**اهمیت مطالعات ساختاری در محدوده کارگاههای استخراج معادن سنگ تزیینی

سید جواد طباطبایی[۱] ، صفیه امیدیان [۲] ، علیرضا ندیمی [۳] ، سعید عابدی کوپائی [۴]

چکیده

نظر به اهمیت فراوان صنعت سنگ تزئینی وجایگاه رو به رشد آن در بخش صادرات غیر نفتی، روشهای بهینه‌سازی روند استخراج و افزایش بازده و تولیدمورد توجه ویژه قرار گرفته است. مدیریت و نظارت علمی پیوسته، در کلیه مراحل معدن‌کاری از راهکارهای ضروری و بدیهی در ارتقای بازده کیفی این صنعت محسوب می‌شود.

در این مقاله به یکی از مواردی که لازم است در سیستم مدیریت علمی استخراج معادن سنگ تزئینی توجه شود، اشاره میگردد. گسترش عمقی و جانبی شکستگیها در محل ذخیره، بر زمان و هزینه پیش‌بینی شده در طول مدت پروژه قطعاً تأثیر منفی قابل توجهی دارد. قبل از شروع عملیات استخراج، می‌توان با توجه ویژه به جنبه‌های تحلیل تکتونیک، به تصمیم‌گیری در مورد ادامه یا توقف پروژه پرداخت. برآورد اولیه و داشتن یک دید کلی از منظر تکتونیکی و فرایندهای بزرگ مقیاس ساختاری مهمترین بخش در عملیات اکتشاف معادن سنگ تزیینی است. متأسفانه در ایران بر پایه روشهای اکتشافی سنتی و بدون در نظر گرفتن گزینه های لازم برای ورود تخصصهای ژئوفیزیک و تکتونیک در اکتشافات، بیشترین آسیب به راندمان هزینه ها، اتلاف نیروی کار مفید انسانی و تخریب طبیعت وارد میگردد.

معدن سنگ چینی لایبید واقع که در ۱۶۰ کیلومتری شمال غرب اصفهان به عنوان یک نمونه از مثالهای عملی در مطالعه موردی معادن سنگ تزیینی بررسی شده است. نتایج حاصل از برداشت داده های تکتونیکی در این معدن فعال نشان میدهد که تکتونیک منطقه لایبید که متأثر از زمین ساخت کلی ناحیه گلپایگان است نقش بسزایی در موفقیت و عدم حصول نتیجه در برخی از سینه کارها نسبت به نواحی دیگر بوده است. شبکه برداشت داده ها در محدوده اکتشافی معدن حاکی از تحرکات جدید تغییر روند تنش است. این حرکات کششی در منطقه معدنی نیز باعث ایجاد رگه های کششی و پرشده و تخریب و کاهش کیفیت سنگ معدن و همچنین گسترش کسل های نرمال در منطقه شده است. آثار فشاری موجود در منطقه در حاشیه گسل های رانده موجود در باند های حاشیه ای منطقه معدن دیده می شود.

---

[1] - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه - دانشجوی دکترای محیط زیست دانشگاه دولتی ایروان (YSU)

[2] - مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه - دانشجوی دکترای آتشفشانشناسی ، دانشگاه موناش استرالیا

[3] - مدرس دانشگاه پیام نور اصفهان – دانشجوی دکترای تکتونیک دانشگاه ورشو لهستان

[4] - کارشناس سازمان صنایع و معادن استان اصفهان – دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب شناسی واحد خوراسگان

** مستخرج از طرح پژوهشی " کاربرد مطالعات ساختاری در بررسی جهت تنش دیرین پیش از باز نمودن کارگاه استخراج معادن سنگ تزئینی "

