

# بررسی ارتباط شاخص خطواری و منشأ دگرسانی‌ها در کالدرای مساحیم و بیدخوان

سیدحسام الدین معین زاده<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶

## چکیده

در محاسبه شدت گسلش یک منطقه می‌توان عوامل مختلفی را در نظر گرفت. شاخص خطواری تابعی از طول، تعداد و تقاطع گسل‌ها در واحد سطح است و روشی مناسب در جهت کمی سازی داده‌های ساختاری به حساب می‌آید. به طور طبیعی اغلب دگرسانی‌ها با گسل‌ها و شکستگی‌هایی که راه نفوذ سیالات را تسهیل می‌کنند ارتباط دارند. مقایسه موقعیت محدوده‌های با بیشترین تمرکز خطواره‌ها در مناطق آتشفشانی، در کالدرای مساحیم و بیدخوان و بررسی دگرسانی‌های رخساره مرکزی کالدرای نشانگر ارتباط بیشتر دگرسانی‌های برونزاد با خطواره‌های منطقه می‌باشد و این در حالی است که دگرسانی فیلیک که بیشتر منشأ درونزاد دارد دارای ارتباط ضعیف‌تری با خطواری‌ها است. دگرسانی آرژیلیک می‌تواند منشأ درونزاد یا برونزاد داشته باشد. در کالدرای مساحیم منشأ کانی‌های رسی بیشتر آب‌های فرو رو بوده و کائولن کانی عمده آن است. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش XRD کانی‌هایی از قبیل پیروفیلیت و دیکیت در بخش‌های عمده‌ای از کالدرای مساحیم دیده نمی‌شوند؛ بنابراین اکثر دگرسانی‌های منطقه آتشفشان مساحیم عمدتاً آرژیلیک با منشأ برونزاد هستند، حال آنکه در منطقه کالدرای بیدخوان با وجود غالب بودن دگرسانی آرژیلیک اما دگرسانی فیلیک نیز که غالباً منشأ درونزاد دارد دارای وسعت قابل توجهی است. رسم ماتریس انطباق دگرسانی‌ها و کران بالای شاخص خطواری در مناطق مساحیم و بیدخوان به ترتیب ضرایب انطباق ۳۷/۸ و ۲۹ درصد برای دگرسانی آرژیلیک و ضرایب ۱/۱ و ۱۰/۷ را برای دگرسانی فیلیک در مناطق مذکور نشان می‌دهد. ارتباط مثبت دگرسانی آرژیلیک با شاخص خطواری و ارتباط ضعیف‌تر دگرسانی فیلیک با این فاکتور در مرکز کالدرای مساحیم و بیدخوان در کنار ارتباط نزدیک تر رژیم کلی (عمدتاً برونزاد) دگرسانی‌های منطقه مساحیم با شاخص خطواری، نشانگر تأثیر شدیدتر گسل‌ها در فرایندهای برونزاد نسبت به فرایندهای درونزاد در سطح این نواحی است.

**کلیدواژه‌ها:** فاکتور خطواری، منشأ دگرسانی‌ها، مساحیم، بیدخوان.

\*نویسنده مسئول: سیدحسام الدین معین زاده

E-mail: hesammoeinzadeh@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

### ۱-۱. بیان مسئله

کالدرایی علاوه بر سیالات درونزاد با منشأ فعالیت‌های ولکانیکی، به دلیل مورفولوژی خاص کالدرای سیالات برونزاد نیز عامل بسیار مهمی در جهت ایجاد دگرسانی‌ها به حساب می‌آیند. ارتباط گسلش و منشأ دگرسانی‌ها از جمله مباحثی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ در حالی که گسل‌ها به عنوان مهم‌ترین مسیر عملکرد سیالات نقش اساسی در کانه‌زایی چنین سیستم‌هایی دارند. اگر چه عمده ساختارهای گسلی در اثر عمل سیالات درونزاد ایجاد می‌شوند اما در سیستم‌های کالدرایی از ابتدایی‌ترین زمان‌های تشکیل این گسل‌ها پدیده‌های برونزاد شروع به تأثیر بر آنها کرده و در طول این گسل‌ها تا اعماق زیاد دگرسانی‌های مطبوع خود را به وجود می‌آورند. در این مطالعه به منظور بررسی ارتباط شدت خردایش و منشأ دگرسانی در مرکز دو استراتوولکان بزرگ مساحیم و بیدخوان؛ با استفاده از مطالعات میدانی وسیع نقشه فاکتور خطواری در مرکز کالدرای این دو آتشفشان تهیه و با نقشه شدت دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک (استخراج شده از پیمایش‌های میدانی گسترده در کنار اطلاعات حاصل از پردازش تصاویر فراطیفی سنجنده استر) مقایسه شد. چنین مقایسه‌ای رژیم عملکرد سیالات را در طول و در ارتباط با گسل‌ها در بخش مرکزی کالدرای توضیح داده و نقش دگرسانی‌های برونزاد در تشکیل لیتولوژی‌های در ارتباط با کانه‌زایی‌های کالدرایی را نشان می‌دهد.

### ۱-۲. منطقه مورد مطالعه

– **آتشفشان بیدخوان:** در ۹۰ کیلومتری جنوب باختری کرمان و ۴۰ کیلومتری جنوب باختر بردسیر قرار گرفته است (شکل ۱). دو راه اصلی به این آتشفشان وجود دارد که یکی از مسیر کرمان- بردسیر- بیدخوان است و از این طریق می‌توان وارد بخش مرکزی کالدرای شد و مناطق شمالی، شمال خاوری و شمال باختری آتشفشان را مورد بررسی قرار داد و دیگری از طریق جاده کرمان- نگار- بیدخوان است که امکان دسترسی به بخش‌های جنوبی، جنوب باختری و جنوب خاوری آتشفشان را ممکن

منشأ بسیاری از کانسارهای در ارتباط با استراتوولکان‌ها سیالاتی هستند که تنها اثر عملکرد آنها تمرکز فلزات و ایجاد ذخائر فلزی نیست؛ دگرسانی و خردایش به عنوان پدیده‌ای لاینفک و همیشه همراه با کانسارسازی‌های هیدروترمال نیز از جمله آثار عملکرد این سیالات هستند (Guilbert & Park, 1997). بررسی ارتباط زون‌های دگرسانی و شدت گسل خوردگی در کانسارهای مختلف می‌تواند الگویی از رفتار و ژنر سیالات کانه‌زا ارائه دهد (Wilson & Parry, 1995). تفکیک دگرسانی‌ها بر اساس منشأ آنها مطالعه‌ای بنیادی در جهت تشخیص الگوی کانه‌زایی در کانسارهای در ارتباط با استراتوولکان‌ها است که می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی و استراتژی اکتشاف تفصیلی در کانسار را فراهم آورد. در سیستم‌های ولکانیکی حاصل از نفوذی‌های ناکام از جنبه فورانی فعالیت سیالات درونزاد بسیار بارز و قابل توجه است؛ چنین سیالاتی که دما و انرژی بسیار بالایی دارند با تغییرات ساختاری در سنگ‌های روی توده و لیتولوژی‌های مسیر خود و از طریق پدیده انتشار و نفوذ نهایتاً منجر به دگرسانی سنگ‌های همبر و به تبع آن تمرکز فلزی از قبیل کانسارهای پورفیری می‌شوند (Sillitoe et al., 1975). سیستم‌های کالدرایی کامیاب از جنبه فورانی اما با دفع حجم بسیاری از سیالات و مواد فرار طی فرایند فوران انرژی مکانیکی و توان شیمیایی مورد نیاز برای ایجاد دگرسانی و کانه‌زایی در قالب یک سیستم پورفیری را از دست داده و منجر به تشکیل یک استراتوولکان می‌گردد (Sillitoe, 1977). در صورتی که توده‌های در حال نفوذ موفق به یافتن مسیری به سطح زمین شده و فوران رخ دهد کالدرای تشکیل شده مانع از نمود سیستم‌های پورفیری خواهد شد اما تمرکز فلزی در چنین حالتی در فازهای انتهایی فعالیت کالدرای به شکل کانسارهای اپی‌ترمال از قبیل سیستم‌های سولفیداسیون بالا به سیستم تحمیل می‌شوند (Sillitoe, 1999). حالت یادشده را می‌توان در مقایسه توده‌های نفوذی عمل کرده در سیستم پورفیری سرچشمه و کالدرای مساحیم و بیدخوان به خوبی مشاهده کرد. در سیستم‌های

