

## بررسی کنترل ساختاری خطواره‌ها بر توزیع کانسارها و نشانه‌های معدنی مس با کاربرد فاکتور خطوارگی در نیمه جنوبی کمربند مس کرمان

غلامرضا میرزابابایی\*<sup>۱</sup>، جمشید شهاب‌پور<sup>۲</sup>، سیده مریم حیات‌الغیب<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۲۱

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۹/۷

### چکیده

بررسی ارتباط ساختاری بین خطواره‌ها و پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی مس با گرایش عمده پورفیری در جنوب کمربند مس کرمان نشان دهنده ارتباط ساختاری بین این دو مقوله در منطقه مورد مطالعه است. بررسی ساختارهای خطی منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که این ساختارها به سه گروه عمده قابل تقسیم می‌باشند. گروه اول شامل خطواره‌هایی است که طول زیادی داشته و در مقیاس پوسته‌ای مطرح می‌باشند و توزیع مکانی کانسارهای بزرگ مس را کنترل کرده‌اند. گروه دوم شامل خطواره‌هایی است که از روندهای زمین‌ساختی منطقه‌ای تبعیت می‌کنند و دارای روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق می‌باشند. این خطواره‌ها نیز توزیع منطقه‌ای کانسارهای مس را کنترل می‌کنند همچنین پراکندگی آتشفشان‌های نوع چینه‌ای بزرگ در منطقه نیز با این نوع خطواره‌ها ارتباط نزدیک دارد. گروه سوم نیز شامل خطواره‌هایی است که دارای پراکندگی بسیار بیشتر، طول نسبتاً کمتر و روندهای متنوع‌تر می‌باشند و بیشتر شبیه به شکستگی‌های سطحی می‌باشند. تمرکز این نوع از خطواره‌ها انطباق نسبتاً مشخصی با نواحی میزبان گسترش دگرسانی-های گرمابی و همچنین مناطق آتشفشانی یا محل برونزد توده‌های نفوذی دارند. شناسایی و استخراج این گروه از خطواره‌ها با کاربرد فیلترهای جهت‌دار بر روی باندها ۸ تصویر لندست (ETM<sup>+</sup>) صورت گرفته است. کمی‌سازی ارتباط مورد بحث از طریق تهیه نقشه فاکتور خطوارگی و رسم خطوط کانتوری نقشه مزبور صورت گرفته است. بر روی این نقشه، از مجموع ۳۴ کانسار و نشانه معدنی مس، تعداد ۲۰ مورد در نواحی با مقادیر فاکتور خطوارگی متوسط و بالا ( $\geq 3$ ) و ۱۴ کانسار دیگر در محدوده‌های با مقادیر کمتر قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که اگرچه ارتباط نسبتاً مشخصی بین پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی مس با ساختارهای خطی در مقیاس ناحیه‌ای در این منطقه وجود دارد اما پراکندگی کانسارها و نشانه‌های معدنی مزبور با گرایش عمده پورفیری (و بعضاً رگه‌ای) در این منطقه در ابعاد منطقه‌ای، از ساختارهای زمین‌شناسی دیگری نیز تبعیت می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** ارتباط ساختاری، کانسارهای مس، فاکتور خطوارگی، روندهای زمین‌ساختی، شکستگی‌های سطحی.

## مقدمه

۲۰۰۸؛ هنرمند و دیگران، ۲۰۱۱ و ...). با این وجود عمده کارهای انجام شده بر مبنای سنجش از دور طیفی می‌باشند به عبارت دیگر، در مطالعات انجام شده به شناسایی زون‌های دگرسانی، کانی‌های خاص و مورد هدف اکتشاف، مسائل زیست محیطی و ...، توجه خاصی معطوف گشته است. با این حال مطالعات بسیار محدودتری نیز در ارتباط با کاربرد سنجش از دور در تحلیل ساختاری مناطق مورد مطالعه در نقاط مختلف دنیا وجود دارد اما از نظر کم و کیف کار، مطالعات مزبور به پای مطالعات طیفی نمی‌رسند. در مطالعه حاضر سعی بر آن است تا با استخراج ساختارهای خطی (خطواره‌ها) از تصاویر لندست سری ETM<sup>+</sup>، به تحلیل نتایج بدست آمده و بحث راجع به کاربرد این نتایج در معرفی نقاط مستعد از نظر ساختاری برای اکتشاف ذخایر پنهان بپردازیم.

**خطواره‌ها، کنترل ساختاری بر تشکیل کانسارها، پدیده‌های زمین‌شناختی و بارزسازی از روی تصاویر ماهواره‌ای**

اولری و دیگران (۱۹۷۶)، خطواره را بدینگونه تعریف کرده‌اند: یک خطواره یک سیمای خطی ساده یا قابل نگاشت از یک سطح است که بخش-های آن به صورت مستقیم الخط یا کمی انحنادار امتداد یافته‌اند که به طور مشخص از الگوهای اشکال مجاور خود متفاوت بوده و بنا به احتمال، یک پدیده زیرسطحی را نشان می‌دهد. بر پایه سیمای خطواره‌ها بر روی تصاویر لندست، روابط فضایی، تناوب، بزرگی، تداوم و ارتباط با دیگر اشکال زمین‌شناسی منطقه‌ای، خطواره‌ها به ۵ زیر مجموعه تقسیم می‌شوند (بروکمن و همکاران، ۱۹۷۸): (۱) خطواره‌های در طول همبری‌های ساختاری-سنگی، (۲) خطواره‌های توپوگرافی، (۳) خطواره‌های مربوط به مناطق شکستگی، (۴) خطواره‌های در طول اثرات

ارتباط بین پراکندگی کانسارهای مختلف و عوامل ساختاری از جمله مسائلی است که از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بسیاری بوده است. در این بین مطالعات انجام گرفته توسط بیلینگسلی و لوگ در ۱۹۳۵ به عنوان یکی از مطالعات کلیدی در بررسی اهمیت ارتباط بین ساختارهای عمقی و گسترش کانسارها، نقش ویژه‌ای در بسط این موضوع داشته است. از آن زمان به بعد، مطالعات مشابهی در جهت یافتن ارتباطات ساختاری بین خطواره‌ها و گسترش کانسارها صورت گرفته است (کوتینا و فابری، ۱۹۷۲؛ فاورسکایا و وینوگرادوف، ۱۹۹۱؛ شهاب پور، ۱۹۹۹؛ چرنیکوف و دیگران، ۲۰۰۲؛ میرزابابایی و دیگران، ۲۰۱۶). مطالعه حاضر نیز به بررسی ارتباط بین خطواره‌ها و گسترش کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در جنوب کمربند مس کرمان می‌پردازد. مطالعات مشابهی نیز در مناطق مرکزی این کمربند صورت گرفته که در نوع خود اطلاعات ارزشمندی را در اختیار می‌گذارند (مثلاً هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴). منطقه مورد مطالعه بخشی از جنوب کمربند مس کرمان را در بر می‌گیرد که از جنوب به شهر جیرفت، از شمال به شهر کرمان، از غرب به شهر بافت و از شرق به شهر بم منتهی می‌شود و در مجموع، حدود ۱۲۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد. در این محدوده تاکنون بیش از ۳۰ کانسار و نشانه معدنی با خصوصیات عمده پورفیری شناسایی شده است. این منطقه بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی است که بخشی از کمربند با مقیاس جهانی آلپ-همیالیاست. علاوه بر دیدگاه-های ساختاری و زمین‌ساختی، کانسارهای مس پورفیری مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان با ابزارهای تحقیقاتی متنوعی از جمله سنجش از دور با اهداف اکتشافی بوده‌اند (مثلاً کروز و دیگران، ۲۰۰۳؛ روان و دیگران، ۲۰۰۳؛ تنگستانی و دیگران،

