

# درزه‌شدگی سنگ‌های سازند کرج در ورقه راندگی پورکان-وردیج، شمال تهران

علیرضا شافعی<sup>۱\*</sup> و محمدرضا قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۱۷

## چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناسایی هندسه و جنبش‌شناسی (کرنش حاصل از) درزه‌ها، ارتباط و پراکندگی زمانی و مکانی درزه‌ها با دو نسل دگربرختی روی داده در ورقه راندگی پورکان-وردیج و ارتباط گسترش انواع درزه‌ها با ویژگی‌های سنگ‌شناختی لایه‌های سازند کرج صورت گرفت. با توجه به این که پهنه مورد مطالعه شامل رسوبات آذرآواری و آذرین با گوناگونی زیادی است، سنگ‌های اشاره‌شده به ۵ واحد اصلی شامل توف سبتر لایه تا توده‌ای، توف نازک لایه تا متوسط لایه، توالی توف-شیل-ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌های آذرین دسته‌بندی شدند. برداشت درزه‌ها به روش انتخابی و تا حدودی به کمک فهرست‌نویسی انجام شد که دارای ویژگی سرعت در برداشت و آمارگیری هستند. تقسیم‌بندی درزه‌ها نیز بر پایه تمرکز قطب صفحه‌های درزه‌ها انجام شده است. از شاخص فاصله شکستگی (FSI) استفاده شد که مقادیر آن یکی از عوامل مهارکننده ریخت‌شناسی واحدهای سنگی و تأثیر فرسایش بر آنهاست؛ افزون بر این با بهره‌گیری از این شاخص می‌توان فاصله‌بندی درزه‌ها را در لایه‌های دیگر در نواحی پیرامون پیش‌بینی کرد. مهم‌ترین کاربرد این ویژگی در راه‌سازی، تونل‌سازی و دیگر کاربردهای مهندسی است. مقایسه نمودارهای شاخص فاصله شکستگی (FSI) در واحدهای سنگی گوناگون، نشان می‌دهد که واحدهای نفوذی و سبتر لایه شاخص فاصله شکستگی بسیار متفاوت دارند، در یک بازه گسترده هستند و در بیشتر موارد به علت تراکم کمتر درزه‌ها فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به دیگر واحدها از خود نشان می‌دهند. از همین روی، این واحدها رخنمون‌های برجسته‌تری دارند. دو دسته‌درزه اصلی  $J_1$  و  $J_2$  با روند شمال باختری-جنوب خاوری و  $J_3$  با روند شمال خاوری-جنوب باختری (بیشترین فراوانی را در این دسته‌بندی از خود نشان می‌دهند. هر دوی این دسته‌درزه‌ها از نوع کششی هستند و روند آنها راستای تنش اصلی پیشینه ( $\sigma_1$ ) را در زمان تشکیل دسته‌درزه نشان می‌دهند. مطالعات این پژوهش در گستره مورد بررسی، تأیید می‌کند که مقدار کرنشی که درزه‌ها ایجاد می‌کنند بسیار کم است.

**کلیدواژه‌ها:** درزه، رده‌بندی، سازند کرج، راندگی پورکان-وردیج، شاخص فاصله شکستگی (FSI)

\*نویسنده مسئول: علیرضا شافعی

E-mail: alireza-shafeii@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

گستره مورد مطالعه در البرز مرکزی و در میان دو گسل راندگی امام‌زاده‌داوود و پورکان-وردیج قرار دارد (شکل ۱). رشته‌کوه‌های البرز در شمال ایران با طول بیش از ۶۰۰ کیلومتر و پهنای ۱۰۰ کیلومتر در راستای کناره جنوبی دریای کاسپین گسترده شده است (Allen et al., 2003 a & b). این رشته‌کوه بخشی از سامانه آلپ-همیالیا است و دچار رخدادهای کوهزایی آلبی شده است (Alavi, 1996). چین‌خوردگی و تغییر در رژیم فشارشی پهنه ساختاری این گستره تا حدودی شناخته شده است ولی این تغییر از دیدگاه درزه‌ها که گسترش قابل ملاحظه‌ای در این سنگ‌ها دارند، تاکنون مورد بررسی دقیق قرار نگرفته است. شناسایی ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی و گسلش در طی دو گامه دگربرختی سنگ‌های سازند کرج می‌تواند به شناخت بهتر دو رویداد دگربرختی اصلی البرز در طی سنوزویک کمک کند و ممکن است الگوی مناسبی برای درزه‌نگاری این بخش مهم از البرز در پژوهش‌های ساختاری فراهم آورد. از این‌رو پژوهش حاضر بر آن است که به بررسی و شناسایی هندسه و جنبش‌شناسی (کرنش حاصل از) درزه‌ها، ارتباط پراکندگی زمانی و مکانی درزه‌ها با دو نسل دگربرختی و ارتباط گسترش انواع درزه‌ها با ویژگی‌های سنگ‌شناسی لایه‌های سازند کرج بپردازد.

## ۲- روش کار

در برداشت‌های سطحی، بسته به هدف مطالعات، تا ۱۰ ویژگی درزه‌ها و گسل‌ها، برداشت می‌شود. ولی در بیشتر موارد ۲ ویژگی شیب و سوی شیب، برای دسته‌بندی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای شناسایی پهنه‌های شکسته پیشنهاد شده است که هر کدام به دلایلی با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های رده‌بندی نزدیک‌ترین همسایه

(K Nearest Neighbor- KNN)، پارزن (Parzen)، بیزین، شبکه عصبی (neural networks)، رده‌بندی‌کننده خطی (Linear Classifier) و کمینه ریسک (Minimum Risk) و از میان روش‌های خوشه‌بندی نیز می‌توان به روش‌های خوشه‌بندی میانگین K (K Means Clustering)، خوشه‌بندی میانگین K فازی (fuzzy K Means Clustering) و گوستاسون-کسل (Gustafson - Kessel) اشاره کرد. در این پژوهش یک روش ترکیبی برای بررسی دسته‌درزه‌ها پیشنهاد شده است. این روش به دلیل این که از قطب صفحه‌های درزه‌ها برای تقسیم‌بندی استفاده می‌کند همه ویژگی‌های درزه به صورت سه‌بعدی را در برمی‌گیرد بنابراین دیگر ویژگی‌های درزه‌ها می‌توانند در راستای مقایسه و تفسیر بهتر به کار روند.

