

# مطالعات ساختاری شکستگی ها و چینه نگاری مکانیکی رسوبات کرتاسه ناحیه اصفهان

## Structural studies of fractures and Mechanical stratigraphy of Cretaceous sediments, In the Isfahan region

علی فرضی پور صائین<sup>۱\*</sup>، زهرا تاجمیر ریاحی<sup>۲</sup>، همایون صفایی<sup>۳</sup> و سهیلا بیگی<sup>۴</sup>

\*<sup>۱</sup> استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان  
(Asaein@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان  
(t.j.sedratolmontaha@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان  
(homayon.safaei@gmail.com)

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان  
(beygi-soheyla@yahoo.com)

\*نویسنده مسئول: اصفهان- دانشگاه اصفهان- دانشکده علوم- گروه زمین شناسی- کدپستی ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱- فاکس: ۰۳۱۳۷۹۳۲۱۵۳- تلفن: ۰۹۱۰۲۱۰۸۵۷۱

Ali Farzipour saein<sup>1\*</sup>, Zahra Tajmir riah<sup>2</sup>, Homayon Safaei<sup>3</sup> & Soheyla Beygi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, University of Isfahan  
(Asaein@gmail.com)

<sup>2</sup> MS.c student of Tectonics, Department of Geology, University of Isfahan  
(t.j.sedratolmontaha@gmail.com)

<sup>3</sup> Associated Professor, University of Isfahan  
(homayon.safaei@gmail.com)

<sup>4</sup> M.Sc. Student of Tectonics, Department of Geology, University of Isfahan  
(beygi-soheyla@yahoo.com)

\*Corresponding author: Isfahan- University of Isfahan- Faculty of Science- Department of Geology-  
P.O. Box: 81746-73441- Fax: +98 31 37932153- Tel: +98 9102108571

### چکیده

تغییرات نسبی در سطح آب دریا و رخساره های رسوبی به طور قابل توجهی بر لیتولوژی، ضخامت، تخلخل، دیزلز و سطوح محدود کننده ی لایه های رسوبی، که همه آن ها از فاکتورهای کنترل کننده ی الگوی شکستگی ها می باشند تاثیر می گذارد. در این بررسی ارتباط بین تراکم و فاصله داری شکستگی ها با پارامترهایی همچون جنس و ضخامت واحدهای رسوبی کرتاسه در دو منطقه دیزلو و کلاه قاضی اصفهان مورد بررسی قرار گرفته شده است. شناسایی سیستم های شکستگی با استفاده از تصاویر ماهواره ای، تلفیق مطالعات چینه شناسی با تحلیل هندسی و مکانیکی درزه ها به روش خطی (از طریق برداشت داده های صحرایی و مطالعه تصاویر تهیه شده از منطقه) و تحلیل های آماری شکستگی ها از مهمترین مواردی است که در این پژوهش به آن ها پرداخته شده است. براساس این مطالعه مشخص گردید که مناطق دیزلو و کلاه قاضی به ترتیب دارای پنج و شش دسته شکستگی می باشند و تغییر در فاصله و تراکم شکستگی ها با ضخامت لایه های رسوبی و نوع لیتولوژی در ارتباط می باشد. با مطالعات چینه نگاری مکانیکی و بررسی ویژگی های شکستگی در سنگ های رسوبی مختلف، می توان به فهم پیشگویانه ای از الگوی شکستگی ها در واحدهای رسوبی مختلف دست یافت و در پی آن اطلاعات و دانش خود را پیرامون ذخیره سازی و نحوه جریان یافتن سیالات در داخل سنگ های رسوبی مناطق مختلف بهبود بخشید.

**کلید واژه ها:** چینه نگاری مکانیکی، رسوبات کرتاسه، اصفهان، سیستم شکستگی، تراکم و فاصله داری شکستگی ها.

## Abstract

Relative changes in sea level and sedimentary facies are affected on lithology, thickness, porosity, diagenesis and ending surface of the sediments layers significantly, that all of them are controller factors in the fracture patterns. In this research, the relation between the fractures density and spacing with parameters such as the lithology and thickness of the Cretaceous sedimentary units in two regions of Dizlu and Kolah Ghazi of Isfahan, have been studied. Identification fracture systems using satellite images, combination of the stratigraphic studies with mechanical and geometrical analysis of the joints through the linear method (using the field data perception and provided images of the study area) and statistical analysis of the fractures are the most important issues that to them has been done and discussed in this study. The results show, respectively, Dizlu and Kolah Ghazi area have five and six fracture sets and the change in spacing or density of the fractures can be affected by, thickness of sedimentary layers and type of lithology. The mechanical stratigraphy study and evaluation of the fracture properties in different sedimentary rocks, can be achieved to predictive the fracture patterns within different sedimentary units. Consequently, the knowledge and information about the storage and flow of the fluids within the sedimentary rocks in different regions improved.

**Keywords:** Mechanical stratigraphy, Cretaceous sediments, Isfahan, Fracture system, Fractures density and spacing.

## مقدمه

چینه نگاری مکانیکی برای متمایز ساختن انواع فاصله داری و تراکم درزه ها در لایه های گوناگون با توجه به تغییرات کوچک و ظریف در خصوصیات سنگ شناسی و پتروفیزیکی سنگ به کار می رود (Nelson, 1985; Nelson, 2001; Gross, 2003; Shackleton et al., 2005; Laubach et al., 2009). همچنین چینه نگاری مکانیکی به عنوان لایه هایی با تراکم مختلف شکستگی در حالتی که الگوی گسیختگی و شکسته شدن آن ها همانند است، تعریف شده است (Corbett et al., 1987). مطالعات متعددی همچون (Huang & Angelier (1989); Gross (1993); Underwood (1999); Cooke (2003); Underwood et al. (2003); Ortega et al. (2006) & Underwood (2001) به ارتباط میان تراکم درزه ها با جنس و ضخامت لایه های رسوبی اشاره می کند زیرا در طبیعت گسترش درزه ها معمولاً در افق های خاصی به نام سطوح مکانیکی پایان می پذیرد که ارتباط ویژه ای با سطوح چینه ای دارند. سطوح چینه ای در واقع سطوحی هستند که واحدهای رسوبی به آن محدود می شوند و سطوح مکانیکی به سطوحی گفته شده که در طول آن گسترش یک الگوی ساختاری خاص مانند یک دسته درزه مشخص پایان می یابد و پس از آن الگوی درزه ای در واحد بعدی تغییر می کند. از این رو، یک واحد مکانیکی<sup>۳۲</sup> شامل یک لایه رسوبی منفرد و یا چندین لایه رسوبی است که توسط سطوح مکانیکی در بالا و پایین محصور شده است (Gross et al., 1995).

اکثریت شکستگی ها در مرز واحدهای رسوبی پیش رونده و پس رونده و یا سطوح سیلابی ماکزیمم که نیمه چرخه پیش رونده و پس رونده<sup>۳۳</sup> را از هم جدا می کند خاتمه می یابند، چرا که تغییرات رخساره ها می توانند عاملی برای لغزش لایه ها باشند (Al Kharusi, 2009). همچنین (Underwood et al. (2003) با اثبات اینکه چگونه افق های مارنی و حاوی مواد آلی در سطوح محدود کننده لایه به عنوان مرزهای مکانیکی برای انتشار شکستگی ها عمل می کنند تاثیر چینه شناسی را بر الگوهای شکستگی ها نشان دادند.

Gross (1993) یک لایه مکانیکی را به عنوان یک واحد سنگی که در پاسخ به تنش اعمال شده، رفتاری همگن دارد، تعریف کرده است. لایه مکانیکی ممکن است شامل یک یا چند لایه رسوبی باشد. ضخامت لایه مکانیکی، ضخامت

<sup>1</sup> Mechanical Units (M.U)

<sup>2</sup> Transgressive & Regressive Hemicycle

یک واحد مکانیکی است که به گونه ای متفاوت نسبت به بخش زیر و یا بالای آن تغییر شکل یافته است. بنابراین ضخامت لایه مکانیکی ممکن است از ۲ میلی متر تا چندین متر متغیر باشد. ضخامت لایه های مکانیکی از عوامل مهم کنترل کننده وضعیت شکستگی ها می باشد (Gross, 1995; Gross et al., 1995; Wu & Pollard, 1995; Price, 1996; Ji & Saruwatari, 1998; Ji et al., 1998; Shaocheng et al., 1998). مکانیکی باید در نظر داشت این است که ضخامت همیشه به صورت جانبی پیوسته نیست.

این تنوع جانبی بر طول و فاصله شکستگی تاثیرگذار است. لازم به ذکر است، اگر چه در شرایط استرس های تکتونیکی بالا و شدید، مهمترین عامل در توزیع و وضعیت شکستگی ها ساختارها و نیروی های تکتونیکی خواهند بود، ولی لیتولوژی و دیاژنز نیز از عوامل اصلی کنترل کننده رفتار شکستگی ها می باشد (Lorenz et al., 1997; Fabbri et al., 2001; Laubach, 2003; Gale et al., 2004; Laubach et al., 2009; Olson et al., 2009; Laubach et al., 2010; Barbier et al., 2012; Ellis et al., 2012). به عنوان مثال سنگ های دولومیتی سخت تر از آهک بوده و توزیع شکستگی ها در آن ها نسبت به آهک متفاوت می باشد (Yale & Jamieson, 1994). همچنین اندازه دانه و توزیع آن نیز بر مقاومت و شروع شکستگی سنگ تاثیر گذار است (Hugman & Friedman, 1979; Hatzor & Palchik, 1997; Nelson, 2001). مطالعه واحدهای مکانیکی سنگ های رسوبی با اندازه گیری فاصله و تراکم شکستگی ها در واحدهای رسوبی که در طی افت یا بالا آمدن سطح نسبی آب دریا تشکیل شده اند (واحدهای ژنتیکی<sup>۳</sup>)، با توجه به خواص ذاتی (سنگ شناسی یا تخلخل) و خواص بیرونی سنگ (ضخامت لایه، لامیناسیون و چینه بندی متقاطع) صورت می گیرد (Al Kharusi, 2009). مطالعات (Huang & Angelier (1989); Gross et al. (1995); Wu & Pollard (1995); Narr & Suppe (1991); Price (1996) نشان داده است که به طور کلی یک رابطه خطی بین فاصله درزه ها و ضخامت لایه ها وجود دارد. در حالی که مطالعات دیگری مانند (Yale & Jamieson (1994); Lorenz et al. (1997); Hatzor & Palchik (1997) فاصله شکستگی ها را بر اساس ویژگی داخلی سنگ مانند تخلخل، مدول الاستیک و مقاومت کششی می دانند. باید در نظر داشت که توزیع شکستگی ها و فاصله داری بین آن ها تنها تحت تاثیر یک عامل نبوده و باید در مطالعات مجموعه ای از این پارامترها را مورد بررسی قرار دهیم.