وجود ندارد. معمولاً خطواره‌های تصاویر ماهواره‌ای به راحتی قابل تشخیص نیستند. برخی از آنها با توجه به شرایط نوردهی و وجود پوشش گیاهی و امتداد آبراهه‌ها در مسیر این خطواره‌ها، راحت‌تر قابل تشخیص هستند؛ ولی برخی دیگر از این عوارض را باید با روش‌های پردازش تصویر، واضح ساخت (هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴). یک پدیده خطی، خطی مستقیم در یک تصویر است. برخی پدیده‌های خطی نمودهای سطحی واقعی شکستگی‌های پوسته زمین بوده و برخی دیگر، اینگونه نیستند. بسیاری از ساختارهای خطی مصنوعی، بسیار کم عرض‌تر از اثرات خطی همراه با شکستگی‌ها بوده یا میل به جهت‌گیری در راستای شمال-جنوب و شرق-غرب دارند و می‌توان آنها را از راه روش‌های خودکار پردازش خطی، بارز کرد (وینسنت، ۱۹۹۷).

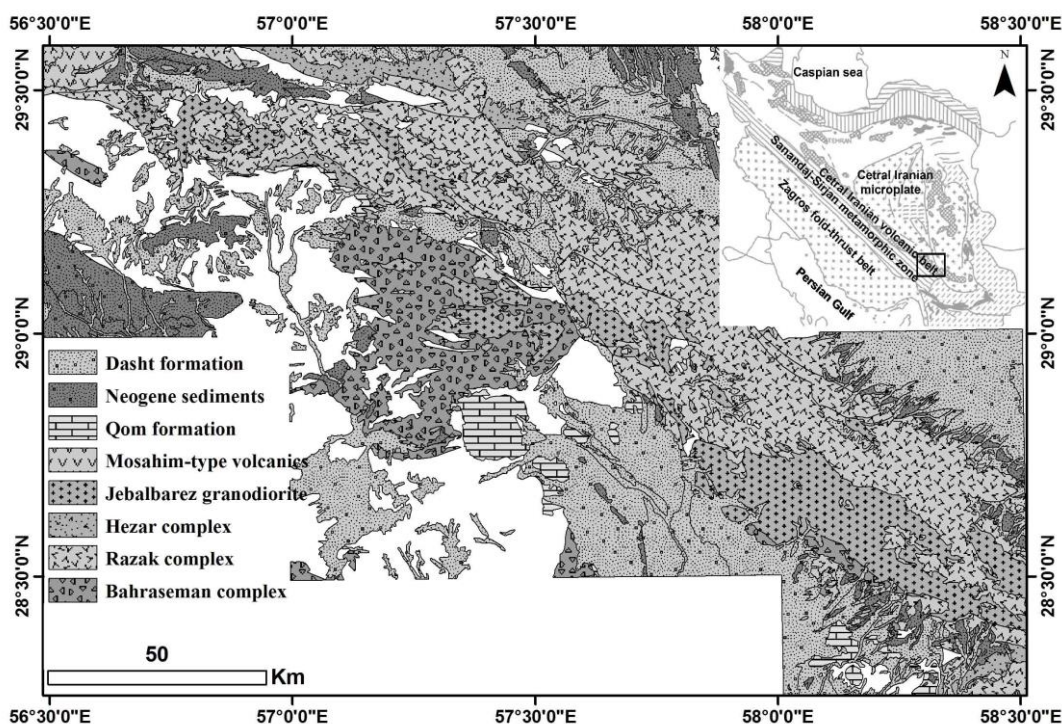
#### محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند آتشفشانی ایران مرکزی است که عمده لیتولوژی آن شامل پیروکلاستیک‌ها (کمپلکس بحرآسمان)، ولکانیک-های ائوسن (مجموعه آتشفشانی رازک)، کمپلکس هزار (به سن ائوسن تا میوسن)، گرانیئوئیدهای جبال بارز (میوسن)، سنگ‌های نیمه آتشفشانی تیپ کوه‌پنج (میوپلیوسن) و مجموعه‌های آتشفشانی تیپ مزاحم (به سن پلیوسن) می‌باشد (شکل ۱). گفتنی است که علاوه بر واحدهای مذکور، واحدهای سنگی دیگری نیز به سن‌های مختلف (قدیمی‌تر و جدیدتر از موارد مذکور) در منطقه مورد مطالعه برونزد دارند. از نظر پراکندگی و رخمون سنگی، ولکانیک‌های ائوسن (مجموعه بحرآسمان و مجموعه رازک) و سنگ‌های نفوذی میوسن (تیپ جبال بارز) دارای بیشترین برونزد می‌باشند. مطالعات انجام شده در این منطقه حاکی از آن هستند که تقریباً تمام کانسارهای مس موجود

گسلی و ۵) خطواره‌های مربوط به گسل‌های اصلی یا زمین گسل‌ها. از تقسیم‌بندی مزبور چنین بر می‌آید که بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناختی ارتباط نزدیکی با پدیده‌های زیر سطحی با مقیاس‌های متفاوت دارند. به‌عنوان مثال، آرایش خطی چند عارضه توپوگرافی ساده مانند یک رشته از تپه‌های با ارتفاع اندک نیز می‌تواند مبین وجود مرزهای ساختاری در زیر سطح باشد که شناسایی این مرزها با دیگر روش‌های معمول در نقشه برداری‌های ساختاری اگرچه ناممکن نباشد ولی بسیار مشکل است. ارتباط خطواره‌ها با پراکندگی مواد معدنی نیز از دیگر مسائلی است که از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته است (مثلاً: کوتینا و فابری، ۱۹۷۲؛ فاورسکایا و وینوگرادوف، ۱۹۹۱). این ارتباط نیز در منطقه کرمان مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج چندی در پی داشته است. مطالعه حاضر نیز در بردارنده اطلاعات جامعی در زمینه ارتباط خطواره‌ها با کانه‌زایی و پدیده‌های زمین‌شناختی در این منطقه است. البته باید خاطر نشان کرد که تقسیم‌بندی ارائه شده در این بخش (بروکمن و همکاران، ۱۹۷۸) به نحوی همپوشان با تقسیم‌بندی دیگری است که برای منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است و در منطقه مورد مطالعه، تقسیم‌بندی خطواره‌ها بیشتر برمبنای مقیاس، کنترل منطقه‌ای بر پدیده‌های زمین‌شناختی و نیز امکان شناسایی بر روی تصاویر لندست بوده که مورد بررسی قرار گرفته است. استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی ارتباط آنها با یکدیگر و نیز با پدیده‌های زمین‌شناسی، روابط فضایی، طول، تقاطع آنها و نیز ارتباط این ساختارها با پدیده‌های کانه‌زایی نیاز به آنالیز و تجزیه و تحلیل‌هایی دارد که بدون انجام آنها، امکان استفاده مستقیم از این تصاویر برای کارهای تحقیقاتی بویژه زمین‌شناسی ساختاری

این سنگ‌های نیمه عمیق به سن میو-پلیوسن بوده و در سنگ‌های گرانودیوریتی تیپ جبال بارز به سن میوسن نفوذ کرده‌اند.