۱. مقدمه

تحلیل ساختاری در منطقه مطالعاتی و دستیابی به وضعیت تنشهای تأثیرگذار با تکیه بر دستیابی به میدان تنش عامل، از اهمیت زیادی برخوردار است، در نتیجه آشنایی به ساختارها و ریزساختارهائی که ناشی ازعملکرد مؤثر تنش هستند، از ابزارهای اساسی تغییر میدان تنش محسوب می‌شوند. تنشهای مؤثر با توجه به شرایط دمایی، مقاومت سنگ و مدت زمان تأثیر، تغییر شکلهائی در دو وضعیت شکننده و خم‌پذیر بروی واحدهای سنگی منطقه ایجاد می‌کنند. استفاده از اثر اعمال تنشهای ساختاری بر واحدهای سنگی منطقه در زمان ناپایداری شرایط تکتونیکی، «تحلیل تنش »[1] نام دارد. توجه به عوارضی مانند خش‌لغز گسلی، درزه‌های استیلولیتی، ساختارهای پرمانند و بررسی وضعیت لایه‌ها از شواهد مهم این تحلیل محسوب می‌شوند. به کمک نتایج "تحلیل تنش دیرین" می‌توان به جهت مؤثر در باز کردن سینه‌کار معدن، در صورت تصمیم به ادامه عملیات، دست یافت.

۲. عوارض ساختاری متأثر از تنش

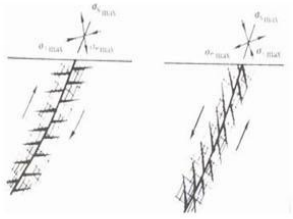
به طور خلاصه مطالعات تئوری، میدانی و آزمایشگاهی که به هر نحو منجر به شناسائی تغییرات تأثیر یافته از عملکرد تنش باشند، قبل از مرحله استخراج ضروری می باشد. مطالعات تئوری شامل بررسی کلی منطقه از لحاظ زون ساختاری و گسلهای شاخص تأثیرگذار می باشد. مطالعات آزمایشگاهی، به بررسی و استنباط تغییرات جهت یابی کانیها در مقاطع نازک میکروسکوپی و یا بررسی تصاویر ماهواره ای در مطالعه روند خطواره ها مفید واقع می‌شود.

مهمترین بخش بررسی و برداشتهای صحرائی، یافتن هرنوع تغییر شکل شکننده ای است که به صورت مکرر در اطراف محدوده یافت شود. از نتایج مهم و عمومی عملکرد تنش، ایجاد گسل و عوارض ناشی از آن است. در این راستا با توجه به شدت میدان و جهت محورهای اصلی تنش، گسلهای جدید شکل گرفته و یا گسلهای قدیمی فعال می شوند. عوارض ساده و آشنای تنش گسلی در شرایط شکننده، تولید درز و شکاف کششی در صفحات ضعیف،درزه های فشارشی (استیلولیت)، بودین یا ساختهای سوسیس مانند، ساختارهای پر مانند،خش لغز گسلی است. ساختارهای فوق، درنتیجه عملکرد رژیمهای تنشی فشارشی یا کششی ایجاد می شوند و با توجه به جهت یابی صفحه دربردارنده ساختار، سوی خاصی از محورهای اصلی تنش را نشان می دهند.

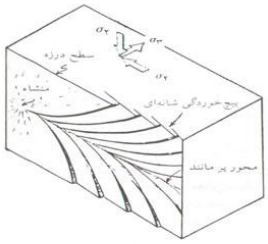
شکل ۱ . نمائی از اشکال ناشی از تنش که بروی واحدهای سنگی مختلف در یک منطقه بر جای می‌ماند. تنوع وسیعی از این ساختارها با توجه به پارامتر های گوناگونی از جمله رژیم تنشی حاکم بر محیط، مدت زمان اعمال تنش، دما و عمق قابل مشاهده است. در این‌جا صرفا به منظور نمایش موقعیت جهت محور تنش مثال هائی ارائه شده است.

