



تحلیل شکستگی ها در محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر، جنوب اصفهان، با تأکید بر روش دورسنجی

پریسا تن زده^۱، علی فرضی پور صائین^{۲*}، همایون صفایی^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه اصفهان

۲- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه اصفهان

۳- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳

چکیده

تهیه‌ی نقشه شدت شکستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی جهت مکان‌یابی موقعیت صحیح جبهه کار، کاهش میزان خردشدگی سنگ و بازدهی اقتصادی حائز اهمیت است. در این پژوهش، به بررسی شکستگی‌ها در محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر اصفهان پرداخته است. از این رو، ابتدا شکستگی‌ها در بررسی‌های دورسنجی و برداشت‌های صحرایی شناسایی شدند که امتداد غالب شکستگی‌ها شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و سایر شکستگی‌ها بیشتر در امتداد شمال غربی-جنوب شرقی است. در محیط Arc GIS با شبکه بندی بر شکستگی‌های شناسایی شده و با روش اسکن لاین دایره‌ای تکمیل شده برای هر شبکه میزان شدت محاسبه و از درون یابی نقاط هم‌تراز شدت شکستگی‌ها، نقشه شدت شکستگی‌ها تهیه شده است. با پیاده کردن موقعیت جبهه کارها در نقشه شدت شکستگی‌های بدست آمده بیانگر قرارگیری جبهه کارهای غیرفعال در شدت شکستگی‌های بالا است. لذا انجام چنین مطالعاتی در مراحل اولیه اکتشاف و استخراج سنگهای ساختمانی بسیار مهم و حیاتی است. همچنین با توجه به گسل کلاه قاضی با امتداد ۱۳۵ درجه و عملکرد معکوس با مؤلفه امتداد لغز راست بر، مدل ریدل منطقه رسم شد که گسل‌های منطقه، امتداد اصلی شکستگی‌های شناسایی شده تقریباً همخوانی مناسب با مدل ریدل دارد.

واژه‌های کلیدی: شدت شکستگی، سنگ ساختمانی، تصاویر ماهواره‌ای، GIS



Fracture analysis in Lashotor stone quarry complex, south of Isfahan, a remote sensing approach

Tanzadeh .P ¹; Farzipour saein .A ^{2*} ; Safaei .H ³

^۱- M.Sc. student, Department of Geology, University of Isfahan

^۲- Associate Professor, Department of Geology, University of Isfahan

^۳- Associate Professor, Department of Geology, University of Isfahan

Abstract

Fracture intensity map is important in quarries for correct location of face, reduce stone crushing and economic efficiency. In this study, the fractures surveyed in Lashotor stone quarry complex, 20 km south of Isfahan city as one of the most famous building stone quarries in Iran. Strike of major fractures are N-S, E-W and others are showing mostly NW-SE strike. The fracture intensity map was drawn in Arc GIS software for identified fractures based on augmented circular scaling method. Then Faces were mapped in fracture intensity map which demonstrate inactive faces exist in high fracture intensity areas. Thus, this kind of study is very important and needed for primary stages of exploration and extraction of building stone quarries. Also, Riddle model was drawn considering Kolah- Ghazi fault with strike of 135° and reverse and dextral strike- slip components. Identified fractures are almost fitted perfectly with the Riddle system of the Kolah- Ghazi fault.

Keywords: Fracture intensity, Building stone, Satellite images, GIS



مقدمه

شفیعی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی شکستگی‌ها در معدن سعیدی در کرمان، نوروزی و امیری (۱۳۹۰) در معدن در بخاری، دارستانی و کوهی اصفهانی (۱۳۹۰) بررسی درزه نگاری در معدن مرمیت برد شیراز، امینی و خوشرو (۱۳۹۶) در معادن تراورتن آذر شهر، یاراحمدی و همکاران، ۲۰۱۸ در معادن گرانیت سفید نظنز و معدن مرمیت کرم بنیاد دهیید پرداختند و بررسی شکستگی‌های را عاملی برای افزایش بهره‌وری و بهینه سازی تولید سنگ دانسته‌اند و همچنین شفیی و همکاران (۱۳۸۹) در بحث اکتشاف و همچنین تعیین محل مناسب جبهه کار سنگ‌های ساختمانی قابل اهمیت دانسته است (شفیعی و همکاران، ۱۳۸۹؛ نوروزی و امیری، ۱۳۹۰؛ دارستانی و کوهی اصفهانی، ۱۳۹۰؛ امینی و خوشرو، ۱۳۹۶؛ Yarahmadi et al., 2018).

تکنیک دورسنجی (RS) در چند دهه اخیر بطور چشم‌گیری رشد کرده و بطور گسترده در زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرند (Masoud and Kokie, 2006; Alipour, 2009; Hashim et al., 2013., Alipour et al., 2017). از موفقیت‌های مهم در این زمینه شناسایی خط واره‌ها و تهیه نقشه از آن‌ها است (Shupe and Akhavi, 1989; Tibaldi and Ferrari, 1991; Masoud and koike, 2006; Solomon and Ghebreal, 2006; Marghany and Hashim, 2010; Hashim et al., 2013).

نرم افزار SAS.Plante با هدف مشاهده و دانلود تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت بالا و بصورت زمین مرجع شده و بصورت سرویس‌های گوناگون Google earth, Bing Map, ... برای بررسی‌های دورسنجی بسیار مفید است (www.sasgis.org).

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS بعنوان یک ابزار قدرتمند و مفید برای مدیریت داده‌های مکانی و تصمیم‌گیری، قابلیت جمع آوری، ذخیره، تجزیه-تحلیل و نمایش

سنگ ساختمانی ماده معدنی با ارزش و بعنوان مواد اولیه مورد استفاده در تولیدات صنعتی است و توجه به شیوه اقتصادی تولید سنگ خام از این معادن حائز اهمیت است. میزان گردش مالی این ماده معدنی در دنیا بیش از ۲۰ میلیارد دلار است که در این میان سهم ایران با توجه به ذخیره بالا (رتبه چهارم در دنیا) و تنوع انواع سنگ، کم‌تر از ۱ میلیارد دلار است در صورتی که میزان ذخایر این ماده معدنی در کشور بیش از ۳ میلیارد تن برآورد شده است بطوری که استان‌های زیادی از ایران این پتانسیل برای عملکرد مناسب وجود دارد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۴).

بعضی از نمونه‌های سنگ ساختمانی ایران در جهان نظیر ندارد. ایران کشوری متکی به درآمدهای نفتی و توجه به مسائل اقتصادی، فنی معادن و بکارگیری روش‌های مناسب تولید در آن‌ها این امکان را به وجود می‌آورد که به منابع درآمدی قابل اعتمادی در کنار نفت دست یافته شود (اورعی و همکاران، ۱۳۸۳). آنچه امروزه در استخراج سنگ‌ ساختمانی متداول است براساس تجربه‌ی انسانی است و میزان ناچیزی از آن فقط براساس روش‌های علمی صورت می‌گیرد (Tercan and Ozcelik, 2000) به این معنی که عملیات پی‌جویی، اکتشاف و استخراج در معادن نیاز به بررسی‌های علمی دارد که در این زمینه معدن‌داران نیز بر مکان‌یابی صحیح برای جبهه کار در معدن و کاهش ضایعات تأکید می‌کنند (اورعی و همکاران، ۱۳۸۳).

رویاری با ناپیوستگی‌ها از موارد اجتناب‌ناپذیر در بهره‌برداری از معادن سنگ ساختمانی بوده و افزایش میزان تراکم آن‌ها تأثیر عمده‌ای در بازدهی استخراج دارد (جیرسرائی، ۱۳۹۰).



زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر، براساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان واقع شده است (شکل ۱- الف Falcon; Berberian 1995; ۱۹۶۹). فرایندهای زمین‌ساختی در این پهنه ابتدا رژیم زمین‌ساخت کششی و سپس طی یک واژگونی زمین‌ساختی در یک رژیم فشارشی حاصل همگرایی قرار گرفته است (شیخ‌الاسلامی، ۱۳۹۳). این پهنه از اواخر پالئوزوئیک پیشین به حوضه‌ای در حال فرونشست تبدیل شده و به علت نیروهای کششی مؤثر در فرونشست سنندج-سیرجان، رسوبات آواری و کربناتی نهشته شده است (آقنابتی، ۱۳۸۳). در این پهنه، پدیده‌های زمین-ساخت پی در پی و هم‌آهنگ با فازهای زمین‌ساختی شناخته شده در مقیاس جهانی در بیشترین مقدار است. به همین رو، این زون ناآرام‌ترین و پویاترین پهنه‌ی زمین-ساختی ایران است (آقنابتی، ۱۳۸۳). پهنه سنندج-سیرجان لبه‌های گسلی بسیار مشخصی با حوضه‌های مجاور دارد (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). رخداد کوهزایی لارامید در ایران علاوه بر بستن نئوتیس سبب ایجاد گسل‌های معکوس با مؤلفه کمی امتداد لغز راست بر در پهنه سنندج-سیرجان شده است (Mohajjel et al., 2003). گسل اصفهان ادامه گسل کازرون گسلی دیرین و پی‌سنگی با روند شمالی-جنوبی پهنه سنندج-سیرجان را قطع کرده است (Safaei, ۲۰۰۹؛ شکل ۱- ب). در حاشیه و میانه این پهنه‌ی ساختاری چهار زون گسلی اصلی با عملکرد معکوس و مؤلفه امتداد لغز با راستای شمال‌غرب-جنوب شرق شناسایی شده است که زون‌های گسلی از سمت شمال شرق به سمت جنوب-غرب شامل زون گسلی حاشیه ارومیه-دختر، زون گسلی نجف‌آباد-کلاه قاضی، زون گسلی حاشیه کماتی زاینده-رود، زون گسلی اصلی زاگرس است و دسته گسل‌های فرعی بین ارومیه-دختر و زون گسلی نجف‌آباد-کلاه قاضی با عملکرد امتداد لغز راست بر با راستای شمال‌غربی-