تشکیل سرسیت حادث می‌شود. در این شرایط آهن حاصل از دگرسانی کانی‌های مافیک با آهن و گوگرد موجود در سیالات گرمایی، پیریت را تولید می‌کند؛ بنابراین کانی‌های مهم این دگرسانی شامل کوارتز، سرسیت و پیریت می‌شود و از کانی‌های فرعی این نوع دگرسانی می‌توان به کلسیت، آپاتیت و انیدریت اشاره کرد (Guilbert & Park, 1997). زون سرسیتی در اغلب کانسارهایی که از طریق ماگمایی یا گرمایی تشکیل شده‌اند یافت می‌شود و ارتباط نزدیکی با سیستم‌های گسله اصلی در منطقه دارد، لذا در مراحل پی‌جویی و اکتشاف به منظور تعیین موقعیت ذخیره از دگرسانی سرسیتی و ساختارهای کنترل کننده آن استفاده می‌شود (Crawford, 1980). دگرسانی فیلک به طور شاخص در اثر عملکرد سیالات دمای بالا ایجاد می‌گردد و در صورتی که منشأ درونزاد آن مورد تأیید باشد نشانه مثبتی برای تفکیک توده‌های کانه‌زا از لیتولوژی‌های عقیم به حساب می‌آید (Crawford, 1980 و Shahabpour, 1999). دگرسانی آرژیلیک نیز طبق (Bates (1960)، Guilbert & Park (1997) و شهاب‌پور (1390) توسط کانی‌های رسی مشخص می‌شود و ضمن تشکیل این نوع دگرسانی شرایط اسیدی است و تمامی کاتیون‌های قلیایی به طور کامل یا به طور وسیعی از سنگ بیرون کشیده می‌شوند. هجوم سیالات اسیدی در شرایط برونزاد باعث تشکیل کائولینیت و در شرایط درونزاد پروفیلیت به همراه دیکیت و کائولینیت می‌شود (Bates, 1960). هر گاه این فازها همراه دیاسپور، کوارتز یا سیلیکای آمورف، آندالوزیت یا به ندرت کوندوم باشد، این مجموعه به دگرسانی رسی پیشرفته خواهد رسید که کانسارسازی‌هایی از نوع سولفیداسیون بالا در آن محتمل است (یعقوب‌پور، 1366؛ کریم‌پور، 1368؛ شهاب‌پور، 1390). بنابراین هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیم‌دار در نتیجه هجوم سیالات اسیدی موجب تشکیل کائولینیت و در شرایط درونزاد دیکیت و پروفیلیت به همراه پیریت به عنوان فاز سولفیدی همیشه همراه آن می‌شود. بنابراین دگرسانی آرژیلیک به طور گسترده‌ای از طریق فعالیت سیالات برونزاد نیز ایجاد می‌شود که تفکیک منشأ این دگرسانی‌ها در مسائل اکتشافی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارتباط دگرسانی‌های یادشده با مسیر گسل‌ها و شکستگی‌ها نیز از جمله مسائل مهم در بحث اکتشافات سیستماتیک به حساب می‌آید. در زمینه بررسی منشأ سیالات به وجود آورنده دگرسانی‌ها و ارتباط ساختاری آنها تاکنون مطالعاتی توسط (Bates (1960)؛ Kutina (1974)؛ Crawford (1980)؛ Gutzmera & Beukes (1995)؛ Wilson & Parry (1995)؛ Shahabpour (1999)؛ Chernicoff et al. (2002) صورت گرفته است که هر کدام از جنبه‌ای به تلاش برای تفکیک منشأ سیالات و ارتباط آن با عوامل مختلف به وجود آورنده کانسارها و دگرسانی‌ها پرداخته‌اند. در مورد منشأ سیالات و دگرسانی‌ها در بخش شمالی زون دهج ساردویی نیز مطالعاتی توسط (Moradian (1997 انجام شده است. در راستای مطالعات یادشده در پژوهش حاضر به بررسی روند دگرسانی‌ها در ارتباط با ساختارهای کنترل کننده پرداخته شده و تأثیرات ساختاری گسل‌های مناطق کالدرایی در غالب بودن دگرسانی‌های برونزاد یا درونزاد مورد تحلیل قرار داده شده است.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱. روش نقشه بردار زاویه طیفی

یکی از روش‌های نوین و کارآمد در تعیین موقعیت دگرسانی‌های فیلک و آرژیلیک استفاده از طیف‌های الکترومغناطیس کانی‌های غالب در این زون‌ها است. به عنوان مثال طیف کانی مسکویت به عنوان کانی مرجع دگرسانی فیلک و کانی‌های رسی به خصوص کائولینیت به عنوان کانی شاخص زون آرژیلیک. در تحقیق حاضر این مطالعات با استفاده از تصاویر فراطیفی سنجنده استر انجام شد.

روش نقشه بردار زاویه طیفی از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای است و اولین بار توسط (Kruse et al. (1993 به کار برده شد. این روش بر اساس مشابهت بین

می‌سازد. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی این آتشفشان در جنوب خاوری کمربند ارومیه- دختر و از نظر تقسیمات زمین‌شناسی کرمان در نوار دهج- ساردویی قرار دارد. آتشفشان بیدخوان با وسعت بیش از 400 کیلومتر مربع یک استراتولکان شبیه کوه مساحیم است، قطر کالدرای آن در حدود 10 کیلومتر و قطر قاعده آتشفشان تا 25 کیلومتر می‌رسد. این مجموعه آتشفشانی دارای ترکیب داسیتی و شامل سنگ‌های آذرآوری، پیروکلاستیکی و گدازه‌ای است. توالی زیر در این مجموعه آتشفشانی قابل مشاهده است.

- لاهار با ضخامت حدود 30 متر به رنگ سبز و با قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن.
- لاهار با قطعات آندزیتی دارای ابعاد مختلف و با ضخامت بیش از 50 متر.
- لاهار و گدازه‌های آندزیتی.
- خاکستر آتشفشانی با رنگی سفید و ضخامت حدود 1 تا 15 متر.
- لاهار با قطعات گدازه آندزیتی با خمیر آتشفشانی.
- سوزن‌های گدازه‌ای ریوداسیتی که دارای بافت جریان و ایگنمریتی هستند و نهشته‌های عظیم پیروکلاستیکی (خلیلی مبرهن، 1390).

– **آتشفشان مساحیم:** یکی از بزرگ‌ترین کالدرهای ایران به حساب می‌آید و در قسمت جنوبی کمربند آتشفشانی ارومیه دختر قرار گرفته است (شکل 1). مورفولوژی کالدرای مساحیم تحت تأثیر عوامل متعددی پدید آمده است. دیواره‌های مخروط آتشفشان در اثر عملکرد عوامل فرسایشی فرسوده گشته و شکل مخروطی آن تا حدودی از بین رفته است. قطر قاعده این آتشفشان به طور متوسط 25 کیلومتر بوده و مواد فورانی آن در حال حاضر سطحی معادل 530 کیلومتر مربع را پوشانیده است (احمدی پور، 1372). به علت ویژگی‌های خاص ژئومورفولوژیکی سطح زیرین آتشفشان و مرتفع‌تر بودن بخش شمال و شمال خاوری آن، گسترش مواد فورانی عمدتاً به سمت جنوب و باختر بوده و آتشفشان در این جهات توسعه بیشتری یافته است. ارتفاع سطح زیرین آن در بخش شمالی 500 متر بلندتر از بخش جنوب باختری است و به همین دلیل است که سطح قاعده‌اش به شکل دایره نیست. عوامل فرسایشی بسیار فعال توانسته‌اند در مدت زمان اندک دره‌های بسیار عمیقی را در ستون مواد فورانی کرده و شکل اولیه آن را دگرگون سازند که از آن جمله می‌توان دره‌های آندر و میمند را نام برد. از اشکال بسیار مشخص این آتشفشان محدوده کالدرایی آن است که با دیواره‌های عمودی و بسیار بلند از دیگر قسمت‌ها جدا شده‌اند. این دیواره‌ها گاهی 900 متر از کف کالدرای ارتفاع دارند (در کوه مدوار بالا). دهانه کالدرای که شکل مدور و نامنظمی داشته و حدود 38 کیلومتر مربع مساحت دارد، در کناره باختری آتشفشان قرار دارد و لبه کالدرای به علت فرسایش کامل نمی‌باشد. آخرین مراحل فورانی آتشفشان با فعالیت‌های گرمایی همراه بوده و باعث دگرسانی بخش بزرگی از کالدرای کوه مساحیم شده است. این دگرسانی‌های وسیع سنگ‌های گرانودیوریتی منطقه را به شدت تحت تأثیر قرار داده و حجم عظیمی از توده‌های کائولینیتی در منطقه را به وجود آورده‌اند. این فعالیت با سیلیس‌زایی خاتمه یافته و کانی‌زایی سولفیدی آن را همراهی می‌کند؛ به طوری که در محدوده دهانه کالدرای در شمال اردویه اندیس‌هایی از فلزات مس، سرب، روی تشکیل شده‌اند (امینیان، 1388). دگرسانی آرژیلیک و فیلک وسیع‌ترین رخنمونی است که در دهانه کالدرای قابل رویت است.

### ۱-۳. پیشینه و هدف تحقیق

غالب دگرسانی‌هایی که در زون‌های پروکسیمال سیستم‌های کالدرایی گرانیتیویدی در اثر عملکرد سیالات درونزاد و برونزاد به وجود می‌آیند از نوع فیلک، آرژیلیک و گاه پتاسیک هستند (Sillitoe, 1977). دگرسانی فیلک که به دگرسانی سرسیتی و یا دگرسانی کوارتز - سرسیت - پیریت نیز موسوم است در نتیجه بیرون رانده شدن سدیم، کلسیم و منیزیم از سنگ‌های آلومینوسیلیکاتی و ورود یا به کار گرفته شدن پتاسیم مربوط به فلدسپارهای موجود در سنگ، برای

به منظور بررسی دگرسانی‌ها و تهیه نقشه دگرسانی در منطقه، طی چندین روز و در قالب شبکه‌هایی از پیش طراحی شده انجام شد. در نمونه‌برداری‌ها با توجه به شدت دگرسانی سنگ‌های منطقه تلاش شد تا از هر محدوده در شبکه طراحی شده سنگ‌هایی که نمود گستره بیشتری از منطقه هستند به عنوان نمونه‌های شاهد دگرسانی‌ها در منطقه آتشفشانی برداشت شود. در مطالعات میکروسکوپی نیز سنگ‌هایی برای تجزیه انتخاب شدند که نمونه‌های شاهدی از کل دگرسانی‌های هر کالدرای و کانی‌های عمده موجود در سنگ‌های یادشده را به نمایش بگذارند. اشکال ۲ و ۳ نمودی از سنگ‌های غالب منطقه کالدرای مساحیم در مقیاس میدانی و مقطع میکروسکوپی را نشان می‌دهند. شکل ۴ نیز نمونه‌ای از تجزیه XRD انجام شده بر روی نمونه سنگی شاهدی از منطقه بیدخوان را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز نمونه‌ای از تجزیه XRD انجام شده بر روی سنگ‌های دگرسان منطقه مساحیم را به نمایش می‌گذارد که در شکل‌های ۶ و ۷ تصویر میدانی و میکروسکوپی سنگ‌های یادشده قابل مشاهده است.