1. Stress Analysis

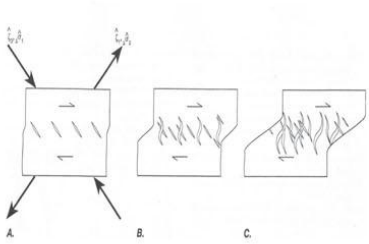
الف. گسترش درزه‌های متقاطع وابسته به گسل‌ها. خطوط نازک درزه‌های برشی و خطوط گوه مانند، شکستگیها را نشان می‌دهند. با توجه به حرکت صفحه فرادیواره، می‌توان به موقعیت σ_1 و σ_3 پی برد.



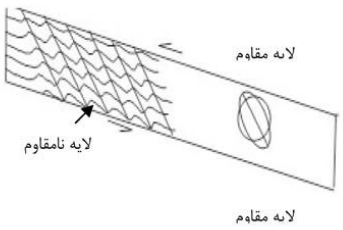
ب. نمودار سه بعدی نشان دهنده سطوح درزه‌ها در ساختارهای پرمانند. این ساختارها به عنوان سطوح کششی مرتبط با گسل‌خوردگی می باشند. درزه ها در طرفین سطح گسل و با زاویه حاده نسبت به آن تشکیل می‌گردند. جهت و محل زاویه حاده به ترتیب معرف جهت نسبی حرکت طبقات و محور σ_1 است.



ج. مشخص نمودن چگونگی افزایش اثر تنش در تغییر شکل پیشرونده. جهت باز شدن درزه‌های کششی در سنگ‌ها مسیر اعمال تنش σ را به صورت پیکان های موازی داخل شکل و محورهای حداکثر و حداقل تنش را در سطح خارجی شکل نشان می‌دهد.



د. ریزچین های ایجاد شده در نتیجه حرکت لایه مقاوم و نامقاوم در کنار یکدیگر. در طی عمل‌کرد یک جفت نیروی برشی، یک دایره فرضی روی لایه نامقاوم ممکن است به بیضی تبدیل شود. زاویه حاده بین سطح محوری ریزچین ها و سطح لایه بندی جهت حرکت نسبی را نشان می‌دهد.



ه. خش لغزهای گسلی: با استفاده از آثار به جا مانده از عوارض گسلهای بزرگ می توان به بازسازی مسیر اعمال تنش و در نهایت رسیدن به پارامترهای چهارگانه مجهول اقدام نمود (روند خش با مداد نمایش داده شده است).

۳. نتایج کاربردی تحلیل تنش

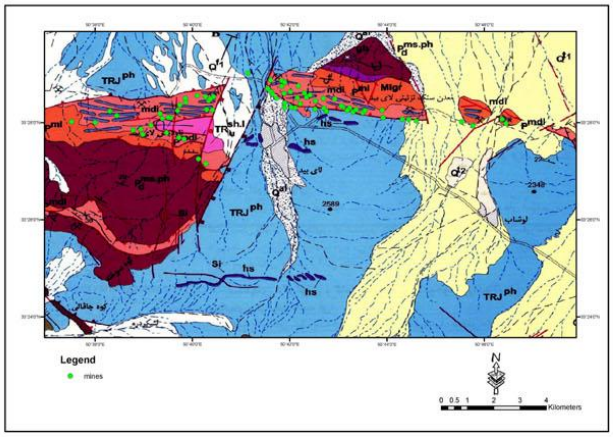
با اعمال روشهای مختلف نرم افزاری و با دخالت کاربر در برداشت داده های ساختاری د تفکیک داده ها بر مبنای زمان اعمال تتنش، میتوان با مجهز شدن به آگاهی و دانش کافی، از منظر ساختاری تحولات یک منطقه را در ذهن مجسم نمود. برای مثال در مورد نمونه های ارائه شده در شکل ۱ به عنوان اثراتی از تنشها و تیروهای مؤثر و قابل توجه در یک منطقه، یک متخصص زمین شناس به خوبی میتواند در مورد روند اکتشافی از جمله جهت و زاویه باز کردن جبهه کار نسبت به افق و شیب آن اعمال نظر نماید.

