

تحلیل هندسی - جنبشی چین خوردگی‌های منطقه چلونک (شمال باختری بیرجند)

یعقوب جلیلی شاه‌منصوری^۱، محمدمهدی خلیب^۲، ابراهیم غلامی^۳ و محمدرضا قاسمی^۴

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۴ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۹

چکیده

در منطقه چلونک در شمال باختری بیرجند در منتهی‌الیه ایالت ساختاری سیستان، واحدهای رسوبی - آذرآواری چین‌خورده به سن ائوسن میانی تا بالایی با اثرهای محوری متفاوت در بین گسل‌های چاهک - موسویه و محمدیه - حصارسنگی قرار دارند. این چین‌ها دارای ویژگی آشکاری چون پراکندگی اثر محوری با روندهای چیره NW-SE، NE-SW و N-S هستند. تحلیل هندسی - جنبشی چین‌های منطقه بر پایه برداشت‌های ساختاری، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، برش‌های ساختاری عرضی و توابع ریاضی صورت گرفته است. با استفاده از رخداد گسل - چین خوردگی، چرخش محور چین‌ها، درصد کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد چین‌های منطقه بررسی و با هم مقایسه شد. مقادیر نسبت ابعاد، درصد کوتاه‌شدگی و میزان چرخش اثر محوری برای چین‌های با روند NE-SW به ترتیب ۱/۶-۳۵۶/۰، ۲۰-۷۷ درصد و ۲۸-۴۰ درجه؛ برای چین‌های با روند NW-SE ۰/۶۲۰-۳۵۲/۰، ۴۱-۲۵ درصد و ۴۰-۲۵ درجه؛ برای چین‌های با روند N-S ۲۵-۳۵۲/۰، ۲۵ درصد و ۲۴ درجه به دست آمد. در این تحلیل ناودیس چاهک، ناودیس چلونک و ناودیس چاهک با محور NE-SW بیشترین و ناودیس شونگان با محور NW-SE کمترین میزان کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد را نشان داده‌اند. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد با افزایش درصد کوتاه‌شدگی، مقدار نسبت ابعاد نیز بیشتر می‌شود. تحلیل عناصر ساختاری نشان داد تغییر اثر محوری ناودیس‌های چلونک، چاهک و حج‌نچ و ناودیس چلونک و چاهک با راستای چیره NE-SW متأثر از گسل راستالغز راست‌بر چاهک - موسویه با روند تقریبی N-S است. همچنین تغییر اثر محوری ناودیس‌های تاج‌کوه، شونگان و حصارسنگی و ناودیس شونگان با راستای چیره NW-SE متأثر از گسل راستالغز چپ‌بر محمدآباد - حصارسنگی با روند تقریبی N-S هستند. توزیع اثر محوری چین‌ها با نسبت ابعاد و کوتاه‌شدگی متفاوت و روندهای مختلف می‌تواند معلول چرخش عناصر چین‌خورده نسبت به موقعیت مؤلفه‌های فشاری باشد.

کلیدواژه‌ها: چین‌خوردگی، تحلیل هندسی - جنبشی، کوتاه‌شدگی، نسبت ابعاد، چلونک.