### ۳-۲- نتایج

#### ۳-۱-۱. مطالعات صحرایی - میکروسکوپی - آزمایشگاهی

طی پیمایش‌های گسترده انجام شده در رخساره مرکزی آتشفشان بیدخوان گسل‌های اصلی و دگرسانی‌های محدوده برداشت و به صورت اطلاعات برداری در سامانه اطلاعات جغرافیایی قرار داده شد. به منظور تفکیک دقیق دگرسانی‌ها در مطالعات و نمونه‌برداری‌های میدانی صورت گرفته در مرکز آتشفشان بیدخوان تعدادی از سنگ‌های دگرسان منطقه برداشت و در مقیاس نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی تحت مطالعه قرار گرفتند. مطالعه نمونه‌های سنگی دگرسان گویای وجود دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک در سطح وسیع در این منطقه است (شکل‌های ۲ و ۳). در منطقه کالدرای مساحیم نیز پیمایش‌های میدانی وسیع و نمونه‌برداری در شبکه‌ای طراحی شده انجام و نمونه‌های دگرسان تحت مطالعات پتروگرافی قرار گرفتند. موقعیت گسل‌های اصلی نیز به شیوه مشابه منطقه بیدخوان برداشت شد. مطالعه نمونه‌های دگرسان این منطقه در نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی در کنار مطالعات مبتنی بر پراکنش اشعه X (XRD) نشانگر غالب بودن دگرسانی آرژیلیک حدواسط در این منطقه است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). در شکل ۴ نتیجه آزمایش XRD نمونه‌ای از سنگ‌های دگرسان منطقه بیدخوان نشان داده شده است. در منطقه بیدخوان سنگ‌های مربوط به رخساره‌های عمیق‌تری رخنمون یافته و شدت دگرسانی نسبت به نمونه‌های مشابه کالدرای مساحیم ضعیف‌تر به نظر می‌رسد. همانگونه که مشهود است پیک‌های مربوط به پلاژیو کلازهای آلپیت و آتوریت هنوز در کنار پیک‌های واضح سریست (مسکوویت) که نشان از دگرسانی‌های درونزاد دارد، دیده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های این منطقه نیز پلاژیو کلازهای کمتر دگرسان شده‌ای که گاهی به خوبی حفظ شده‌اند، قابل رؤیت است. در شکل ۵ نتیجه تجزیه نمونه‌ای از سنگ‌های دگرسان منطقه مساحیم دیده می‌شود که نسبت به نمونه بیدخوان شدت دگرسانی آن شدیدتر و بزرگ‌ترین پیک‌های نمود یافته در آن مربوط به زوایای خاص کانی کائولن است. نمونه‌های این منطقه در مقطع میکروسکوپی شامل زمینه رسی و سریستی می‌شدند که فنو کریست‌های آنها به شکل پلاژیو کلازهای به شدت دگرسان، به صورت قالبی در زمینه سنگ قرار می‌گیرند. سنگ‌های این منطقه به دلیل جوان تر بودن کالدرای مربوط به رخساره‌های سطحی بوده و علاوه بر دگرسانی‌های درونزاد اولیه به شدت تحت تأثیر سیالات برونزاد بوده‌اند.

علاوه بر مطالعات پتروگرافی و مشاهدات صحرایی، مقایسه داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های دگرسان در مناطق تحت بررسی نیز گویای منشأ عمدتاً درونزاد سیالات مولد دگرسانی در سنگ‌های منطقه بیدخوان؛ و منشأ عمدتاً برونزاد سیالات مولد دگرسانی در سنگ‌های منطقه مساحیم است، به طوری که میانگین میزان LOI در

طیف کانی مرجع و طیف کانی مورد آزمایش برای کانی‌های کائولینیت و مسکوویت انجام گرفت. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل، به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها ارزیابی می‌شود. طیف‌ها به شکل بردارهایی در یک فضای چند بعدی (که ابعاد فضا بستگی به تعداد باندها دارد) در نظر گرفته می‌شوند. زاویه بین طیف بازتابی مرجع و طیف بازتابیده از سطح پیکسل‌ها به عنوان معیار مشابهت ارائه می‌شود. این تکنیک نسبت به اثرات سپیدایی و روشنایی متفاوت خواهد بود و تحت تأثیر فاکتورهای روشنایی خوردن نیست؛ زیرا زاویه بین دو بردار مستقل از طول آنهاست (Kruse et al., 1993). در تصویر حاصل از روش نقشه بردار زاویه طیفی، هر پیکسل نمایش دهنده میزان اختلاف بازتاب در طیف‌های تفکیکی الگوی طیفی بازتابیده از سطحش با الگوی طیفی مرجع است (علوی پناه، ۱۳۸۲). این اختلاف الگوی طیفی به صورت زاویه‌ای و در مقیاس رادیان، در بازه بین ۰ تا ۹۰ نمایش داده می‌شود (Van der Meer & De Jong, 2003). خروجی روش نقشه بردار زاویه طیفی تخمینی کیفی از مشابهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع ارائه می‌دهد. در خروجی حاصل از روش نقشه بردار زاویه طیفی، پیکسل روشن‌تر معادل زاویه بزرگ‌تر و نشان از اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طیف مرجع و پیکسل تاریک‌تر معادل زاویه کوچک‌تر با طیف مرجع و نماد نزدیک بودن طیف منطقه با طیف مرجع است. در این مطالعه با استفاده از پردازش یادشده بر روی داده‌های سنجنده استر و پیمایش‌های گسترده میدانی نقشه دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک از مناطق کالدرایی مساحیم و بیدخوان تهیه شد.

#### ۲-۲. شاخص خطوارگی

در جدیدترین منابع زمین‌شناسی اقتصادی دنیا کانسارهای در ارتباط با سیالات هیدروترمال به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخائر فلزی جهان پذیرفته شده‌اند (Robb, 2005؛ Guilbert & Park, 1997). منشأ این کانسارها سیالاتی هستند که مسیر گذر آنها از گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌ها تبعیت می‌کند. از مهم‌ترین پدیده‌های همراه با کانه‌زایی هیدروترمال دگرسانی است. زون‌های دگرسانی در کانسارهای مختلف به شکل متفاوتی تشکیل و گسترش می‌یابند. نوع و گسترش دگرسانی به عواملی مانند جنس توده نفوذی، عمق و حجم توده نفوذی، جنس سنگ‌های دربرگیرنده و نوع پراکنندگی گسل‌ها و ساختار تکنیکی محیط میزبان بستگی دارد. شاخص خطوارگی فاکتوری است که تجسمی از ساختار تکنیکی هر منطقه در قالب تلفیق شدت و ارتباط گسل‌ها در واحد سطح بیان می‌کند. در واقع شاخص خطوارگی تابعی است از طول، تعداد و تقاطع خطواره‌ها در واحد سطح پیوند اطلاعات درگیر در محاسبه فاکتور خطوارگی به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است؛ یکی از بهترین شیوه‌های محاسبه این فاکتور استفاده از لایه‌های اطلاعاتی در قالب یک سامانه اطلاعات جغرافیایی است که در این تحقیق از آن استفاده شده است. در این شیوه ابتدا گسل‌ها به صورت اطلاعات برداری در مختصات دقیق خود قرار داده می‌شوند؛ سپس بر اساس روش (Hardcastle et al., 1997) و (Hardcastle (1995) در شبکه‌ای سلولی طول، تعداد و تقاطع گسل‌ها درون هر سلول محاسبه و به نقطه‌ای در مرکز سلول نسبت داده می‌شود. در نهایت هر نقطه نمودی از یک معیار کمی به دست آمده از فرمول زیر را به دست می‌دهند:

$$Pf = (a/A) + (b/B) + (c/C)$$

به طوری که  $a$  طول گسل‌های هر سلول و  $A$  میانگین طول کل گسل‌ها،  $b$  تعداد گسل‌ها در هر سلول و  $B$  میانگین تعداد کل گسل‌ها در منطقه و نهایتاً  $c$  تعداد تقاطع گسل‌ها در هر سلول و  $C$  میانگین کل تقاطع گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه است. درون‌یابی بین نقاط مرکزی سلول‌های تعریف شده بر روی منطقه نقشه‌ای پیوسته و پهنه‌بندی شده از شاخص خطوارگی در هر نقطه از به دست می‌دهد (Hardcastle et al., 1997؛ Hardcastle, 1995؛ فضلیانی و همکاران، ۱۳۸۶).