درزه ها، از ابتدایی ترین و عمومی ترین بقایای تش در هر محدوده هستند که با برداشت و تفسیر منطقی آنها و همچنین با استفاده از داده های مکمل ساختاری، برآورد اولیه از دیدگاه زمین ساختی منطقه اکتشافی و یا حتی استخراجی را میسر میسازد. در بخش بعدی به اجمال راجع به این موضوع با مثال از مطالعه معدن لایبید پرداخته خواهد شد.

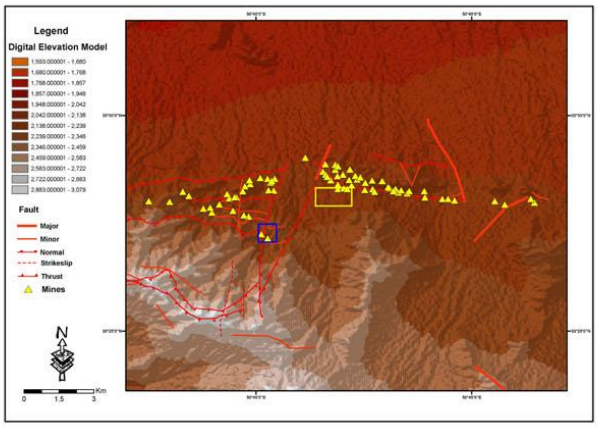
۴. محدوده معدنی سنگ تزیینی لایبید

مجموعه معدنی لایبید متشکل از۷۴ جبهه کار اکتشافی و استخراجی فعال و نیمه فعال است که به عنوان یکی از بزرگترین معدن سنگ تزیینی استان، جزء سرمایه های ارزشمند معدنی استان اصفهان محسوب می شود. این مجتمع که در ۱۶۰ کیلومتری شمال غرب اصفهان (شکل۲) و در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری جنوب غرب موته واقع شده است، از نوع سنگ چینی و با جنس آهک دولومیتی باز بلورین شده است که به رنگ خاکستری روشن تا سفید است. زمان تشکیل این واحد به پرمین نسبت داده شده است و بر اساس عقیده پذیرفته شده علت دگرگونی این تشکیلات به دلیل دگرگونی حرارتی ناشی از وجود توده های آذرین در قسمت شرق و جنوب شرق منطقه نسبت داده میشود. البته طبق مطالعات و بررسیهای ما و طبق شواهد برجای مانده در بعضی از قسمتها آثار دگرگونی ناشی از تغییر زمین ساخت و تکتونیک منطقه نیز مشاهده میشود. این واحد آهک دولومیتی کریستاله شده ستیغ های منطقه را میسازد و رخنمونهای اصلی آن در جنوب مسته کوه با ۳۱۴ متر ضخامت

شکل۲. نقشه راههای ارتباطی اصلی دسترسی به محدوده معدنی. اصفهان، میمه و منطقه لایبید با چهارگوش سفید بر روی نقشه مشخص شده است.



شکل۳. نقشه زمین شناسی منطقه معدنی لای بید همراه با کل محدوده های معدنی فعال و غیر فعال بر روی آن (دایره های سبز رنگ)



شکل۴. مدل سه بعدی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه و نمایش محل معادن همراه با نوع گسلهای مؤثر در زایش ساختارهای متنوع در این منطقه

مطابق شکل ۳، نقاط سبز رنگ معرف معادنی ست که در این مجتمع ثبت شده اند. همانطور که در شکل۴ همراه با نام هر محدوده نیز به وضوح دیده میشود، حریم کل معادن با مجموعه ای از گسلهای بارز امتدادلغز و نرمال با روند N-S و گسلهای معکوس و رورانده با راستای E-W احاطه شده است. از عوارض قابل توجه وجود دایکهایی با روند شرقی- غربی و با شیب زیاد به سمت شمال شرق مرمریتهای این بخش را قطع کرده اند. این دایکها اکثراً از نطر جنسی آذرین حدواسط تا بازیک دگرگونی و متاسوماتیزه است که به دلیل وجود آمفیبول ثانوی، اپیدوت وکلریت دارای رنگ سبز میباشند که در نقشه زمین شناسی شکل۳ با رنگ آبی و به صورت دستجات موازی نمایش داده شده اند. نمونه ای از رخنمون این دایکها در شکل۶ و در محدوده سینه کار اکتشافی یکی از معدن های لایبید به نام "پیام سنگ" دیده میشود.