*نویسنده مسئول: یعقوب جلیلی شاه‌منصوری

E-mail: jalili.yaghoub@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

تکامل تدریجی نسبت ابعاد چین (Aspect Ratio) با کوتاه‌شدگی حجمی (Bulk Shortening) برای محدوده گسترده‌ای از اشکال چین مشابه است و نشان می‌دهد که نسبت ابعاد چین معیار خوبی برای برآورد مقدار کوتاه‌شدگی حجمی است (Ghassemi et al., 2010). پژوهش‌های زیادی روی هندسه چین‌خوردگی و ارتباط آنها با دیگر عناصر ساختاری انجام شده است برای نمونه استفاده و ایجاد توابع ریاضی برای توصیف هندسه چین (Currie et al., 1962; Stabler, 1968; Hudleston, 1973; Stowe, 1988; Srivastava & Gairola, 1997; De Paor, 1996; Jeng et al., 2002; Tripathi & Gairola, 1999; Bastida et al., 1999 & 2005; Sengupta, 1983; Mawer & Williams, 1991; Kobberger & Zulauf, 1995; Kraus & Williams, 1998; Mitra, 2003; Savage & Cook, 2003). در منطقه چلونک در ایالت ساختاری سیستان (نوگل‌سادات، ۱۳۷۲) واحدهای رسوبی و آذرآواری دچار چین‌خوردگی شده‌اند (شکل ۱). این چین‌خوردگی‌ها در کنار گسل‌های راستالغز چاهک - موسویه و محمدیه - حصارسنگی قرار دارند. روند اثر محوری چین‌خوردگی‌های این منطقه در راستاهای متفاوت NE-SW، NW-SE و N-S (شکل‌های ۱ و ۲):

- روند N-S: ناودیس شونگان؛

- روند NW-SE: ناودیس‌های تاج‌کوه و ناودیس شونگان؛

- روند NE-SW: ناودیس‌های حج‌نچ، چلونک، حصارسنگی، چاهک و ناودیس‌های چلونک و چاهک.

با اشاره به این مسئله که پراکندگی اثر محوری چین‌ها با تنش ناحیه‌ای تقریباً

در بخش خاوری توسط گسل چاهک- موسویه و در بخش باختری توسط گسل محمدآباد- حصارسنگی دربر گرفته شده‌اند (شکل ۱). این چین‌ها دارای اثر محوری دوگانه هستند. ارتفاع چین‌ها از شمال به جنوب افزایش تقریباً ۲۱۰ متری دارد.

ناودیس تاج‌کوه در مجاورت گسل راست‌بر محمدآباد- حصارسنگی (شکل ۲) قرار دارد. گسل راست‌الغز چب‌بر تاج‌کوه با موقعیت N83E, 88S و ریک 18SW موجب جابه‌جایی تقریباً ۴۵۰۰ متری در یال جنوبی این چین شده است (شکل ۵). میزان جابه‌جایی و چرخش برای گسل به ترتیب ۱۰۰ متر و ۸ درجه اندازه‌گیری شده است. اثر محوری تاقدیس شونگان در ابتدا و انتهای چین تغییر روند داده که در روی تصاویر ماهواره‌ای تقریباً به صورت زیگموییدال دیده می‌شود (شکل ۴). گسل راست‌الغز راست‌گرد شونگان با موقعیت N36W, 90 و ریک 04SE باعث جابه‌جایی ۳ متری رخنمون واحدهای سنگی در منطقه لولایی این تاقدیس شده است (شکل ۵). در ناودیس شونگان یال باختری این چین تحت تأثیر گسل راست‌الغز راست‌گرد شونگان قرار گرفته و باعث جابه‌جایی واحدهای سنگی شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۵).

ناحیه لولایی تاقدیس چاهک تحت تأثیر گسل چاهک- موسویه دچار بهم‌ریختگی زیادی شده است (شکل ۱). دو گسل راست‌الغز راست‌بر با موقعیت NW-SE و تقریباً عمود بر اثر محوری این تاقدیس، باعث بهم‌ریختگی و جابه‌جایی ۴۵ و ۸۰ متری رخنمون‌های سنگی در یال‌های این تاقدیس شده‌اند (شکل ۲). روی تصاویر ماهواره‌ای و طی بازدیدهای میدانی ناودیس چاهک یک چین بسیار باریک دیده می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). همراه با تغییر اثر محوری از خاور به باختر با اوج‌گیری و افزایش ارتفاع، پلانژ محور چین نیز افزایش پیدا کرده است.

ناودیس چلونک از سوی خاور به گسل چاهک موسویه می‌رسد. همراه با تغییر روند اثر محوری این چین پلانژ آن نیز تغییر پیدا کرده است (شکل ۱). در یال جنوبی این چین گسلی راست‌بر با راستای N60W باعث جابه‌جایی ۴۵ متری رخنمون‌های سنگی در دو سوی گسل شده است.