مسیرهای پیمایش برای برداشت درزه‌ها به‌طور چیره شامل برش‌های جاده، دره‌ها و سطح برونزد لایه‌ها بوده است. در هر ایستگاه پس از ثبت مختصات جغرافیایی (به کمک GPS)، نوع واحد سنگی و وضعیت لایه‌بندی (به صورت شیب و سوی شیب) و ویژگی‌های هر دسته‌درزه اندازه‌گیری و توصیف شد که به صورت جدول‌هایی ثبت شده است. برای برداشت در هر ایستگاه به صورت مشاهده‌ای یک رخنمون انتخاب، از دسته‌درزه‌های شاخص آن، بسته به فاصله‌بندی درزه‌ها، از ۳ تا ۵ اندازه‌گیری انجام و میانگین آنها یادداشت شد. در مواردی که درزه‌ها سامانه‌ای به نظر نمی‌رسیدند باز هم درزه‌ها اندازه‌گیری و توصیف شدند چرا که این احتمال وجود دارد که این گونه درزه‌ها، فاصله‌بندی بزرگ‌تری از اندازه رخنمون داشته باشند.

در گامه بعدی به تشخیص دسته‌درزه‌های اصلی و تقسیم‌بندی آنها پرداخته شد. برای این منظور ابتدا در نرم‌افزار (RockWorks, 2006) کل دسته‌درزه‌ها روی یک طرح هم‌مساحت ترازبندی‌شده (نمودار کنتوردار) نمایش داده شد (شکل ۲-آ) و سپس گستره‌های دارای بیشترین تمرکز قطب‌ها مشخص شد. ابتدا نواحی تمرکز

مختلف به شکل معنی‌داری قابل مقایسه خواهند بود. شاخص فاصله شکستگی (Fracture Spacing Index- FSI) شیب بهترین خط عبوری از نقاط معرف میانگین ستبرای در برابر میانگین فاصله‌بندی برای هر طبقه مشخص است (Narr & Suppe, 1991). وابستگی فاصله‌بندی به ستبرای لایه در طبقات با ستبرای بیشتر از دو متر صدق نمی‌کند و طبقات با ستبرای یکنواخت برای تحلیل فاصله‌بندی درزه‌ها آرمانی هستند. چنین طبقاتی باید به‌اندازه کافی برونزد داشته باشند تا بتوان چندین درزه را برداشت کرد. مقدارهای زیاد FSI نشان می‌دهد که دسته درزه، گسترش بهتری و فاصله‌بندی کمتری دارد (Silliphant et al., 2002; Engelder et al., 1997). شاخص FSI بسته به شمار ایستگاه‌های مربوط به هر دسته درزه دقت بیشتری دارد. با استفاده از شاخص FSI می‌توان فاصله‌بندی درزه‌ها را در طبقات دیگر در نواحی پیرامون پیش‌بینی کرد. این ویژگی از مهم‌ترین کاربردهای این شاخص در راه‌سازی و تونل‌سازی است. استفاده از این ویژگی با توجه به آنکه گستره مورد بررسی در مسیر ساخت بزرگراه تهران- شمال قرار دارد، به ابزاری مناسبی برای شناسایی دسته‌درزه‌های اصلی در این طرح تبدیل می‌شود.

شاخص فاصله شکستگی با توجه به معادله خطی هر یک از ۵ واحد سنگی جدا شده، در جدول ۳ آورده شده‌است. شکل ۶ نمودار FSI واحدهای سنگی توف ستبرالایه تا توده‌ای، توف نازک‌لایه تا متوسط‌لایه، توالی توف- شیل- ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌آذرین است که می‌توان شاخص فاصله شکستگی به‌دست‌آمده برای ۲ دسته درزه اصلی  $J_1$  و  $J_2$  را با هم مقایسه کرد.

مقایسه نمودارهای شاخص فاصله شکستگی (FSI) نسبت به واحدهای سنگی نشان می‌دهد که واحدهای نفوذی و ستبرالایه شاخص فاصله شکستگی بسیار متفاوتی دارند، در یک بازه گسترده هستند و در بیشتر موارد به علت تراکم کمتر درزه‌ها فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به دیگر واحدها از خود نشان می‌دهند و از این رو این واحدها، رخنمون‌های برجسته‌تری دارند. هر چه ستبرای واحدهای سنگی کمتر می‌شود (کمتر از ۲ متر) این شاخص قابل اعتمادتر است، به گونه‌ای که در توالی توف- شیل- ماسه‌سنگ این شاخص برهم منطبق و به شکل معنی‌داری قابل تفسیر و پیش‌بینی دسته‌درزه‌های اصلی است. برای دیگر دسته‌درزه‌ها نیز می‌توان با به دست آوردن FSI این پیش‌بینی را انجام داد.

گرنش (Strain) (دگرریختی جسم ناسخت) عبارت است از دگرریختی که در آن موقعیت نسبی ذره‌های درون جسم دچار تغییر می‌شود. دگرریختی جسم ناسخت خود به دو دسته فرعی تر به نام‌های تغییر ریخت (Distortion) و تغییر حجم (Dilation) تقسیم‌بندی می‌شود. در تغییر ریخت، ریخت جسم دچار تغییر می‌شود ولی در تغییر حجم مقیاس جسم تغییر می‌کند بدون آنکه ریخت جسم تغییر کند. کرنش ایجادشده در جسم به ۳ روش گوناگون قابل اندازه‌گیری است:

- بررسی تغییر طول خط‌ها
- بررسی تغییر زاویه‌ها
- بررسی تغییر حجم

در هر ۳ روش، حالت پایانی جسم با حالت اولیه آن مقایسه می‌شود و آنچه که در میان این دو حالت روی می‌دهد به‌طور معمول به شمار نمی‌آید.

- تغییر طول خط

۳ فرانسج گوناگون برای بررسی تغییر طول خط‌ها در یک جسم دگرریخت شده تعریف شده است که هر ۳ با هم در ارتباط هستند.

درازشدگی (Extension) عبارت است از نسبت تغییر درازای یک خط ( $\Delta l$ ) به درازای اولیه آن ( $l_0$ ) (شکل ۷).

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{(l_f - l_0)}{l_0} = \frac{l_f}{l_0} - 1 \quad (1)$$

فرونوشت‌های  $i$  و  $f$  به ترتیب برای حالت اولیه (Initial) و پایایی (Final) به کار رفته‌اند. گفتنی است که اگر چه نام این فرانسج، درازشدگی است اما کوتاه‌شدگی

قطب‌ها در بازه‌های تقریباً بزرگی تقسیم شد. نتایج به دست آمده از این تقسیم‌بندی به گونه‌ای بود که شمار قابل توجهی از قطب درزه‌ها را در بر نمی‌گرفت (در حدود ۱۰۰ درزه). برای از بین بردن این کمبود محدوده‌های تقسیم‌بندی کوچک‌تر در نظر گرفته شد تا پوشش مناسبی در نمودار کنتوردار باشد. این کار سبب شد تقریباً همه دسته‌درزه‌های برداشت‌شده در تقسیم‌بندی جای گیرند و بتوان ویژگی‌های هر دسته درزه را به‌صورت جداگانه به آنها نسبت داد. همچنین دسته‌درزه‌هایی که شیب زیاد (بیشتر از ۸۰ درجه) داشتند و یا برخی ویژگی‌های آنها آشکار نبود، از این تقسیم‌بندی خارج شد. در پایان پس از به کار بردن آزمون و خطا در تقسیم‌بندی، همه دسته‌درزه‌ها در نمودار کنتوردار به‌صورت بلوکی و به ۱۴ دسته درزه تقسیم شد (شکل ۲- پ). نام‌گذاری این دسته‌درزه‌ها بر پایه چگونگی قرارگیری و تمرکز قطب‌ها به‌صورت a, b, c، و مانند آن انجام شد. در ادامه تقسیم‌بندی (که در یک جدول در نرم‌افزار (Excle) و به روش تصفیه (Filter) صورت گرفته است) آن را برای مشخص کردن ویژگی آماری و کشیدن نمودار کنتوردار آنها بررسی کردیم (شکل ۲).