مطالعه درزه ها به لحاظ کاربردی به ویژه در بررسی های مخازن طبیعی آب های زیرزمینی، مخازن هیدروکربوری، مطالعات سد، اکتشاف و استخراج معادن سنگ تزئینی بسیار حائز اهمیت می باشد. از طرفی روش های مطالعه الگوی پراکندگی و هندسی درزه ها در عمق بسیار پرهزینه و بعضا ناممکن می باشد. لذا با درک درستی از ارتباط بین هندسه و الگوی درزه ها و خصوصیات رخنمون واحدهای مختلف سنگی در سطح زمین (انجام چینه نگاری مکانیکی بر اساس مطالعه الگو و هندسه درزه ها) می توان این اطلاعات را به عمق نیز تعمیم داد و درک روشنی از وضعیت درزه ها در عمق بدست آورد (Nelson, 2001; Di Naccio et al., 2005; Morettini et al., 2005; Adams, 2006; Wennberg et al., 2006; Olson et al., 2009; Zahm and Hennings, 2009; Barbier et al., 2012). بر این اساس اهدافی که در این مطالعه دنبال خواهند شد، شامل موارد زیر می باشد:

- ۱- شناسایی و ترسیم شکستگی های موجود در منطقه و دسته بندی آن ها
- ۲- یافتن رابطه ای منطقی میان الگوی هندسی و پراکندگی درزه ها با تغییرات ضخامت، لیتولوژی و رخساره واحدهای سنگی مختلف می باشد.

<sup>3</sup> Genetic Units

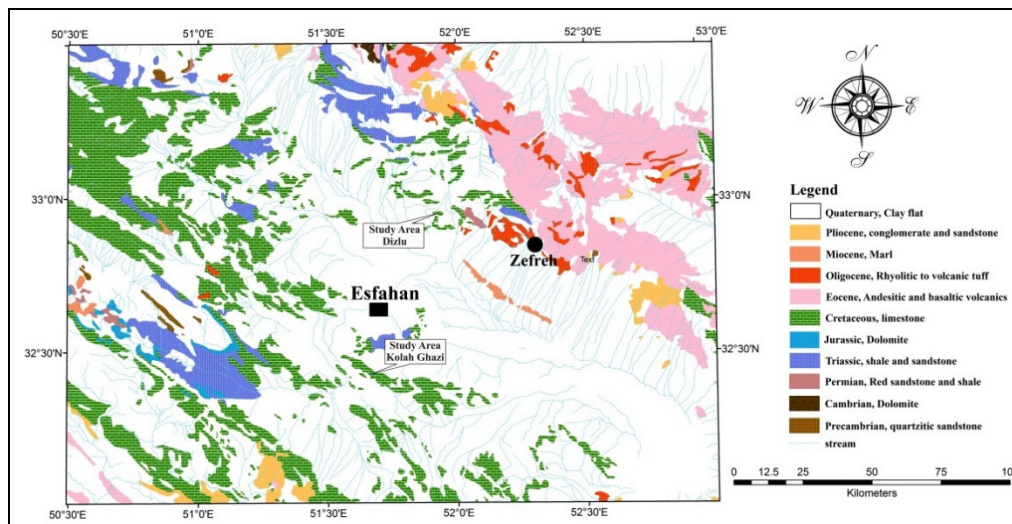
۳- این مطالعه نشان خواهد داد که چگونه ادغام تفاسیر رسوب شناختی- چینه شناسی و داده های ساختاری می تواند به فهم پیشگویانه از خواص شکستگی ها و نحوه ی جریان یافتن سیالات در داخل آن ها منجر شود.

۴- تبیین کاربرد این یافته ها در صنعت نفت (اکتشاف و تولید) و پی جویی آب های زیرزمینی.

برای دستیابی به این اهداف، ابتدا سیستم های شکستگی با استفاده از تصاویر ماهواره ای شناسایی شده و سپس مطالعات چینه نگاری مکانیکی بر اساس مطالعه الگو و هندسه درزه ها، خصوصیات واحدهای رسوبی و واحدهای ژنتیکی با تاکید ویژه بر ضخامت نسبی و خصوصیات لیتولوژی آن ها صورت گرفته است.

### ویژگی های زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

مناطق دیزلو<sup>۳۵</sup> و کلاه قاضی<sup>۳۶</sup> در استان اصفهان واقع شده اند. استان اصفهان به عنوان یکی از گسترده ترین استان های کشور در بخش مرکزی فلات ایران می باشد که از دیرباز مورد توجه بسیاری از زمین شناسان بوده است. از نظر زمین شناسی در گستره اطراف شهر اصفهان توالی های گسترده ای از نهشته های رسوبی، سنگ های دگرگونی و آذرین به سن های گوناگون رخنمون دارند (شکل ۱). از دیدگاه ساختاری محدوده اطراف اصفهان به ترتیب از سمت شمال شرق به سمت جنوب غرب شامل زون های ساختاری ارومیه- دختر، سنندج- سیرجان و بخش هایی از بلندی های زاگرس مرتفع می باشد (آقاباتی، ۱۳۷۹).



شکل ۱. نقشه زمین شناسی تهیه شده از محدوده اصفهان (منطقه دیزلو و کلاه قاضی) - (اقتباس از زاهدی، ۱۹۷۸).

پس از آرامش نسبی طی دوران پالئوزوئیک به مزوزوئیک، از تریاس پسین تا کرتاسه پیشین جنبش های زمین ساختی مهمی روی داده است که با دگر شیبی، چین خوردگی، پلوتونیسیم، دگرگونی و آتشفشان همراه بوده اند. عملکرد رویدادهای زمین ساختی مزوزوئیک در کوه های زاگرس، البرز و کپه داغ چندان زیاد نیست در حالی که پیامدهای این فرایند در ایران مرکزی به ویژه در زون سنندج- سیرجان دارای بیشترین مقدار می باشد. در میان فازهای کوهزاد مزوزوئیک بسیاری از زمین شناسان معتقدند که دومین فاز تکتونیکی آلپین در مرز ژوراسیک- کرتاسه رخ داده است که با

<sup>4</sup> Dizlu area

<sup>5</sup> KolahGhazi area

چین خوردگی (ایران مرکزی)، ناپیوستگی موازی (البرز، کپه داغ، زاگرس)، جایگیری توده های نفوذی و دگرگونی همراه بوده اند. این فاز کوهزایی به نام سیمین پسن معروف است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

ردیف های کرتاسه پیشین، با توجه به داده های چینه شناسی پس از یک ناپیوستگی رسوبی بر جای گذاشته شده اند که در برخی مناطق مانند اصفهان، یزد، اردکان از ژوراسیک میانی تا نئوکومین (پیش از بارمین) و در بعضی نقاط، این ناپیوستگی نوعی هیاتوس محدود به اشکوب های آغازین نئوکومین (والانژین - هوترویون) می باشد. به دنبال این هیاتوس دریای کرتاسه به تدریج در مناطق مختلف ایران مرکزی پیشروی کرده به گونه ای که این پیشروی در منطقه گلپایگان از زمان هوترویون، در اصفهان، زفره و انارک در زمان بارمین، در نواحی کاشان، کوه گز، طبس و گناباد از زمان آپتین، در پشت بادام، ساغند از زمان آلبین، در جندق از سانتونین رخ داده است. به طور کلی گذر از ژوراسیک پسن به کرتاسه پیشین در زون سنج - سیرجان تدریجی بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

مطالعات رسوب شناسی مربوط به واحدهای کربناته و تخریبی کرتاسه بیانگر این واقعیت اند که با پیشروی دریای کرتاسه حکم فرمایی یک دریای کم عمق در منطقه اصفهان رخ داده است که این پیشروی از جنوب به طرف شمال و شمال غرب بوده است. بررسی ریز رخساره ها نشانگر روی هم قرار گرفتن تعدادی پاراسکانس و چرخه های کوچک به سمت بالا عمیق شونده در مقیاس متر بوده که در مجموع یک سکانس و چرخه بزرگ پیشرونده در مقیاس میلیون ها سال ایجاد کرده اند (صفری، ۱۳۷۴). احتمالاً چرخه های کوچک تغییرات سطح آب دریا (چرخه های ۴ و ۵)، ناشی از تغییرات دوره ای آب و هوایی می باشند و چرخه هایی که در مقیاس بزرگ هستند (چرخه ۱)، در اثر باز شدن صفحات تکتونیکی تکتونیک ورقه ای ایجاد شده اند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۵).

در این مطالعه با توجه به رخنمون مناسب و دسترسی آسان به واحدهای کرتاسه جهت برداشت های ساختاری (مطالعه درزه ها) و نیز پوشش کامل مطالعاتی رسوبات از ابتدا تا پایان کرتاسه، دو محدوده دیزلو (برای رسوبات کرتاسه پائینی) و کلاه قاضی (برش های تخت شیدان و کوه شیدان برای رسوبات کرتاسه بالایی) انتخاب و مطالعه شد، که در زیر به ارائه مشخصات جزئی تر این دو منطقه پرداخته شده است:

### منطقه دیزلو (برش کرتاسه زیرین)

کامل ترین رخنمون های متعلق به کرتاسه زیرین در اصفهان بیشتر در ناحیه دیزلو با مختصات جغرافیایی  $33^{\circ}03'21''N$  و  $51^{\circ}59'00''E$  درجه در ۵۵ کیلومتری شمال شرق اصفهان واقع شده است (شکل ۲- الف). واحدهای رسوبی رخنمون یافته در این منطقه به ترتیب شامل کنگلومرا<sup>۳۷</sup> و ماسه سنگ<sup>۳۸</sup> می باشد که بر اثر عملکرد فاز سیمین میانی به صورت دگرشیبی زاویه دار بر روی شیل های رتولباس قرار گرفته اند و سپس بر روی این واحد، رسوبات آهک زیرین<sup>۳۹</sup>، شیل زیرین<sup>۴۰</sup>، آهک بالایی<sup>۴۱</sup> و شیل بالایی<sup>۴۲</sup> قرار دارد (شکل ۲- ب). بررسی سن این پنج واحد بر اساس مطالعات فرامینفرها صورت گرفته است و سن توالی بارمین فوقانی تا آلبین تحتانی تعیین شده است. همچنین قدیمی ترین لایه های تعیین سن شده کرتاسه زیرین در این توالی به بارمین فوقانی و آپسین تحتانی تعلق دارد (صفری، ۱۳۷۴).