شکل۵.تصویر ماهواره ای سه بعدی از موقعیت گسلها و معادن سنگ چینی لایبید بروی ارتفاعات منطقه. بخشهایی که در باند تصویری بالا روشنتر از سایر نقاط دیده میشوند، نمایانگر محل دایکها در تصویر ماهواره ای است.

۵. برداشت داده ها و مطالعات صحرایی

به منظور دستیابی به اهداف فوق اطلاعات موقعیت مکانی کل ایستگاههای فعال و غیرفعال برداشت گردید. همچنین به صورت تصادفی و با رعایت توزیع یکسان، از تعداد ۳۲ جبهه کار معدنی اطلاعات ساختاری لازم برداشت گردید. بطور کلی بیش از ۱۰۰۰ داده گسلی، خش لغز گسلی و درز و شکاف جمع آوری شد. این اطلاعات در مراحل بعدی و با پردازش تکتونیکی بهترین کلید علمی راهگشا برای توسعه اولیه کارگاهها محسوب میگردند.

در بازدیدهای مکرر از معدن لایبید، دیده شد در بین جامعه معدنکاری اصولی پذیرفته شده است که گاه دارای بنای علمی و گاهاً به تجربه بدست آمده است؛ مانند برخورد به دایکها و نفود شبکه های افقی، نشانه ای از بهبود عملیات معدنکاری و رسیدن به بلوکهای ایده آل است. از نظر زمین شناسی دلایل منطقی برای ایده های تجربی قابل ذکر است، ولی زمینه اصلی مطالعات و ایده ها باید زمانی صحیح باشد که هنوز هزینه ای برای باز کردن سینه کار و مشاهده بخشهای زیر سطحی فراهم نشده است. همانطور که بعضاً دیده میشود، شکستگیها و عوارض اصلی این محدوده، از روند یکسانی پیروی میکنند. در شکل ۶ که از معدن پیام سنگ برداشت شده است، توسعه شکستگیها همراستا با روند نفوذ دایکهاست.

شکل۶. نمایی از معدن پیام سنگ که در محدوده نفوذ دایکهای میکاشیستی توسعه یافته است

شکل۷ . آثار زون برشی با شکستگی های کششی رها شوند و ادامه آن در کوههای مشاهده شده (معدن علی کریمی) در تصویر. دید عکس به سمت شرق

از نظر مشاهده ای عوارض تکرار شونده در اکثر محدوده ها، توسعه هماهنگ و ناهماهنگ درزه های جابجاشونده و برجا، گسلهای اصلی و فرعی، دایکهای آذرین و توده های شیستی غیرآذرین، اختلاف جنس لایه های درگیر، گسترش مناطق کارستی ، اختلاف درجه دگرگونی شدن واحدهای همسان (شکل۶ و ۷) و.. است.

در برخی محدوده ها، مانند معادن گل سنگ و پیام سنگ توسعه گسلهای مزدوج وسمت اثر $\delta 1$ به نحوی است که در جهت تأیید گسترش عمقی شکستگیها است و انتظار داریم که در ادامه عملیات معدنکاری به افتادگیهای گوه ای شکل ناشی از برخورد عمقی زوجهای گسلی و نزدیکی به زون برشی میرسیم. ولی در برخی دیگر با وجود مشاهده گسلهای مزدوج آثار آن به مراتب در پله های بعدی تحلیل خواهد رفت، زیرا از

زون برشی اصلی فاصله میگیریم. آین آثار بطور کلی با روندهای کششی رها شونده، که ناشی از تغییر موقعیت $\delta 1$ و ناشی از شکستگیهای کششی رهاشونده است، متفاوت می باشد (شکل۷).