#### ۲-۳. روش نمونه‌برداری

پیمایش‌های میدانی گسترده و نمونه‌برداری در رخساره‌های مرکزی کالدرای

شده‌اند. ضریب صحت عامل نیز بیانگر نسبت پیکسل‌های منطبق طبقه‌بندی شده در هر کلاس به کل پیکسل‌هایی است که در تصویر فاکتور خطواری به عنوان کران بالا در کلاس مورد نظر قرار گرفته‌اند. در بررسی‌های انجام شده با توجه به ماهیت داده‌های تحت پردازش، بهترین ضریب مقایسه جهت استفاده از ماتریس تقسیم‌بندی نظارت شده ضریب صحت عامل است. ضریب انطباق پیکسل‌های نقشه دگرسانی آرژلیک و کران بالای فاکتور خطواری در قسمت مرکزی کالدرای مساحیم برابر ۳۷/۸ درصد و در بخش مرکزی کالدرای بیدخوان برابر ۲۹/۴ درصد محاسبه شد. بنابراین بررسی رابطه کلی دگرسانی آرژلیک با فاکتور خطواری در مرکز هر دو کالدرای نسبت بالایی از انطباق را نشان می‌دهد، به طوری که از میان ۳۰۰۰ پیکسل نمایه شده در کران بالای نقشه فاکتور خطواری بیش از ۱۱۰۰ پیکسل از منطقه مساحیم و بیش از ۸۵۰ پیکسل از منطقه بیدخوان در محدوده دگرسانی آرژلیک قرار می‌گیرند (جدول‌های ۲ و ۳). این انطباق می‌تواند در اثر عملکرد آب‌های فروریوی باشد که به دلیل مورفولوژی کاسه‌ای شکل کالدرای به خوبی باعث توسعه دگرسانی‌های برونزاد می‌شوند. همچنین ضریب انطباق نقشه دگرسانی فیلیک و کران بالای فاکتور خطواری در بخش مرکزی کالدرای مساحیم عدد ۱/۱ درصد را نشان می‌دهد و این عدد در منطقه آتشفشان بیدخوان به ۱۰/۷ درصد می‌رسد (جدول ۳) که نشان‌دهنده انطباق ضعیف‌تر دگرسانی فیلیک با شاخص خطواری در سطح مناطق مورد مطالعه است، به گونه‌ای که در مقایسه با دگرسانی آرژلیک در منطقه مساحیم از ۳۰۰۰ پیکسل نمایه شده در کران بالای فاکتور خطواری تنها حدود ۳۳ پیکسل در محدوده دگرسانی فیلیک قرار می‌گیرند. عدد پیکسل‌های دگرسانی فیلیک منطبق با نقشه کران بالای فاکتور خطواری در منطقه بیدخوان به حدود ۳۲۰ پیکسل می‌رسد که اگر چه در مقایسه با نسبت انطباق دگرسانی آرژلیک در سطح پایین‌تری قرار دارد اما در قیاس با منطقه مساحیم، انطباق بسیار بالاتری از دگرسانی فیلیک را در مقابل شاخص خطواری نشان می‌دهد. بنابراین دگرسانی فیلیک که عمدتاً در اثر عملکرد سیالات برونزاد ایجاد می‌شود در سطح زمین ارتباط ضعیفی با گسل‌های اصلی کالدرای مساحیم و بیدخوان نشان می‌دهد. البته باید توجه داشت که این انطباق با افزایش عمق مرتفع گشته و مطمئناً در اعماق پایین‌تر از سطح آب‌های زیر زمینی به نفع دگرسانی فیلیک تغییر خواهد کرد. در مورد وابستگی بالاتر دگرسانی فیلیک در منطقه بیدخوان نسبت به مساحیم می‌توان به سن آتشفشان و میزان فرسایش سنگ‌های دگرسان رویی در مناطق مورد مطالعه اشاره کرد؛ به طوری که طبق نظر Hassanzadeh (1993) سن آتشفشان بیدخوان به روش آرگون در کانی آنالسیم حدود ۲۸ میلیون سال و سن آتشفشان مساحیم به روش آرگون در کانی بیوتیت ۶/۸ میلیون سال محاسبه شده است و سنگ‌های جوان آتشفشان مساحیم فرسودگی کمتری نسبت به سنگ‌های مشابه در کالدرای بیدخوان را متحمل شده‌اند. بنابراین رخنمون‌های سطحی آتشفشان بیدخوان رخساره‌های عمیق‌تری را به نمایش می‌گذارند که ارتباط بیشتری با دگرسانی‌های برونزاد دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود ارتباط کلی شدت گسلش با دگرسانی آرژلیک در سطح، همبستگی بیشتری نسبت به دگرسانی فیلیک نشان می‌دهد. این مسئله در مقایسه رژیم کلی دگرسانی‌ها در هر دو منطقه نیز مشهود است؛ به طوری که در منطقه آتشفشان بیدخوان به دلیل منشأ عمدتاً برونزاد دگرسانی‌ها (عمدتاً سریستی) ارتباط با هم به نسبت منطقه مساحیم ضعیف‌تر است. در مطالعات XRD، پتروگرافی و ژئوشیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های دگرسان منطقه کالدرای مساحیم و بیدخوان عدم حضور کانی‌های آرژلیک پیشرفته نشان‌دهنده و گویای منشأ عمدتاً برونزاد زون آرژلیک در این مناطق است.

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی ارتباط زون‌های دگرسانی و ساختارهای کنترل‌کننده آن در کانسارهای

۸ نمونه از سنگ‌های دگرسان منطقه بیدخوان عدد ۳ درصد و میانگین مقدار مواد فرار ۱۲ نمونه دگرسان از منطقه مساحیم به بیش از ۴ درصد می‌رسد. بالا بودن میزان پتاسیم و پایین‌تر بودن آلومینیم در سنگ‌های دگرسان منطقه بیدخوان نسبت به سنگ‌های دگرسان در کالدرای مساحیم نمودی از غالب بودن دگرسانی سریستیکی در منطقه بیدخوان است (جدول ۱). بنابراین طبق مشاهدات پتروگرافی و مستندات ژئوشیمیایی ارائه شده ضمن پژوهش حاضر و همچنین مطالعات پیشین (عطاپور، ۱۳۸۶؛ امینیان، ۱۳۸۸ و خلیلی، ۱۳۹۰) عمده دگرسانی‌های منطقه مساحیم در ارتباط با سیالات برونزاد و دگرسانی‌های منطقه بیدخوان عمدتاً در ارتباط با سیالات درونزاد در نظر گرفته می‌شوند.

## ۳-۲. تهیه نقشه دگرسانی‌های سطحی مناطق مورد مطالعه

در تهیه نقشه دگرسانی‌های سطحی مناطق تحت مطالعه از تصاویر فراطیفی سنجنده استر در طول موج‌های مرئی و فرورسرخ کوتاه موج در کنار مطالعات میدانی استفاده شد. در این مرحله نتایج حاصل از مطالعات صحرایی جمع‌آوری و در قالب اطلاعات برداری به سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد شدند. طیف مناطق تحت بازدید به عنوان اطلاعات تعلیمی استفاده شد و پس از پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های ماهواره‌ای با اعمال روش نقشه بردار زاویه طیفی به عنوان یکی از روش‌های تقسیم‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای، ترکیبی از مناطق با دگرسانی رسی و سریستی در مرکز آتشفشان‌های بیدخوان و مساحیم تفکیک شدند. ارزیابی پردازش انجام شده نیز با استفاده از نقاطی به شکل تصادفی انجام شده و نهایتاً نقشه دگرسانی‌ها در سطح اعتماد ۸۰ درصد تهیه و در قالب اطلاعات برداری آماده شد (شکل‌های ۸ و ۹).

## ۳-۳. محاسبه نقشه شاخص خطواری

در تهیه نقشه فاکتور خطواری منطقه از مطالعات صحرایی، تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات نقشه‌های ۱۰۰۰۰۰ شهریابک (برای کالدرای مساحیم) و بردسیر (برای کالدرای بیدخوان) به منظور استخراج گسل‌های اصلی منطقه استفاده شده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). گسل‌ها پس از استخراج با مختصات دقیق در قالب اطلاعات برداری در سامانه اطلاعات جغرافیایی قرار داده شدند. سپس برای هر کدام از مناطق شبکه‌ای ۱۰×۱۰ شامل ۱۰۰ سلول بر روی کالدرای تعریف شد. طول، تعداد و تقاطع گسل‌ها در هر سلول محاسبه و به نقطه مرکزی سلول نسبت داده شد. پس از محاسبه فاکتور خطواری در هر سلول به طریق آورده شده در قسمت‌های پیشین، بین نقاط مرکزی درون‌یابی و نقشه پهنه‌بندی فاکتور خطواری در هر منطقه تهیه شد.