چین‌خوردگی‌های جنوبی منطقه: این چین‌خوردگی‌ها متشکل از رخساره‌های فلیشی خاور ایران شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل به سن ائوسن میانی هستند (شکل‌های ۲ و ۸ و جدول ۲). از دیدگاه ساختاری چین‌خوردگی‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه در گستره زبانه‌های فلیشی خاور ایران قرار دارند که توسط Camp & Griffis (1982) و Tirrul et al. (1983) با نام Sistan suture zone معرفی شده است و شکل‌گیری این بخش را در اثر پدیده کافت‌شدگی و سپس برخورد می‌دانند (Camp & Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983). این چین‌ها شامل ناودیس حصارسنگی در جنوب باختری منطقه و ناودیس حج‌نچ در جنوب خاوری منطقه هستند. چین‌های جنوبی از سمت باختر توسط گسل چب‌گرد محمدآباد- حصارسنگی و از سوی خاور توسط گسل راست‌الغز راست‌بر چاهک موسویه دربر گرفته شده‌اند (شکل ۱).

ناودیس حصارسنگی یک چین پهن و بسیار دراز با اثر محوری دوگانه روی تصاویر ماهواره‌ای کاملاً مشخص بوده و دماغه این چین با چرخش سرشاخه، به سوی خاور خمیده شده است (شکل ۸) و روند اثر محوری از روند NE-SW به روند تقریباً E-W تغییر پیدا کرده است (شکل ۸). بخشی جنوبی گسل چب‌گرد محمدآباد- حصارسنگی به موازات این چین است. گسل راست‌گرد حصارسنگی تقریباً عمود بر ناحیه لولایی چین بوده و یال شمالی این چین را قطع کرده است (شکل ۸).

۳- بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های جنبشی بر پایه مدل‌های هندسی پایه‌گذاری شده‌اند که آنها نیز به نوبه خود حاصل توصیف شکل‌های چین در مقطع عرضی هستند (Ghassemi et al., 2010). (Ghassemi et al., 2010). ارتباط بین متغیرهای

(1982) Camp & Griffis و (1983) Tirrul et al. با نام زمین‌درز سیستان معرفی شده است. رخنمون سنگی چین‌های جنوب منطقه به سن ائوسن میانی نیز از واحدهای سنگی فلیشی تشکیل شده‌اند. چین‌های بخش میانی منطقه مطالعه در واحدهای آذرآواری و فلیش ایجاد شده‌اند (شکل ۲).

۲- تحلیل هندسی- جنبشی ساختارها

۲-۱. گسل‌ها

گسل چاهک- موسویه: گسل چاهک- موسویه با راستای تقریبی N-S به طول تقریبی ۴۲ کیلومتر در خاور چین‌خوردگی‌های منطقه چلونک که در بخش میانی مماس بر آنها خمیده شده و روند گسل به NE-SW تبدیل شده و در ادامه به روند N-S بازگشته است (شکل ۱). سازوکار این گسل راست‌الغز راست‌گرد گزارش شده است (Walker et al., 2004; Walker & Khatib, 2006; Berberian & Yeats, 2001; Walker & Jackson, 2004).

گسل محمدآباد - حصارسنگی: گسل محمدآباد- حصارسنگی با راستای تقریبی N-S به طول تقریبی ۳۶ کیلومتر در باختر چین‌خوردگی‌های چلونک قرار دارد (شکل ۱). اثر سطحی این گسل در طی بازدیدهای صحرایی پیدا نشد. روی تصاویر ماهواره‌ای جابه‌جایی چب‌گرد رودخانه در امتداد این گسل دیده می‌شود (شکل ۳). این گسل در مجاورت ناودیس تاج‌کوه، تاقدیس شونگان و ناودیس حصارسنگی قرار دارد. شکل این گسلش روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی خمیده و برآمدگی آن به سوی چین‌خوردگی‌های منطقه چلونک است. جابه‌جایی (در امتداد N-S) یال جنوبی ناودیس تاج‌کوه، تحت تأثیر گسل محمدآباد- حصارسنگی است. در امتداد این گسل در مجاورت ناودیس حصارسنگی دماغه این چین متأثر از این گسلش به سوی خاور خمیده شده است. با توجه به خمیده شدن ناحیه لولایی ناودیس حصارسنگی (شکل ۷)، رخداد گسلش چب‌گرد در یال جنوبی ناودیس تاج‌کوه و جابه‌جایی رودخانه، سازوکار این گسل از نوع راست‌الغز چب‌گرد معرفی می‌شود (شکل ۳).