اطلاعات جغرافیایی (مکانی) و مدل‌سازی را دارد که این اطلاعات به منظور واضح تر جلوه دادن رویدادها، پیش بینی نتایج بکار گرفته می‌شوند (داود آبادی فراهانی و امینی، ۱۳۹۲؛ صابری و همکاران، ۱۳۹۲). از مهم‌ترین ویژگی‌های این سیستم، قابلیت آن در پردازش حجم انبوهی از داده‌ها و جلوگیری از وقوع خطاهای انسانی در تهیه نقشه‌های مختلف از داده‌های مکانی است (Yousefi et al., 2007). Bonham Cater et al (۱۹۸۸)، Agterberg (۱۹۸۹)، Katz (۱۹۹۱) و Chung et al., (۱۹۹۲) از جمله کسانی هستند که از GIS جهت تعیین مناطق مطلوب استفاده نمودند (Bonham Cater et al., 1988; Agterberg, 1989; Katz, 1992; Chung et al., 1992). تلفیق RS و GIS پتانسیل از داده‌های دورسنجی را به بهترین نحو افزایش می‌دهد (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳).

در این پژوهش پیش‌رو، محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر در ۲۰ کیلومتری جنوب اصفهان و بدلیل اهمیت قرارگیری موقعیت معدن و گسل‌های اطراف محدوده‌ی مورد مطالعه، با بررسی دورسنجی، شکستگی‌ها شناسایی شدند و سپس جهت غالب شکستگی‌ها، هیستوگرام طول شکستگی‌ها رسم شد و با شبکه‌بندی بر روی شکستگی‌ها و با روش اسکن لایه دایره‌ای تکمیل شده (Watkins et al, 2015) میزان شدت محاسبه شده و نقشه شدت شکستگی‌ها تهیه شده است. جهت تأیید بررسی‌های دورسنجی، برداشت‌های صحرایی صورت گرفته است و با توجه به گسل اصلی کلاه قاضی با امتداد ۱۳۵ درجه و عملکرد معکوس با مؤلفه امتداد لغز راست بر مدل ریدل منطقه رسم شد که شکستگی‌های اصلی همخوانی مناسبی با مدل ریدل دارند.

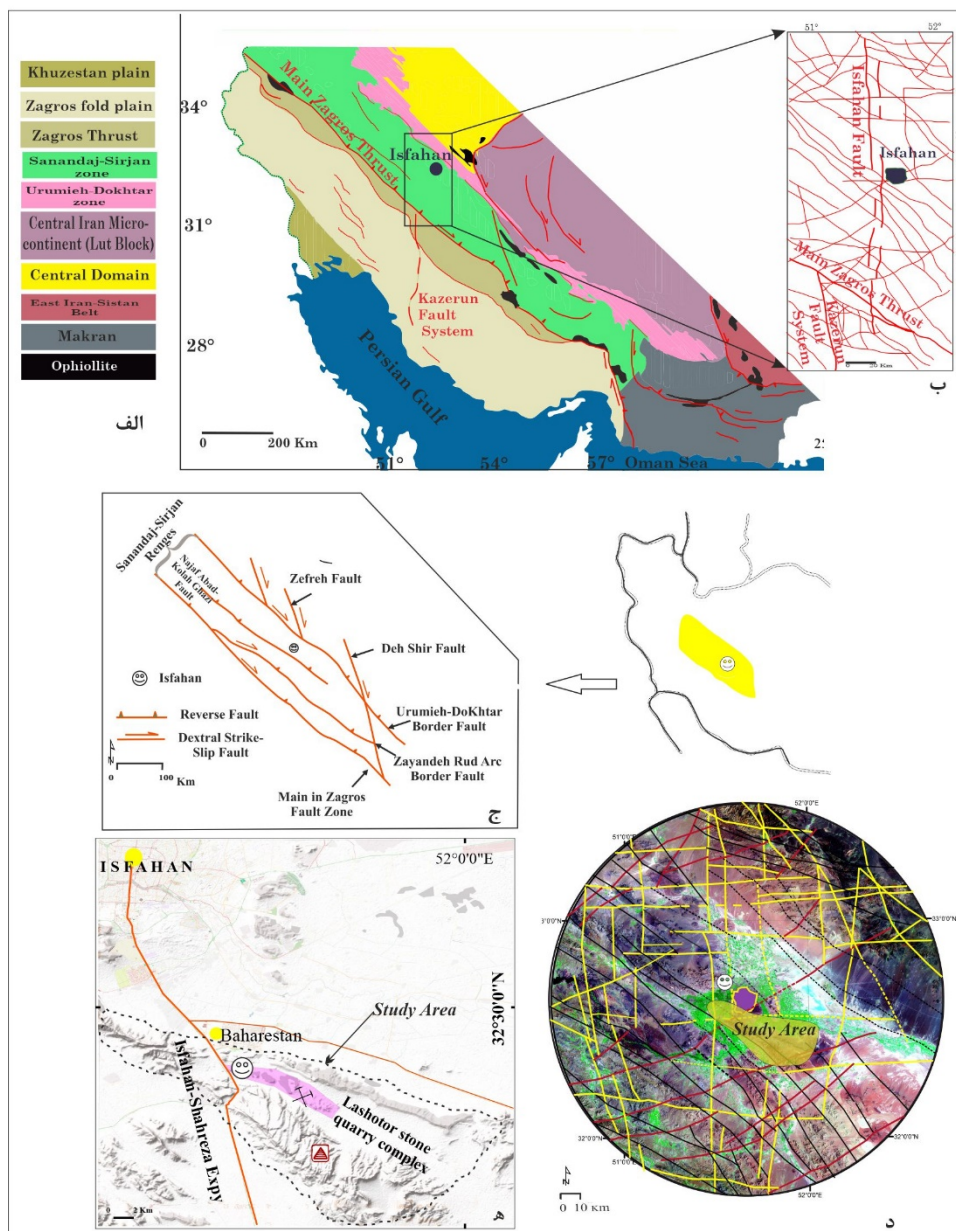
در این پژوهش با کار جدیدی که انجام داده است، شدت شکستگی‌های بالا را عامل مهمی برای موقعیت جبهه کارهای غیرفعال شده، دانسته است.

(شکل ۱-ه). براساس نقشه زمین شناسی یکصد هزار شهرضا (زاهدی، ۱۳۵۵؛ شکل ۲-الف) قدیمی ترین رسوبات مشاهده شده در منطقه شیل و ماسه سنگ متعلق به ژوراسیک پائین (گروه شمشک) است که رخنمون بسیار کمی در محدوده مورد مطالعه دارد. بارزترین توالی سنگ-شناسی در منطقه، مربوط به دوره زمانی کرتاسه است (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ درویش زاده، ۱۳۷۰).

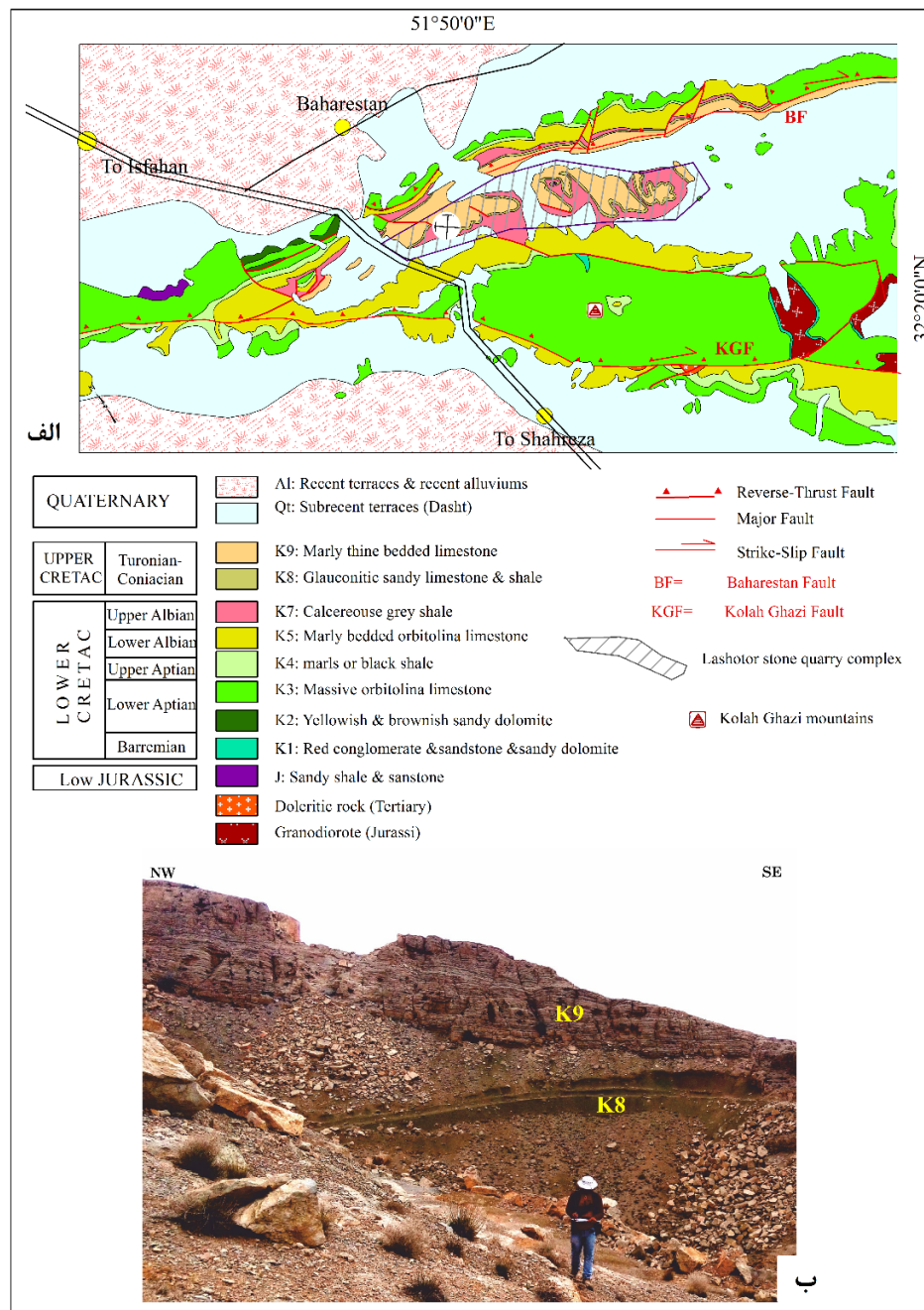
مجموعه‌ی معدنی سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی (تورونین- کنیاسین) جهت مصارف ساختمانی استخراج می‌گردد (زاهدی، ۱۳۵۵). فوقانی ترین واحد کرتاسه در محدوده‌ی مورد مطالعه، آهک‌های نازک لایه با میان لایه-های مارنی بر روی شیل است (درویش زاده، ۱۳۷۰- شکل ۲-ب)

