسی‌های کانی‌شناسی و شاره‌های درگیر در کانسار چندفلزی ماهور، شرق بلوک لوت، شرق ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲ (۲۰)، ص ۳۰۷-۳۱۸.
- میرزایی رایینی. ر.، احمدی. الف.، میرزاد. ح.، ۱۳۹۱، ب، منشاء سیالات کانه‌ساز با استفاده از مطالعه ریزکاوش الکترونی و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد در کانسار چندفلزی ماهور (شرق بلوک لوت، ایران مرکزی)، مجله پترولوژی، شماره ۱۰ (۳)، ص ۱-۱۲.
- میری بیدختی. ر.، کریم‌پور. م.ح.، مظاهری. س.ا.، ۱۳۹۳، الف، پترولوژی و مطالعه جایگاه تکنونوماگمایی توده‌های گرانیتوئیدی ماهور، جنوب غرب نهبندان، مجله پترولوژی، شماره ۱۹ (۵)، ص ۱۲۳-۱۳۸.
- میری بیدختی. ر.، کریم‌پور. م.ح.، مظاهری. س.ا.، ۱۳۹۳، ب، مطالعات دورسنجی، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمیایی در محدوده اکتشافی مس-طلا بالازرد، غرب نهبندان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۲۲)، ص ۴۵۹-۴۷۰.
- نخبه‌فقهایی. ع.، بهزادی. م.، خاکزاد. ا.، یزدی. م.، ۱۳۸۸، ژئوشیمی، کانه‌زایی و ژنز کانسار آنتیموان چوپان واقع در خراسان جنوبی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱، ص ۷۶-۸۶.
- نخعی. م.، مظاهری. س.الف.، فارمر. ل.، استرن. ج.، کریم‌پور. م.ح.، زرین‌کوب. م.ح.، حیدریان شهری. م.ر.، ۱۳۹۳، پتروژنز و سن‌سنجی زیرکن-اورانیوم-سرب سنگهای دیوریتی پیروکسن‌دار اسکارنی شده منطقه بیشه (جنوب بیرجند-شرق ایران)، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۲ (۶)، ص ۳۹۳-۴۰۹.
- Arjmandzadeh. R., Karimpour. M. H., Mazaheri. S.A., Santos. J.F., Medina. J.M., Homam. S.M., 2011, Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut block, eastern Iran), Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 41, p. 283-296.
- Clark. R.N., Swayze. G.A., Gallagher. A., King. T.V.V., Calvin. W.N., 1993, The U.S. Geological Survey, Digital Spectral Library, Version 1:0.2 to 3  $\mu\text{m}$ , United States Geological Survey, Open File Report 93-592. 1326 pp. [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)
- Karimpour. M.H., Zaw. K., Huston. D.L., 2005, S-C-O isotopes, fluid inclusion microthermometry, and the genesis of ore bearing fluids at Qaleh-Zari Fe-oxide Cu-Au-Ag mine, Iran, Journal of Sciences Islamic Republic of Iran, Vol. 16, No. 2, p. 153-169.
- Karimpour. M.H., Large. R.R., Razmara. M.F., Patrick. R.A.D., 2006, Bi sulfosalt mineral series and their paragenetic associations in the specularite-rich Cu-Ag-Au deposit, Qaleh-Zari mine, Iran, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, Vol. 13, No. 2, p. 417-432.
- Kruse. F.A., Lefkoff. A.B., Boardman. J.B., Heidebreicht. H.K.B., Shapiro. A.T., Barloon. P.J., Goetz. A.F.H., 1993, The Spectral Image Processing System (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data, Remote Sensing of Environment, Vol. 44, p. 145-163.
- Lotfi. M., 1982, Geological and geochemical investigation on the volcanogenic Cu-Pb-Zn-Sb ore mineralization in the Shurab- Gale chah and North West of Khur, Ph.D thesis, University of Hamburg, 152 p.

- Malekzadeh Shafaroudi. A., Karimpour. M.H., 2013, Hydrothermal alteration mapping in northern Khur, Iran, using ASTER image processing: a new insight to the type of copper mineralization in the area, *Acta Geologica Sinica*, Vol. 87, No. 3, p. 830-842.
- Malekzadeh. A., Karimpour. M.H., 2015, Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead-zinc(-copper) deposit, eastern Iran, *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 107, p. 1-14.
- Sabins. F.F., 1999, Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, Vol. 14, p. 157-183.