۲-۲. چین‌ها

چین‌های منطقه را برحسب موقعیت، رخنمون واحدهای سنگی و سن واحدها می‌توان به دو دسته، چین‌خوردگی‌های بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرد. ناودیس‌های چلونک، چاهک، شونگان و تاج‌کوه و تاقدیس‌های چلونک، چاهک و شونگان در بخش شمالی قرار دارند. ناودیس‌های حج‌نچ و حصارسنگی در بخش جنوبی منطقه قرار دارند. به منظور تعیین هندسه سطح چین‌خورده و تحلیل جنبشی چین‌ها، نه برش ساختاری عرضی عمود بر اثر محوری چین‌ها مشخص شده (جدول ۱) و مقاطع ساختاری هر چین به روش باسک رسم شد (شکل ۱۱). موقعیت اثر محوری و مقادیر زاویه بین یالی با استفاده از برداشت‌های ساختاری تعیین شده‌اند (جدول‌های ۲ و ۳). با استفاده از دامنه چین و طول موج هر چین ضرایب فوریه محاسبه شده و جایگاه هر چین در نمودار پیشنهادی (Hudleston (1973) مشخص شد (جدول ۲ و شکل ۱۰). مقادیر نسبت ابعاد برای تحلیل مقاطع دوبعدی چین‌ها استخراج شد. همچنین با استفاده از نسبت ابعاد و زاویه بین یالی جایگاه هر چین در نمودار پیشنهادی (Ghassemi et al. (2010) مشخص شد (جدول ۳ و شکل ۹). برای محاسبه میزان کوتاه‌شدگی، مقاطع ساختاری عرضی رسم شده موازنه شده‌اند. در اینجا از روش موازنه طولی برش عرضی ساختاری برای موازنه مقطع عرضی ساختاری استفاده شده (شکل ۱۱) که در آن موازنه طول مقطع با تأکید بر حفظ طول و یکنواختی لایه انجام می‌گیرد (Marshak & Woodward, 1988).

چین‌خوردگی‌های بخش شمالی منطقه: هفت اثر محوری در بخش شمالی منطقه قرار دارد. رخنمون واحدهای سنگی این چین‌ها تقریباً یکسان و شامل توف، ماسه توفی و دیگر آذرآواری‌ها به سن ائوسن میانی تا بالایی هستند (شکل ۴). این چین‌ها

چین‌خوردگی نسبت ابعاد، مقدار کوتاه‌شدگی و نرخ کرنش همسان را به این صورت تعیین کردند که شکل سطح چین‌خورده بسته به میزان کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد متفاوت خواهد بود (در شرایط طول کمان ثابت). به‌طوری که هر چه میزان کوتاه‌شدگی بیشتر شود مقدار نسبت ابعاد نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه میان مقادیر کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد ارتباط مستقیم وجود دارد (شکل ۴؛ Ghassemi et al., 2010). همان‌گونه که در جدول ۳ مشخص است ناودیس‌های چاهک و چلونک و ناقدیس چاهک بیشترین درصد کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد را در میان چین‌های منطقه دارد. همچنین ناودیس‌های حصارسنگی، حج‌نچ و شونگان با داشتن کمترین درصد کوتاه‌شدگی دارای کمترین مقدار نسبت ابعاد هستند (جدول ۳). مقایسه نسبت ابعاد و میزان کوتاه‌شدگی چین‌ها (جدول ۳) نشان داد که چین‌های با اثر محوری NE-SW بیشترین مقدار نسبت ابعاد و درصد کوتاه‌شدگی و چین‌های با موقعیت محور NW-SE کمترین میزان نسبت ابعاد و درصد کوتاه‌شدگی را دارند. تحلیل‌های هندسی - جنبشی نشان داد که تقریباً تناسب میان نسبت ابعاد و میزان کوتاه‌شدگی در چین‌های منطقه چلونک برقرار است که هرچه درصد کوتاه‌شدگی بیشتر باشد نسبت ابعاد نیز بیشتر است.