ابتدا از ۳ ویژگی مهم‌تر دسته‌درزه‌ها که شامل طول درزه، میزان بازشدگی و فاصله درزه‌هاست، به‌صورت جداگانه میانگین گرفته شد. سپس برای آسانی مقایسه میان دسته‌درزه‌ها برای هر یک از تقسیم‌بندی‌ها، میزان کمینه و بیشینه و همچنین میانگین کل هر یک از ویژگی‌های نام برده مشخص شد (جدول ۱). سپس هر یک از دسته درزه‌های  $J_1$  تا  $J_7$  بر پایه میزان فراوانی ۳ شاخص طول درزه، میزان بازشدگی و فاصله درزه به رده‌های مشخص تقسیم شد (جدول ۲). آن‌گاه از شاخص مورد نظر در رده‌ای که بیشترین فراوانی را به‌خود اختصاص داده است، میانگین گرفته و پس از آن هیستوگرام‌هایی رسم شد که در آنها محور افقی رده‌های شاخص مورد بررسی و محور عمودی فراوانی در آن رده را نمایش می‌دهد. به منظور مقایسه دسته‌درزه‌ها با هم نیز هیستوگرام‌هایی رسم شد که در آنها محور افقی، دسته‌درزه‌ها و محور عمودی میانگین هر یک از ۳ شاخص مورد نظر را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).

### ۳- تحلیل هندسه درزه‌ها

هندسه دسته‌درزه‌ها تحت تأثیر متغیرهای بسیاری است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به جنس سنگ، ستبرای لایه‌بندی و موقعیت نسبت به ساختارهای اصلی مانند چین‌ها و گسل‌ها اشاره کرد. بر پایه ویژگی‌های آماری، دو دسته درزه اصلی تر یعنی  $J_1$  و  $J_2$  را با راستای شمال باختری- جنوب خاوری و  $J_2$  با راستای شمال خاوری- جنوب باختری) که بیشترین تمرکز را نشان می‌دهند، بررسی می‌شوند. از آنجا که پهنه مورد مطالعه شامل رسوبات آذرآواری و آذرین با گوناگونی زیاد است، برای آسانی ابتدا آنها به ۵ واحد اصلی شامل توف ستبرالایه تا توده‌ای، توف نازک‌لایه تا متوسط‌لایه، توالی توف- شیل- ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌آذرین تقسیم شدند. سپس ستبرای میانگین هر واحد که این دسته‌درزه‌ها در آن قرار دارند، محاسبه شد. مهم‌ترین ویژگی که در اینجا بررسی شده و برای رسم نمودار و مقایسه دسته درزه‌ها مورد توجه قرار گرفته است، نسبت ستبرای لایه‌بندی بر میانگین فاصله درزه است.

### ۴- تحلیل مقدارهای شاخص FSI و کرنش حاصل از درزه‌شدگی

فاصله‌بندی درزه‌ها معیارهای اصلی تعیین تراکم درزه‌ها است. میانگین فاصله‌بندی درزه‌های سامانه‌ای در لایه‌های رسوبی پرقوام به‌طور معمول متناسب با ستبرای طبقه است. شاخص‌های دیگری هم فاصله‌بندی درزه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند که عبارتند از ویژگی‌های کشسانی و زبری شکستگی سنگ، اندازه سطح ضعف اولیه، ستبرای لایه‌های کم‌قوام و چگونگی انتشار درزه. نسبت فاصله شکستگی (Fracture Spacing Ratio- FSR)، نسبت میانگین ستبرای لایه بر میانگین فاصله‌بندی درزه است. در نتیجه فاصله‌بندی درزه‌ها به‌دست آمده از لایه‌های با ستبرای

## ۵- نتیجه‌گیری

در گستره مورد مطالعه از میان ۵۲۶ درزه برداشت شده ۴۶۸ درزه به ۱۴ دسته‌درزه تقسیم و ویژگی‌های هر یک از آنها بررسی شده است. این بررسی نشان می‌دهد که ۲ دسته‌درزه اصلی  $J_1$  و  $J_2$  (با روند شمال باختری-جنوب خاوری و  $J_1$  با روند شمال خاوری- جنوب باختری) بیشترین فراوانی را دارند.

مقدارهای به‌دست آمده، از شیب معادله خطی (FSI) بسته به شمار ایستگاه‌های مربوط به هر دسته‌درزه (نسبت ستبرای لایه‌بندی به فاصله درزه‌ها FSR) دقت بیشتری دارد. مقدارهای این شاخص یکی از عوامل مهارکننده ریخت‌شناسی واحدهای سنگی و تأثیر فرسایش بر آنهاست. مقایسه نمودارهای شاخص فاصله شکستگی (FSI) نسبت به واحدهای سنگی، نشان می‌دهد که واحدهای نفوذی و ستبرایه شاخص فاصله شکستگی بسیار متفاوتی دارند، در یک بازه گسترده هستند و در بیشتر موارد به‌علت تراکم کمتر درزه‌ها فرسایش‌پذیری کمتری نسبت به دیگر واحدها دارند. از این رو این واحدها، رخنمون‌های برجسته‌تری دارند. کرنش طولی برای هر یک از ۱۴ دسته درزه محاسبه شد، که مقدارهای به‌دست آمده نشان می‌دهد بیشترین مقدار کرنش طولی بر اثر ایجاد دسته‌درزه‌های  $J_1$  و  $J_2$  روی داده است که این نشان از اصلی بودن دسته درزه‌های  $J_1$  و  $J_2$  دارد. از میان دیگر دسته‌درزه‌ها،  $J_6$  با مقدار ۰/۰۰۹۲۱ و  $J_7$  با مقدار ۰/۰۰۴۹۱ بیشترین میزان کرنش را دارند، که میزان آن به‌احتمال بیانگر تأثیر گسل‌ها و چین خوردگی‌ها روی این دسته‌درزه‌ها است که برای بررسی بیشتر می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد. بنا به تفسیر پژوهش انجام‌شده، در گستره مورد مطالعه دو دسته‌درزه اصلی  $J_1$  و  $J_2$  از نوع ac (محورهای چین) هستند.