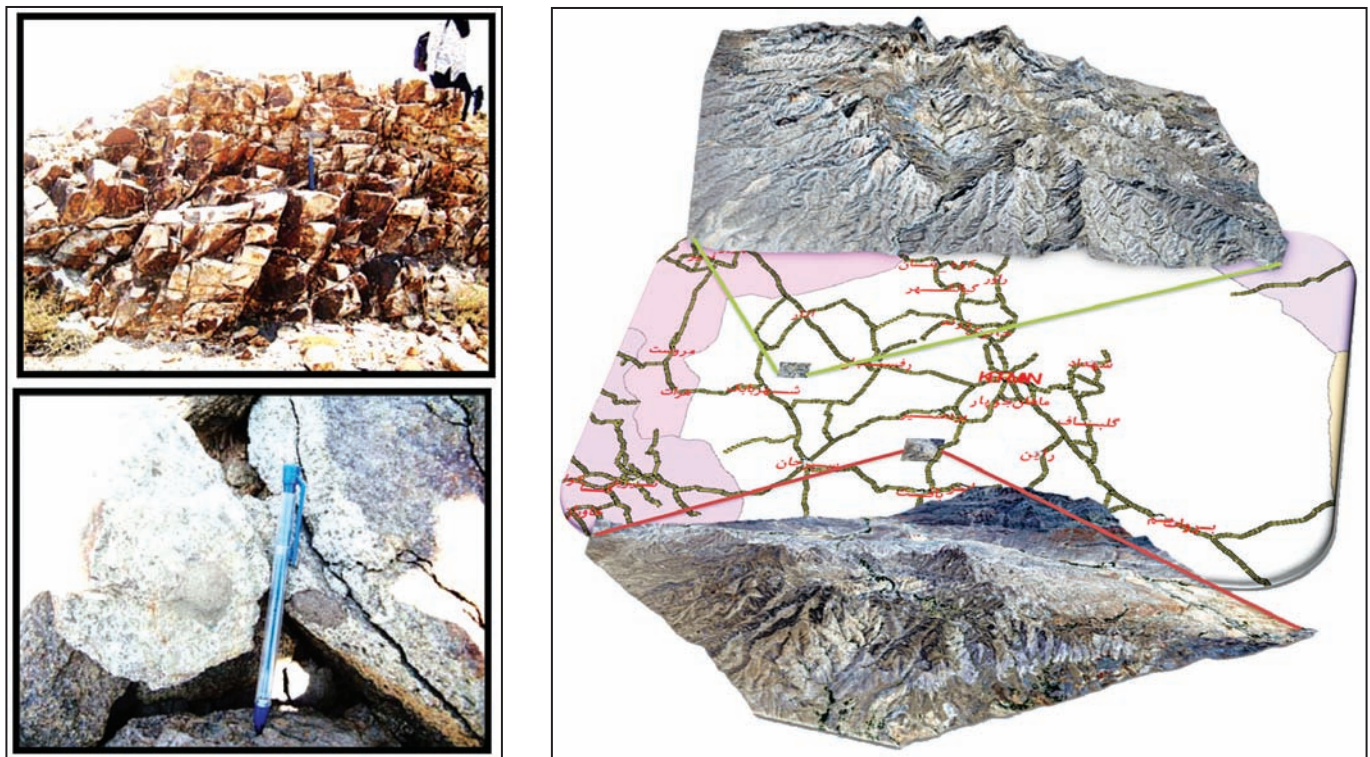
## ۴- بحث

### ۴-۱. انطباق شاخص خطواری و دگرسانی‌های فیلیک - آرژلیک

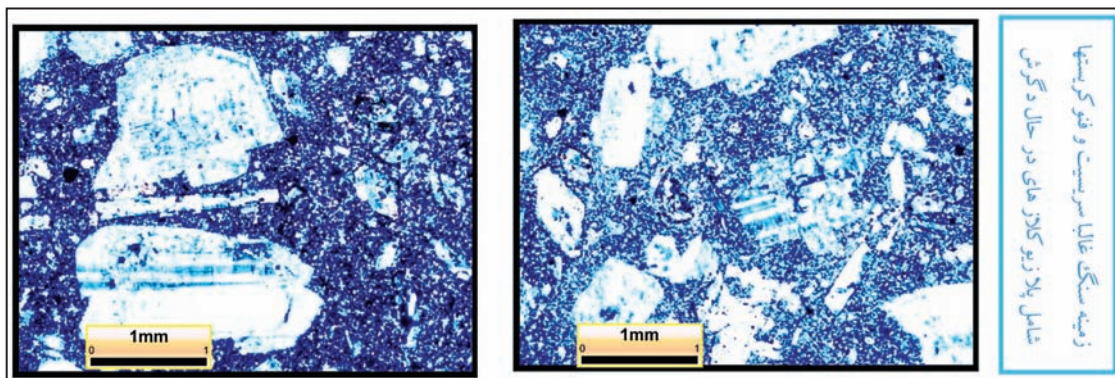
پس از تهیه نقشه دگرسانی و گسل‌های اصلی در کالدرای مساحیم و بیدخوان در این مرحله به بررسی انطباق شدت دگرسانی‌ها و شاخص خطواری در مرکز دو کالدرای پرداخته شده است. به منظور فراهم آوردن زمینه‌ای جهت مقایسه کمی انطباق مورد نظر، بردارهای استخراج شده از نقشه فاکتور خطواری و دگرسانی‌های هر منطقه در قالب شبکه‌ای مترامک از پیکسل‌های رقومی شده بر روی زمین مورد ارزیابی قرار داده شدند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). رسم ماتریس انطباق پیکسل‌های دگرسانی و موقعیت کران بالای شاخص خطواری در مرکز کالدرای مساحیم و بیدخوان نشان‌دهنده ارتباط بیشتر شکستگی‌ها با دگرسانی آرژلیک در سطح هستند. به منظور کمی‌سازی نتایج، از مبنای رقومی مقایسه در روش تقسیم‌بندی نظارت شده استفاده شده است که می‌تواند با نسبت‌هایی از قبیل ضریب صحت عامل (Producer Accuracy) یا ضریب صحت روش کاربر (User Accuracy) بیان شود. ضریب صحت روش کاربر بیانگر نسبت پیکسل‌های منطبق طبقه‌بندی شده در هر کلاس به پیکسل‌هایی است که در تصویر پردازش شده با عنوان کلاس یادشده نمایه

پیشین، منشأ غالباً برونزاد دگرسانی آرژیلیک در مناطق تحت مطالعه را به خوبی نشان می‌دهند و این در حالی است که منشأ دگرسانی فیلیک به طور معمول و در مناطق مورد مطالعه درونزاد معرفی شده است. بنابراین در هر دو منطقه ضریب انطباق دگرسانی آرژیلیک با شاخص خطوارگی عدد بالاتری نسبت به دگرسانی فیلیک دارد که نشان‌دهنده شدت عملکرد سیالات برونزاد در سطح رخساره‌های مرکزی مناطق کالدراپی است. از آنجا که طبیعتاً با افزایش عمق در مناطق یادشده نقش دگرسانی‌های درونزاد بارز می‌شود، در منطقه آتشفشان بیدخوان به دلیل سن بالاتر و فرسایش شدیدتر، رخساره‌های عمیق‌تری در سطح رخمون دارند و به همین دلیل دگرسانی فیلیک در این ناحیه نسبت به کالدرای جوان مساحیم گسترش بیشتری نشان می‌دهد.

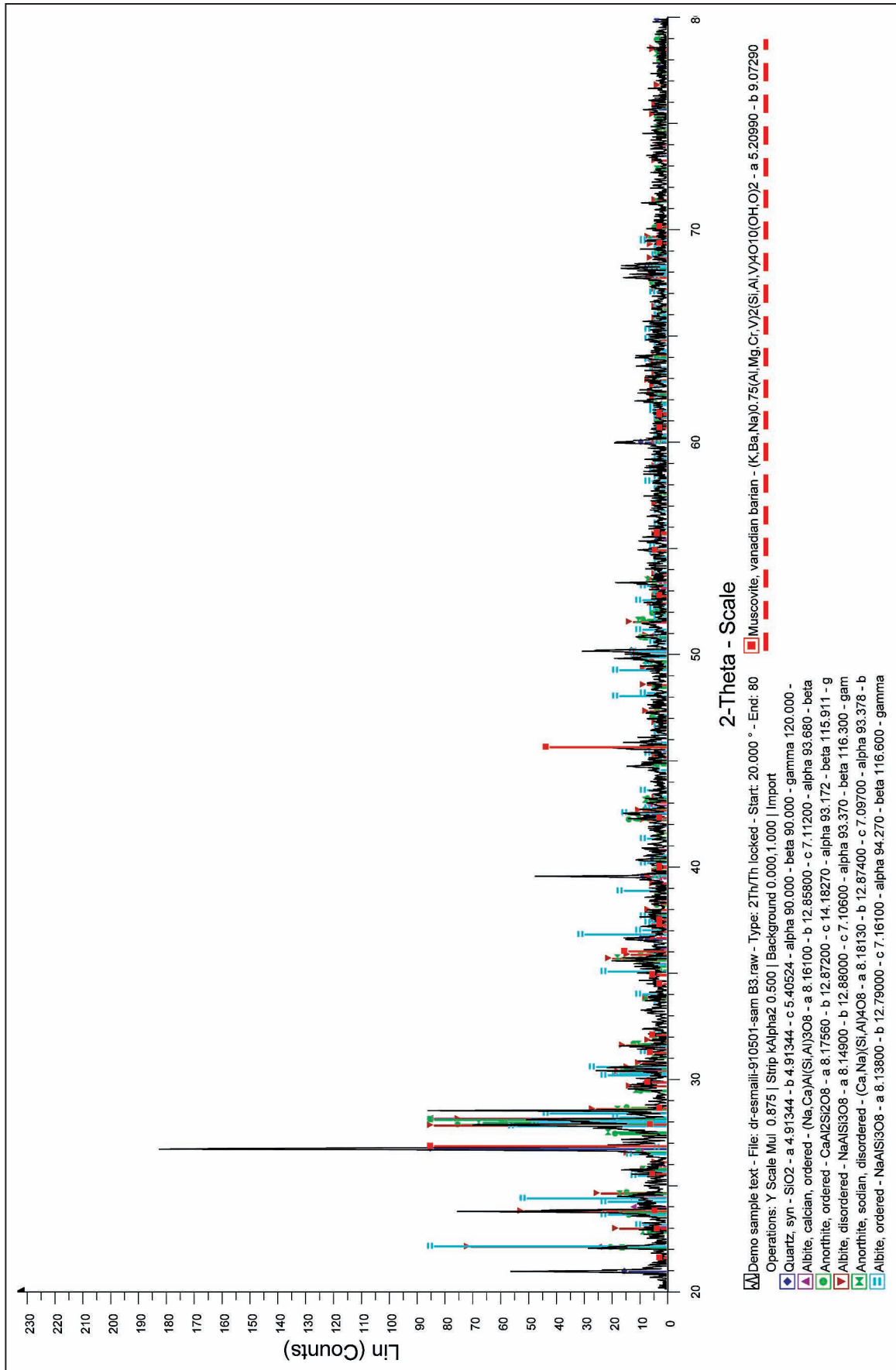
مختلف می‌تواند الگویی مناسب از رفتار و ژنر سیالات کانه‌زایانه دهد. در این مطالعه به منظور بررسی ساختاری ارتباط شدت خردایش و منشأ دگرسانی‌ها در مرکز دو استراتو ولکان بزرگ مساحیم و بیدخوان؛ نقشه فاکتور خطوارگی در مرکز کالدرای این دو آتشفشان تهیه و با نقشه شدت دگرسانی‌های فیلیک و آرژیلیک استخراج شده از پردازش تصاویر فراطیفی سنجنده استر و مطالعات میدانی وسیع مقایسه شده است. رسم ماتریس انطباق دگرسانی آرژیلیک و کران بالای شاخص خطوارگی در مناطق بیدخوان و مساحیم همبستگی بالایی را نسبت به دگرسانی فیلیک نشان می‌دهد. هر چند دگرسانی آرژیلیک در اثر عملکرد هر دو نوع سیالات درونزاد و برونزاد حاصل می‌گردد اما عدم حضور کانی‌های دیکیت و پیروفیلیت، بررسی الگوی ژئوشیمیایی عناصر اصلی و پتروگرافی نمونه‌های دگرسان مورد مطالعه عطف به تعمیم مطالعات