در سنگ‌های نیمه آتشفشانی تیپ کوه‌پنج تشکیل شده‌اند (شفیعی و دیگران، ۲۰۰۹) که پراکندگی زیاد اما تراکم نسبتاً کمی در نواحی پراکنش دارند.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (دیمیتریویچ، ۱۹۷۳). نقشه مبنا از اشتوکلین و نبوی (۱۹۷۳).

### مواد و روش‌ها

علاوه بر روش‌های مرسوم برای شناسایی خطواره-های بزرگ بر روی پوسته زمین، روش‌های مختلفی نیز جهت شناسایی خطواره‌های کوچک وجود دارد که در زیر به دو روش عمده آن به اختصار اشاره می‌شود.

فیلتر گذاری: واقع فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش-های طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند و تصویر جدیدی می‌سازد که تباین آن می‌تواند با تصویر اصلی، متفاوت باشد (علوی پناه، ۱۳۸۵). برای اعمال فیلتر بر روی یک تصویر، یک جعبه فیلتر یا پنجره فیلتر در نظر گرفته می‌شود و برای تعیین

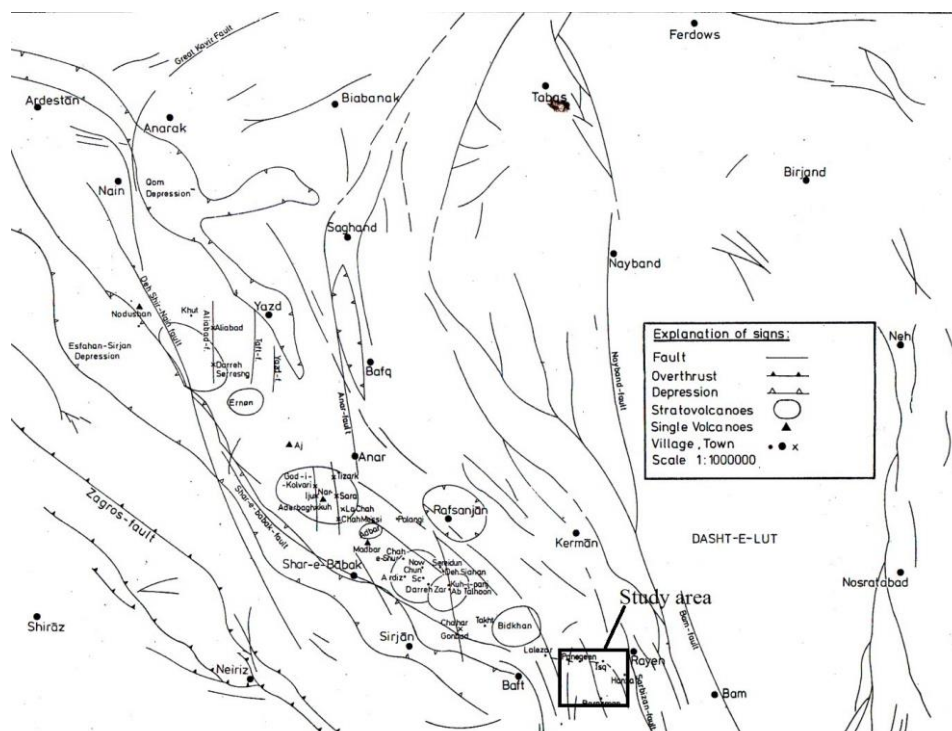
درجه روشنایی جدید پیکسل‌ها، این جعبه فیلتر بر روی تمام تصویر حرکت می‌کند و تصویر جدید را به‌وجود می‌آورد. یک پنجره فیلتر، ماتریسی است که شامل مجموعه‌ای از ضرایب (یا وزن‌ها) است. مقدار هر پیکسل در تصویر خروجی با قرار دادن پنجره روی پیکسل متناظر در تصویر ورودی و ضرب کردن مقادیر تمام پیکسل‌های زیر پنجره در وزن متناسب و حاصل جمع آن به‌دست می‌آید. این پنجره فیلتر می‌تواند در اندازه‌های ۳×۳، ۵×۵، ۷×۷ و غیره باشد (علوی پناه، ۱۳۸۵). معمولاً خطواره-های تصویر، به دو روش واضح‌تر می‌شوند (هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴)؛ روش اول: افزایش پهنای خطواره-هاست و روش دیگر افزایش اختلاف ارزش رقومی

### بحث و نتایج

حضور، گسترش و ابعاد خطواره‌ها در منطقه مطالعاتی: بررسی منابع مطالعاتی موجود و نیز تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان دهنده حضور سه دسته کلی از خطواره‌ها در کمربند مس کرمان به-ویژه در نیمه جنوبی آن می‌باشد که هدف مطالعه حاضر به‌شمار می‌رود. یک دسته شامل آنهایی می‌شود که دارای ابعاد بزرگ می‌باشند و اثراتی در مقیاس پوسته‌ای بر تشکیل ذخایر بزرگ داشته‌اند. نمونه چنین خطواره‌هایی، ساختار خطی منطبق بر مدار ۵۶ درجه شرقی است که با روند شمالی-جنوبی امتداد داشته و کمربند آتشفشانی ایران مرکزی را در نزدیکی کانسار مس سرچشمه قطع می‌کند (شهاب‌پور، ۱۹۹۹). اثر این خطواره در ابعاد پوسته‌ای بوده و مباحث مربوط به نقش کلیدی آن در توزیع مکانی ذخایر بزرگ، خارج از اهداف این مطالعه می‌باشد. گروه دیگر خطواره‌ها شامل آنگونه از اثرات خطی می‌باشند که با طول بسیار زیادی در منطقه (طول بیشتر از ۵۰ کیلومتر) مشهود بوده و عمدتاً از روندهای تکتونیکی منطقه تبعیت می‌کنند (شکل ۲). تعداد این اثرات خطی بیشتر از انواع با ابعاد پوسته‌ای بوده و اغلب از طریق موزائیک کردن تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی می‌باشند. گذشته از انواعی که با روند شمال غرب-جنوب شرق نمایان می‌باشند، تعدادی دیگر نیز با روند شمال شرق-جنوب غرب، نمود دارند. انطباق این اثرات خطی با مراکز فورانی یا اثرات سطحی توده‌های نفوذی در بعضی نقاط، گویای آن است که این خطواره‌ها به عنوان کانال‌هایی جهت عبور ماگما از اعماق به سطح عمل کرده‌اند.

پیکسل‌ها در امتداد پهنای خطواره است. برای بارزسازی خطواره‌ها از دو گروه فیلتر رقومی یعنی فیلترهای بدون جهت و فیلترهای جهت‌دار استفاده می‌شود.