در این گستره ناودیس سولقان و تاقدیس واریش- سنگان روند NE-SW ولی ناودیس‌های ارنگه، آتشفگاه، برغان و برخی چین‌های کوچک‌تر روند NW-SE دارند. شواهد نشان می‌دهد که چین‌های با روند NE-SW با چین‌های NW-SE خم شده‌اند، و از آنها قدیمی‌تر هستند. دو دسته‌درزه اصلی به نام‌های  $J_1$  (باروند کلی NW-SE) و  $J_2$  (با روند کلی NE-SW) از نوع کششی و نشان‌دهنده راستای تنش اصلی بیشینه ( $\sigma_1$ ) در زمان تشکیل دسته‌درزه هستند. دسته درزه‌های  $J_1$  نسبت به چین‌های نسل اول ( $F_1$ ) عرضی و دسته‌درزه‌های  $J_2$  بر چین‌های نسل دوم ( $F_2$ ) عمود هستند از این رو به‌نظر می‌رسد دسته‌درزه‌های  $J_1$  از دسته‌درزه‌های  $J_2$  قدیمی‌تر هستند. از آنجا که چین‌های موجود در این گستره به‌صورت چین خوردگی ( $F_1$ ) با روند NE-SW در اثر گامه تنش NNW (نسل اول) و ( $F_2$ ) با روند NW-SE در اثر گامه تنش NNE (نسل دوم) شکل گرفته‌اند، روشن است که تشکیل دسته درزه‌های  $J_1$  و  $J_2$  با همین دو گامه توجیه می‌شود. به این ترتیب که دسته‌درزه  $J_1$  در اثر گامه تنش NNW و دسته درزه  $J_2$  در اثر گامه تنش NNE پدید آمده‌اند. مطالعات این پژوهش در گستره مورد بررسی، تأیید می‌کند که مقدار کرنشی که درزه‌ها ایجاد می‌کنند بسیار کم است.

## سپاسگزاری

بدین وسیله از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای پشتیبانی در طی انجام این پژوهش و از آقای سید آرمان هروی کارشناس ارشد تکنونیک دانش‌آموخته دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، برای کمک‌های ایشان سپاسگزاری می‌شود.

خط را هم در بر می‌گیرد. در واقع درازشدن جسم نوعی درازشدگی مثبت و کوتاه‌شدن جسم نوعی درازشدگی منفی به شمار می‌آید.

برای برآورد میزان کرنش در دسته‌درزه‌های گستره مورد بررسی مقدار درازشدگی برای هر دسته‌درزه طبق رابطه زیر محاسبه شود (شکل ۸). در این رابطه  $\Delta l$  میانگین بازشدگی دسته‌درزه و  $l_0$  میانگین فاصله دسته‌درزه است که هر دو بر حسب میلی‌متر هستند.

مقدارهای کرنش طولی به‌دست آمده برای هر یک از دسته‌درزه‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین کرنش طولی بر اثر ایجاد دسته‌درزه‌های  $J_1$  و  $J_2$  روی داده است. بنابراین مقدارهای به‌دست آمده و پراکندگی آنها نشان از اصلی بودن دسته‌درزه‌های  $J_1$  و  $J_2$  دارد.

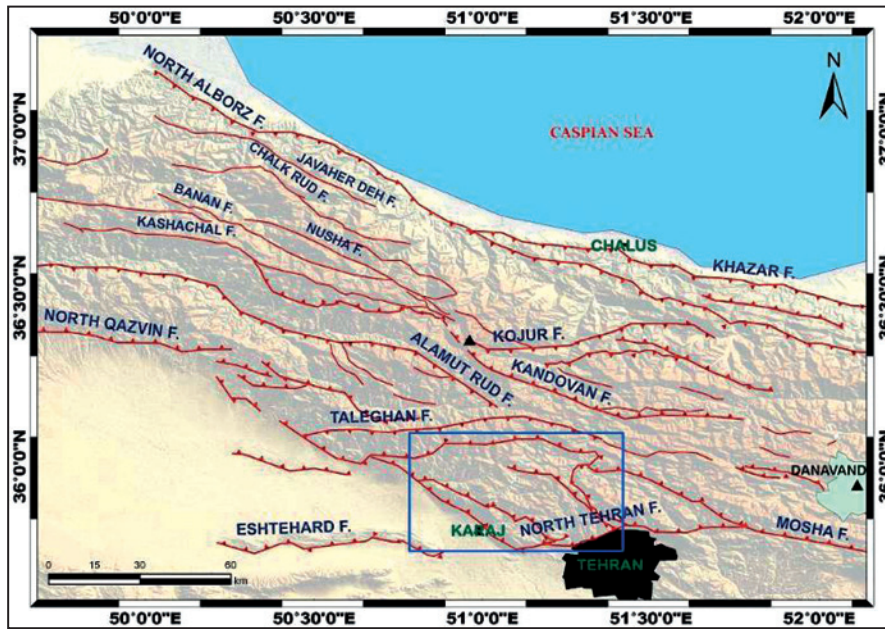
از میان دیگر دسته‌درزه‌ها اصلی،  $J_6$  با مقدار ۰/۰۰۹۲۱ و  $J_7$  با مقدار ۰/۰۰۴۹۱ بیشترین میزان کرنش را دارند، که میزان آن به‌احتمال ناشی از تأثیر گسل‌ها و چین خوردگی‌ها روی این دسته‌درزه‌هاست و نیاز به بررسی بیشتری در این زمینه دارد.

گستره مورد مطالعه دو دسته چین با روند عمود بر هم دارند. مهم‌ترین چین خوردگی‌های این گستره شامل ناودیس سولقان و تاقدیس واریش- سنگان با روند شمال خاور- جنوب باختر (نسل اول چین خوردگی) و ناودیس‌های ارنگه، برغان و آتشفگاه با روند شمال باختر- جنوب خاور (نسل دوم چین خوردگی) است. این چین خوردگی‌ها بر پایه زاویه میان پالی (Fleuty, 1964) و شیب سطح محوری و میل لولای چین رمزی (Ramsay, 1967) مورد تحلیل هندسی قرار گرفته‌اند.