با توجه به مجاورت گسل راست‌الغز راست‌گرد چاهک - موسویه به ناودیس‌های چلونک و چاهک و ناقدیس‌های چلونک و چاهک، با حرکت دیواره باختری گسل، موقعیت و پلانز محور این چین‌ها متناسب با راستای حرکت گسل تغییر کرده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). همچنین با توجه به جهت‌گیری یال‌های ناودیس‌های تاج‌کوه و شونگان و ناقدیس شونگان در مجاورت با گسل چپ‌گرد محمدآباد - حصارسنگی به نظر می‌رسد محور و پلانز چین‌ها تغییر کرده و تغییر راستای محورها به سوی شمال است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). در نتیجه مؤلفه فشارشی در چین‌های با روند NE-SW متأثر از گسل چاهک - موسویه و مؤلفه فشارشی در چین‌های با روند NW-SE متأثر از دیواره خاوری گسل محمدآباد - حصارسنگی است. همان‌گونه که در مطالعات پیشین مشخص شد در خاور ایران دگرشکلی‌های رخ داده تحت تأثیر تقاطع روند‌های از پیش موجود و روند‌های جدید هستند (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به مجاورت دیواره باختری گسل چاهک - موسویه با ناودیس حج‌نچ به نظر می‌رسد تغییر اثر محوری این ناودیس تحت تأثیر حرکت این گسل است که با تغییر روند محور پلانز آن نیز تغییر کرده است (شکل ۱۲). همچنین می‌توان عنوان کرد حرکت دیواره خاوری گسل محمدآباد - حصارسنگی سبب کج شدن ناحیه لولایی ناودیس حصارسنگی شده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). با توجه به روند اثر محوری NE-SW در کل چین و روند NW-SE در ناحیه لولایی و چرخش کاملاً آشکار دماغه این چین که در نتیجه آن روند محور و پلانز این چین نیز تغییر پیدا کرده‌اند، دماغه این چین تحت تأثیر دیواره خاوری گسل راست‌الغز حصارسنگی واقع شده است. از سوی دیگر طولیل شدن این چین را می‌توان متأثر از گسترش و حرکت ارب‌های خاور ایران (خطیب، ۱۳۷۷) و یا روند ساختاری NW شمال‌بیرجند (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸) دانست.