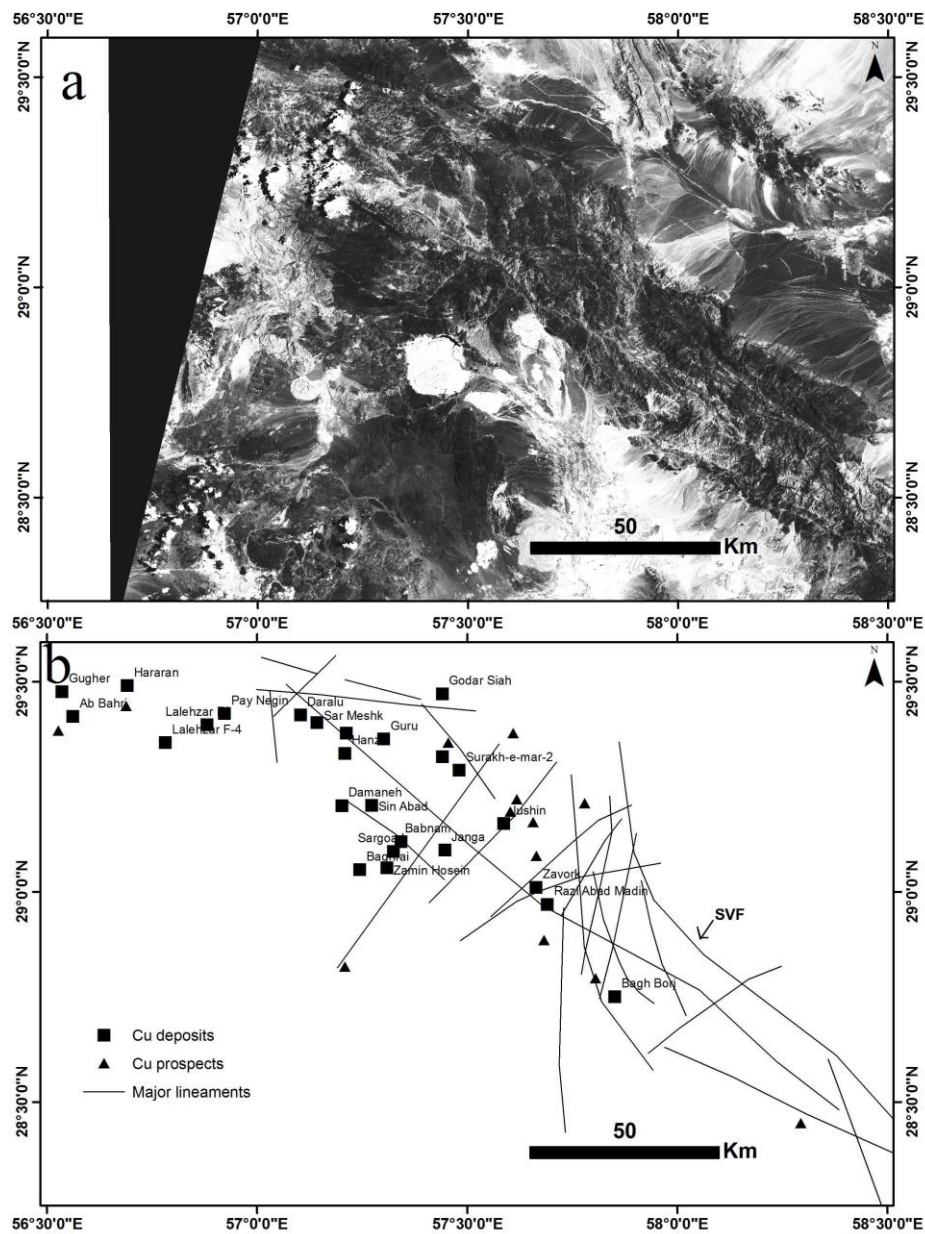
ضریب خطوارگی تصویری: محاسبه ضریب خطوارگی تصویری، روش دیگری است که برای آنالیز خطواره‌ها استفاده می‌شود. محاسبه ضریب خطوارگی و مطالعه توزیع مکانی خطواره‌ها می‌تواند در اکتشاف کانسارها و تعیین مناطق با پتانسیل کانی‌سازی و هم‌چنین اکتشاف مناطق ذخیره و انتقال آب، استفاده شود (هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴). نحوه محاسبه این ضریب و کاربرد آن در این مطالعه، به‌صورتی است که بدان اشاره می‌شود. برای محاسبه فاکتور خطوارگی از رابطه  $PF=(a/A)+(b/B)+(c/C)+(d/D)$  استفاده می‌شود (هارد کاستل، ۱۹۹۵) که برای انجام آن، منطقه مطالعاتی به یک شبکه سلولی با ابعاد متناسب (۳ کیلومتر در این مطالعه) تقسیم می‌شود (شکل ۷). در رابطه بالا  $a$  تعداد خطواره‌ها در هر سلول و  $A$  میانگین آنها در کل نقشه،  $b$  طول خطواره‌ها در هر سلول و  $B$  میانگین آنها در کل نقشه،  $c$  تعداد تقاطع خطواره‌ها در هر سلول و  $C$  میانگین آنها در کل نقشه،  $d$  تعداد دسته جهت‌ها در هر سلول و  $D$  میانگین آنها در کل نقشه می‌باشد. بعد از انجام مراحل بالا، مقادیر فاکتور خطوارگی برای هر کدام از سلول‌های نقشه محاسبه شده و این مقادیر تجزیه و تحلیل شده و نقشه کانتوری خطوارگی به‌دست آمده است.



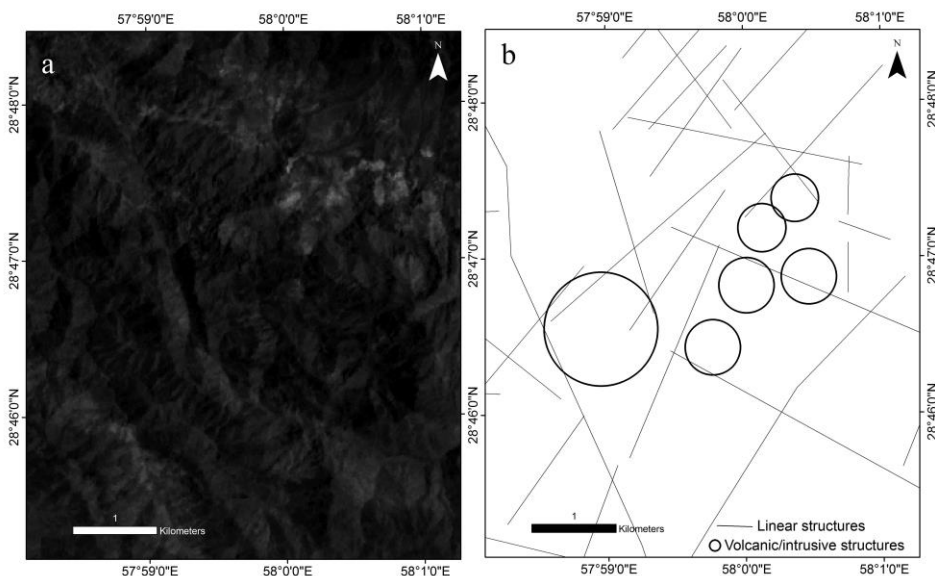
شکل ۲: خطواره‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی جهت اکتشاف کانسارهای مس پورفیری در ایران مرکزی (فورستر، ۱۹۷۸).