مجموعه معدنی بین دو گسل کلاه قاضی و بهارستان با عملکرد معکوس با مؤلفه‌ی امتداد لغز راست بر قرار گرفته است (شکل ۲-الف).

جنوب شرقی است (شکل ۱-ج Tillman et al., 1981). در محدوده ۱۰۰ کیلومتری شهر اصفهان، با تغییرات جزئی از گسل‌های شناسایی شده در پژوهش‌های قبلی و شناسایی تعدادی گسل جدید نیز گسل‌هایی با روند شرقی-غربی و شمالی-جنوبی دیده می‌شود (تاجمیر ریاحی، ۱۳۹۲؛ شکل ۱-د). وجود گسل‌های شمالی-جنوبی باعث بریدگی ارتفاعات بهارستان و کلاه قاضی شده است (صفایی، ۱۳۸۴). موازات گسل اصلی بهارستان، گسل شمال بهارستان است که بین این دو سری گسل اصلی، گسل‌های ثانویه‌ای با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی با مؤلفه‌ی چپ بر وجود دارد (Nadimi and Konon, 2012). پهنه‌ی ساختاری سندج- سیرجان از نظر زمین شناسی اقتصادی و پراکندگی کانسارها به ویژه انواع مختلف سنگ‌های ساختمانی با ذخائر زیاد دارای اهمیت است (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ قربانی، ۱۳۸۶). همه سنگ‌های پهنه سندج-سیرجان را می‌توان در سه واحد زمین ساختی- چینه‌نگاشتی پرکامبرین پسین- تریاس میانی، تریاس بالایی-کرتاسه و مجموعه ترشیری جای داد (آقانباتی، ۱۳۸۳). منطقه مورد مطالعه که در ۲۰ کیلومتری جنوب اصفهان قرار دارد



شکل ۱. الف - بخشی از نقشه‌ی ساختاری ایران (Falcon 1969; Berberian 1995) و موقعیت شهر اصفهان در پهنه‌ی سنندج- سیرجان، ب- نقشه گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه، و اینکه گسل اصفهان ادامه گسل کازون است (Safaei, 2009) ج- تقسیم‌بندی حاشیه و میانه پهنه‌ی سنندج-سیرجان بر اثر گسل‌های اصلی (Tillman et al., 1981) و موقعیت منطقه مورد مطالعه، د- نقشه‌ی گسل‌های تصحیح شده از پژوهش‌های قبلی و شناسایی گسل‌های جدید به شعاع ۱۰۰ کیلومتری از شهر اصفهان (تاجمیر ریاحی، ۱۳۹۲) و موقعیت منطقه مورد مطالعه، هـ- راه‌های ارتباطی به منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه زمین شناسی شهرضا به مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ با اصلاحات (زاهدی، ۱۳۵۵) و قرارگیری موقعیت محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر، ب- نمایی از لایه های آهکی نازک- لایه با میان لایه های مارنی به سن تورنین بر روی شیل های سنومانین (موقعیت عکس "۳۲°۲۶'۱۷" ۵۱°۴۹'۳۷")



روش کار

۱- محل تقاطع قطر هر شبکه، مرکز دایره‌ای به

شعاع $a/2$ ،

۲- بدست آوردن مقدار n (تعداد تقاطع شکستگی با

محیط هر دایره)،

۳- محاسبه شدت شکستگی (رابطه ۱) (r شعاع

I - شدت شکستگی)

$$I = n / 4r$$

(رابطه ۱)

با استفاده از روش وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)

برای درون‌یابی بدلیل دقت بالا (Aronoff, 1989)، نقشه شدت شکستگی‌ها تهیه شود.

سپس جهت تأیید بررسی‌های دورسنجی، برداشت‌های

صحرائی صورت گرفت و امتداد غالب از شکستگی‌ها

تعیین شد. مدل ریدل براساس امتداد گسل کلاه قاضی با

مؤلفه امتداد لغز رسم شد.

با هدف ارزیابی عملکرد موقعیت جبهه کارها، در نقشه

شدت شکستگی‌ها پیاده شده است.

با توجه به موقعیت مجموعه معدنی سنگ ساختمانی

لاشتر و اهمیت بررسی شکستگی‌ها، ابتدا به پردازش

تصاویر ماهواره‌ای Bing maps اخذ شده از نرم‌افزار SAS

Planet و داده ETM⁺ از ماهواره Landsat 7 جهت

شناسایی شکستگی‌ها در دو محدوده مطالعاتی I و II

پرداخته شده است (شکل ۳- الف) سپس جهت غالب

شکستگی‌ها، هیستوگرام طول شکستگی‌ها رسم شده است.

در محیط نرم‌افزار Arc GIS با شبکه‌بندی مناسب با توجه

به وسعت منطقه بر روی شکستگی‌های شناسایی شده رسم

شده است (Davy et al., 1990; Zhang and Sanderson, 1998; Volland and Kruhl, 2004; Seung-Ik et al.,

2010). بدین منظور شدت شکستگی‌ها به روش جامع

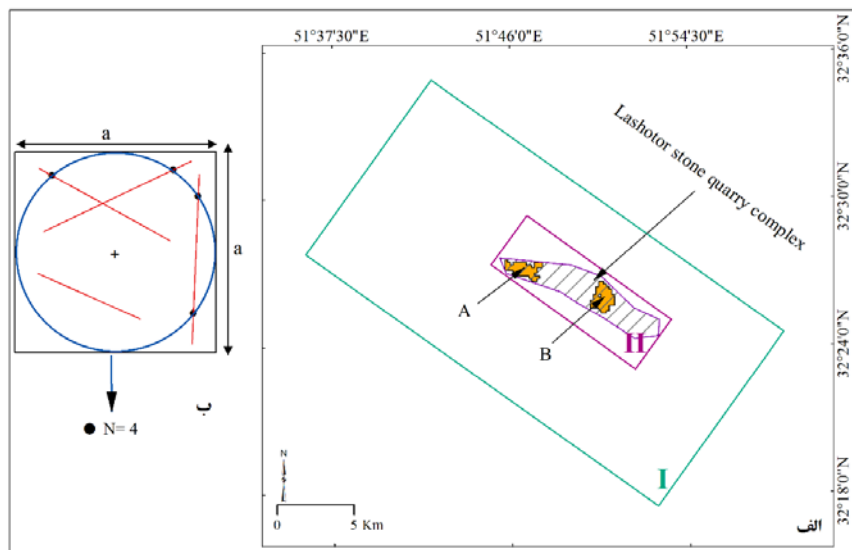
اسکن لاین دایره‌ای تکمیل شده (Watkins et al, 2015)

بدست آمده است. برای محاسبه پارامتر شدت، از روش

اسکن لاین دایره‌ای تکمیل شده (Watkins et al, 2015)

استفاده شده است. بدین منظور لازم است برای هر شبکه

ایجاد شده $a \times a$ (شکل ۳- ب):



شکل ۳. الف- موقعیت محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر در بررسی‌های دورسنجی و برداشت صحرائی، ب- نحوه محاسبه شدت شکستگی‌ها در هر شبکه براساس روش اسکن لاین دایره‌ای تکمیل شده (Watkins et al, 2015).