از دیگر شواهدی که به خوبی نمایانگر تکتونیک کششی جدید در این ناحیه است، علاوه بر آثار دایکهای کششی، روند کشش بعدی است که به صورت بودین های جدا شونده این محدوده را متأثر نموده است (شکل۸).

شکل۸. نشانه های بارز کششی در محدوده شرقی مجموعه معادن، به صورت اختلاط لایه های مقاوم و نامقاوم و توسعه بودینهای کششی به عنوان نشانه ای از فاز تکتونیکی جدید و موثر در تخریب سینه کار و توقف کار.

از بارزترین نکاتی که در این بازدید مدنظر قرار گرفت، وجود آثاری از دگرگونی ناشی از حوادث تکتونیکی است که به صورت تبدیل تدریجی بخشهای آهکی دگرگون شده چرتی به آهکهای دگرگونی نواری در معدن هوشنگ حیدری در بخش لایبید غرب مشاهده گردید(شکلهای۹ و ۱۰). از مشاهدات و برداشتهای اولیه اینگونه به نظر میرسد که این منطقه، از نظر زمین شناسی محدوده تحولی است که به خوبی آثار تبدیل سنگهای نامقاوم (به خاطر اختلاف جنس) را به سنگهای مقاوم و یک دست با ظاهر ابری ناشی از نواری شدن کانیهای تیره و روشن نمایش میدهند.

مسلم است که با دید تکتونیکی اولیه و قبل از صرف هزینه زیاد ، میتوان با گسترش عملیات تکتونیکی در مورد بیشتر سینه کارها، نظرات قطعی تری ارائه داد.

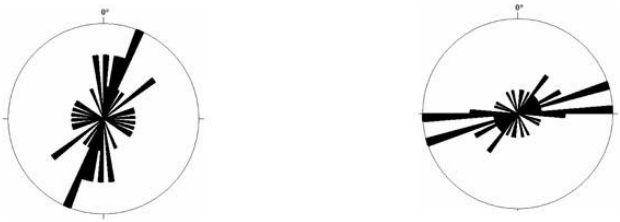
شکل۹. دیواره نواری و قابلیت بلوک دهی مناسب

شکل۱۰. دیواره تبدیلی واحدهای چرتی (مربع زرد رنگ سمت چپ) به واحدهای نواری (مربع زرد رنگ سمت راست) در معدن هوشنگ حیدری از بخش غربی

۶. تحلیل نتایج و نتیجه گیری

در تحلیل نهایی نتایج داده های ساختاری برداشت شده، فقط از شبکه درزه نگاری برای ۲ محدوده معدنی استفاده گردید. البته برای نتیجه گیری ها از داده های خش لغز نیز استفاده شده است. موقعیت این محدوده ها بروی تصویر ماهواره ای در شکل۵ نمایش مشخص گردیده است. همانطور که در طی آنالیز داده ها و مطابق شکل۱۱ دیده می شود، در کلیه ۸ محدوده مورد نظر روند متنوعی از شکستگیها و عوارض خطی مخرب در عدم استحکام جبهه کار دیده میشود. نکته قابل توجه در هر کدام از این نمودارها در این نکته نهفته است که وضعیت درزه ها، روند و همچنین تمرکز آنها کاملاً با نزدیکترین گسلهای موجود به حریم معدن و همچنین وجود دایکهای روی نقشه منطبق است.

Ali Kariminia **Ahrar11**



شکل۱۱. نمودار های گل سرخی از پراکندگی درزه ها، شکستگی ها و گسل های منطقه مورد مطالعه. همانطوری که در نمودار های مشخص می باشد پراکندگی متنوع سیستم های شکستگی و درزه های موجود در منطقه باعث کاهش کیفیت سنگ، پر شدگی و در نهایت خرد شدگی سنگ شده است.