ساختارهای دیگر در منطقه مطالعاتی و نیز کانسارها و نشانه‌های معدنی نشان می‌دهند (شکل ۳). گفتنی است که تعداد معدودی از خطواره‌های نشان داده شده در شکل ۳، مربوط به گسل‌های اصلی منطقه (گسل سروستان) می‌باشند که با روند خطی بر روی تصاویر ماهواره‌ای دیده می‌شوند. با این وجود اثرات دیگری از ساختارهای خطی یا خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند که دارای تراکم بیشتری بوده ولی امتداد کمتری دارند و به نظر می‌رسد که بسیاری از آنها، شکستگی‌های با عمق کمتری از انواع پیشین باشند که عمدتاً دارای ارتباط مکانی و ژنتیکی نزدیکی با مراکز فعالیت‌های آتشفشانی می‌باشند (شکل ۴).

موقعیت آتشفشان‌های نوع چینه‌ای به صورت منظم و بر محل گذر و تراکم خطواره‌های اصلی، انطباق دارند که نشان دهنده جوان تر بودن این مجموعه-های آتشفشانی نسبت به این نوع از خطواره‌ها می‌باشد. یکی از مسائل جالب آن است که انطباق مثبتی بین تراکم این نوع از خطواره‌ها و موقعیت آتشفشان‌های چینه‌ای به چشم می‌خورد که در بالای مناطق فرورانش و در مناطق رخداد کانسارهای مس پورفیری دیده می‌شود. سیلیتو (۱۹۷۳) کانسارهای پورفیری مهمی را در آمریکای جنوبی بر شمرد که ارتباط زایشی بسیار نزدیکی با آتشفشان‌های نوع چینه‌ای دارند. بسیاری از اثرات مذکور به راحتی از روی تصاویر ماهواره‌ای منفرد نیز قابل شناسایی می‌باشند و ارتباط جالبی با



شکل ۳: (a) بخشی از تصویر ۴۰-۱۶۰ لندست که منطقه مطالعاتی را پوشش می‌دهد، پردازش تصویر بر روی این تصویر به گونه‌ای صورت گرفته است که آثار تعدادی از خطواره‌ها نیز به آسانی قابل ردیابی می‌باشند، (b) تعدادی از خطواره‌های استخراج شده از تصویر a خطواره‌های بزرگ استخراج شده عمدتاً منطبق بر روند زمین‌ساختی منطقه هستند و خطواره‌های کوچک نیز روندهای مختلفی را نشان می‌دهند. اختصارات: SVF: گسل سروستان.



شکل ۴: (a) بخشی از تصویر ۴۰-۱۶۰ لندست که منطقه مطالعاتی را پوشش می‌دهد. در این تصویر، اثرات ساختارهای آتشفشانی تا حدودی قابل مشاهده می‌باشند که عمدتاً دارای ارتباط نزدیکی با ساختارهای خطی (b) می‌باشند. ساختارهای خطی نیز عمدتاً به وفور در اطراف این مراکز دیده می‌شوند.

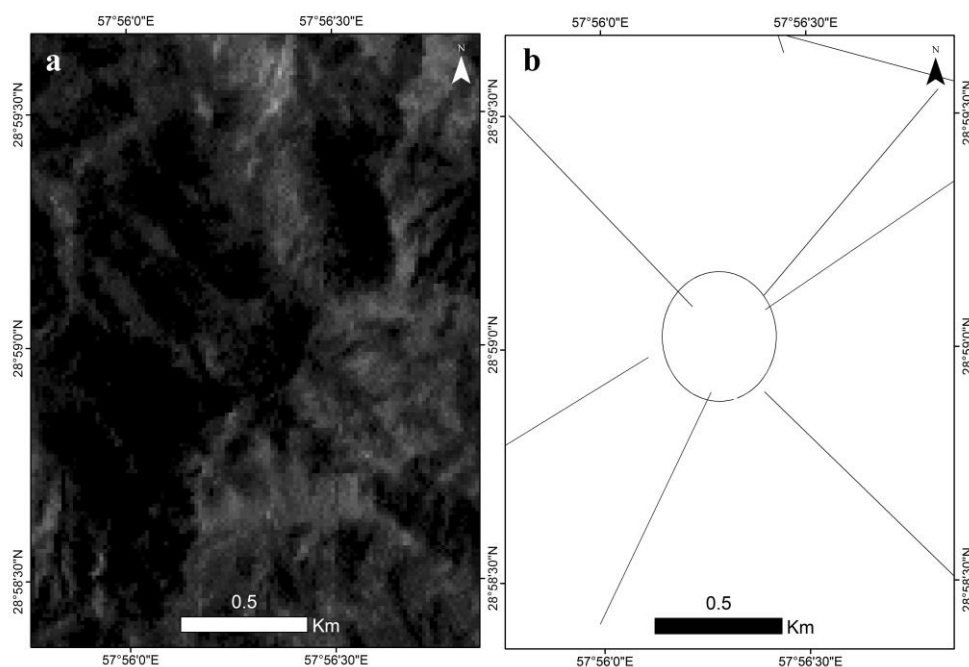
دیگر آنکه گسترش این پدیده در ابعاد وسیع به-خوبی قابل ردیابی نیست و با قاطعیت نمی‌توان عوامل ساختاری تشکیل تمام این اثرات خطی را به اعماق پوسته ارتباط داد. نتیجه آنکه به نظر می‌رسد که بسیاری از این اثرات خطی، طی نفوذ ماگما در ابعاد وسیع به وجود آمده باشند. بنابراین در تبیین سازوکار ساختارهای خطی و تقدم و تأخر آنها نسبت به پدیده‌های کانه‌زایی باید گفت که تبیین مزبور ارتباط تنگاتنگی با سازوکار تشکیل این ساختارها دارد. ساختارهای خطی با طول زیاد عمدتاً پیش از رخدادهای کانه‌زایی در منطقه تشکیل شده‌اند و دارای روندهای موازی با روندهای عمومی زمین‌ساختی منطقه می‌باشند. تعدادی دیگر نیز از این ساختارها نیز دارای روندهای شمال‌شرق-جنوب‌غرب می‌باشند که میزبان کانه‌زایی مس می‌باشند. در کمربند دهج-ساردوئیه، ساختارهایی که همراه با آنها کانه‌زایی مس صورت

بعضی از این ساختارها حتی دارای ارتباط شعاعی نسبت به هم در اطراف دهانه‌های ولکانیکی هستند (شکل ۵) و در بعضی از موارد نیز در محل تقاطع این ساختارهای خطی، اثرات نفوذ ماگما نیز مشهود است (شکل ۶). در مورد ارتباط سنی یا تقدم زمانی تشکیل این نوع از ساختارهای خطی و مراکز نفوذ ماگما در محل تقاطع آنها، هیچگونه شاهد مستقیمی به چشم نمی‌خورد با این حال ابعاد کوچکتر این نوع از اثرات خطی می‌تواند به درک تقدم زمانی مزبور کمک کند. به عبارت دیگر به نظر نمی‌رسد که تمام ساختارهای خطی در این نوع قبل از نفوذ ماگما تشکیل شده باشند زیرا روند این اثرات خطی همواره از روندهای زمین‌ساختی منطقه‌ای تبعیت نمی‌کند از طرف دیگر این حالت-یعنی تشکیل اثرات توده‌های نفوذی در محل تقاطع این اثرات خطی-بیشتر در جاهایی نمود دارد که اثرات نفوذ ماگما در منطقه بیشتر دیده می‌شوند. موضوع