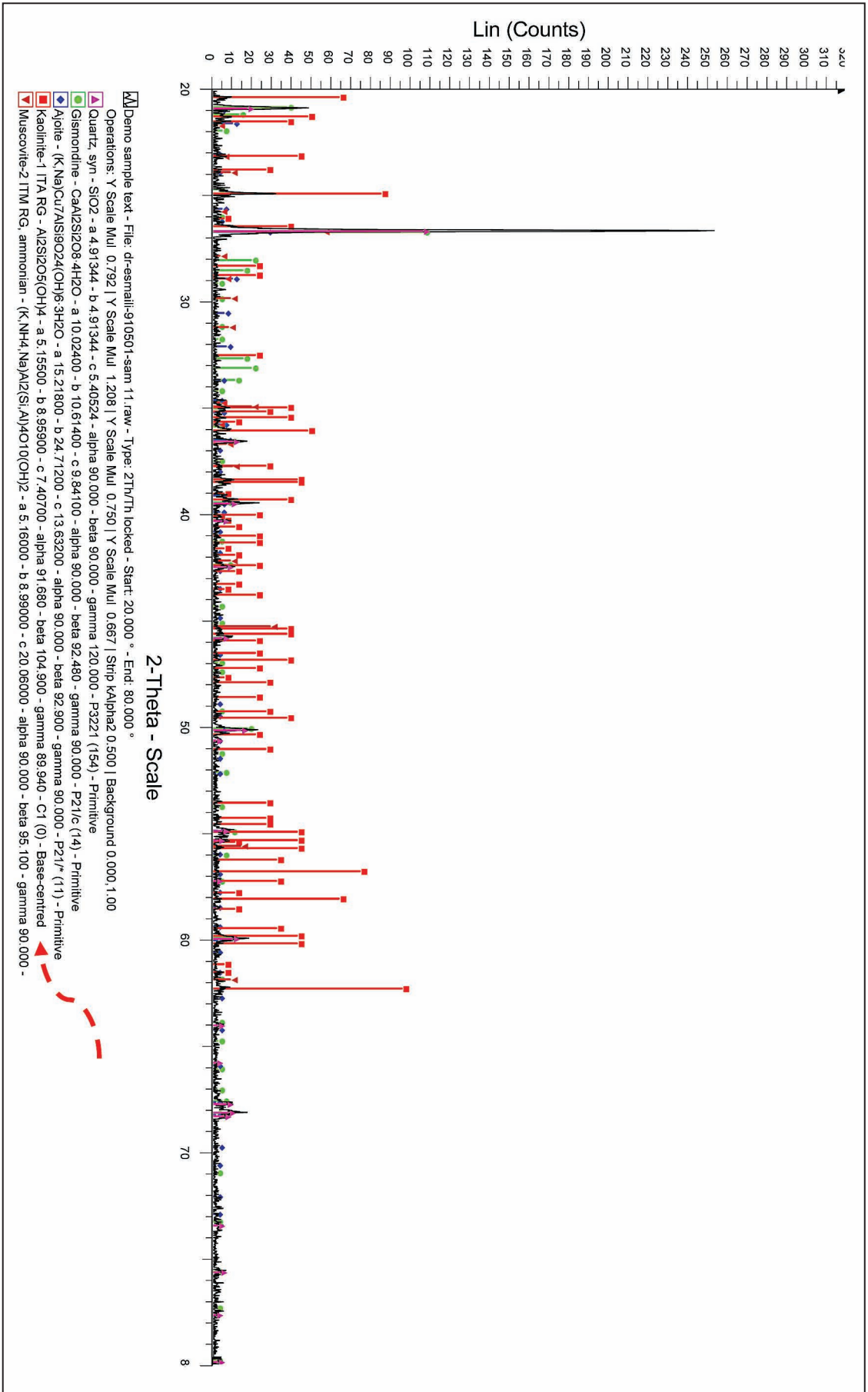
شکل ۱- موقعیت آتشفشان مساحیم در بالای تصویر و بیدخوان در پایین تصویر بر روی نقشه استان کرمان (بدون مقیاس).  
شکل ۲- سنگ‌های دگرسان (عمدتاً فیلیک) در منطقه مرکزی کالدرای بیدخوان.



شکل ۳- دگرسانی‌های عمدتاً سربستی سنگ‌های منطقه بیدخوان در مقطع میکروسکوپی (نور xpl).



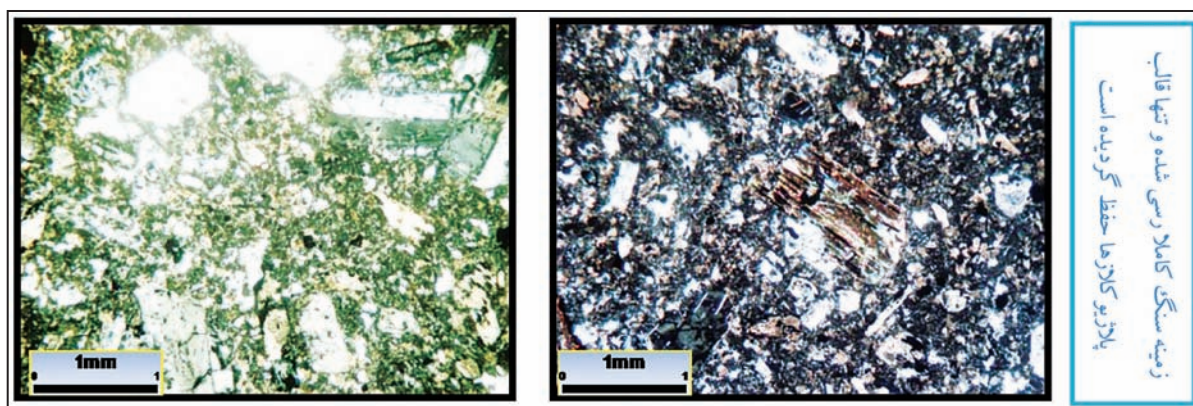
شکل ۴- نتایج حاصل از آزمایش XRD بر روی سنگ‌های دگرسان منطقه بیدخوان (پیک‌های آبی رنگ مربوط به کانی‌های کوآرتز و آلbite و پیک‌های قرمز مربوط به سریسیت یا مسکوویت هستند).



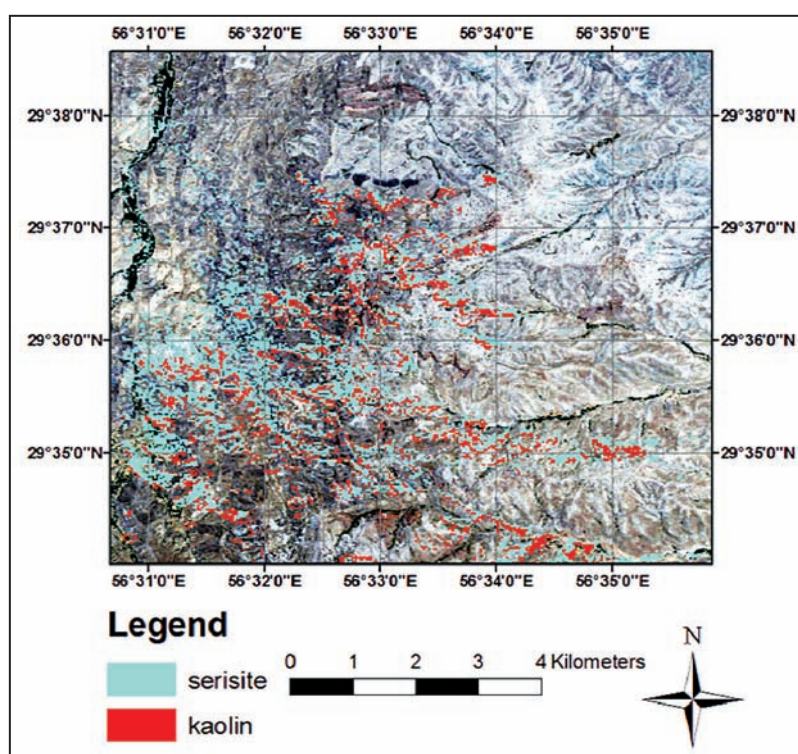
شکل ۵- نتایج حاصل از آزمایش XRD بر روی سنگ‌های دگرسان منطقه مساجیم (پیک‌های قرمز رنگ مربوط به کانیت همستند).