<sup>6</sup> Conglomerate

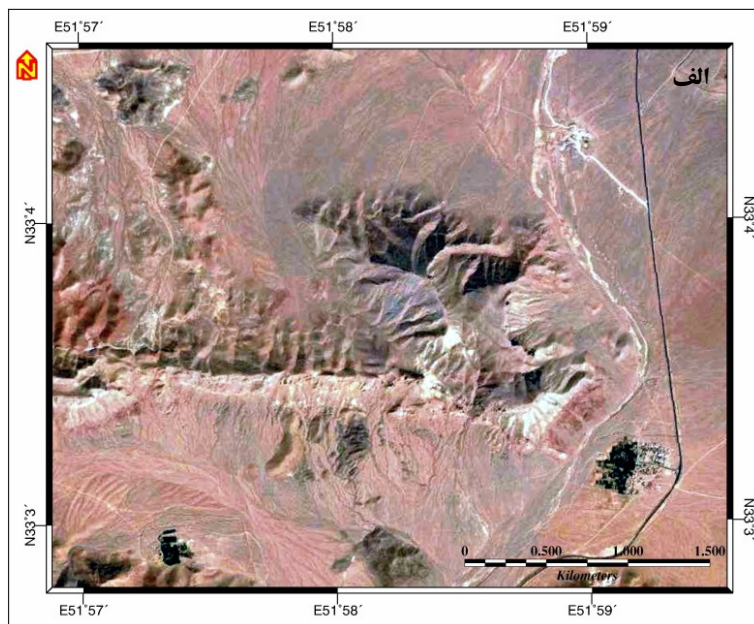
<sup>7</sup> Sandstone

<sup>8</sup> Lower Limestone

<sup>9</sup> Lower Shale

<sup>10</sup> Upper Limestone

<sup>11</sup> Upper Shale



شکل ۲ الف) تصویر ماهواره ای گوگل ارث<sup>۱۲</sup> منطقه دیزلو؛ ب) تصویر ماهواره ای ساس پلانت<sup>۱۳</sup> منطقه دیزلو و واحدهای رسوبی کرتاسه رخنمون یافته در منطقه.

### منطقه تخت شیدان و کوه شیدان کلاه قاضی (برش کرتاسه بالایی)

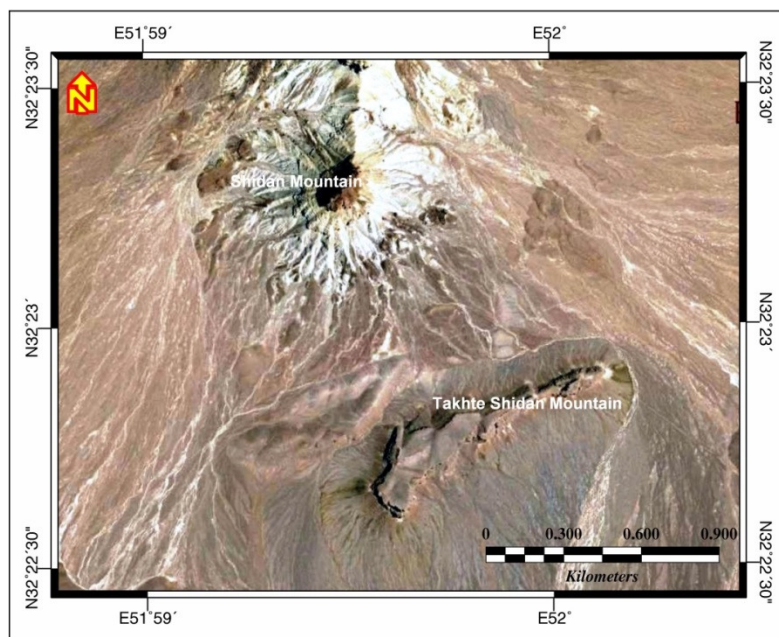
کاملترین رخنمون های متعلق به کرتاسه بالایی در اصفهان بیشتر در ناحیه کلاه قاضی با مختصات جغرافیایی ۳۲:۲۲:۵۸ N و ۵۱:۵۹:۲۶ E درجه واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق اصفهان واقع شده است. لیتولوژی عمده این رسوبات آهک و تناوب آهک و مارن می باشد. در این رسوبات ماکروفسیل و میکروفسیل های متنوع جانوری مشاهده می شود که از مهمترین ماکروفون ها می توان به دوکفه ای هایی نظیر اینوسراموس و از خارپوستان به میکراستر و اکینوکورس اشاره کرد که به وفور در رسوبات مورد مطالعه یافت می شوند. فرامینفرهای پلانکتونیک شناور، بنتیک و جنس هایی از خانواده الیگوسترینیده از مهم ترین میکروفون های موجود در این افق های رسوبی هستند (صدری، ۱۳۸۸).

<sup>12</sup> Google Earth

<sup>13</sup> SasPlanet

به طور کلی بر اساس مطالعات Yazdi et al. (2009) واحدهای رسوبی که در منطقه کلاه قاضی رخنمون یافتند شامل: آهک زیرین، شیل زیرین، آهک بالایی، شیل بالایی (شیل بودانتی سراس دار<sup>۴۵</sup>) کرتاسه زیرین، آهک ماسه ای گلوکونیت دار<sup>۴۶</sup>، آهک اینوسراموس دار<sup>۴۷</sup> و مارن و آهک مارنی<sup>۴۸</sup> کرتاسه بالایی می باشد.

ناحیه قارنه در بخش های شرقی تا جنوب شرقی منطقه کلاه قاضی قرار دارد و شامل کوه های شیدان، قارنه- تخت شیدان است. خصوصیات سنگ چینه نگاری این ناحیه در کوه قارنه و تخت شیدان بسیار شبیه هم است. برش تخت شیدان در کنار کوه شیدان با موقعیت  $32^{\circ}22'45''\text{N}$  و  $51^{\circ}59'30''\text{E}$  درجه قرار گرفته است (شکل ۳). لایه های رسوبی موجود در این منطقه از قاعده به سمت راس برش به تدریج به شیب آن ها افزوده می شود. بنابر نظر Seyed- Emami et al. (1971) رسوبات به صورت ناپیوستگی فرسایشی بر روی شیل بودانتی سراس قرار گرفته اند. در این برش مرز بالایی برش تحت تاثیر عوامل فرسایشی و تکتونیک حذف شده است.



شکل ۳. تصویر ماهواره ای برش تخت شیدان<sup>۴۹</sup> و کوه شیدان<sup>۵۰</sup> در منطقه کلاه قاضی (تصویر گوگل ارث).

برش تخت شیدان توسط صدری (۱۳۸۸) از نظر چینه شناسی مورد مطالعه و تعداد پنج واحد رسوبی در آن مشخص شده است:

- ۱- آهک پلاژیک هاردگراند<sup>۵۱</sup>
- ۲- آهک پلاژیک گلاکونیتی<sup>۵۲</sup>
- ۳- آهک پلاژیک زیرین<sup>۵۳</sup>

<sup>14</sup> Beudanticeras Shale  
<sup>15</sup> Sandy- Glauconitic Limestone  
<sup>16</sup> Inoceramus Limestone  
<sup>17</sup> Marl & Marly Limestone  
<sup>18</sup> Takhte Shidan Mountain  
<sup>19</sup> Shidan Mountain  
<sup>20</sup> Hard Ground Pelagic Limestone  
<sup>21</sup> Glauconithic Pelagic Limestone  
<sup>22</sup> Lower Pelagic Limestone

۴- آهک پلاژیک آرژیلیتی<sup>۵۴</sup>

۵- آهک پلاژیک بالایی<sup>۵۵</sup>

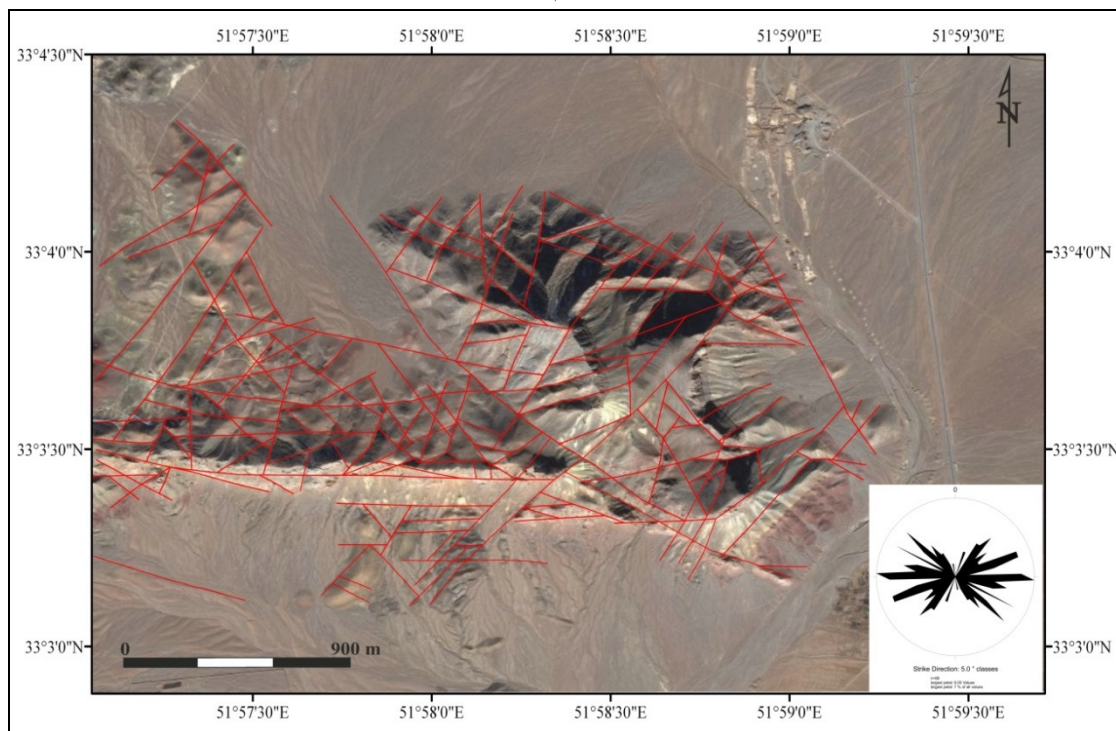
جوانترین بخش رسوبات مورد مطالعه در کوه شیدان قابل دسترسی است. ضخامت سنگ های این واحد ۳۳۰/۱ متر است و از لحاظ لیتولوژی متشکل از ۲۴۸/۶ متر واحد تناوب مارن و آهک های مارنی است که در مرز فوقانی توسط آهک های رودیست دار<sup>۵۶</sup> ضخیم لایه به ضخامت ۸۱/۵ متر به رنگ خاکستری مایل به قهوه ای پوشیده شده است (حییبی و همکاران، ۱۳۸۵).

### روش مطالعه

تصاویر ماهواره ای و داده های صحرایی به منظور بررسی هندسه و خصوصیات سیستم های شکستگی استفاده شده است. این تکنیک ها طیف وسیعی از مطالعات سیستم های شکستگی در مقیاس ماکروسکوپی تا مزوسکوپی را تحت پوشش خود قرار داده است (Strijker et al., 2012). در این پژوهش به منظور بررسی و شناسایی سیستم های شکستگی از تصاویر ماهواره ای استفاده نموده و سپس با استفاده از برداشت های صحرایی مطالعات چینه نگاری مکانیکی صورت گرفته است.

### مطالعه تصاویر ماهواره ای

شکستگی های اصلی مناطق دیزلو و کلاه قاضی با کمک بررسی تصاویر ماهواره ای گوگل ارث و ساس پلانت شناسایی شده و سپس نقشه مربوط به آن ها با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3 ترسیم شده است. علاوه براین، به منظور دسته بندی شکستگی ها، نمودار گل سرخی مربوط به هر منطقه نیز ترسیم شده است (شکل های ۴ و ۵).