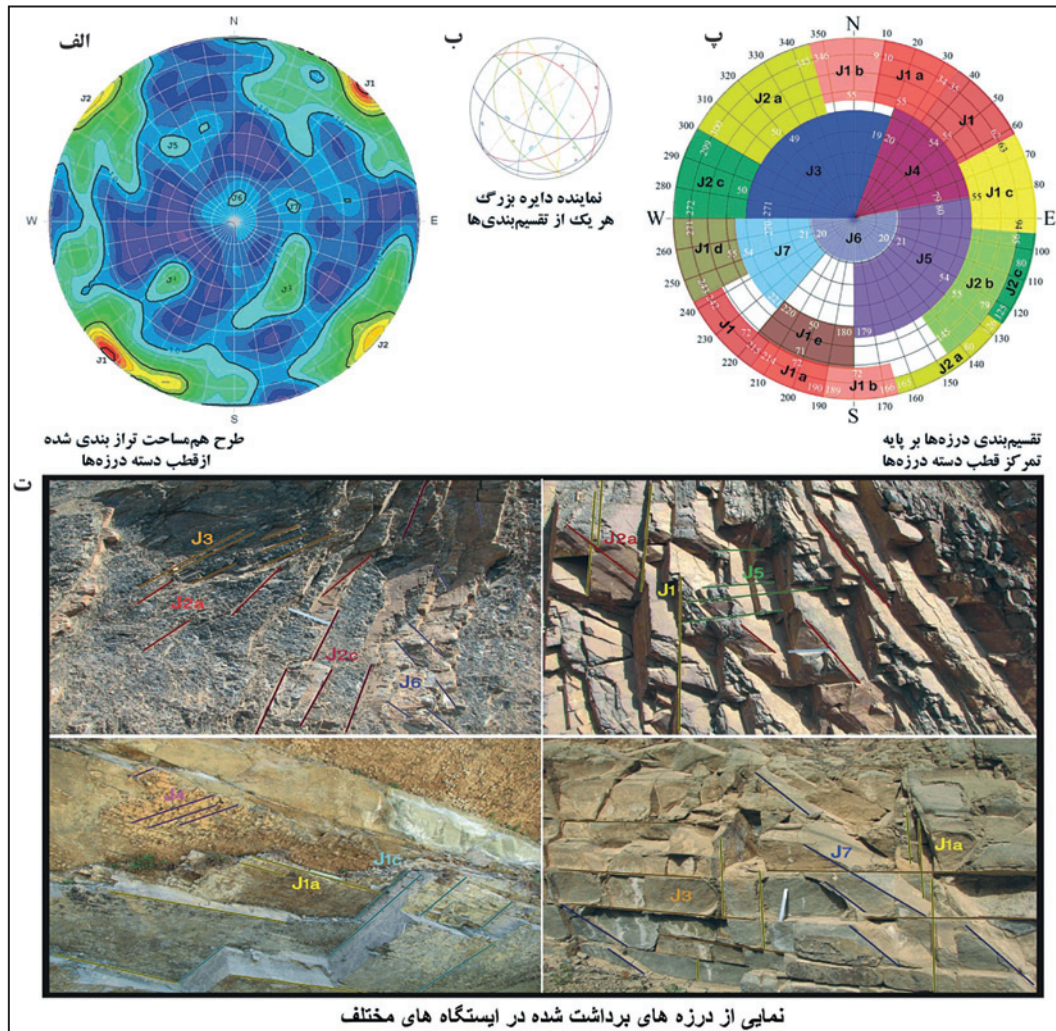
جدول ۵ ویژگی‌های هندسی چین خوردگی‌های اصلی گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تاقدیس واریش- سنگان تنها چینی است که تحت تأثیر نسل دوم چین خوردگی حالت بسته دارد و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر چین‌ها باز هستند و لولای افقی تا نیمه‌افقی و سطح محوری ایستاده تا پرشیب دارند. قطب سطح‌های لایه‌بندی برداشت‌شده به‌همراه محورهای معرف دو نسل چین خوردگی در شکل ۹ نمایش داده شده است که به‌ترتیب روند شمال خاوری- جنوب باختری (نسل اول چین خوردگی) و شمال باختری- جنوب خاوری (نسل دوم چین خوردگی) دارند.

چین‌ها در نهشته‌های ائوسن در شمال گسل شمال تهران دو روند NW-SE و NE-SW دارند. برخی از چین‌ها با روند NE-SW به‌وسیله چین‌های NW-SE خم شده‌اند، در این گستره ناودیس سولقان و تاقدیس واریش- سنگان دارای روند NE-SW هستند ولی ناودیس‌های ارنگه، آتشفگاه، برغان و برخی چین‌های کوچک‌تر روند NW-SE دارند. خمیده شدن تاقدیس واریش- سنگان توسط ناودیس ارنگه نشان می‌دهد که چین‌های با روند NW-SE از چین‌های با روند NE-SW جوان‌تر هستند. از این رو (Alavi 1996) این دو نسل چین خوردگی را  $F_1$  و  $F_2$  نامیده است. در گستره مورد مطالعه دو دسته‌درزه اصلی به‌نام‌های  $J_1$  (باروند کلی NW-SE) و  $J_2$  (با روند کلی NE-SW) قابل تشخیص است هر دوی این دسته‌درزه‌ها از نوع کششی هستند و روند آنها راستای تنش اصلی بیشینه ( $\sigma_1$ ) را در زمان تشکیل دسته‌درزه نشان می‌دهد. دسته‌درزه‌های  $J_1$  نسبت به چین‌های نسل اول ( $F_1$ ) عرضی و دسته‌درزه  $J_2$  بر چین‌های نسل دوم ( $F_2$ ) عمود هستند. از این رو به‌نظر می‌رسد دسته‌درزه‌های  $J_1$  از دسته‌درزه‌های  $J_2$  قدیمی‌تر هستند.

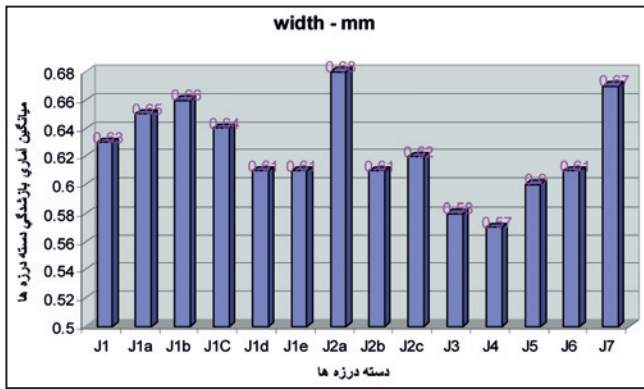




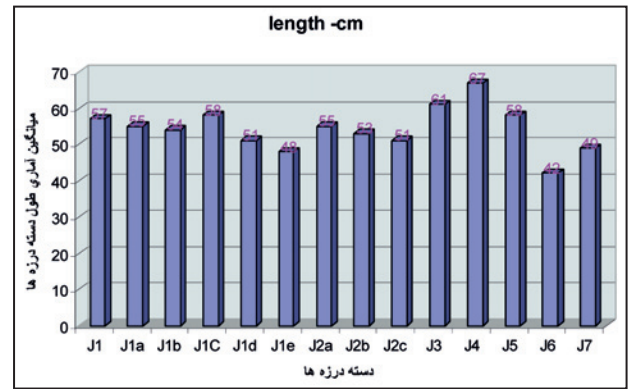
شکل ۱- نقشه گسل‌های بنیادی البرز مرکزی. چهار گوش آبی موقعیت گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