بررسی شکستگی‌ها

طول شکستگی‌ها

الف- بررسی‌های دورسنجی

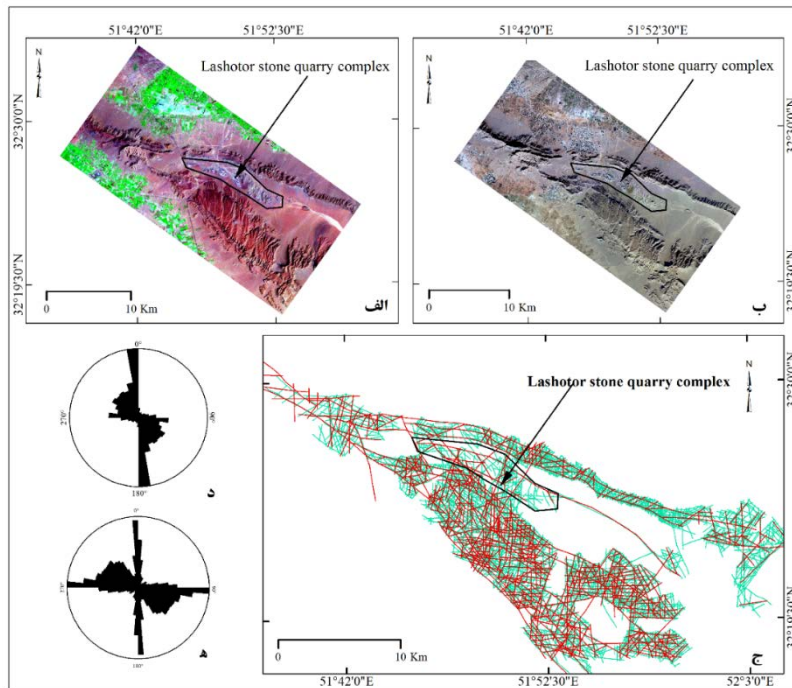
شناسایی شکستگی‌ها و مؤثرترین امتداد

در مطالعات دورسنجی شکستگی‌ها در دو مقیاس متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند بدین منظور ابتدا در محدوده مطالعاتی I با تهیه تصاویر ماهواره‌ای Bing maps از نرم‌افزار (Zoom= 17) SAS Planet و داده +ETM از ماهواره Landsat 7 و ورود هر دو داده به محیط نرم‌افزار ER mapper 7.0 شکستگی‌ها شناسایی و استخراج شدند (شکل ۴ الف، ب) و سپس برای بررسی شکستگی‌ها در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر محدود مطالعه‌ی II با بالاترین بزرگنمایی (۲۰) از تصاویر ماهواره‌ای Bing maps

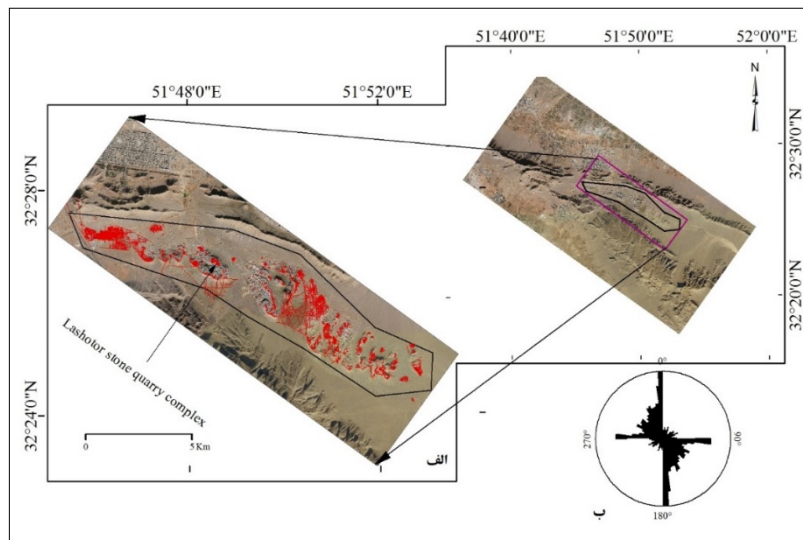
از نرم‌افزار SAS Planet خروجی گرفته و به محیط نرم‌افزار ER mapper 7.0 وارد شد (شکل ۵).

نمودار گل‌سرخ‌ی از امتداد شکستگی‌ها با وزن دهی به طول آنها ترسیم گردید (Ekneligoda & Henkel, 2006). براین اساس مؤثرترین راستا در نمودار گل‌سرخ‌ی برای محدوده مطالعاتی I برای تمامی شکستگی‌ها راستای شمالی-جنوبی (شکل ۴-د) و برای شکستگی‌هایی با طول بیشتر از ۲ کیلومتر راستای شرقی-غربی و شمالی-جنوبی است (شکل ۴-ه). مؤثرترین امتدادهای نمودار گل‌سرخ‌ی به صورت مجزا برای محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر (محدوده مطالعاتی II) شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و بازه وسیعی از راستای شمال-غربی-جنوب-شرقی را نشان داده است (شکل ۵-ب).

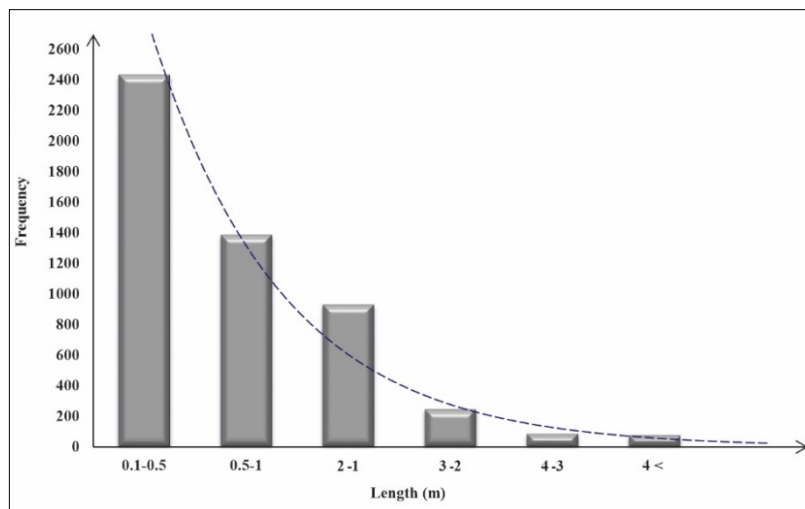
طول شکستگی‌ها یکی از ویژگی‌های مهمی برای تحلیل شکستگی‌ها است (Ekneligoda and Henkel, 2006) یکی از پارامترهای مهمی که می‌توان در مطالعات دورسنجی به بررسی آن پرداخت طول شکستگی‌ها است. با بررسی‌های دورسنجی و شناسایی شکستگی‌ها از محدوده-ی مورد مطالعه، هیستوگرام طول شکستگی تهیه شده است (شکل ۶). شکستگی‌ها براساس طول‌شان به شش دسته تقسیم شده است. هیستوگرام فراوانی طول شکستگی‌ها، الگوی نمایی منفی بهترین خط انطباق را با داده‌ها نشان می‌دهد و معادله مربوط به این خط با همبستگی ۹۳/۷٪ را در شکل ۶ نشان داده شده است، این معادله نشان می‌دهد که با افزایش طول شکستگی‌ها از تعداد شکستگی‌ها به طور لگاریتمی کاسته می‌شود که این توزیع نماینگر بلوغ ساختاری و حد نهایی توسعه شکستگی‌های ساختاری در یک ناحیه است. (Xypolias and Koukourelias, 2004)



شکل ۴: الف- داده ETM+ از ماهواره Landsat 7 با ترکیب رنگی RGB=741 در محدوده مطالعاتی I و قرارگیری محدوده‌ی معدنی سنگ ساختمانی لاشتر ب- تصاویر ماهواره‌ای Bing maps در محدوده مطالعاتی I و قرارگیری محدوده‌ی معدنی سنگ ساختمانی لاشتر ج- شکستگی‌های استخراج شده در محدوده مطالعاتی I و قرارگیری محدوده‌ی معدنی سنگ ساختمانی لاشتر د- ۱: دیاگرام گل سرخی برای تمام شکستگی‌ها که مؤثرترین راستا شمالی- جنوبی می‌باشد، ۵: دیاگرام گل سرخی برای شکستگی‌هایی با طول بیشتر از ۲ کیلومتر که مؤثرترین راستاها شمالی- جنوبی و شرقی- غربی می‌باشد.



شکل ۵: الف- تصاویر ماهواره‌ای Bing maps از نرم‌افزار SAS Planet (Zoom=20) در محدوده مطالعاتی II و قرارگیری محدوده‌ی معدنی سنگ ساختمانی لاشتر و قرارگیری محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر و شکستگی‌های شناسایی شده ب- نمودار گل سرخی از شکستگی‌های شناسایی شده محدوده مطالعاتی II با امتدادهای شمالی- جنوبی، شرقی- غربی و بازه وسیعی شمال غربی- جنوب شرقی.