شکل ۶- سنگ های دگرسانی آرژلیک در منطقه مرکزی کالدرای مساحیم.

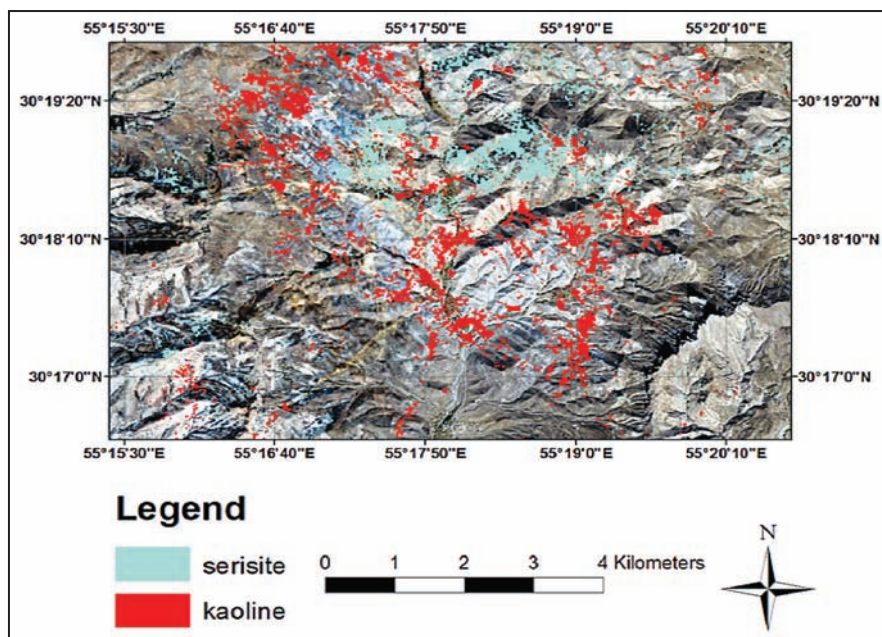


شکل ۷- دگرسانی‌های عمدتاً رسی سنگ‌های منطقه مساحیم در مقطع میکروسکوپی (نور xpl).

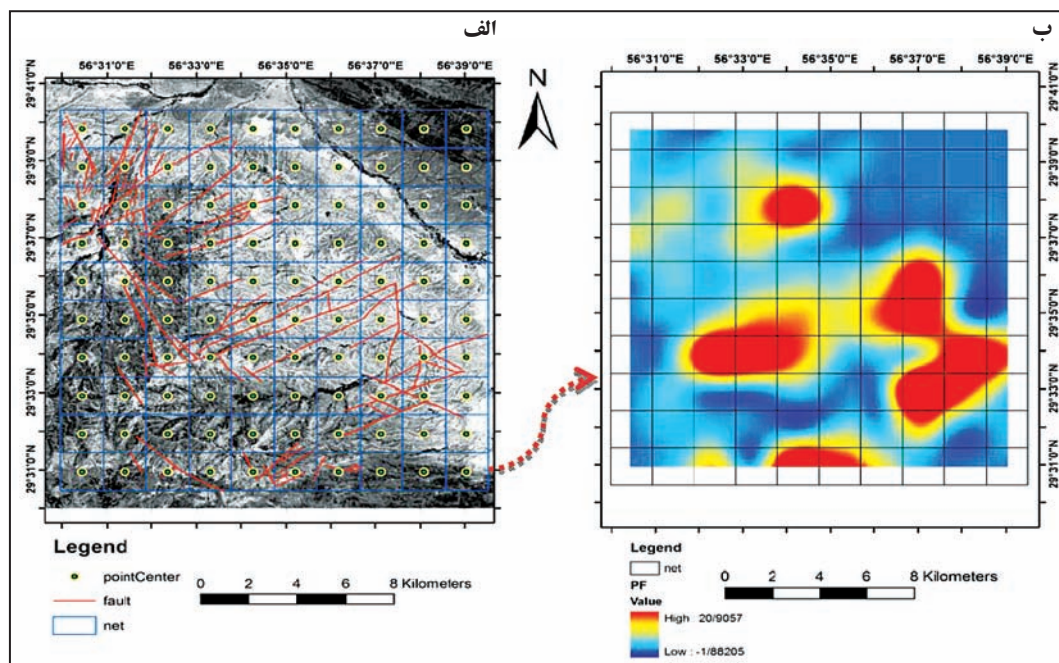


شکل ۸- نقشه دگرسانی آرژلیک و فلیک حاصل از پردازش داده‌های طیفی سنجنده استر و برداشت‌های وسیع میدانی در منطقه کالدرای بیدخوان.

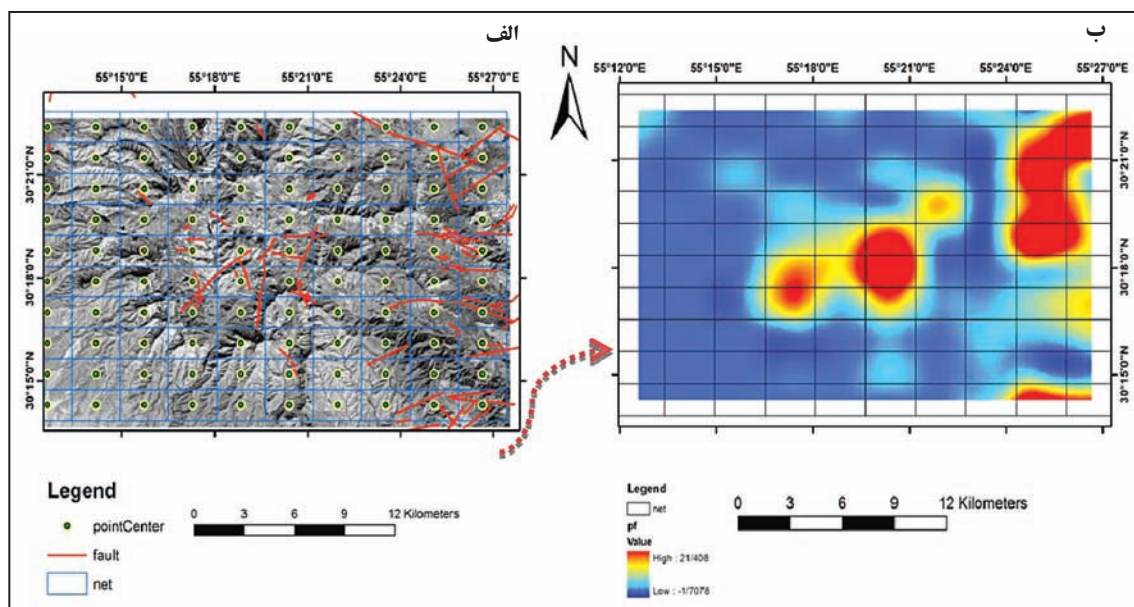




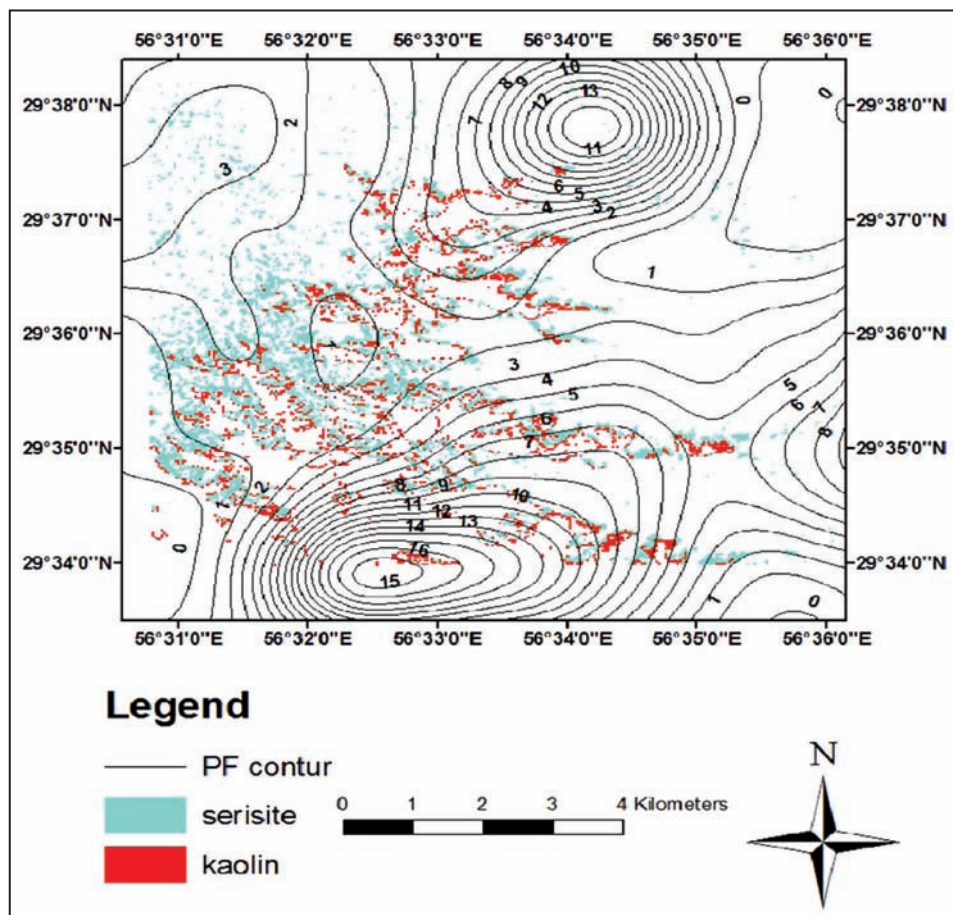
شکل ۹ - نقشه دگرسانی آرژیلیک و فیلیک در منطقه کالدرای مساحیم - حاصل از پردازش داده‌های الکترومغناطیس و مطالعات میدانی وسیع.