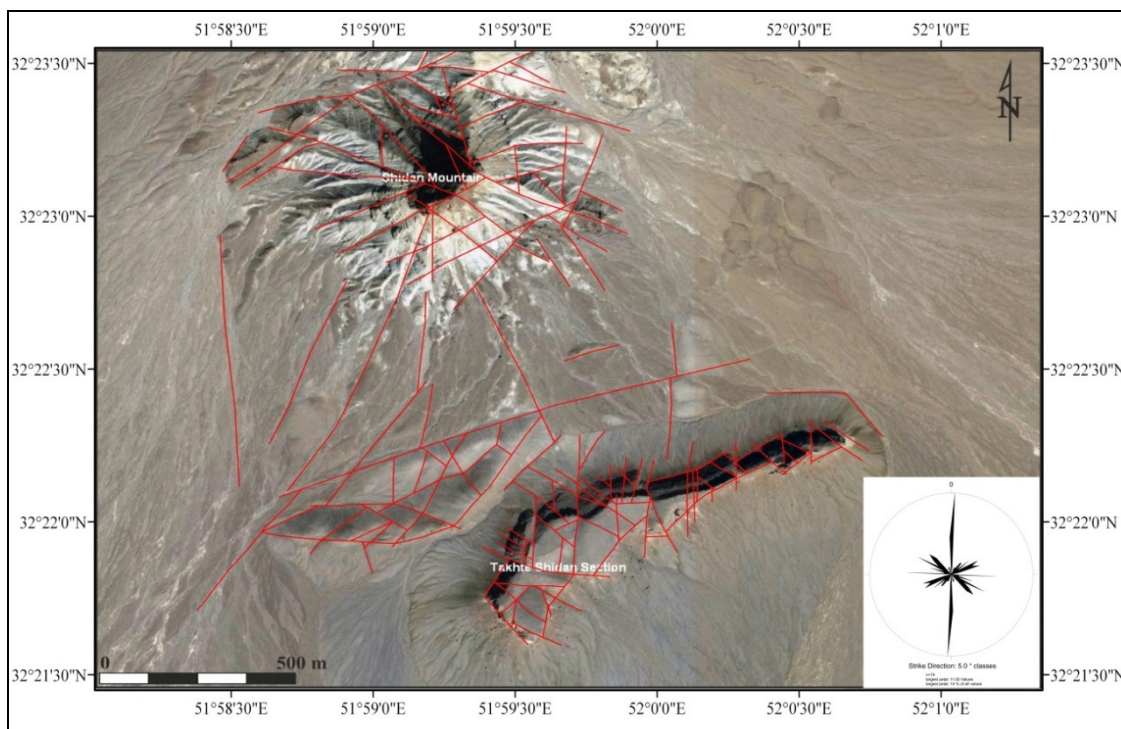
شکل ۴. نقشه شکستگی های اصلی شناسایی شده در منطقه دیزلو به همراه نمودار گل سرخی.

<sup>23</sup> Argillaceous Pelagic Limestone

<sup>24</sup> Upper Pelagic Limestone

<sup>25</sup> Rudist Limestone





شکل ۵. نقشه شکستگی های اصلی شناسایی شده در منطقه کلاه قاضی به همراه نمودار گل سرخی.

بر این اساس در منطقه دیزلو الگوی کلی وضعیت شکستگی ها به صورت زیر دسته بندی شده است:

- ۱- شکستگی هایی با راستای شرقی - غربی
- ۲- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۷۰- ۶۰ درجه
- ۳- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۱۳۰ الی ۱۴۰ درجه
- ۴- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۱۲۰ درجه
- ۵- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۲۵ الی ۴۵ درجه

همچنین در منطقه کلاه قاضی الگوی کلی وضعیت شکستگی ها به صورت زیر دسته بندی شده است:

- ۱- شکستگی هایی با راستای شمالی - جنوبی
- ۲- شکستگی هایی با راستای شرقی - غربی
- ۳- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۱۲۰ درجه
- ۴- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۷۰- ۶۰ درجه
- ۵- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۱۳۰ الی ۱۴۰ درجه
- ۶- شکستگی هایی با راستای آزیموت ۲۵ الی ۴۵ درجه

## برداشت داده های صحرائی

توالی واحدهای رسوبی پیشرونده و پسرونده در هر منطقه بر اساس مطالعات صفری (۱۳۷۴) و صدری (۱۳۸۸) از قبل شناسایی شده و در طی برداشت های صحرائی، واحدهای ژنتیکی برپایه توصیفات لیتولوژیکی و شناسایی ساختارهای رسوبی کلیدی مورد بررسی و تایید قرار گرفته شده است. تفسیر ویژگی های رسوبی و لیتولوژی برای تقسیم رخساره ها به دو نیم چرخه پیشرونده و پسرونده از طریق درک درست محیط های رسوبی و تغییرات سطح نسبی آب دریا انجام شده است.

تحلیل شکستگی ها با استفاده از روش اسکن خطی تراکم (اندازه گیری شکستگی ها به صورت خطی در طول لایه به ازای ۱ متر توسط Wu & Pollard (1995); Engelder et al. (1997); Narr & Lerche (1984) و روش سطحی (اندازه گیری شکستگی های سطح لایه) توسط Wu & Pollard (1995) مورد بررسی قرار می گیرد. روش سطحی نسبت به روش خطی برتر بوده و در نتیجه به عنوان روش پیشنهادی اندازه گیری فاصله شکستگی ها می توان در نظر گرفت. با این حال روش سطحی فقط در مواقعی که سطح بالای لایه رخنمون داشته باشد قابل استفاده است. متأسفانه در مناطق مورد مطالعه سطح بالای لایه به ندرت رخنمون داشته و روش خطی تنها روش قابل اجرا در منطقه می باشد.

در این مطالعه خط برداشت شکستگی ها موازی لایه بندی واحدهای رسوبی بوده و این خط، عمود بر امتداد میانگین دسته شکستگی ها و حدوداً در امتداد سطوح لایه بندی در نظر گرفته شده است. شکستگی اول به عنوان نقطه صفر یا مرجع (شروع کار - سر متر) در نظر گرفته شده و فاصله شکستگی های بعدی نسبت به آن، با کمک متر اندازه گیری و ثبت شدند. از پارامترهای مهم درزه ها که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند تراکم و فاصله داری آن ها می باشند. تراکم شکستگی به عنوان تعداد میانگین شکستگی هایی که با خط برداشت (مثلاً یک خط برداشت ۱ متری) برخورد می کنند تعریف شده است (Corbett et al., 1987).

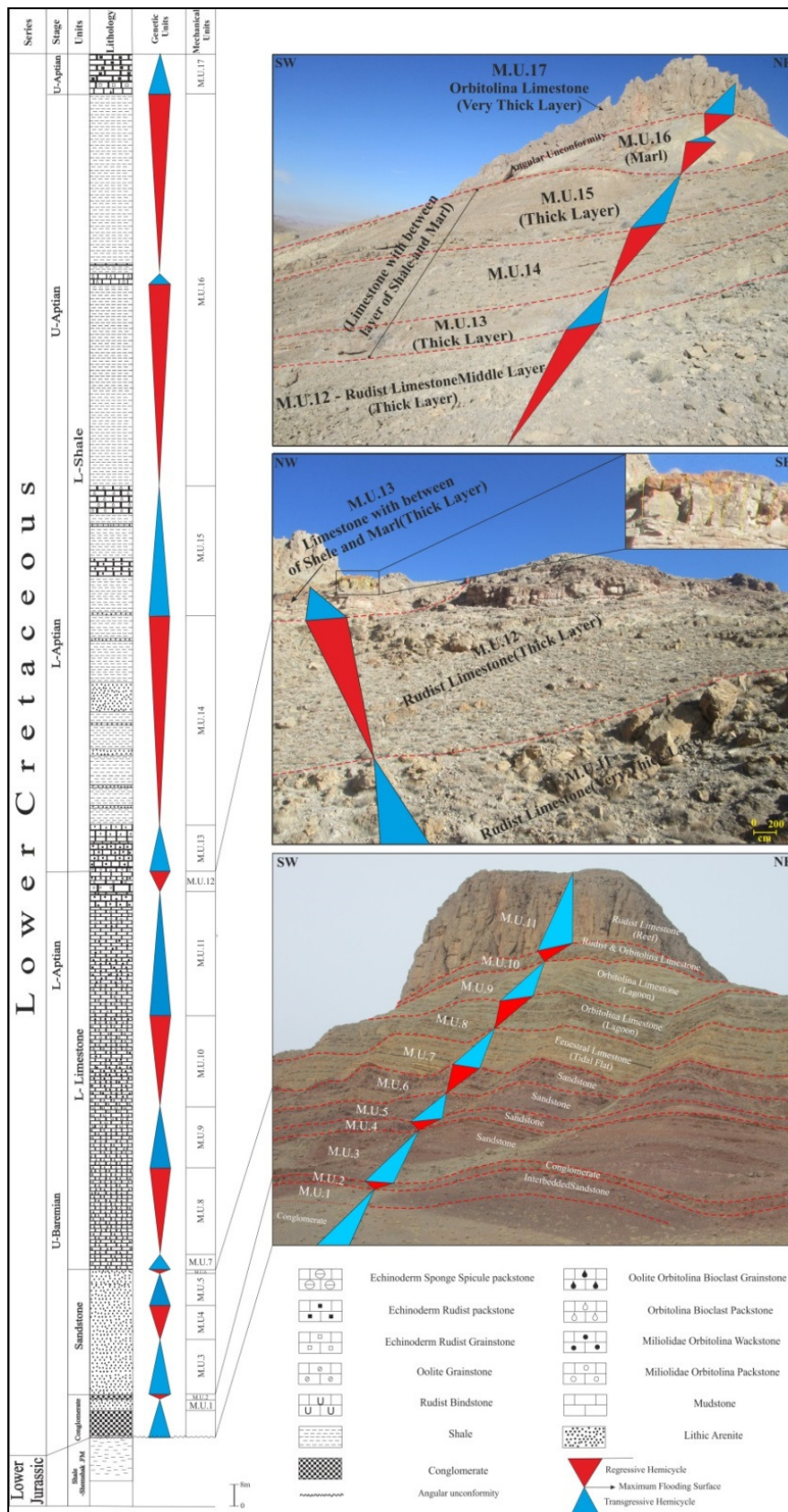
## منطقه دیزلو

در این منطقه، واحدهای مکانیکی را حتی المقدور با در نظر گیری تقسیم بندی واحدهای رسوبی و ژنتیکی (صفری، ۱۳۷۴)، تغییرات لیتولوژیکی محرز و وضعیت کلی توزیع درزه ها به طور اولیه در طی مطالعات صحرائی برای هر واحد رسوبی تعیین نموده و سپس اقدام به برداشت داده های صحرائی شده است. با توجه به ضخامت های مختلف توالی های رسوبی در هر واحد، تعدادی از توالی های دارای رخنمون و ضخامت مشخص از بین لایه های مختلف یک واحد رسوبی، به عنوان نماینده های آن واحد انتخاب شده و برداشت درزه ها بر روی آن لایه ها صورت گرفته است. برای واحدهای رسوبی کرتاسه زیرین منطقه دیزلو در مجموع ۱۹ واحد مکانیکی بر اساس مطالعات صحرائی شناسایی و معرفی شدند (جدول ۱).