معدن احرار ۱۱: این معدن موفق مطابق شکلهای۳، ۴ و ۵ (با چهارگوش زرد رنگ) در خارج از حریم گسلهای نرمال با روند شمالی و جنوبی است و تقریباً در حاشیه جنوبی یک گسل معکوس شرقی غربی قرار دارد. به همین دلیل روند شبکه درزه نگاری نیز حاکی از این است که درزه های منطقه در راستای گسل معکوس عامل در این ناحیه فعالیت نموده اند. از سوی دیگر با تطبیق بروی دایکهای منطقه دیده میشود که این معدن در انتهایی ترین حریم تأثیر آنها بنا شده است. پراکندگی کم شبکه درزه نگاری از شاخص های خوب در تخمین کیفیت این بخش است.

معدن علی کریمی نیا: همانطور که موقعیت این معدن بروی شکلهای ۳، ۴ و ۵ (با کادر آبی رنگ) نشان میدهد، این محدوده کاملاً در حاشیه شرقی یکی از گسلهای نرمال بزرگ محدوده لایبید واقع شده است قوس این گسل تقریباً N20E است و روند فراوانی درزه ها به وضوح در شکل۱۱ همین نکته را نمایش می دهد. همانطور که در برداشتهای صحرایی و شکل ۷ نیز دیده شد آثار شکستگیهای کششی و رها شونده از بارزترین پدیده های این منطقه بود. ولی همانطور که از پراکندگی شبکه درزه نگاری برمی آید.، عوامل دیگری نیز در تخریب سینه کار استخراجی در این منطقه مؤثرند. نزدیکی به محل تقاطع بزرگترین گسل نرمال منطقه و گسل شرقی- غربی معکوس از دلایل قابل قبول برای این پدیده است.

۷. تفسیر کلیات

قرار گیری منطقه معدنی لایبید در بین گسل های بزرگ و فعالی همچون گسل حسن رباط-دهق در نواحی شمالی و شرقی و گسل شازند و شاخه های فرعی آن در نواحی جنوبی منطقه معدنی باعث گردیده است که سیستم های گسلی متنوعی از گسل های راندگی، نرمال و امتداد لغز در این منطقه گسترش یابند. اثر این گسل ها را می توان تا نواحی دورتری همچون موته، گلپایگان و میمه و کمریند آتشفشانی ارومیه-دختر نیز مشاهده نمود. تغییر روند ساختارهای چین خورده ای که قبلا روند شمال غرب- جنوب شرق داشته اند به روند شرقی- غربی در نواحی جنوب میمه می تواند ناشی از حرکات فشاری و امتداد لغزی باشد که در منطقه حاکم است. بالا آمدگی واحد های قدیمی پرکامبرین (تیله و همکاران ۱۹۶۸) و یا پرمین (منبع نقشه زمین شناسی کوه دهق) ناشی از ایجاد محیط های کششی در بین گسل های امتداد لغز بزرگ موجود در منطقه است که باعث بالا آمدن واحد های قدیمی شده است (ندیمی و همکار ۲۰۰۸). این حرکات کششی در منطقه معدنی نیز باعث ایجاد رگه های کششی و پرشده و تخریب و کاهش کیفیت سنگ معدن و همچنین گسترش گسل های نرمال در منطقه شده است. آثار فشاری موجود در منطقه در حاشیه گسل های رانده موجود در باند های حاشیه ای منطقه معدن دیده می شود. بنابراین عملکرد گسل های امتداد لغز بزرگ موجود در منطقه باعث گسترش سیستم های مختلف درزه، شکستگی و گسلش در منطقه شده است و مطالعه دقیق این ساختار ها می تواند به تعیین دقیق تر بخش های سالم تر برای برداشت سنگ ساختمانی کمک شایان توجهی داشته باشد.

مراجع و منابع:

- Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmand-zadeh, A., Seyed-Emami, K., and Zahedi, M., 1968, Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map 1:250,000: Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle E7, 24pp.

- Nadimi, A., and Nadimi, H., 2008, Exhumation of old rocks during the Zagros collision in the northwestern part of the Zagros Mountains, Iran, in Burchfiel, B.C., and Wang, E., eds., Investigations into the Tectonics of the Tibetan Plateau: Geological Society of America Special Paper 444, p. 105–122.