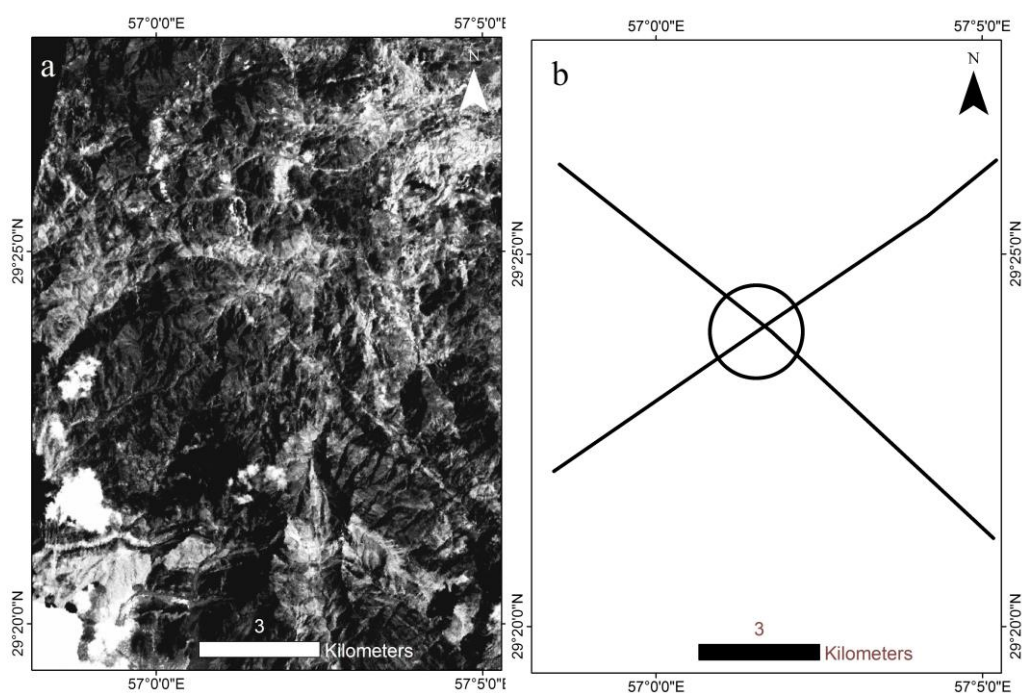


این نوع، ممکن است در محل تقاطع اثرات خطی، توده‌های نفوذی نیز دیده شود که هم‌زمان با شکل‌گیری اثرات خطواره‌ای کوچک در سطح زمین، در اعماق کم جایگیر شده‌اند. بنابراین شکل‌گیری آنها نسبت به کانه‌زایی، تقدم ندارد. با این وجود در مجاورت برخی از این ساختارهای خطی، اثراتی از کانه‌زایی یافت می‌شود که علاوه بر وابستگی به توده‌های نفوذی، متأثر از نقش ساختارهای گسلی است که فعالیت آنها مربوط به بعد از تزریق ماگما می‌شود. در حالت اخیر، گسل‌ها نقش تسهیل در تشکیل محیط‌های مساعد جهت تزریق ماگما را ندارند بلکه عامل ایجاد فضاهای مناسب جهت تأمین و چرخش سیالات با منشأ جوی و نیز ماگمایی در داخل توده‌های نفوذی بوده که منجر به ایجاد سیستم‌های کانه‌زا از نوع رگه‌ای می‌شود.

گرفته است، با جهت یافتگی عمده شرقی-غربی تا شمال‌شرق- جنوب‌غرب، دیده می‌شوند (دیمتریویچ، ۱۹۷۳) همان‌طور که بیشتر اشاره شد، ساختارهای با طول کمتر نیز در کل منطقه وجود دارند که انطباق بارزی با مراکز فورانی یا اثرات سطحی توده‌های نفوذی در بعضی از نقاط دارند. تشخیص تقدم یا تأخر این نوع از ساختارها نسبت به کانه‌زایی، بستگی به سازوکار تشکیل آنها دارد. این نوع ساختارهای خطی ممکن است دارای منشأ عمقی بوده و بویژه در محل تقاطع خود راهروهایی جهت عبور ماگما ایجاد کنند که این کانال‌ها در مراحل پایانی فوران، مسیرهایی را برای جایگزینی ماگماهای مولد و کانه‌زا ایجاد کنند که در این صورت تشکیل ساختار خطی بر رخداد کانه‌زایی تقدم داشته است. در حالت دیگر ممکن است ساختار خطی نمود سطحی تزریق ماگما در اعماق کم در نقاط فورانی نزدیک به هم باشد. در



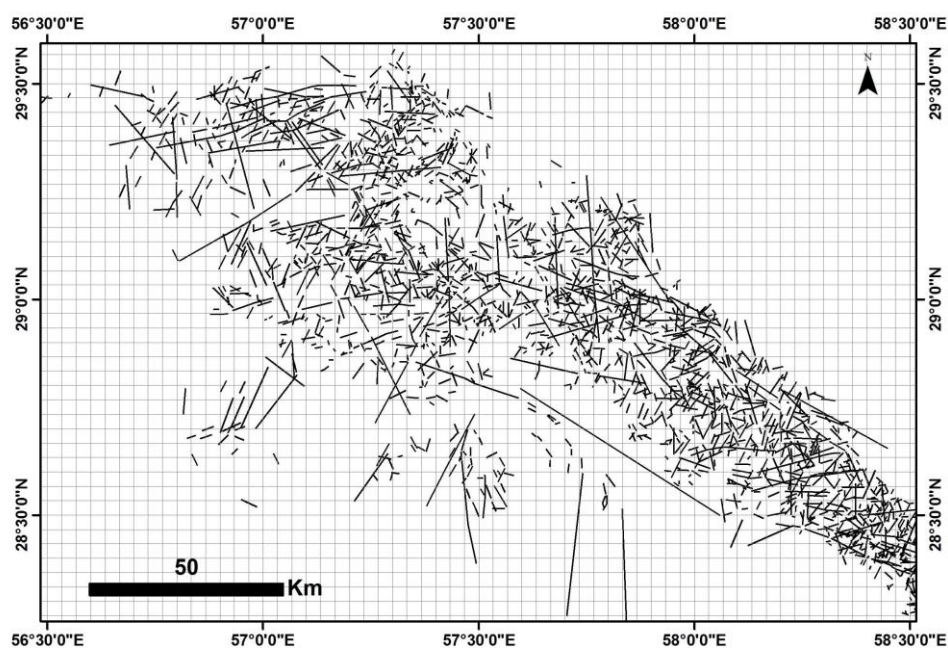
شکل ۵: (a) بخشی از تصویر ۴۰-۱۶۰ لندست که منطقه مطالعاتی را پوشش می‌دهد، (b) ساختارهای خطی استخراج شده از این محدوده که مبین آرایش شعاعی ساختارهای مذکور در اطراف دهانه‌های آتشفشانی هستند.