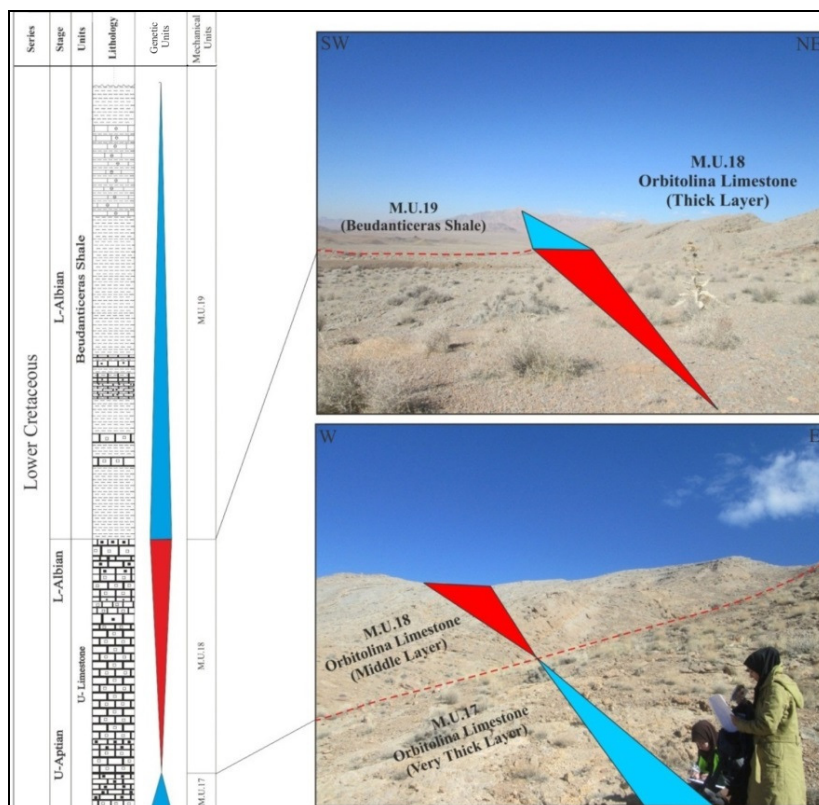
در شکل های ۶ و ۷ واحدهای مکانیکی مختلف برش دیزلو نمایش داده شده اند، ضمن اینکه واحدهای ژنتیکی (واحدهای رسوبی پیشرونده یا پسرونده) نیز بر اساس مطالعه صفری (۱۳۷۴) در این اشکال گنجانده شده است. همان طوری که در این اشکال مشخص است انطباق بسیار خوبی بین مرز واحدهای مکانیکی مشخص شده با مرز واحدهای ژنتیکی، واحدهای رسوبی رخنمون یافته در منطقه وجود دارد.

جدول ۱. داده های مکانیکی برداشت شده از منطقه دیزلو (اطلاعات واحد رسوبی و زیر واحد رسوبی از مطالعات صفری (۱۳۷۴) اقتباس شده است).

واحد رسوبی	زیر واحد رسوبی	واحد مکانیکی	وضعیت ضخامت لایه نماینده	میانگین ضخامت (سانتی متر)	میانگین فاصله شکستگی (سانتی متر)	تراکم شکستگی (در واحد یک متر)
کنگلو مری	کنگلو مری با بین لایه های ماسه سنگی	۱	متوسط لایه	۲۵	۹	۱۰
			ضخیم لایه	۳۰	۳۰	۵
	کنگلو مری	۲	متوسط لایه	۲۹	۲۲	۷
			ضخیم لایه	۵۰	۴۵	۳
			بسیار ضخیم لایه	۱۱۰	۱۵۰	۱
ماسه سنگ	ماسه سنگ	۳	نازک لایه	۱۰	۱۰	۱۰
			متوسط لایه	۲۰	۴۵	۸
	۴	بسیار ضخیم لایه	۱۵۵	۴۳	۵	
	۵	متوسط لایه	۳۳	۲۴	۵	
		ضخیم لایه	۹۰	۸۰	۳	
		بسیار ضخیم لایه	۱۵۰	۱۰۰	۲	
آهک زیرین	آهک دولومیتی	۶	بسیار ضخیم لایه	۲۲۰	۳۷	۴
		۷	متوسط لایه	۲۲	۱۹	۹
			ضخیم لایه	۵۰	۲۰	۷
		بسیار ضخیم لایه	۱۱۰	۳۰	۵	
	آهک اوریتولین دار	۸	متوسط لایه	۳۰	۳۲	۴
			ضخیم لایه	۵۵	۷۵	۲
		۹	نازک لایه	۱۰	۱۴	۱۱
			متوسط لایه	۲۵	۳۰	۴
	آهک رودیستی	۱۰	بسیار ضخیم لایه	۳۴۰	۵۰	۳
		۱۱	بسیار ضخیم لایه	۷۴۰	۱۵۰	۱
۱۲		ضخیم لایه	۹۸	۳۱	۴	
۱۳		ضخیم لایه	۱۰۰	۳۵	۴	
شیل زیرین	شیل با بین لایه های ماسه سنگی و آهکی	۱۴	فقدان برداشت داده			
		۱۵	ضخیم لایه	۵۰	۱۵	۶
	شیل و مارن	۱۶				
آهک بالایی	آهک اوریتولین	۱۷	بسیار ضخیم لایه	۳۳۰	۸۰	۲
	دار و آهک مارنی	۱۸	ضخیم لایه	۶۰	۲۰	۵
شیل بالایی	شیل	۱۹	فقدان برداشت داده			



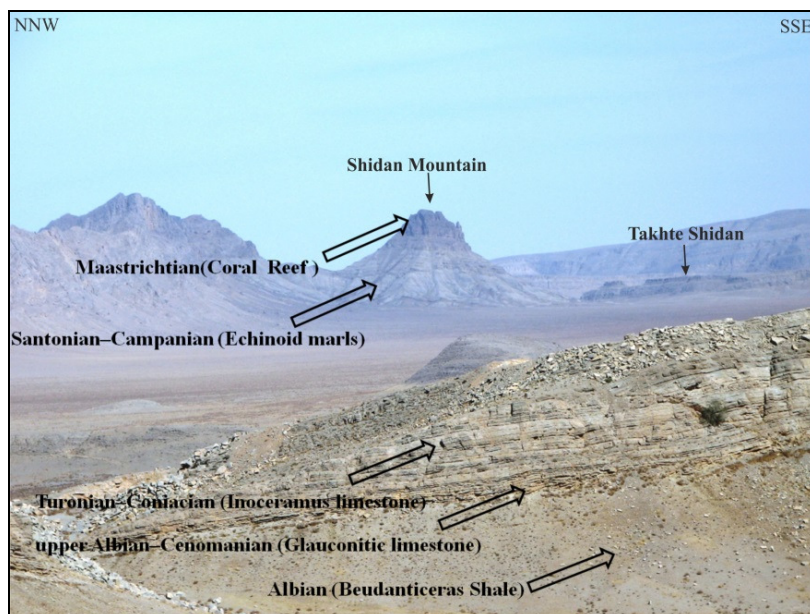
شکل ۶. تقسیم بندی مکانیکی واحد های رسوبی کنگلومرای، ماسه سنگی و کربناته زیرین، براساس ویژگی مکانیکی شکستگی ها و تطابق واحد مکانیکی با واحد های ژنتیکی (اطلاعات واحدهای رسوبی و ژنتیکی در این تصویر از مطالعات صفری (۱۳۷۴) اقتباس شده است).



شکل ۷. تقسیم بندی مکانیکی واحدهای رسوبی کربناته بالایی و شیل بالایی براساس ویژگی مکانیکی شکستگی ها و تطابق واحد مکانیکی با واحدهای ژنتیکی (اطلاعات واحدهای رسوبی و ژنتیکی در این تصویر از مطالعات صفری (۱۳۷۴) اقتباس شده است).

#### منطقه تخت شیدان و کوه شیدان کلاه قاضی

به منظور بررسی چینه نگاری مکانیکی و پیش بینی خصوصیات شکستگی ها، رخنمون کامل کرتاسه بالایی در ارتفاعات کوه شیدان و تخت شیدان منطقه کلاه قاضی انتخاب گردیده شد (شکل ۸).



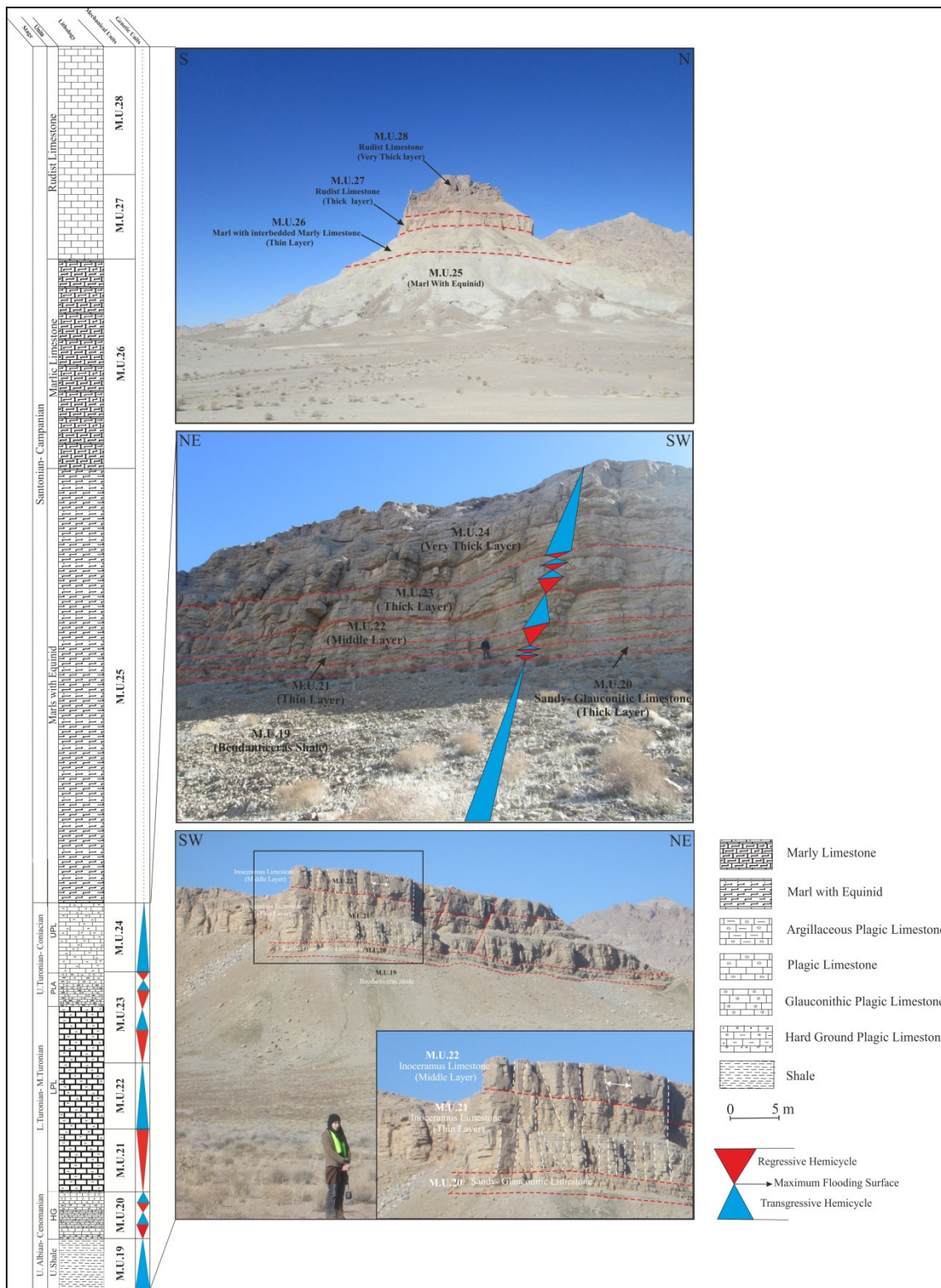
شکل ۸. نمای کلی از برش تخت شیدان و کوه شیدان در منطقه کلاه قاضی به همراه سن توالی های رسوبی موجود.