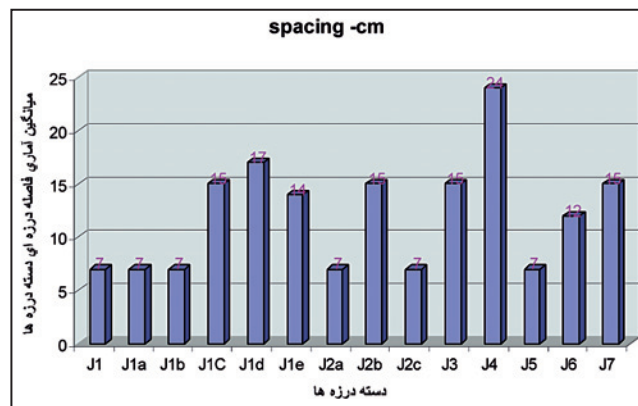
شکل ۲- الف) طرح هم‌مساحت تراز بندی شده (نمودار کنتوردار)؛ ب) دایره بزرگ تقسیم‌بندی‌ها؛ پ) تقسیم‌بندی درزه‌ها بر پایه تمرکز قطب دسته درزه‌ها و ت) نمایی از انواع دسته درزه‌ها در چند رخنمون از سازند کرج.



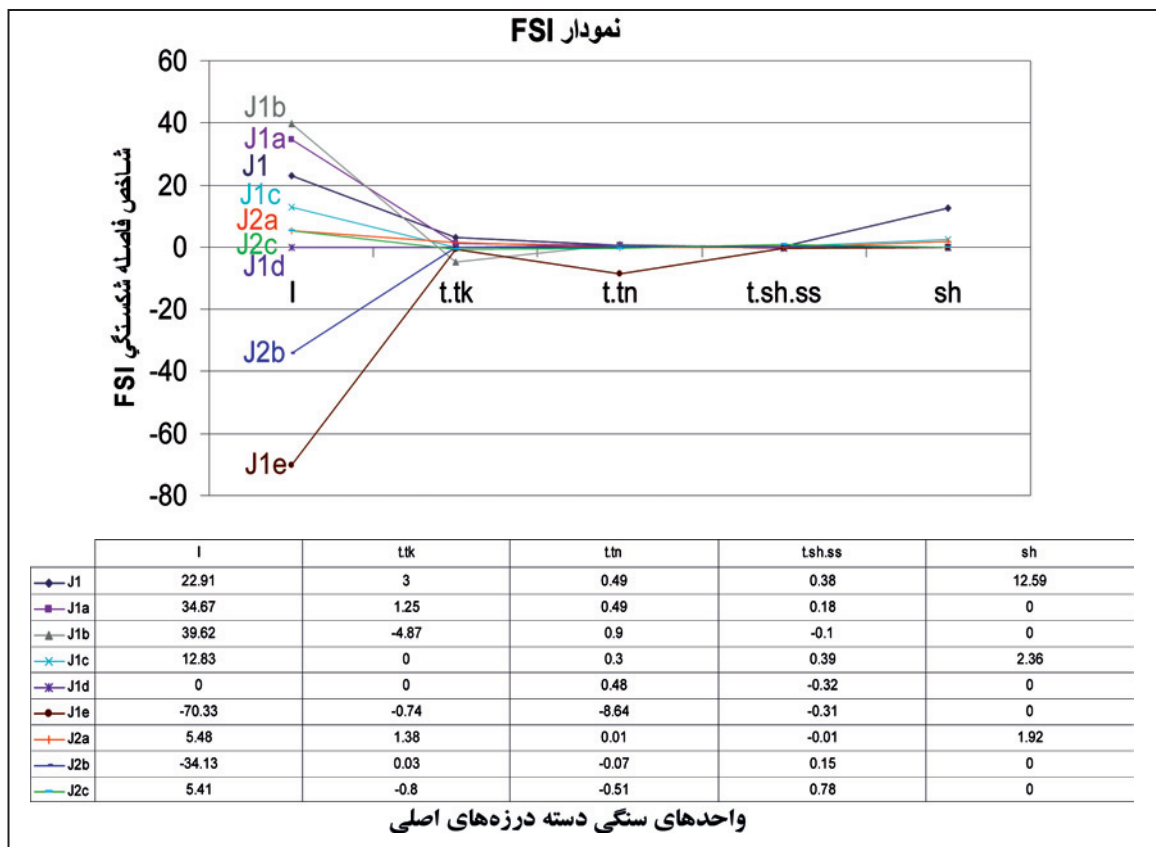
شکل ۴- مقایسه میانگین بازشدگی (بر حسب میلی متر) دسته درزه‌ها با یکدیگر (جدول ۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین طول (بر حسب سانتی متر) دسته درزه‌ها با یکدیگر (جدول ۲).

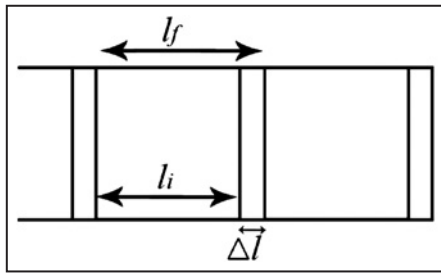


شکل ۵- مقایسه میزان فاصله (بر حسب سانتی متر) دسته درزه‌ها با یکدیگر (جدول ۲).

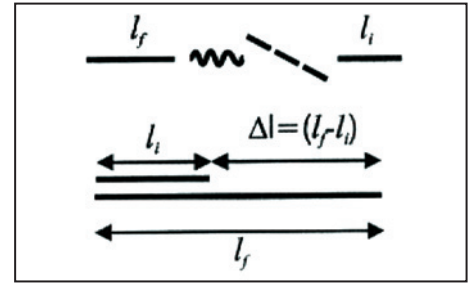


شکل ۶- نمودار شاخص فاصله شکستگی (FSI) ۵ واحد سنگی برای دسته درزه‌های اصلی J1 و J2.