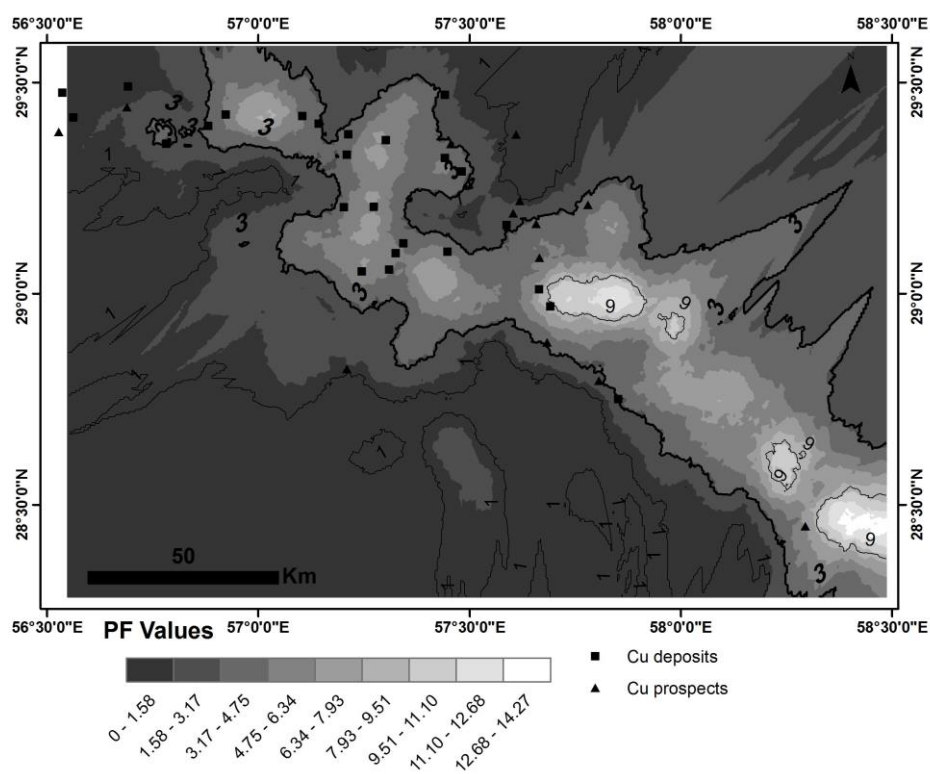
شکل ۶: (a) در محل تقاطع اثرات با روندهای خطی، اثرات نفوذ توده‌های نفوذی در نزدیکی زمین مشاهده می‌شود، (b) شکل شماتیک از پدیده مورد مشاهده از تصویر ماهواره‌ای در شکل a ساختارهای مورد مشاهده در این شکل از روی باند ۸ تصویر لندست استخراج شده‌اند.

بالای فاکتور خطوارگی دیده می‌شود. نواحی با مقادیر بالای فاکتور خطوارگی به وضوح بر محور آتشفشانی-نفوذی منطقه انطباق دارند. در این شکل از مجموع ۳۴ کانسار و نشانه معدنی مس، تعداد ۲۰ مورد در نواحی با مقادیر با فاکتور خطوارگی متوسط و بالا ( $\geq 3$ ) و ۱۴ کانسار دیگر در محدوده‌های با مقادیر کمتر قرار گرفته‌اند.

از نقشه فاکتور خطوارگی منطقه مطالعاتی نتیجه-گیری می‌شود که عمده کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ارتباط با مقادیر فاکتوری متوسط بوده‌اند و در نواحی با فاکتور خطوارگی بسیار زیاد یا بسیار کم، کانسارها، تمرکز چندانی نشان نمی-دهند (شکل ۸). در این نقشه، ارتباط مثبتی بین موقعیت عمده کانسارهای مس با مقادیر متوسط به



شکل ۷: شبکه خطوارگی منطقه مطالعاتی و موقعیت اثرات خطی استخراج شده از تصاویر لندست که در خانه‌هایی به ابعاد تقریبی ۳ کیلومتر دیده می‌شوند، نقشه فاکتور خطوارگی منطقه مطالعاتی و خطوط کانتوری مربوط به آن (شکل ۸) براساس این شبکه تدوین گردیده است.



شکل ۸: نقشه فاکتور خطوارگی منطقه مطالعاتی و خطوط کانتوری مربوط به آن.

### بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، بررسی ارتباط خطواره‌ها با پراکندگی کانسارها و ذخایر معدنی یکی از موضوعات جالب توجه برای بسیاری از زمین‌شناسان ایرانی بوده است. در این بین بعضی از زمین‌شناسان ایرانی نیز توجه خاصی به این موضوع داشته‌اند به گونه‌ای که به بسط این موضوع در قالب حیطه‌های بزرگتری از زمین‌شناسی نظیر زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت پرداخته‌اند (مثلاً شهاب‌پور، ۱۹۹۹؛ هنرمند و رنجبر، ۱۳۸۴). اهمیت منطقه کرمان از نظر کانه‌زایی مس با گرایش عمده پورفیری نیز باعث معطوف شدن بسیاری از مطالعات زمین‌شناسی و به‌ویژه ساختاری در این منطقه شده است. در این مطالعه، خطواره‌های کوچک که ماهیت آنها نیز بحد اختصار مورد بحث بوده است از روی تصویر فیلتر شده باند ۸ لندست (سری ETM<sup>+</sup>) با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر استخراج شده‌اند. نقشه فاکتور خطواره‌گی منطقه مطالعاتی نیز براساس خطواره‌های استخراج شده از همین تصویر تهیه شده است. از مسائل جالبی که از مطالعه این نقشه می‌توان بدان دست یافت آن است که در نواحی با فاکتور خطواره‌گی بسیار زیاد (بیشتر از ۹) کانسار یا نشانه معدنی دیده نمی‌شود. از مسائل جالب توجه در این نقشه هم‌چنین می‌توان به رخداد کانه‌زایی یا پیدایش تعدادی از کانسارها بر روی یا مجاور کانتورهای با مقادیر عددی کم اشاره کرد. در تفسیر این موضوع باید توجه نمود که اکثر کانسارهایی که بر روی یا مجاور کانتورهای با مقادیر عددی کم قرار گرفته‌اند، در ارتباط و یا در نزدیکی سرزمین‌های رسوبی اطراف قرار دارند که بررسی اثرات خطی در این نواحی، خارج از این مطالعه است و در اینجا خطواره‌های موجود در سرزمین‌های واجد توده‌های ولکانیکی و نفوذی مورد توجه می‌باشند. گفتنی است که بالا