در این مطالعه، نیز همچون قبل واحدهای مکانیکی را حتی المقدور با در نظرگیری تقسیم بندی واحدهای رسوبی و ژنتیکی (صدری، ۱۳۸۸)، تغییرات لیتولوژیکی محرز و وضعیت کلی توزیع درزه ها به طور اولیه در طی مطالعات صحرایی برای هر واحد رسوبی تعیین نموده و سپس اقدام به برداشت داده های صحرایی شده است. برای واحدهای رسوبی کرتاسه بالایی منطقه کلاه قاضی در مجموع ۹ واحد مکانیکی بر اساس مطالعات صحرایی شناسایی و معرفی شدند (جدول ۲).

جدول ۲. داده های مکانیکی برداشت شده از منطقه کلاه قاضی (اطلاعات واحد رسوبی و زیر واحد رسوبی از مطالعات صدری (۱۳۸۸) اقتباس شده است).

واحد رسوبی	زیر واحد رسوبی	واحد مکانیکی	وضعیت ضخامت لایه نماینده	میانگین ضخامت (سانتی متر)	میانگین فاصله شکستگی (سانتی متر)	تراکم شکستگی (در واحد یک متر)
آهک ماسه ای گلو کونیت دار	آهک پلاژیک هاردگراند دار و آهک پلاژیک گلو کونیت دار	۲۰	ضخیم لایه	۹۰	۲۸	۵
آهک اینوسراموس دار	آهک پلاژیک زیرین	۲۱	نازک لایه	۷	۱۰	۹
	آهک پلاژیک آرژیلیتی	۲۲	متوسط لایه	۳۲	۳۰	۷
		۲۳	ضخیم لایه	۹۵	۸۰	۲
		۲۴	ضخیم و بسیار ضخیم لایه	۲۹۰	۱۷۰	۱
مارن و آهک مارنی	مارن با اکتید	۲۵	فقدان برداشت داده			
	مارن با بین لایه های آهک مارنی	۲۶	نازک لایه	۱۰	۲۰	۶
آهک رودیستی	آهک رودیستی	۲۷	ضخیم لایه	۱۰۰	۲۷	۴
		۲۸	بسیار ضخیم لایه	۲۰۰	۵۰	۲

در شکل ۹ واحدهای مکانیکی مختلف برش منطقه کلاه قاضی نمایش داده شده اند، ضمن این که واحدهای ژنتیکی نیز بر اساس مطالعه صدری (۱۳۸۸) در این تصاویر گنجانده شده است. همان طوری که در این اشکال مشخص است انطباق بسیار خوبی بین مرزهای واحدهای مکانیکی مشخص شده با مرز واحدهای ژنتیکی، واحدهای رسوبی رخنمون یافته در منطقه وجود دارد.



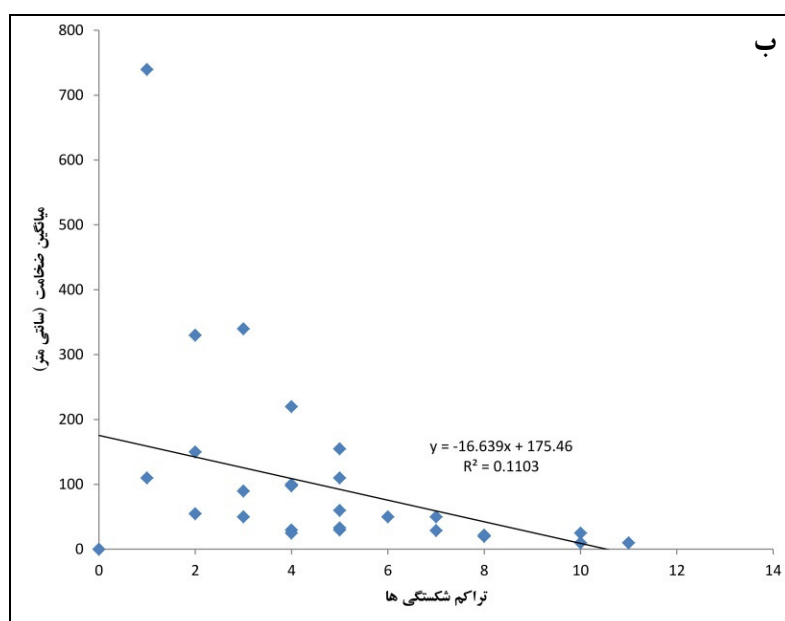
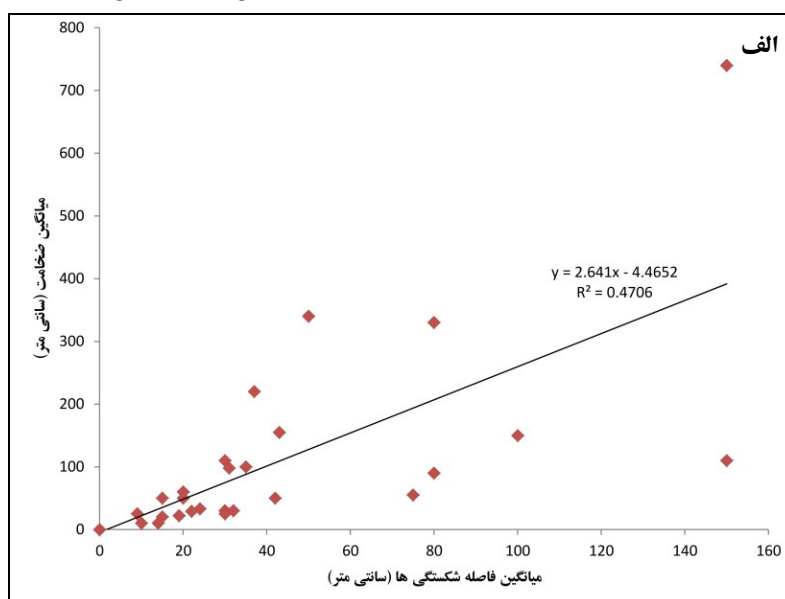
شکل ۹. تقسیم بندی مکانیکی واحدهای رسوبی آهک ماسه ای گلوکونیت دار، آهک اینوسراموس دار، مارن و آهک مارنی و آهک رودیست دار بر اساس ویژگی مکانیکی شکستگی ها و تطابق واحد مکانیکی با واحدهای ژنتیکی (اطلاعات واحدهای رسوبی و ژنتیکی در این تصویر از مطالعات صدی (۱۳۸۸) اقتباس شده است).

## بحث

در این بخش به تجزیه و تحلیل آماری (با استفاده از روش رگرسیون خطی) داده های مکانیکی بدست آمده (تراکم و فاصله داری شکستگی ها) از توالی های رسوبی رخنمون یافته ی بخش های مختلف کرتاسه در برش های مورد مطالعه پرداخته شده است.

### منطقه دیزلو (برش کرتاسه زیرین)

در این مرحله بعد از جمع آوری داده های لازم به وسیله برداشت های صحرائی و مطالعه عکس های تهیه شده از منطقه، میانگین فاصله و تراکم شکستگی ها برای لایه های نماینده با ضخامت مختلف در هر واحد مکانیکی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته شد (جدول ۱) و خروجی آن ها به صورت نمودارهایی تهیه و تحلیل شدند (شکل ۱۰- الف و ب).



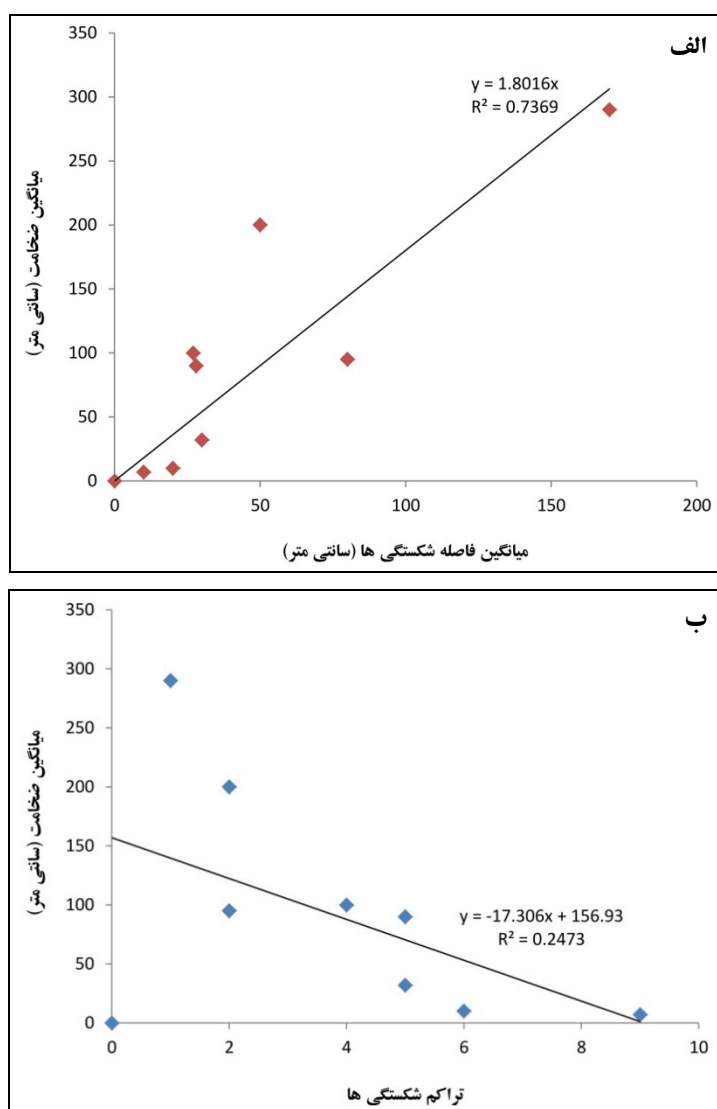
شکل ۱۰. الف) رابطه بین فاصله شکستگی ها و ب) تراکم شکستگی ها با ضخامت های مختلف لایه های نماینده واحدهای مکانیکی هر واحد رسوبی (واحدهای ۱ تا ۶) منطقه دیزلو.