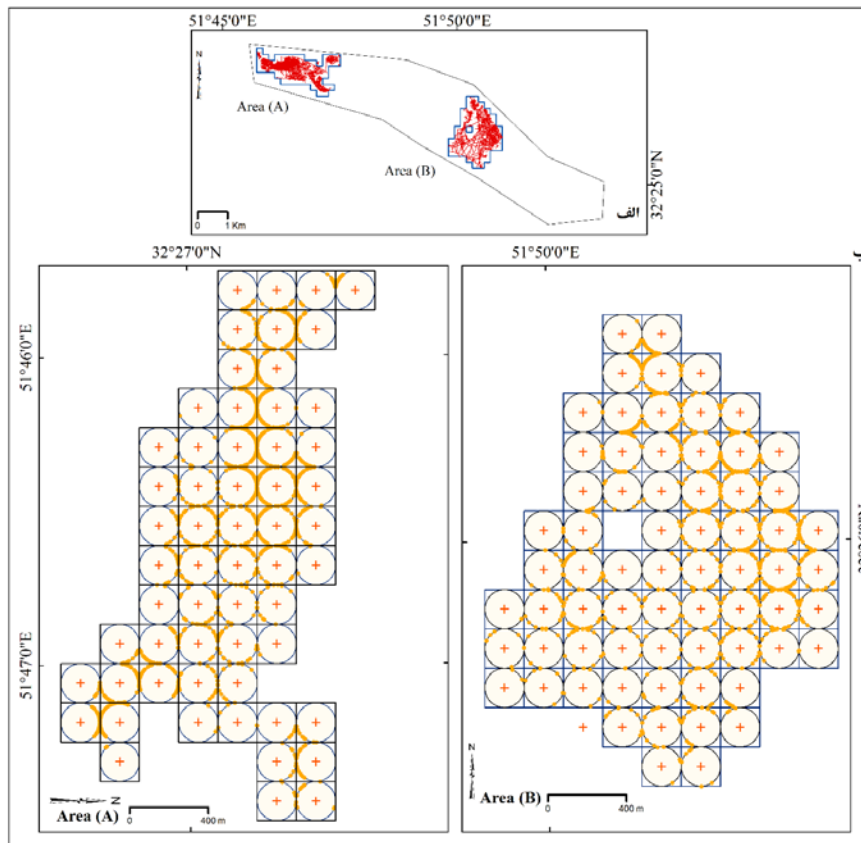


شکل ۶: هیستوگرام توزیع طول شکستگی‌های شناسایی شده با مطالعات دورسنجی برای محدوده‌ی مورد مطالعه

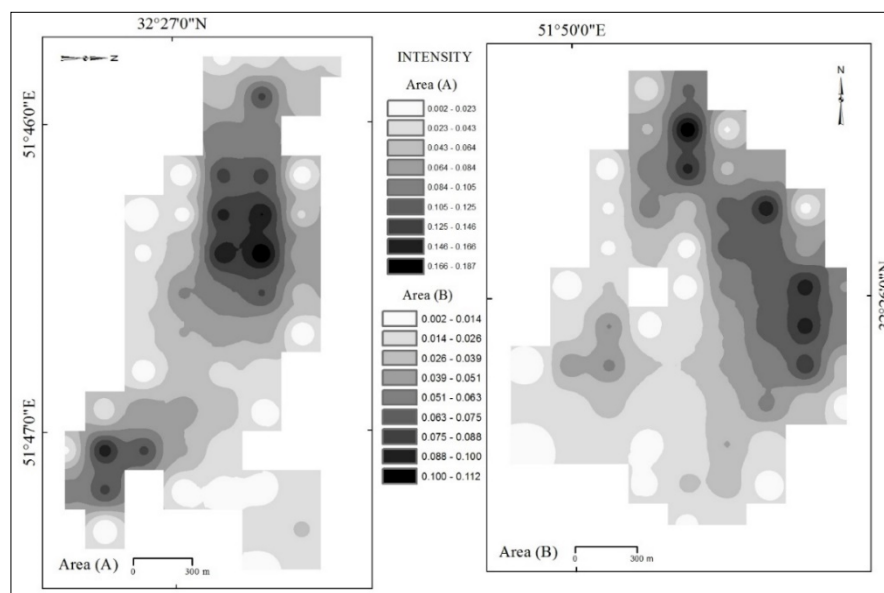
محاسبه شدت شکستگی‌ها

از پارامترهای کاربردی در محاسبات آماری شکستگی‌ها، شدت است. فاکتور در واحد سطح تعریف می‌شوند (Xypolias and Koukouvelas, 2004). شدت بیانگر مجموع طول شکستگی‌ها در واحد سطح می‌باشد که برای انجام این‌گونه محاسبات ابتدا باید واحد سطح تعریف کرد (حاجی و رحیمی، ۱۳۸۹). در محیط

نرم‌افزار Arc GIS با شبکه‌بندی ۲۰۰ متری در دو منطقه A و B به علت بهره‌برداری کم‌تر سنگ، کم بودن باطله‌ها و موقعیت مناسب‌تر برای محاسبه شدت شکستگی‌های شناسایی شده در بررسی‌های دورسنجی، براساس روش جامع اسکن لاین دایره‌ای تکمیل شده (Watkins et al, ۲۰۱۵)، شدت شکستگی‌ها برای هر شبکه بدست آمده (شکل ۷) با روش درون‌یابی (IDW) نقشه شدت شکستگی‌ها تهیه شده است (شکل ۸).



شکل ۷: الف- نقشه‌ی دو محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر و شکستگی‌های شناسایی شده در مناطق A و B برای محاسبه شدت شکستگی‌ها. ب- شبکه‌بندی دایره‌ای تکمیل شده به شعاع ۱۰۰ متر در مناطق A و B و نمایش پارامتر (n) در هر دایره برای محاسبه شدت شکستگی‌ها.



شکل ۸: نقشه‌ی هم شدت شکستگی‌ها در مناطق A و B در محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر

ب- بررسی های صحرایی

آنچه که متأسفانه در مشاهدات صحرایی این مجموعه معدنی سنگ ساختمانی دیده می‌شد باطله‌های فراوان و جبهه کارهای غیر فعال است.

گسل‌ها

براساس مشاهدات صحرایی در ایستگاه‌های ۱ و ۳ (شکل ۹) ساختار گسل مشاهده شد (شکل ۱۲). وضعیت گسل‌ها در دو ایستگاه ۱ و ۳:

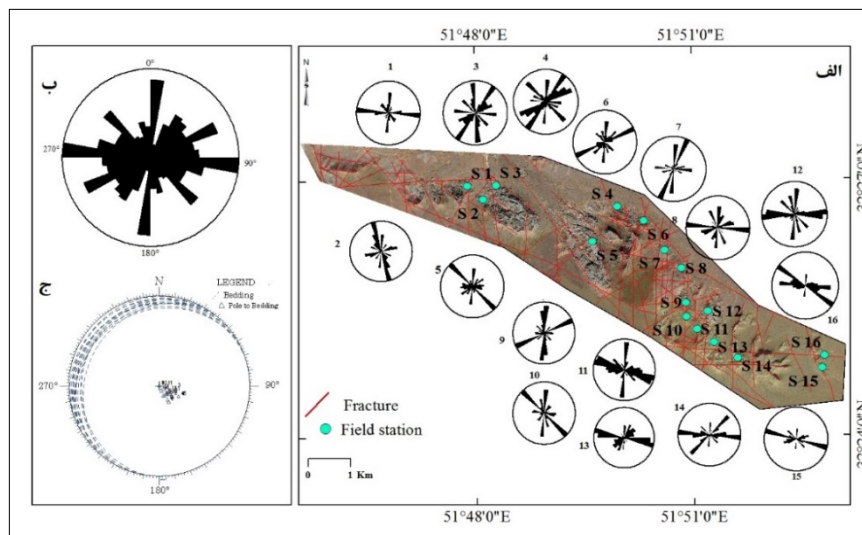
ایستگاه ۱- گسل با مشخصات 04085000 با ریک خش‌لغز 40° ، ساز و کار گسل امتدادلغز چپ بر با مؤلفه‌ی نرمال و $31/30$ ، $50/214$ ، $23/94$ می‌باشد (شکل ۱۲-الف).

ایستگاه ۳- گسل با مشخصات 07080000 با ریک خش‌لغز 16° ، ساز و کار گسل امتدادلغز چپ بر با مؤلفه معکوس و $18/31$ ، $71/224$ ، $4/122$ می‌باشد (شکل ۱۲-ب).

به منظور تأیید داده‌ها و برداشت های شکستگی‌ها بر اساس روش دورسنجی، در محدوده‌ی مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر در ۱۶ ایستگاه به بررسی ساختارهای درزه، گسل و لایه‌بندی پرداخته شده است و نمودار گل- سرخی شکستگی‌ها و استریوگرام گسل‌ها رسم گردید (شکل ۹-الف). در بررسی‌های صحرایی در تعدادی از ایستگاه‌ها ساختاری استیلولیت مشهود است.

درزه‌ها و لایه‌بندی

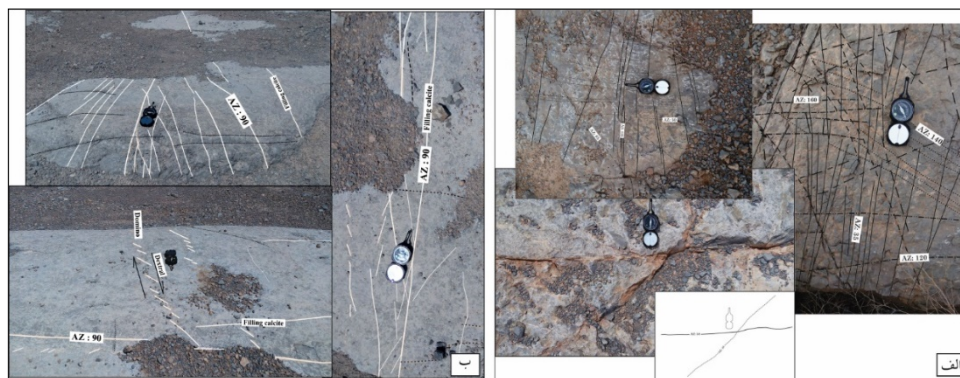
جهت‌گیری کلی شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه طبق نمودار گل-سرخ‌ی دارای امتدادهای شرقی- غربی، شمالی- جنوبی، 130° تا 140° درجه و 50° تا 60° می‌باشد (شکل ۹-ب) و شیب لایه‌بندی $15-25^{\circ}$ درجه به سمت شمال تا شمال غربی است (شکل ۹-ج). در شکل ۱۰ و ۱۱ نمایی از تعدادی از ایستگاه‌های برداشت راستاهای شکستگی‌های در برداشت‌های صحرایی را نشان می‌دهد.