بودن مقادیر فاکتور خطواره‌ای و کانتورهای حاصل، به‌طور قطعی دلیلی بر وجود حتمی کانسار در آن منطقه نمی‌باشد. در شکل مزبور، مناطقی با حداکثر مقادیر فاکتور خطواره‌گی (کانتورهای با مقادیر زیاد) و فاقد کانسارسازی (البته تا به امروز) دیده می‌شوند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به نواحی جنوبی سلسله جبال بارز و شرق ساردوئیه اشاره کرد. یکی از دلایل کم بودن یا نبودن کانسارها و نشانه‌های معدنی در نقاط با فاکتور خطواره‌گی بسیار زیاد می‌تواند به وجود فراوان ماگما قبل از تکامل و تفریق آن برای تشکیل دگرسانی‌ها و کانسارهای مس باشد بدین معنی که قبل از تشکیل و تکامل سیستم کانه‌دار، بدلیل مقادیر فراوان ماگما، مقدار زیادی از سیالات و عناصر کانسارساز از سامانه ماگمایی خارج می‌شوند و این پدیده می‌تواند منجر به از بین رفتن ارزش کانساری ماگما شود. البته ذکر این نکته ضروری است که نبود یک کانسار در نواحی با فاکتور خطواره‌گی بالا هم‌چنین می‌تواند به نبود برنامه‌های اکتشافی در آن نواحی مربوط باشد به-عبارت دیگر شاید در این مناطق کار پی‌جویی و اکتشاف انجام نشده باشد و این مناطق، مستعد پی-جویی باشند. در هر صورت، هدف از اینگونه مطالعات، تشخیص نواحی مستعد است. ضمناً باید اشاره کرد که بنابر همین شکل نیز می‌توان نتیجه-گیری کرد که کانه‌زایی در این منطقه فقط در حیطه کنترل خطواره‌ای نبوده است. هم‌چنین باید توجه نمود که در مناطقی که مقادیر کانتوری بالاست ولی تراکم گسل‌ها چندان زیاد نیست، کانسارسازی بطور بارزی صورت نگرفته است. در این مورد می‌توان اظهار نمود که نقش گسل‌ها، ایجاد راهروهایی جهت جریان سیالات با منشأ جوی و نیز ماگمایی می‌باشد که زمینه را برای چرخش سیالات گرمایی فراهم می‌کنند. این مسئله هم باعث ایجاد دگرسانی در سنگ‌های نفوذی و هم

خطواره‌ای در اکتشاف کانسارها به عوامل مهمی از جمله قدرت تفکیک تصویر ماهواره‌ای (یا عکس هوایی) مورد استفاده، زاویه سنجش، نوع فیلتر مورد استفاده، نوع روش‌های تشدید برای تشخیص بهتر ساختارهای زمین‌شناسی، نوع سرزمین‌های مورد مطالعه (آذرین، رسوبی و یا دگرگونی) و مهارت و تجربه شخص جستجوگر در شناسایی خطواره‌ها بستگی دارد. با این وجود این یک روش نسبی می‌باشد. برای مثال منطقه‌ای ممکن است دارای فاکتور بالای خطوارگی باشد اما این تراکم خطوارگی در ارتباط با کانه‌زایی در آن منطقه نباشد؛ هم‌چنین ممکن است نقشه فاکتور خطوارگی یک منطقه واحد توسط دو شخص متفاوت، با کمی اختلاف نسبت به همدیگر بدست آید.

-هنرمند، م. و رنجبر، ح.، ۱۳۸۴. کاربرد روش‌های مختلف پردازش تصویر روی داده‌های ETM<sup>+</sup> به منظور اکتشاف کانسارهای نوع پورفیری و رگه‌ای در منطقه کوه ممزار-کوه پنج در استان کرمان، مجله علوم زمین شماره ۵۷، ص ۱۱۰-۱۲۷.

-Billingsley, P. and Locke, A., 1935. Tectonic position of ore districts in the Rocky Mountain region, Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, v. 115, p. 59-65.  
-Brockman, E.C., Fernandez, A., Ballon, R. and Claire, H., 1978. Analysis of geological structures based on Landsat-images, Programa del Satellite Tecnologico de Recursos Naturales, Servicio Geologico de Bolivia (GEOBOL), Lapaz, Bolivia.

انتقال فلزات به صورت کمپلکس‌های فلزی در سیالات مزبور و انتقال و ته‌نشست در نقاط مستعد و ایجاد کانسار می‌گردد. در هر صورت بررسی انجام شده نشان دهنده ارتباط نسبتاً مثبتی بین ساختارهای خطی با گسترش کانسارهای مس در ابعاد ناحیه‌ای می‌باشد با این وجود بنظر می‌رسد که گسترش کانسارهای مس در منطقه مورد مطالعه در ابعاد منطقه‌ای متأثر از ساختارهای دیگری باشد از جمله آنکه مناطق دارای تراکم بالای ساختارهای خطی و گسلی (اغلب با امتداد کم)، خود محصور در مناطق واجد ساختارهای دیگری هستند که تشکیل این ساختارهای خطی و گسلی به‌طور غیر مستقیم یا حتی مستقیم در بعضی از نقاط متأثر از یا مرتبط با فرایند تشکیل ساختارهای مزبور می‌باشد. لازم به ذکر است که صدق روش تحلیل

#### منابع

-علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ ص.  
-وینسنت، ر.ک.، ۱۹۹۷. مبانی دورسنجی زمین-شناختی و زیست‌محیطی، ترجمه مجید هاشمی تنگستانی، مرکز نشر دانشگاهی، ۴۷۲ ص.

-Chernicoff, C.J., Richards, J.P. and Zappettini, E.O., 2002. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical and remote sensing evidence, Ore Geology Reviews, v. 21, p. 127-155.  
-Dimitrijevic, M. D., 1973. Geology of Kerman region, geological survey of iran repelis, v. 52, 334 p.  
-Favorskaya, M.A. and Vinogradov, N.V., 1991. Geological evolution of ore-concentrating lineaments, Global

- Tectonics and Metallogeny, v. 4 (1-2), p. 75-84.
- Förster, H., 1978. Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran journal of the geological society of london, v. 135, p. 443-455.
- Hardcastle, K.C., 1995. Photolineament factor: A new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured, Photogrammetric Engineering and remote sensing, v. 61, p. 739-747.
- Honarmand, M., Ranjbar, H. and Shahapour, J., 2011. Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran, journal of sciences islamic republic of iran, v.22(3), p. 221-238.
- Kutin, J. and Fabbri, G., 1972. Relationship of Structural lineaments and mineral occurrences in Abitibi area of the Canadian Shield, geological survey canada, Paper 71-9, p. 36.
- Kruse, F.A., Boardman, J. and Huntington, J.F., 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, v. 41, p. 1388-1400.
- Mirzababaei, G., Shahabpour, J., Zarasvandi, A. and Hayatolgheyb, S.M., 2016. Structural Controls on Cu Metallogenesis in the Dehaj Area, Kerman Porphyry Copper Belt, Iran: A Remote Sensing Perspective, journal of sciences islamic republic of iran, v. 27(3), p. 253-267.
- O'Leary, D.W., Friedman, J.D. and Pohn, H.A., 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms, Geological Society of America Bulletin, v. 87, p. 1463-1469.
- Rowan, L.C., Hook, S.J., Abrams, M.J. and Mars, J.C., 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (Aster), a new satellite-imaging system, economic geology, v. 98, p. 1018-1027.
- Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran, Mineral, Deposita, v. 44(3), p. 265-283.
- Shahabpour, J., 1999. The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of the Zagros thrust zone, Journal of Geodynamics, v. 28, p. 237-250.
- Sillito, R.H., 1973. The tops and bottoms of porphyry copper deposits, economic geology, v. 68, p. 799-815.
- Stöcklin, J. and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic Map of Iran, Scale 1:2500000 geological survey iran, Tethys Offset Press, Rep. No 31, 100 p.
- Tangestani, M.H., Mazhari, N., Agar, B. and Moore, F., 2008. Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi arid area, northern Shahr-e-Babak, SE international journal of remote sensing, v. 29(10), p. 2833-2850.