شکل ۱۰- الف نشان می دهد که با افزایش ضخامت لایه فاصله شکستگی ها موجود در آن نیز افزایش پیدا می کند. در واقع یک ارتباط خطی بین فاصله شکستگی ها و ضخامت لایه های مختلف وجود دارد. البته باید اذعان نمود، با افزایش ضخامت لایه ها (بزرگتر از ۰/۵ متر معادل بسیار ضخیم لایه) یک بهم ریختگی در تمرکز حول روند خطی مشخص شده، مشاهده می شود. شکل ۱۰- ب نیز گویا این موضوع است که هرچه ضخامت لایه ها کاهش پیدا می کنند تراکم شکستگی ها موجود در آن افزایش می یابد.

### منطقه کلاه قاضی (برش کوتاه بالایی)

در این منطقه نیز همچون منطقه دیزلو، بعد از جمع آوری داده های لازم بوسیله برداشت های صحرائی و مطالعه عکس های تهیه شده از منطقه، میانگین فاصله و تراکم شکستگی ها برای لایه های نماینده با ضخامت مختلف در هر واحد مکانیکی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته شد (جدول ۲) و خروجی آن ها به صورت نمودارهایی تهیه و تحلیل شدند (شکل ۱۱- الف و ب).



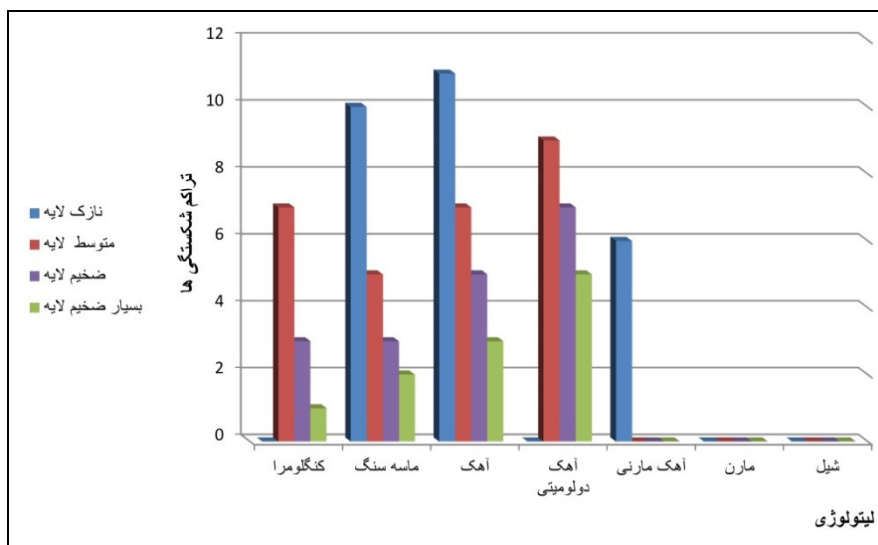
شکل ۱۱ الف) رابطه بین فاصله شکستگی ها و ب) تراکم شکستگی ها با ضخامت های مختلف لایه های نماینده واحدهای مکانیکی هر واحدهای رسوبی (واحدهای ۱ تا ۴) منطقه کلاه قاضی.

شکل ۱۱- الف و ب نیز نشان می دهند که هرچه ضخامت لایه افزایش پیدا می کند فاصله شکستگی ها موجود در آن افزایش یافته و تراکم شکستگی ها کمتر می شود. با توجه به اینکه در منطقه کلاه قاضی عمده توالی های رسوبی کرتاسه بالایی شامل لایه های کربناته و میان لایه های فراوان شیل و مارن می باشند (مراجعه به شکل ۹) امکان برداشت درزه ها صرفا از لایه های آهکی امکان پذیر بود و لذا تعداد داده ها در مقایسه با منطقه دیزلو کمتر می باشد. ضمنا رابطه بین فاصله شکستگی ها و ضخامت لایه های رسوبی در این منطقه، برخلاف منطقه دیزلو به صورت خطی نمی باشد (شکل ۱۱- الف). این امر بیانگر این است که احتمالا در مورد سنگ های کربناته عوامل دیگری نیز همچون تخلخل، فرآیندهای دیاژنزی علاوه بر عامل ضخامت، می توانند نقش پررنگتری در کنترل الگوی درزه ها داشته باشند.

در این مطالعه نیز تاثیر و کنترل پارامتر لیتولوژی بر روی الگوی توزیع درزه ها با در نظر گیری پارامتر ضخامت لایه های رسوبی به صورت ثابت بررسی شده است (جدول ۳ و شکل ۱۲). براساس داده های برداشت شده از دو منطقه دیزلو و کلاه قاضی، در حالت بسیار ضخیم لایه (بزرگتر از ۱۰۰ سانتی متر) بیشترین تراکم شکستگی ها به ترتیب در واحدهای آهک دولومیتی، آهک، ماسه سنگ و کنگلومرا دیده شده است. در حالت ضخیم لایه (۳۰-۱۰۰ سانتی متر) بیشترین تراکم شکستگی ها به ترتیب در واحدهای آهک دولومیتی، آهک و به طور برابر در لایه های ماسه سنگ و کنگلومرا دیده شده است. در حالت متوسط لایه (۱۰-۳۰ سانتی متر) بیشترین تراکم شکستگی ها به ترتیب در واحدهای آهک دولومیتی، آهک، کنگلومرا و ماسه سنگ دیده شده است. در حالت نازک لایه (۰-۱۰ سانتی متر) بیشترین تراکم شکستگی ها به ترتیب در واحدهای آهکی، ماسه سنگی و آهک مارنی دیده شده است.

جدول ۳. تراکم شکستگی ها (در طول واحد یک متر) با در نظر گرفتن ضخامت لایه به صورت ثابت و لیتولوژی های متفاوت در مناطق مورد مطالعه.

شماره	لیتولوژی	وضعیت ضخامت لایه های نماینده	تراکم شکستگی ها (در واحد یک متر)
۱	کنگلومرا	متوسط لایه	۷
		ضخیم لایه	۳
		بسیار ضخیم لایه	۱
۲	ماسه سنگ	نازک لایه	۱۰
		متوسط لایه	۵
		ضخیم لایه	۳
۳	آهک	بسیار ضخیم لایه	۲
		نازک لایه	۱۱
		متوسط لایه	۷
۴	آهک دولومیتی	ضخیم لایه	۵
		بسیار ضخیم لایه	۳
		متوسط لایه	۹
۵	آهک مارنی	بسیار ضخیم لایه	۷
		نازک لایه	۵
		ضخیم لایه	۳
۶	مارن	فقدان برداشت داده	
۷	شیل	فقدان برداشت داده	



شکل ۱۲. رابطه بین تغییر تراکم شکستگی ها و جنس واحدهای مکانیکی.

این موضوع را باید مد نظر داشت که برداشت درزه در لایه های مارنی و شیلی به دلیل مقاومت کم و ضعیف بودن آن ها در مقابل فرسایش و هوازدگی امکان پذیر نمی باشد.

نهایتا این نتایج نشان می دهند که به ترتیب واحدهای سنگی آهکی و ماسه سنگی (صرف نظر از مقدار ضخامتشان) نسبت به دیگر واحدهای سنگی دارای بیشترین تراکم درزه می باشند. بدیهی است که اگر میزان تراکم شکستگی ها را بر اساس میزان ضخامت واحدهای سنگی آهکی و ماسه ای مدنظر قرار دهیم، آهک های نازک لایه در مقایسه با واحدهای ماسه سنگی و نیز سایر واحدهای سنگی بیشترین تراکم شکستگی را دارا می باشند. بر این اساس لایه های آهکی و ماسه سنگی (به خصوص نازک لایه) پتانسیل مناسب به عنوان سنگ مخزن در منطقه را دارا می باشند و می توانند در مطالعات مربوط به ذخیره و نحوه جریان سیالات، پروژه های آب های زیرزمینی و هیدروکربوری مد نظر قرار گیرند.

### نتایج و پیشنهادات

- مناطق دیزلو و کلاه قاضی به ترتیب دارای پنج و شش دسته شکستگی می باشند.
- واحدهای مکانیکی نیز بالتبع واحدهای ژنتیکی تحت تاثیر تغییرات عمودی و گسترده جانبی رخساره ها، در ارتباط با تغییرات نسبی سطح آب دریا می باشند.
- مطالعات چینه شناسی و تغییرات نسبی سطح آب دریا و تلفیق آن ها با داده های ساختاری می تواند به ما در فهم پیشگویانه از خواص شکستگی ها (مانند فاصله و تراکم درزه ها) کمک شایانی بکند.
- یک واحد رسوبی به طور کلی می تواند از یک یا چند واحد ژنتیکی و یا واحد مکانیکی تشکیل شده باشد.
- تراکم و فاصله ی شکستگی ها در درجه اول توسط ضخامت لایه ها و در درجات دوم تحت تاثیر لیتولوژی، تخلخل و فرآیندهای دیاژنزی کنترل می شوند.
- هرچه ضخامت لایه های رسوبی مختلف افزایش پیدا کند فاصله شکستگی ها موجود در آن نیز افزایش می یابد. در واقع یک ارتباط خطی بین فاصله شکستگی ها و ضخامت واحدهای مکانیکی وجود دارد. البته با افزایش ضخامت لایه (بزرگتر از ۰/۵ متر معادل بسیار ضخیم لایه) یک بهم ریختگی در این روند خطی مشاهده می شود.

- رابطه بین فاصله شکستگی ها و ضخامت لایه های رسوبی در کربنات ها به صورت یک رابطه خطی نمی باشد. این امر بیانگر این است که احتمالاً در مورد سنگ های کربناته عوامل دیگری نیز همچون ترکیب و بافت رسوبی، تخلخل، فرآیندهای دیاژنزی علاوه بر عامل ضخامت، می توانند نقش موثرتری در کنترل الگوی درزه ها داشته باشند.

- با توجه به تاثیر پارامترهایی همچون ضخامت لایه و لیتولوژی لایه ها بر روی الگوی توزیع درزه ها، واحدهای سنگی آهکی و ماسه سنگی نسبت به دیگر واحدهای سنگی دارای بیشترین تراکم درزه می باشند. در این بین، آهک های نازک لایه بیشترین تراکم شکستگی را دارا می باشند. به همین دلیل این لایه ها، می توانند به عنوان اولویت اول در مطالعه لایه های با خصوصیات مناسب سنگ مخزنی در مطالعات هیدروکربوری و یا هیدروژئولوژی مناطق اطراف اصفهان مورد توجه قرار گیرند.