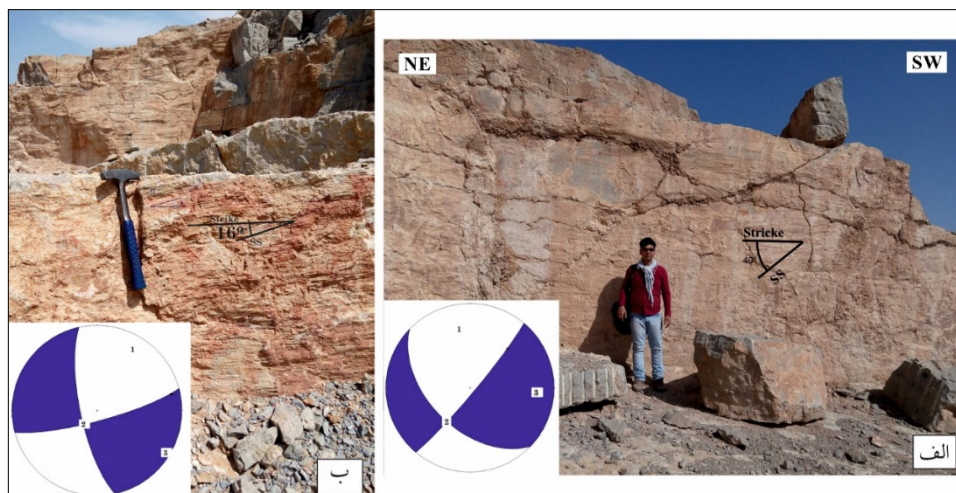
شکل ۹: الف- موقعیت ایستگاه‌ها در برداشت‌های صحرایی، نمودار گل-سرخ‌ی شکستگی‌ها، شکستگی‌های مشخص شده براساس بررسی دورسنجی در محدوده مطالعاتی I بر روی تصاویر ماهواره‌ای SAS Planet ب- استریوگرام لایه‌بندی در برداشت‌های صحرایی ج- نمودار گل-سرخ‌ی از مجموع شکستگی‌های برداشت شده در عملیات صحرایی.



شکل ۱۰: نمایی از ایستگاه‌ها در برداشت شکستگی‌ها با راستای غالب در بررسی صحرایی در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر الف- ایستگاه ۱ شکستگی‌های با امتداد ۹۰ درجه ب- ایستگاه ۴ شکستگی‌های با امتدادهای شمال شرقی- جنوب غربی، شمال غربی- جنوب شرقی ج- ایستگاه ۹ شکستگی‌هایی با امتداد شمالی- جنوبی و شرقی- غربی د- ایستگاه ۱۶ شکستگی‌ها با امتداد شرقی- غربی و ۱۳۰ درجه.



شکل ۱۱: نمایی نزدیک از شکستگی‌های برداشت شده در بررسی‌های صحرایی الف- ایستگاه ۴ ب- ایستگاه ۱۲



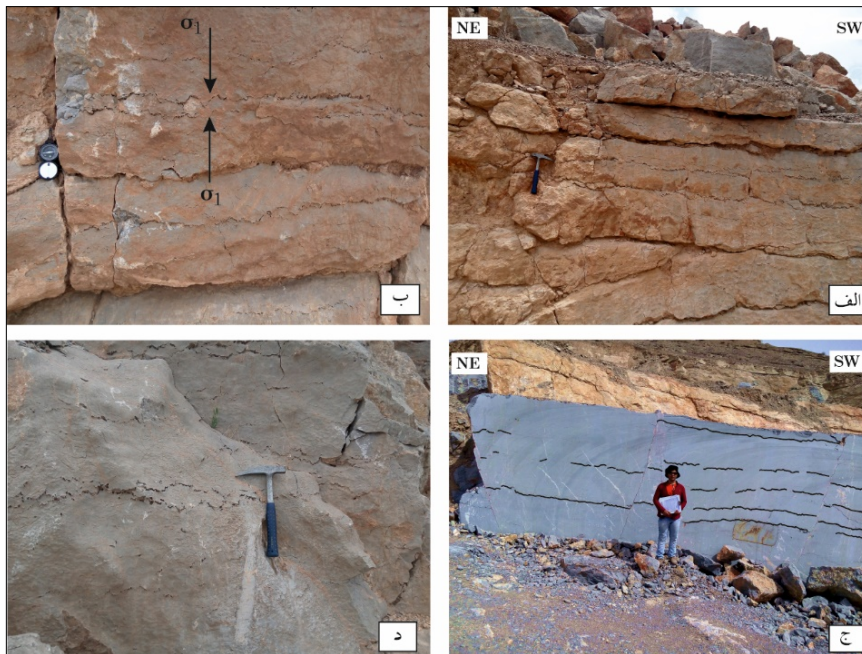
شکل ۱۲. نمایی از گسل‌های برداشت شده در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر الف- ایستگاه ۱- گسل با مشخصات 040.85° با ریک خش لغز 40° ، ساز و کار گسل امتدادلغز چپ بر با مؤلفه‌ی شمال ب- ایستگاه ۳- گسل با مشخصات 070.80° با ریک خش لغز 16° ، ساز و کار گسل امتدادلغز چپ بر با مؤلفه

زیگزاگ، دو قطعه سنگ در هم فرو رفته و یا در هم قفل شده‌اند (Bathurst, 1991; Buxton and sibly, 1981; Larbi, 2003; Railsback, 1998). فرآیند استیلولیتی شدن در ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی سنگ بسیار مؤثر است (ارزانی، ۱۳۸۰؛ Larbi, 2003).

یکی از ساختارهایی که در سنگ‌های مجموعه‌ی معدنی سنگ ساختمانی لاشتر وجود دارد، ساختار استیلولیت است. که استیلولیت‌های موجود موازی با لایه بندی هستند. وجود ساختار استیلولیت در ایستگاه‌های ۶، ۱۰ و ۱۵ بسیار مشهود است (شکل ۱۳).

استیلولیت‌ها

استیلولیت‌ها سطوح انحلالی مرتبط با تنش انقباضی یا برشی و نشان‌دهنده‌ی کاهش حجم هستند و به صورت موازی یا تقریباً موازی با سطح لایه‌بندی با دهن (تنش فشاری) رسوبات شکل می‌گیرند (McClay, 2013). استیلولیت‌های تکتونیک با زاویه زیاد نسبت به لایه‌بندی و با چین خوردگی شکل می‌گیرند (Ameen et al, 2010; McClay, 2013). استیلولیت‌ها معمولاً در سنگ‌های آهکی، دولومیتی و ماسه‌سنگ‌ها بوجود می‌آید. این الگو سطحی نامنظم و معمولاً منقطع دارد که سنگ را بریده و سطح شکل مضرسی و زیگزاگی است و امتداد این سطوح

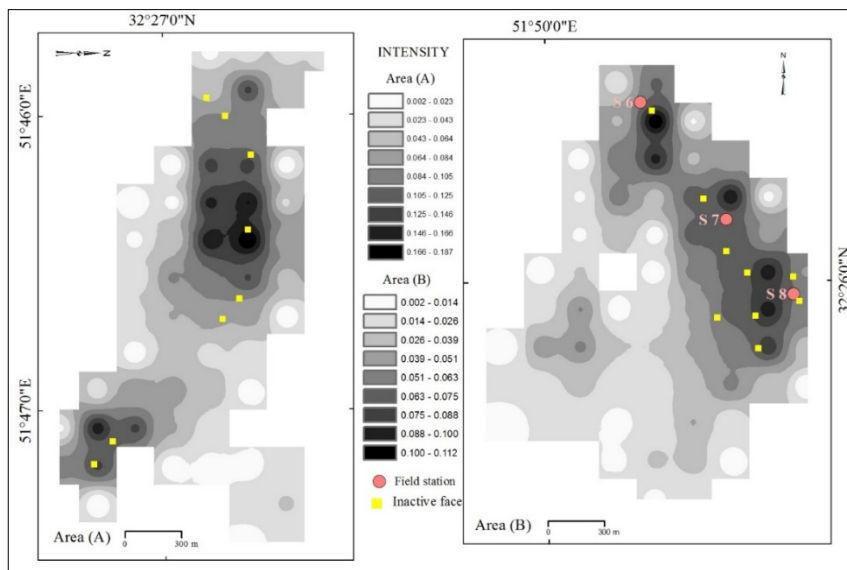


شکل ۱۳. نمایی از استیلولیت‌های موازی با لایه‌بندی در مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر الف، ب- ایستگاه ۶ و اعمال تنش σ_1 عمود بر سطح استیلولیت ج- ایستگاه ۱۰ د- ایستگاه ۱۵

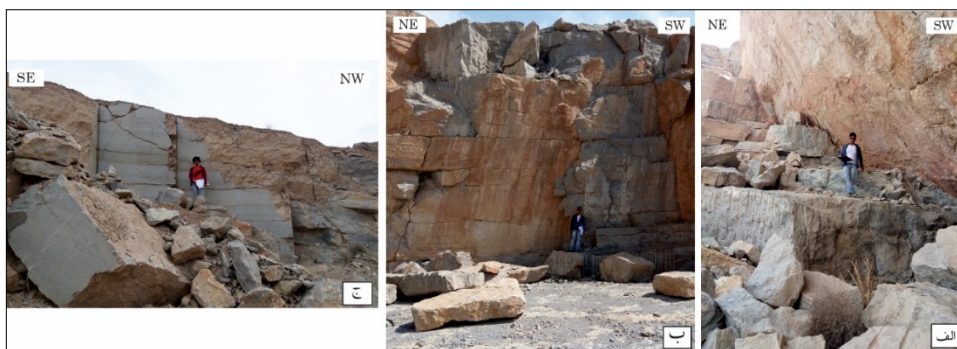
بررسی پارامترهای مختلف سنگ، نقشه شدت شکستگی‌ها جهت مکان یابی بهتر جبهه کار نیز تهیه شود تا در معادن سنگ ساختمانی، یازدهی اقتصادی صورت بگیرد. شکل ۱۵ نمایی از ایستگاه‌های S6، S7، S8 در بررسی‌های صحرایی بصورت جبهه کارهای غیرفعال و متروکه هستند.