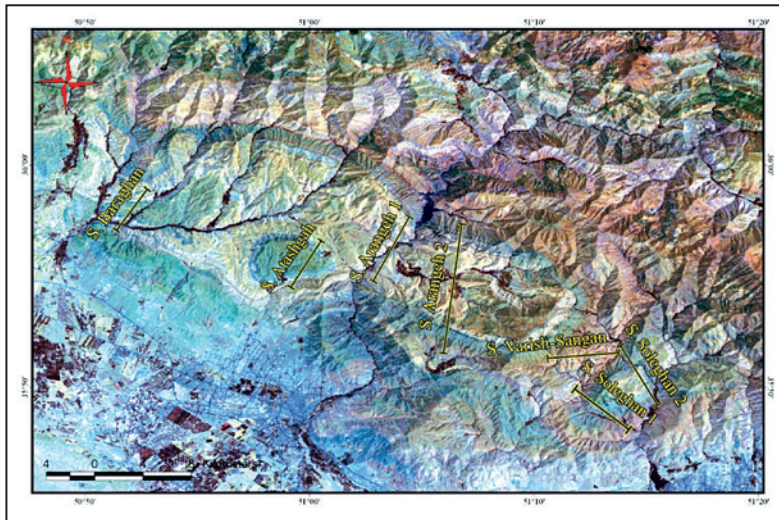




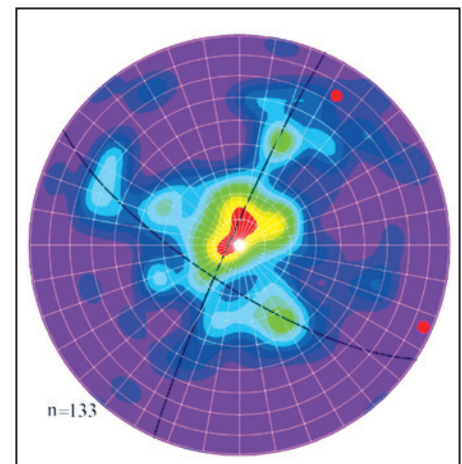
شکل ۸- نسبت طول اولیه ( $l_i$ )، به طول تغییر یافته (طول پایانی) ( $l_f$ )، اختلاف طول  $\Delta l$  برابر است با بازشدگی درزه.



شکل ۷- یک خط در جسم دگرریخت شده از راه‌های گوناگون دچار درازشدگی یا کوتاه‌شدگی می‌شود و با مقایسه طول اولیه آن با طول پس از دگرریختی می‌توان درازشدگی آن را محاسبه کرد.



شکل ۱۰- مسیر برداشت چین‌های گستره مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای سنجنده Landsat ETM جدایش ۳۰ متر.



شکل ۹- نمودار کنتوردار قطب لایه‌بندی‌های برداشت شده در گستره مورد بررسی.

جدول ۲- ویژگی‌های آماری عمومی دسته‌درزه‌ها

شکل	تعداد درزه‌های بر ماستد	میانگین آماری بیشترین فراوانی			گستره عمق	گستره جهت شیب	دسته درزه
		فاصله درزه‌ها (cm)	میزان بازشدگی (mm)	طول (cm)			
بیشتر صاف تا صاف-مستحی	۳	۷	۰.۶۳	۵۷	۱-۲۲ ۱-۵۵	۲۲۴-۲۱۵ ۶۲-۳۵	J1
بیشتر صاف تا کمی مستحی در پله ای	۱	۷	۰.۶۵	۵۵	۱-۵۵ ۱-۷۲	۳۳-۱۰ ۲۱۶-۱۹۰	J1a
صاف تا صاف پله ای	۲	۷	۰.۶۶	۵۴	۱-۵۵ ۱-۷۲	۱۰۶-۳۳۴ ۱۸۶-۱۶۶	J1b
صاف-تاهموار تا صاف-پله ای	۲	۱۵	۰.۶۴	۵۸	۱-۵۵	۱۶-۶۳	J1c
درزه صاف-پله ای	۱	۱۷	۰.۶۱	۵۱	۱-۵۵	۲۷-۲۳۳	J1d
صاف-تاهموار تا کمی مستحی	-	۱۴	۰.۶۱	۴۸	۷۱-۵۰	۲۲-۱۸۰	J1e
صاف، صاف-مستحی، پله ای و تاهموار	۳	۷	۰.۶۸	۵۵	۱-۸۰ ۱-۵۰	۱۶۵-۱۲۴ ۳۳۵-۳۰۰	J2a
صاف-مستحی تا صاف-پله ای	۳	۱۵	۰.۶۱	۵۳	۷۶-۵۵	۱۶۵-۶۵	J2b
صاف-پله ای تا صاف-تاهموار	۱	۷	۰.۶۲	۵۱	۱-۸۰ ۱-۵۰	۱۶۵-۶۵ ۲۶۶-۲۷۱	J2c
صاف-پله ای تا صاف-مستحی	-	۱۵	۰.۵۸	۶۱	۶۶-۰	۱۱۶-۲۷۱	J3
صاف-پله ای تا صاف-مستحی	-	۲۴	۰.۵۷	۶۷	۵۳-۰	۷۶-۲۰	J4
صاف-پله ای تا صاف و دورریختی موارد مستحی	۲	۷	۰.۶	۵۸	۵۳-۲۱	۱۷۶-۸۰	J5
درزه صاف-پله ای تا صاف	-	۱۲	۰.۶۱	۴۲	۲۰-۰	۲۷-۸۰	J6
صاف تا صاف-مستحی در بعضی موارد تاهموار	-	۱۵	۰.۶۷	۴۹	۵۳-۲۱	۲۷-۲۲۱	J7

جدول ۱- مقدار کمینه، بیشینه و میانگین دسته درزه‌ها

درزه	طول (cm)			بازشدگی (mm)			فاصله درزه (cm)		
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
J1	۱۴	۲۰۰	۱۹۲/۸۵	۰/۵	۵۰	۲/۶۴	۲	۴۰۰	۳۲/۷۰
J1a	۱۶	۶۰۰	۱۴۹/۱۱	۰/۵	۵	۱/۳۲	۲	۲۸۱	۲۴/۲۹
J1b	۲۵	۵۲۵	۱۳۱/۱۴	۰/۵	۴	۱	۴	۴۵	۱۷/۹۴
J1c	۱۱	۵۲۵	۱۵۷/۱۱	۰/۵	۱۰	۱/۸۳	۳	۱۰۰	۲۳/۲۸
J1d	۳۳	۲۲۵	۱۰۳/۱۹	۰/۵	۲/۵	۱/۰۸	۴	۴۸	۱۹/۶۷
J1e	۲۷	۴۵۰	۱۲۱/۵۳	۰/۵	۳	۱/۲۲	۳	۱۲۰	۲۰/۸۰
J2a	۱۱	۵۲۵	۱۳۹/۹۵	۰/۵	۵۰	۲/۳۱	۳	۱۰۰	۴۴/۵۱
J2b	۲۹	۵۲۵	۱۳۷/۶۵	۰/۵	۹	۱/۴۸	۵	۶۰	۲۰/۸۸
J2c	۲۲	۵۲۵	۱۳۵/۷۸	۰/۵	۳	۱/۷۰	۲	۱۶۰	۱۹/۷۲
J3	۲۱	۱۵۰۰	۱۸۷/۹۵	۰/۵	۱۴	۰/۹۹	۳	۱۰۰۰	۴۵/۴۸
J4	۳۴	۵۲۵	۱۲۴/۳۴	۰/۵	۵	۱/۱	۳	۹۴	۲۶/۸۲
J5	۱۴	۵۲۵	۱۴۷/۰۸	۰/۵	۲/۵	۰/۹۱	۴	۱۱۱	۲۷/۴۸
J6	۲۴	۵۲۵	۱۸۷/۴۵	۰/۵	۱۱	۲/۰۴	۶	۶۴	۲۲/۱۳
J7	۱۴	۱۰۰۰	۱۴۰/۳۰	۰/۵	۸	۱/۳۶	۳	۱۴۵	۲۷/۶۷

جدول ۳- شاخص FSI مربوط به ۲ دسته درزه اصلی؛ الف) دسته درزه اصلی ۱؛ ب) دسته درزه اصلی ۲ و پ) راهنمای سنگ شناسی.