- این مطالعه نشان می دهد که چگونه ادغام تفاسیر چینه شناسی، تغییرات نسبی سطح آب دریا و داده های کینماتیک ساختاری می تواند به فهم پیشگویانه از خواص شکستگی ها کمک نماید، بر این اساس می توان نتایج حاصل از این مطالعه را در بررسی های مربوط به نحوه ی جریان یافتن سیالات مختلف مانند آب یا هیدروکربور در داخل سایر توالی های رسوبی مشابه و در نقاط دیگر کشور، استفاده نمود. لذا پیشنهاد می شود به منظور بررسی خصوصیات مخزنی توالی های مختلف رسوبی در عمق، چنین مطالعاتی نیز بر روی رخنمون های مشابه در اطراف مناطق مورد نظر صورت پذیرد.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت های مالی و ستادی معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان و همچنین مساعدت های گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان برای انجام مراحل مختلف این پژوهش تشکر می نمایند. لازم به ذکر است این پژوهش در قالب طرح درون دانشگاهی، طی شماره ۹۰۰۴۰۳ مورخه ۱۳۹۰/۴/۸ در معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان، انجام گردیده است.

## منابع

- آقاباتی، ع.، ۱۳۷۹. پهنه های رسوبی - ساختاری عمده ایران (کارت پستال)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- حبیبی، ط.، وزیری مقدم، ح.، طاهری، ع. ا.، ۱۳۸۵. بیواستراتیگرافی سنگ های کرتاسه بالایی نواحی کلاه قاضی و کوه شیدان (جنوب شرق اصفهان) بر اساس فرایندها. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه) ۱، ۱۷۶-۱۵۱.
- زاهدی، م.، ۱۹۷۸. نقشه زمین شناسی چهار گوش اصفهان به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور، شماره F8، تهران.
- صفری، ا.، ۱۳۷۴. میکروفاسیس سنگ های کرتاسه زیرین در شمال شرق اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- صدری، م.، ۱۳۸۸. میکروفاسیس محیط رسوبی و چینه نگاری سکانسی طبقات سنگی آلبین بالایی تا کنیاسین در نواحی شمال چاه ریس و کلاه قاضی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد خوراسگان.
- فرضی پور، ع.، جلالی پور، م.، مرسل نژاد، د.، ۱۳۸۵. معرفی چینه نگاری مکانیکی و نقش آن در ارزیابی مخازن هیدروکربنی (با ذکر شواهدی در سازند سروک ناحیه لرستان). مجله اکتشاف و تولید ۳۸، ۸-۵.
- وزیری مقدم، ح.، طاهری، ع. ا.، ۱۳۸۵. اصول چینه نگاری، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

## Reference

Adams, L. A., 2006. Sequence and mechanical stratigraphy: An integrated reservoir characterization of the Weber sandstone, western Colorado. Ph.D Thesis University of Texas, El Paso, United States, Texas.

- Al Kharusi, L. M., 2009. Correlation between high resolution Sequence Stratigraphy and Mechanical Stratigraphy for enhanced Fracture Characteristic Prediction, Ph.D Thesis University of Miami, Florida.
- Barbier, M., Hamon, Y., Callot, J. P., Floquet, M., Daniel, J. M., 2012. Sedimentary and diagenetic controls on the multiscale fracturing pattern of a carbonate reservoir: The Madison Formation (Sheep Mountain, Wyoming, USA). *Marine and Petroleum Geology* 29, 50-67.
- Cooke, M. L., Underwood, C. A., 2001. Fracture termination and step over at bedding interfaces due to frictional slip and interface opening. *Journal of structural geology* 23, 223-238.
- Corbett, K., Friedman, M., Spang, J., 1987. Fracture development and Mechanical Stratigraphy of Austin Chalk, Texas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 71, 17-28.
- Di Naccio, D., Boncio, P., Cirilli, S., Casaglia, F., Morettini, E., Lavecchia, G., Brozzetti, F., 2005. Role of mechanical stratigraphy on fracture development in carbonate reservoirs: Insights from outcropping shallow water carbonates in the Umbria-Marche Apennines, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 148, 98-115.
- Ellis, M. A., Laubach, S. E., Eichhubl, P., Olson, J. E., Hargrove, P., 2012. Fracture development and diagenesis of Torridon Group Applecross Formation, near An Teallach, NW Scotland: Millennia of brittle deformation resilience. *Journal of the Geological Society* 169, 297-310.
- Engelder, T., Gross, M., Pinkerton, P., 1997. An Analysis of joint development in thick sandstone beds of the Elk Basin Anticline, Fractured Reservoirs, Characterization and Modeling, Montana-Wyoming. *Rocky Mountain Association of Geologists 1977 Guidebook*, Denver, Colorado.
- Fabbri, O., Gaviglio, P., Gamond, J. F., 2001. Diachronous development of master joints of different orientations in different lithological units within the same forearc basin deposits, Kyushu, Japan. *Journal of Structural Geology* 23, 239-246.
- Gale, J. F. W., Laubach, S. E., Marrett, R. A., Olson, J. E., Holder, J., Reed, R. M., 2004. Predicting and characterizing fractures in dolostone reservoirs: using the link between diagenesis and fracturing. In: Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G., Darke, G. (Eds.), *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs*. Geological Society of London, Special Publication 235, 177-192.
- Gross, M. R., 1993. The origin and spacing of cross joints: example from the Monterey Formation, Santa Barbara coastline. California. *Journal of Structural Geology* 5, 737-751.
- Gross, M. R., 1995. Fracture partitioning: Failure mode as a function of lithology of the Monterey Formation of coastal California. *Geological Society of America Bulletin* 107, 779-792.
- Gross, M. R., Fisher, M. P., Engelder, T., Greenfield, R. J., 1995. Factors controlling joint spacing in interbedded sedimentary rocks: integrating numerical models with field observations from the Monterey Formation, USA, In: Ameen, M. S., (ed.) *Fractography, fracture topography as a tool in fracture mechanics and stress analysis*. Geological Society, London, Special Publications 92, 215-233.
- Gross, M. R., 2003. Mechanical stratigraphy: the brittle perspective. *GSA Abstracts with Programs* 36, 641.
- Hatzor, Y. H., Palchik, V., 1997. The influence of grain size and porosity on crack Initiation stress and critical flaw length in dolomites. *International Journal of Rock Mechanics* 34, 805-816.
- Huang, Q., Angelier, J., 1989. Fracture spacing and its relation to bed thickness. *Geological Magazine* 126, 355-362.
- Hugman, R. H. H., Friedman, M., 1979. Effects of texture and composition on mechanical behavior of experimentally deformed carbonate rocks. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63, 1478-1489.
- Ji, S., Saruwatari, K., 1998. A revised model for the relationship between joint spacing and layer thickness. *Journal of structural geology* 20, 1495-1508.
- Ji, S., Zhu, Z., Wang, Z., 1998. Relationship between joint spacing and bed thickness in sedimentary rocks: effects of interbed slip. *Geological Magazine* 135, 637-635.
- Laubach, S. E., 2003. Practical approaches to identifying sealed and open fractures. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 87, 561-579.
- Laubach, S. E., Olson, J. E., Gross, M. R., 2009. Mechanical and fracture stratigraphy. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 93, 1413-1426.
- Laubach, S. E., Eichhubl, P., Hilgers, C., Lander, R. H., 2010. Structural diagenesis. *Journal of Structural Geology* 32, 1866-1872.
- Lorenz, J. C., Farrell, H. E., Hanks, C. L., Rizer, W. D., Sonnenfeld, M. D., 1997. Characteristics of Natural Fractures in Carbonate Strata, Carbonate Seismology. *Geophysical Developments* 6, 179-203.

- Morettini, E., Thompson, A., Eberli, G., Rawnsley, K., Roeterdink, R., Asyee, W., Christman, P., Cortis, A., Foster, K., Hitchings, V., Kolkman, W., Van Konijnenburg, J. H., 2005. Combining high-resolution sequence stratigraphy and mechanical stratigraphy for improved reservoir characterization in the Fahud field of Oman. *GeoArabia* 10, 17-44.
- Narr, W., Lerche, I., 1984. A Method for Estimating Subsurface Fracture density in Core. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 68, 637-648.
- Narr, W., Suppe, J., 1991. Joint spacing in sedimentary rocks. *Journal of Structural Geology* 13, 1037-1048.
- Nelson, R. A., 1985. *Geologic analysis of naturally fractures reservoirs*. Gulf Publishing, Houston.
- Nelson, R. A., 2001. *Geological analysis of naturally fractured reservoirs 2nd edn*. Gulf Professional Publishing, Houston.
- Olson, J. E., Laubach, S. E., Lander, R. H., 2009. Natural fracture characterization in tight gas sandstones: Integrating mechanics and diagenesis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 93, 1535-1549.
- Ortega, O. J., Marrett, R., Laubach, S. E., 2006. A scale- independent approach to fracture intensity and average fracture spacing. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 90, 193-208.
- Price, N. J., 1996. *Fault and joint development in brittle and semi- brittle rock*. Pergamon Press, Oxford, England.
- Seyed- Emami, K., Brants, A., Bozorgnia, F., 1971. Stratigraphy of the Cretaceous rocks southeast of Esfahan, Theran, Iran. *Geological Survey of Iran Report* 20, 5-27.
- Shackleton, R. J., Cooke, M. L., Sussman, A. J., 2005. Evidence for temporally changing mechanical stratigraphy and effects on joint-network architecture. *Geology* 33, 101-104.
- Shaocheng, J., Zheming, Z., Zichao, W., 1998. Relationship between joint spacing and bed thickness in sedimentary rocks: effects of interbed slip. *Geology and Magnetic* 135, 637-655.
- Strijker, G., Bertotti, G., M. Luthi, S., 2012. Multi-scale Fracture Network Analysis from an Outcrop Analogue: a Case Study from the Cambro-Ordovician Clastic Succession in Petra, Jordan. *Marine and Petroleum Geology* 38, 104-116.
- Underwood, C. A., 1999. Stratigraphic controls on vertical fracture patterns within the Silurian dolomite of Door County, Wisconsin and implications for groundwater flow. M.Sc. Dissertation, University of Wisconsin - Madison, Wisconsin.
- Underwood, C. A., Cooke, M. L., Simo, J. A., Muldoon, M. A., 2003. Stratigraphic controls on vertical fracture patterns in Silurian dolomite, northeastern Wisconsin. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 87, 121-142.
- Wennberg, O. P., Svana, T., Azizzadeh, M., Aqrawi, A. M. M., Brockbank, P., Lyslo, K. B., Ogilvie, S., 2006. Fracture intensity vs. mechanical stratigraphy in platform top carbonates: the Aquitanian of the Asmari Formation, Khaviz Anticline, Zagros, SW Iran. *Petroleum Geoscience* 12, 235-245.
- Wu, H., Pollard, D. D., 1995. An experimental study of the relationship between joint spacing and layer thickness. *Journal of structural geology* 17, 887-905.
- Yale, D. P., Jamieson, W. H. Jr., 1994. Static and Dynamic Properties of Carbonates. *Rock Mechanics*, P.P. Nelson and S.E. Laubach (eds.), Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 463-472.
- Yazdi, M., Bahrami, A., Vega, F. J., 2009. Albian decapod crustacean from Southeast Isfahan, Central Iran- Kolah- Qazi area. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum* 35, 71-77.
- Zahm, C. K., Hennings, P. H., 2009. Complex fracture development related to stratigraphic architecture: Challenges for structural deformation prediction, Tensleep Sandstone at the Alcova anticline, Wyoming. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 93, 1427-1446.