بحث

با پیاده کردن موقعیت جبهه کارها بر نقشه شدت شکستگی‌های تهیه شده، جبهه کارهای غیرفعال و متروکه مجموعه معدنی لاشتر در محدوده‌هایی با شدت شکستگی بالا قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴) لذا می‌بایست در اکتشاف علاوه بر نوع لیتولوژی و قبل از استخراج سنگ ساختمانی و



شکل ۱۴: نقشه‌ی هم شدت شکستگی‌ها در مناطق A و B در محدوده مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشتر و موقعیت سه ایستگاه (S6, S7, S8) در برداشت‌های صحرایی و موقعیت جبهه کارهای غیر فعال براساس بررسی‌های دورسنجی و گزارش معدنی



شکل ۱۵: جبهه کارهای غیر فعال در بررسی‌های صحرایی و برداشت شکستگی‌ها و وجود باطله‌های فراوان
الف- ایستگاه ۶ ب- ایستگاه ۷ ج- ایستگاه ۸

- ۶- دسته از گسل‌ها در شعاع ۱۰۰ کیلومتری از شهر اصفهان به صورت زیر است (صفایی، ۱۳۸۴):
- ۳- گسل‌هایی با راستای شرقی-غربی: با عملکرد فشارشی و چپ بر.
- ۱- گسل‌هایی با راستای ۱۳۰-۱۴۰ درجه: عملکرد به صورت فشارشی و راست بر.
- ۲- گسل‌هایی با راستای شمالی-جنوبی: با عملکرد راست بر و کششی یا راست بر و فشارشی.
- ۴- گسل‌هایی با راستای ۶۰-۷۰ درجه: عملکرد به دو صورت چپ بر و فشارشی یا چپ بر و کششی.
- ۵- گسل‌هایی با راستای ۲۵ الی ۴۵ درجه: عملکرد گسل‌ها بصورت چپ بر و کششی.

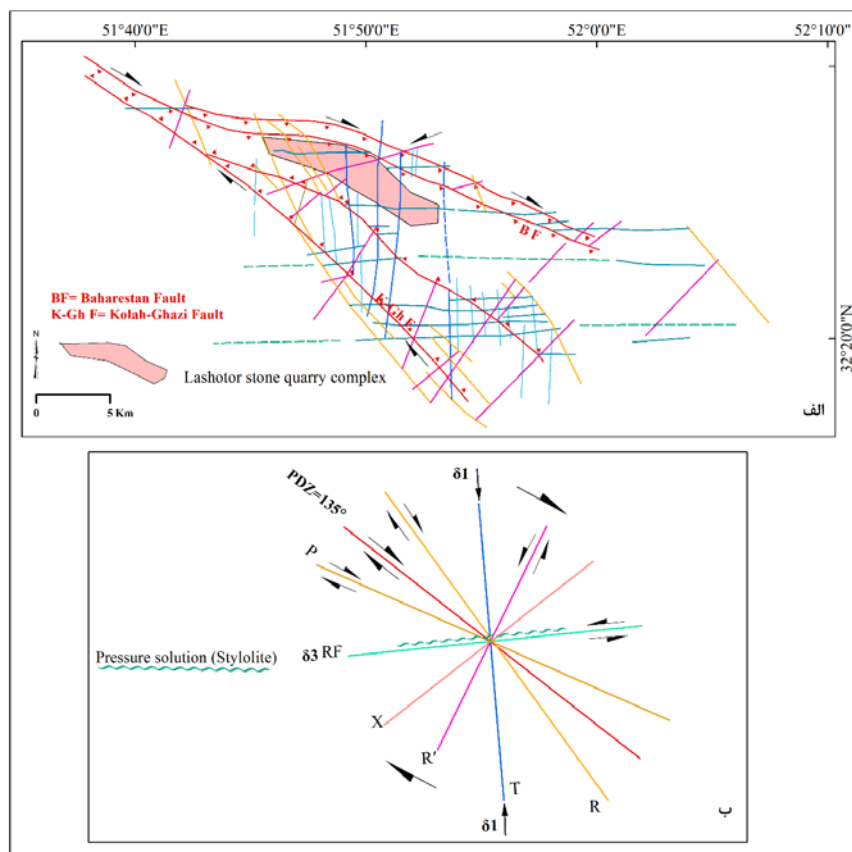


بر با مؤلفه‌ی نرمال (شکل ۱۲-الف) و گسل با مشخصات $070,80^{\circ}SE$ با عملکرد امتداد لغز چپ بر با مؤلفه معکوس (شکل ۱۲-ب) به ترتیب با مؤلفه‌های R' و X تقریباً همخوانی دارد. براساس نتایج حاصل از نمودار گل سرخی شکستگی‌ها (شکل ۴-د، شکل ۴-ه، ۵-ب، ۹-ب) از منطقه مورد مطالعه مؤثرترین امتدادها شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و امتدادهایی با بازه وسیع ولی با اهمیت پائین تر از امتداد شمال-غربی - جنوب شرقی در مدل ریدل از لحاظ امتدادی به ترتیب با مؤلفه‌های T (موازی با 15°)، موازی با 3σ و PDZ همخوان هستند.

۶- گسل‌هایی با راستای 150° درجه: با عملکرد فشارشی و راست بر یا کششی و راست بر.

در محدوده‌ی مورد مطالعه، گسل‌های با امتداد شمال-غربی - جنوب شرقی با مؤلفه چپ بر هستند (Nadimi and Konon, 2012).

گسل کلاه قاضی (شکل ۱۶-الف) با امتداد 135° درجه و عملکرد معکوس با مؤلفه امتداد لغز راست بر، بر اساس مدل ریدل برای منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۶-ب)، گسل با مشخصات $040,80^{\circ}SE$ با عملکرد امتداد لغز چپ



شکل ۱۶. الف- نقشه‌ی ساده شده از گسل‌های شناسایی شده از منطقه مورد مطالعه و گسل بهارستان و کلاه قاضی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی و عملکرد معکوس با مؤلفه‌ی امتداد لغز راست بر، ب- مدل ریدل از منطقه مورد مطالعه



نتیجه گیری

شناسایی شده در بررسی‌های صحرایی و امتداد غالب شکستگی‌ها با مدل ریدل رسم شده همخوانی دارد.

۴- موقعیت تمامی جبهه کارها براساس بررسی‌های صحرایی و دور سنجی در دو منطقه A و B نقشه شدت شکستگی‌های بدست آمده، پیاده شده است که تمامی جبهه کارهای موجود غیرفعال و متروکه هستند و با توجه به نقشه شدت شکستگی‌ها، این جبهه کارها دقیقاً در محدوده-هایی با شدت شکستگی بالا قرار گرفتند لذا می‌بایست در اکتشاف و تعیین موقعیت جبهه کارها علاوه بر نوع لیتولوژی و مشخصات مختلف بلوک‌های سنگی قبل از استخراج به بررسی شدت شکستگی‌ها نیز پرداخته شود و می‌بایست موقعیت مناسب جبهه کارها در جایی که شدت شکستگی کمتر است، انتخاب شود.

سپاس‌گزاری

از تمامی افرادی که برای به ثمر رسیدن این پژوهش کمک ارزنده داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی می‌شود و همچنین نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از سردبیر، داوران محترم و هیات تحریریه فصلنامه زمین ساخت که با ارائه راهنمایی‌های علمی ارزنده‌شان منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر شده‌اند، نیز سپاس‌گزاری می‌شود.

۱- طبق نمودار گل سرخی شکستگی‌های حاصل از مطالعات دورسنجی از محدوده‌ی مورد مطالعه A، امتداد اصلی شکستگی‌ها شمالی-جنوبی و برای شکستگی‌های با طول بیشتر از ۲ کیلومتر امتداد اصلی شکستگی‌ها شمالی-جنوبی و شرقی-غربی است و نمودار گل سرخی شکستگی‌ها در محدوده مطالعاتی II (مجموعه معدنی سنگ ساختمانی لاشر) امتدادهای شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و بازه وسیعی از امتدادهای شمال غربی - جنوب شرقی است. که براساس پژوهش‌های پیشین، وجود گسل‌های با روند شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در خارج از محدوده مطالعاتی باعث شکستگی‌هایی با روندهای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در محدوده مطالعاتی شده است و بازه وسیع از شکستگی‌ها که امتداد با اولویت کم‌تر حاصل از روند گسل کلاه قاضی و بهارستان در محدوده مطالعاتی است.

۲- طبق هیستوگرام فراوانی طول شکستگی‌های حاصل از بررسی‌های دورسنجی، الگوی نمایی منفی بهترین خط انطباق با داده‌ها است، بطوری که مقدار مربوط به این خط با همبستگی ۹۳/۷٪ است، این مقدار بیانگر این است که با افزایش طول شکستگی‌ها بطور لگاریتمی کاسته می‌شود که این توزیع نماینگر بلوغ ساختاری و حد نهایی توسعه شکستگی‌های ساختاری را در محدوده‌ی مورد مطالعه است.

۳- براساس نمودار گل سرخی حاصل از برداشت‌های صحرایی با امتدادهای اصلی شمالی-جنوبی و شرقی-غربی نمودار گل سرخی مطالعات دورسنجی را تأیید می‌کند.