دسته درزه‌ها	سنگ شناسی	FSI
J1	T.tk	3.00
	T.tn	0.49
	T.Sh.Ss	0.38
	Sh	12.59
	I	22.91
J1a	T.tk	1.25
	T.tn	0.49
	T.Sh.Ss	0.18
	Sh	-
	I	34.67
J1b	T.tk	-4.87
	T.tn	0.90
	T.Sh.Ss	-0.10
	Sh	-
	I	39.62
J1c	T.tk	-
	T.tn	0.30
	T.Sh.Ss	0.39
	Sh	2.36
	I	12.83
J1d	T.tk	-
	T.tn	0.48
	T.Sh.Ss	-0.32
	Sh	-
	I	-
J1e	T.tk	-0.74
	T.tn	-8.64
	T.Sh.Ss	-0.31
	Sh	-
	I	-70.33

دسته درزه‌ها	سنگ شناسی	FSI
J2a	T.tk	1.38
	T.tn	0.01
	T.Sh.Ss	-0.01
	Sh	1.92
	I	5.48
J2b	T.tk	0.03
	T.tn	-0.07
	T.Sh.Ss	0.15
	Sh	-
	I	-34.13
J2c	T.tk	-0.80
	T.tn	-0.51
	T.Sh.Ss	0.78
	Sh	-
	I	5.41

دسته درزه‌ها	سنگ شناسی
thick-bedded tuff	T.tk
thin-bedded tuff	T.tn
tuff, shale, sandston	T.Sh.Ss
shale	Sh
Igneous	I

الف

ب

پ

جدول ۴- مقدارهای درازشدگی برای دسته درزه‌های گسترده مورد بررسی.

کرنش e	میانگین فاصله درزه‌ای L (mm)	میانگین باز شدگی Δl (mm)
0.00804	328.1	2.64
0.00451	292.4	1.32
0.00557	179.4	1.00
0.00786	232.8	1.83
0.00549	196.7	1.08
0.00586	208.0	1.22
0.00518	445.1	2.31
0.00708	208.8	1.48
0.00862	197.2	1.70
0.00217	454.8	0.99
0.00410	268.2	1.10
0.00331	274.8	0.91
0.00921	221.3	2.04
0.00491	276.7	1.36

جدول ۵- مقایسه چین‌های گستره مورد مطالعه.

نوع چین			زاویه بین یالی	سطح محوری	وضعیت محور	نام چین- برش	
زاویه بین یالی	شیب سطح محوری	میل محوری					
باز	پرشیب	ملازم	۱۰۶	۷۱/۰۳۱	۱۱/۳۰۵	برش کرج- چالوس	ناودیس ارنگه
باز	پرشیب	نیمه افقی	۱۰۳	۷۹/۰۲۹	۰۲/۲۹۹	برش کندر- واریان	
ملازم	پرشیب	نیمه افقی	۱۲۳	۷۹/۱۸۲	۰۲/۰۹۲	ناودیس آتشناگه	
باز	ایستاده	نیمه افقی	۱۱۳	۸۸/۲۰۷	۰۵/۲۹۷	ناودیس برغان	
یسته	ایستاده	نیمه افقی	۶۷	۸۵/۲۸۸	۰۵/۱۹۸	ناقدیس وارش- سنگان	
باز	پرشیب	ملازم	۹۶	۷۵/۳۱۴	۱۲/۰۴۱	برش کوری	ناودیس سولقان
باز	ایستاده	نیمه افقی	۹۳	۸۴/۲۹۹	۰۹/۰۲۸	برش آب سنگان	

### کتابنگاری

- الیاسی، م. و احمدیان، س.، ۱۳۸۷- آرایش هندسی مسیرهای در گستره کن- کرج (بخش جنوبی- البرز مرکزی) بر پایه وارون‌سازی چندگامه‌ای، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۷، ص ۱۴۰-۱۴۹.
- امینی، ب. و امامی، م. ه.، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- شافعی، ع.، ۱۳۸۹- تحلیل کرنش در سازند کرج به کمک درزه‌نگاری، ورقه راندگی پورکان-وردیج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
- قاسمی، م. ر. و مصوری، ف.، ۱۳۷۹- تأثیر صفحه خزر بر زمین‌ساخت البرز، گروه زمین‌ساخت البرز، سازند زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

### References

- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain System in Iran. *Journal of Geodynamics* 21/1, p.1-33.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. & Qorashib, M., 2003a- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology* 25, p.659-672.
- Allen, M. B., Vincent, S. J., Alsop, G. I., Ismail-zadeh, I. & Flecker, R., 2003b- Late Cenozoic deformation in the South Caspian region: effects of a rigid basement block within a collision zone. *Tectonophysics* 366, p.223-239.
- Davis, G. H., 1984- *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley and Sons, New York, 492 p.
- Engelder, T., Gross, M. R. & Pinkerton, P., 1997- An analysis of joint development in thick sandstone beds of the EIK basin Anticline, Montana-Wyoming. In: Hoak, T.E., Klawitter, A.L., Blomquist, P.K. (Eds.), *Fractured Reservoirs: Characterization and Modeling*. Rocky Mountain Association of Geologists Guidebook, p.1-18
- Flewty, M. J., 1964-The description of folds , *proc.Geol.Assoc .London* ,V.75.P.461-492.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere* 2 (1), p.35-52.
- Narr, W. & Suppe, J., 1991- Joint spacing in sedimentary rock: *Journal of Structural Geology*, v. 13, p.1037-1048.
- Nickelsen, R. & Hough, V., 1967- Jointing in the Appalachian Plateau of Pennsylvania. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 78, p.609-630.
- Ramsay, J. G., 1967- *folding and Fracturing of Rocks*, MacGraw-Hill, NewYork, 568P.
- Silliphant, L. J., Engelder, T. & Gross, M. R., 2002- The state of stress in the limb of the Split Mountain anticline, Utah: constraints placed by transected joints. *Journal of Structural Geology*, 24, p.155-172.