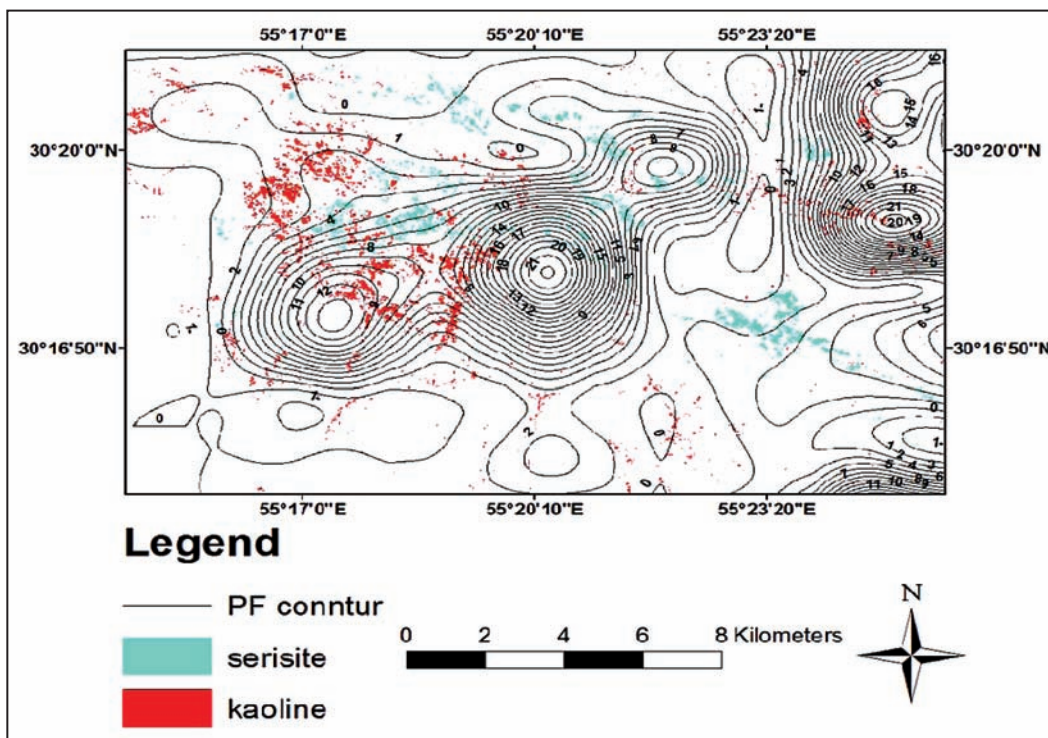
شکل ۱۰ - الف) نمایش شبکه و نقاط مرکزی هر سلول به همراه گسل‌های منطقه آتشفشان بیدخوان؛ ب) نقشه رقمی فاکتور خطوارگی.



شکل ۱۱- الف) نمایش شبکه و نقاط مرکزی هر سلول به همراه گسل‌های منطقه آتشفشان مساحیم؛ ب) نقشه رقمی فاکتور خطواری.



شکل ۱۲- نمایش نقشه پهنه‌بندی فاکتور خطواری و دگرسانی‌های فیلیک و آرژلیک در منطقه آتشفشان بیدخوان.



شکل ۱۳- نمایش نقشه په‌نه‌بندی فاکتور خطوارگی و دگرسانی‌های فیلیک و آرزلیک در منطقه آتشفشان مساحیم.

جدول ۱- مقایسه میانگین درصد اکسیدهای اصلی در سنگ‌های دگرسان بیدخوان و مساحیم (میانگین ۸ نمونه برای منطقه بیدخوان و میانگین ۱۲ نمونه برای منطقه مساحیم آورده شده) (امینان، ۱۳۸۸؛ خلیلی میرهن، ۱۳۹۰).

	BIDKHAN	MASAHIM
-	oxid (%)	oxid (%)
SiO <sub>2</sub>	64/04	60
TiO <sub>2</sub>	0/48	0/47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16/36	16/65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2/28	4/1
FeO	2/4	-
MnO	0/08	0/07
MgO	1/6	2/2
CaO	4/49	4/4
Na <sub>2</sub> O	3/98	3/5
K <sub>2</sub> O	2/66	2/1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0/17	0/18
L.O.I	3	4/1

جدول ۲- نتیجه پردازش ماتریس - پیکسلی و ضریب همبستگی عامل برای فاکتور خطوارگی در مقابل دگرسانی‌های منطقه بیدخوان.

	phylic	Argillic	unclassified	sum
PF	321	871	1808	3000
correlation	10.7	29.03333333		

جدول ۳- نتیجه پردازش ماتریس - پیکسلی و ضریب همبستگی عامل برای فاکتور خطوارگی در مقابل دگرسانی‌های منطقه مساحیم.

	phylic	Argillic	unclassified	sum
PF	33	1134	1833	3000
correlation	101.17	37.8		

## کتابنگاری

- احمدی پور، م.، ۱۳۷۲- بررسی دینامیزم آتشفشان مزاحم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- امینان، ع. ر.، ۱۳۸۸- ژئوشیمی و پتروژنز منطقه آبدر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- خلیلی مبرهن، ش.، ۱۳۹۰- آتشفشان‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بیدخوان - استان کرمان، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شهاب پور، ج.، ۱۳۹۰- زمین‌شناسی اقتصادی، ویرایش اول، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۷ صفحه.
- عطاپور، ح.، ۱۳۸۶- تکوین ژئوشیمیایی و متالورژی سنگ‌های آذرین پتاسیم دار در کمر بند آتشفشانی - نفوذی دهج - ساردوئیه، استان کرمان با نگرشی ویژه بر عناصر خاص، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ ۴۰۱ صفحه.
- علوی پناه، س. ک.، ۱۳۸۲- کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- فضلیانی، ح.، رنجبر، ح. و رحیمی، غ.، ۱۳۸۶- پردازش تصاویر ماهواره ای و محاسبه فاکتور خطورگی جهت شناسایی زون‌های شکستگی در سطح زمین، مطالعه موردی ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن و شامکان، همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- کریم پور، م. ح.، ۱۳۶۸- زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات جاوید، ۴۰۴ صفحه.
- یعقوب پور، ع. م.، ۱۳۶۶- مبانی زمین‌شناسی اقتصادی، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۶۶ صفحه.

## References

- Bates, R. L. & Jackson, J. A., 1980- Glossary of Geology 2nd Ed., American Geological Institute, Falls Church, Virginia. 788 p.
- Bates, R. L., 1960- Geology of industrial: rocks and minerals. 65 figs. Harper & Brothers, New York., 441 pp.
- Chernicoff, C. J., Richards, J. P. & Zappettini, E. O., 2002- Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence. *Ore Geology Reviews*, 21:127-155.
- Crawford, A. R., 1980- NNW-SSE lineaments and relation to drainage, mineralization and tectonics. *J. Geol.Soc.India*, 21:273-285.
- Guilbert, J. M. & Park, JR. C. F., 1997- The geology of ore deposits, Freeman and Company, new York. 985p.
- Gutzmera, J. & Beukes, J., 1995- Fault-Controlled metasomatic Alterations of Early Proterozoic demented manganese Ores n the Kalahari engines Field, South Africa *Economic Geology* Vol 90, 1995, pp. 823-844.
- 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.
- Hardcastle, K. C., Emery, J. M., Tinkham, D. J. & Brooks, J. A., 1997- Photolineament Factor Analysis: A new computerized method of remotely assessing the degree to which bedrock is fractured, *NWWA Conf. Innov. Ground Water Tech. of the 90's*.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr e Babak area, Kerman province). Ph.D. thesis, Univ. CLA, USA204p.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, 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, Special issue on AVIRIS, May-June 1993, v. 44, p. 145 - 163.
- Kutina, J., 1974- Structural control of volcanic ore deposits. *Bull. Volcanol*, 88:1038-1069.
- Kutina, J., 1974b- Relationship between the distribution of big endogenic ore deposits and the basement fracture pattern. In: *Proceedings of the first International Conference on the New Basement Tectonics*. Utah Geol. Assoc. Publ, 5:565-593.
- Moradian, A., 1997- Geochemistry, Geochronology and petrography of feldspatoid bearing rocks in Urumieh-Dokhtar belt, Iran. Unpublished Ph.D. thesis, University of Wollongong, Australia, 412p.
- Robb, I., 2005- Introduction to Ore Formation Processes; Blackwell Publishing Company, UK, 373p.
- Shahabpour, J., 1999- The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of Zagros thrust zone. *Journal of Geodynamics*, 28:237-250.
- Sillitoe, R. H., 1977- Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review. *Geological Society, London, Special Publications* 7, 99-116.
- Sillitoe, R. H., 1999- Styles of High-sulphidation Gold, Silver and Copper Mineralization in the Porphyry and Epithermal Environments. In: Weber, G. (Ed.).
- Sillitoe, R. H., Halls, C. & Grant, J. N., 1975- Porphyry tin deposits in Bolivia. *Economic Geology* 70, 913-927.
- Van der Meer, F. & De Jong, S., 2003- *Imaging Spectrometry. Basic Principles and Prospective Applications*, 4. Kluwer Achademic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 35 p.
- Wilson, P. N. & Parry, W. T., 1995- Characterization and dating of argillic alteration in the Mercur Gold district, Utah. *Economic Geology* 90, 1197-1216.