۵- براساس گسل کلاه قاضی با روند ۱۳۵ درجه و عملکرد معکوس با مؤلفه‌ی امتداد لغز راست بر، دو گسل



منابع

- امینی، الف.، خوشرو، ح.، ۱۳۹۶. تحمین حجم بلوک‌های برجای سنگ با استفاده از فاصله‌داری درزه‌ها در معدن تراورتن آذرشهر، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، دوره ۱۲، صفحه ۱۳-۲۴.
- اورعی، ک.، سیدی، م.، حقیقت، ل.، ۱۳۸۳، کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- آقاناتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ صفحه.
- تاجمیری‌ریاحی، ز.، ۱۳۹۲، بررسی سائزموکتونیک و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه- اصفهان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، ۲۵۸ صفحه.
- جیرسرائی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تأثیر پارامترهای هندسی شکستگی‌ها در مرحله اکتشاف ذخایر سنگ‌های ساختمانی و نما، جهت کاهش ضایعات و بهینه نمودن بلوک‌های استخراج شده پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن، ۷۵ صفحه.
- حاجی، ع.، رحیمی، ع.، ۱۳۸۹. مطالعه الگوهای آماری فرکتالی سیستم‌های شکستگی منطقه تکنار، ایران مرکزی بر روی نقشه رسم شده از روش‌های دورسنجی، مجله علوم دانشگاه اصفهان، شماره ۱، صفحات ۱۲۶-۱۲۹.
- خادمی، ف.، پیرخراطی، ح.، شاه کرمی، س.، ۱۳۹۳، مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GIS و RS، مجله علوم زمین، شماره ۹۴، صفحه ۹۳-۹۸.
- دارستانی، ر.، کوهی اصفهانی، و.، ۱۳۹۰. مطالعات درزه‌نگاری و بررسی ژئومکانیکی در طراحی و استخراج معادن سنگ ساختمانی، مطالعه موردی: معدن مرمریت برد شیراز، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، شماره ۱.
- داودی آبادی فراهانی، م.، امینی، ه.، ۱۳۹۲، استفاده از تکنیک- های دورسنجی در استخراج شکستگی‌ها در مقیاس‌های منطقه‌ای و ناحیه‌ای به منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد لرزه‌خیزی در مطالعات اولیه ژئوتکنیکی، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، ۶ صفحه.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، تهران.
- زاهدی، م.، ۱۳۵۵. نقشه زمین‌شناسی شهرضا مقیاس ۱/۱۰۰،۰۰۰، شماره ۶۳۵۴، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- شفیعی، ش.، عبادی، م.، ترکاشوند، م.، ۱۳۹۱. تحلیل ناپوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی و اهمیت آن در بهینه- سازی استخراج (مطالعه موردی سنگ ساختمانی سعیدی، کرمان)، مجله علمی علوم زمین، شماره ۸۴، صفحات ۹۸-۸۹.
- شیخ الاسلامی، م.ر.، ۱۳۹۳، واحدهای زمین‌ساخت- چینه‌نگاری بخش جنوب خاوری پهنه خاوری سسندج- سیرجان، مجله علوم زمین، شماره ۹۵، صفحه ۲۴۳-۲۵۲.
- صابری، ع.، رنگرن، ک.، مهجوری، ر.، کشاورزی، م.ر.، ۱۳۹۲، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تاقدیس کمستان استان خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ۱۰ صفحه.
- صفایی، ه.، ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی شناسایی و بررسی توان لرزه‌ای گسل‌های اطراف اصفهان، دانشگاه اصفهان، ۱۱۶ صفحه.
- نوروزی، الف.، امیری، ع.ر.، ۱۳۹۰، بهینه‌سازی استراتژی استخراج معدن سنگ‌تزیینی بر مبنای پارامترهای زمین‌شناسی، همایش علوم زمین، ۱۲ صفحه.



- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54, pp. 1585–1592.
- Buxton, T.M. & Sibley, D.F., 1981. Pressure solution features in a shallow Burled limestone, journal of sedimentary research 51.
- Chung, C.F., Jeerson, C.W. and Singer, D.A., 1992. A quantitative link among mineral deposit modeling, geoscience mapping, and exploration-resource assessment, *Economic Geology* 87, 194–197.
- Davy, PH., Sornette, A. and Sornette, D., 1990. Some consequences of a proposed fractal nature of continental faulting: *Nature* 348: 56–58.
- Falcon, N. 1969. Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros range. In: Kent, P.E., Satterthwaite,
- E. & Spencer, A.M. (eds) *Time and Place in Orogeny*. Geological Society, London, Special Publications, 3, 9–21.
- Ekneligoda, T.C., Henkel, H., 2006. The spacing calculator software A visual basic program to calculate spatial properties of lineaments, *Computers & geosciences* 32, 542-553.
- Hashim, M., Ahmad, S., Md Johari, M. A. and Beiravand Pour, A., 2013. Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: *Advances in Space Research* 51: 874–890.
- Larbi, J., 2003. Effect of stylolites on the durability of building stones: two case studies, *Heron-English edition-* 48, 231-247.
- Marghany, M. and Hashim, M., 2010. Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data: *International Journal of the Physical Sciences* 5 (10):1501-1507.
- Masoud, A.A., Koike, K., 2011. Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 66, 818-832.
- McClay, K.R., 2013. *The mapping of geological structures*, John Wiley & Sons.
- وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۴، صنعت معدن و تجارت به روایت آمار و اطلاعات گزارش شماره ۱۲ (عملکرد ۱۳۹۳)، دفتر آمار و فراوری داده‌ها.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶، زمین شناسی اقتصادی ذخائر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آراین‌زمین، تهران، ۴۶۵ صفحه.
- یاراحمدی، ر.، باقرپور، ر.، طاهریان، ق.، الیویرا سوزا، ل.م.، ۱۳۹۶. ارائه روشی برای افزایش بهره‌وری معادن سنگ ساختمانی جهت تبدیل به جای‌گزین‌های مناسب برای نفت، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره پیشگامان پیشرفت، ۱۶ صفحه.
- Agterberg, F.P., 1989. Computer programs for mineral exploration, *Science* 245, 76–81.
- Alipour, R., 2009. Structural analysis and Structural and seismotectonic analysis of the main recent fault zone and its effect on the Rudbar Lorestan dam site. MSc Thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran.
- Alipour, R., Sadr, A.H. & Amini, P., 2017. The analysis of the dynamics tectonic the Morvarid fault at main recent Fault using remote sensing data and fractal analysis. *Journal of New Finding in Applied Geology* 11 (20), 125-138.
- Ameen, M.S., Buhidma, I.M. & Rahim, Z., 2010. The function of fractures and in-situ stresses in the Khuff reservoir performance, onshore fields, Saudi Arabia, *AAPG bulletin* 94, 27-60.
- Aronoff, S., 1989. *Geographic Information System: A Management Perspective*; WDL publication: Ottawa, Canada,; p. 200.
- Bathurst, R.G., 1991. Pressure-dissolution and limestone bedding: the influence of stratified cementation, cycles and events in stratigraphy, 450-463.
- Berberian, M. 1995. Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241,193–224.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P. and Wright, D.F., 1988. "Integration of geological data sets for gold exploration in Nova Scotia",



- Volland, S. and Kruhl, J. H., 2004. Anisotropy quantification: the application of fractal geometry methods on tectonic fracture patterns of a Hercynian fault zone in NW-Sardinia: *Journal of Structural Geology* 26: 1489-1500.
- Watkins, H., Bond, C.E., Healy, D., Butler, R.W., 2015. Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop, *Journal of structural geology* 72, 67-82.
- www.sasgis.org
- Xypolias, P., Koukouvelas, I., 2004. Fault trace parameters as a tool for analysing remotely sensed fault arrays: an example from the eastern Gulf of Corinth, Greece, *International journal of remote sensing* 25, 4685-4694.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S. G., Sousa, L. M., 2018. Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. *Engineering Geology* 232, 22-33.
- Yousefi, H., Ehara and S., Noorollahi, Y., 2007. Geothermal potential site selection using GIS in Iran, *Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California.
- Zhang, X. and Sanderson, D. J., 1998. Numerical study of critical behaviour of deformation and permeability of fractured rock masses: *Marine and Petroleum Geology* 15: 535-548.
- Mohajjel. M., Fergusson, C.L., and Sahand, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 397-412.
- Nadimi, A., Konon, A., 2012. Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros orogen, Iran, *Journal of structural geology* 40, 2-16.
- Railsback, L.B., 1998. Evaluation of spacing of stylolites and its implications for self-organization of pressure dissolution, *Journal of Sedimentary Research* 68.
- Safaei, H., 2009. The continuation of the Kazerun fault system across the Sanandaj-Sirjan zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 35, pp. 391-400.
- Seung-Ik, P., Young-Seog, K., Chung-Ryul, R. and Sanderson, D. J., 2010. Fractal analysis of the evolution of a fracture network in a granite outcrop, SE Korea: *Geosciences Journal* 14(2): 201-215.
- Shupe, S. M. and Akhavi, M. S., 1989. Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada: *Geocarto International*, 4-3, p. 49-54.
- Solomon, S. and Ghebreab, G., 2006. Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea: *Journal of African Earth Sciences* 46: 371-378.
- Tercan, A.E., Ozcelik, Y., 2000. Geostatistical evaluation of dimension stone quarries. *Engineering geology* 58, p. 55-33.
- Tibaldi, A. and Ferrari, L., 1991. Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian Andes: *International Journal of Remote Sensing* 12: 2343-2358.
- Tillman, J.E., Poosti, A., Rossello, S., Eckert, A., 1981. Structural evolution of Sanandaj-Sirjan ranges near Isfahan, Iran. *AAPG Bulletin* 65, pp. 674-687.