چین‌های بخش باختری بیشتر است در نتیجه نسبت ابعاد بیشتری را نیز دارند. همان‌گونه که در مطالعات پیشین نیز تغییرات کرنش چین‌ها نشان داد، در روند شمال باختری - جنوب خاوری فشرده‌گی و کرنش بیشتری نسبت به روند شمالی - جنوبی اعمال شده است (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸). برش روند NW-SE توسط دیواره باختری گسل چاهک - موسویه و برش روند NE-SW توسط دیواره خاوری گسل محمدآباد - حصارسنگی تحت تأثیر مؤلفه فشاری NE-SW در محل تقاطع آنها باعث تشکیل چین‌هایی با اثر محوری متفاوت شده است که با ادامه حرکت سبب افزایش ارتفاع و اوج‌گیری چین‌ها به شکل گوه‌مانند در محل تقاطع گسل‌های نامبرده، شده است (شکل ۱۳). اثر محور چین‌های منطقه چلونک در منطقه میانی تقریباً راستای W-E دارند که با نزدیک شدن به گسل چاهک - موسویه به روند NE-SW تغییر راستا داده‌اند. همچنین چین‌ها در مجاورت گسل محمدآباد - حصارسنگی به روند NW-SE تغییر روند داده‌اند. زاویه‌دار بودن محور چین‌ها نسبت به روند گسل‌های نامبرده نشانگر وابستگی این چین‌ها به فعالیت گسل‌ها هستند. با توجه به افزایش میزان دگرشکلی از جنوب منطقه به سوی شمال و رشد مناطق کرنش یافته که سبب افزایش ارتفاع در محل تقاطع دو روند شده، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت دو گسل نامبرده همزمان بوده که به ایجاد یک کرنش پیش‌رونده در منطقه انجامیده است. داده‌های به‌دست آمده از تحلیل‌های هندسی - جنبشی ساختارهای منطقه مورد مطالعه نشان داد که گسل‌های چاهک - موسویه و گسل محمدآباد - حصارسنگی ساختارهای اصلی کنترل‌کننده دگرشکلی هستند.

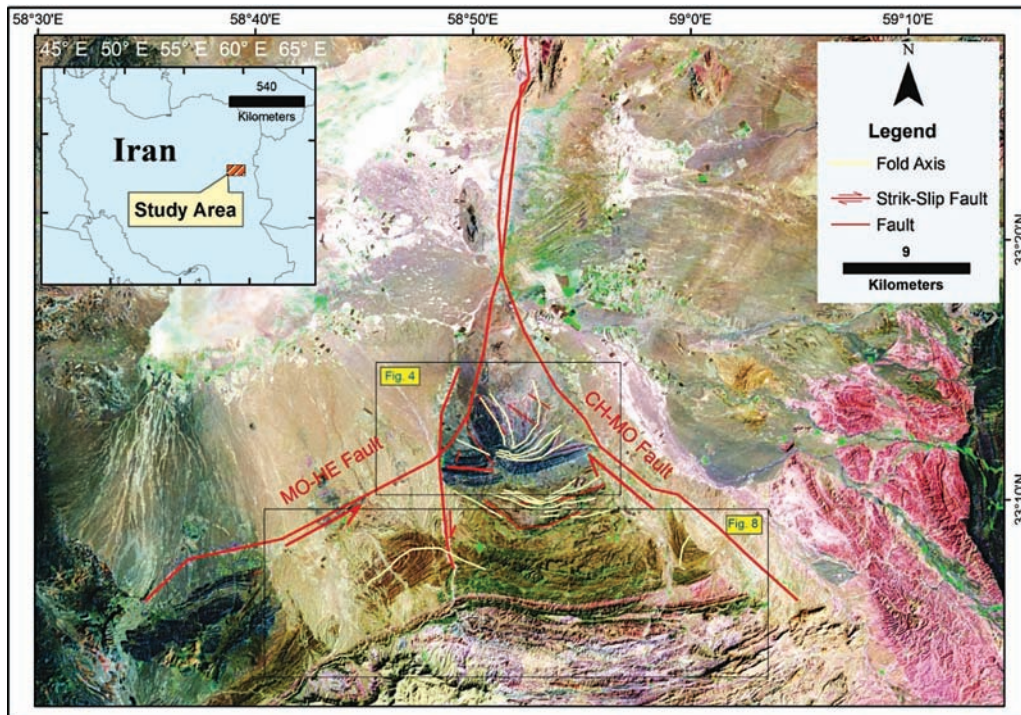
چلونک را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد (شکل ۱۴):

مرحله اول: در این مرحله ناودیس‌های حج‌نچ و حصارسنگی در زمان اتوسن میانی تحت تأثیر حرکت گسل شمال‌بیرجند تشکیل شده‌اند. در این مرحله در شکل ۱۴-الف وضعیت واحدهای آذرآواری شمالی نشان داده شده‌اند (شکل ۱۴-الف).

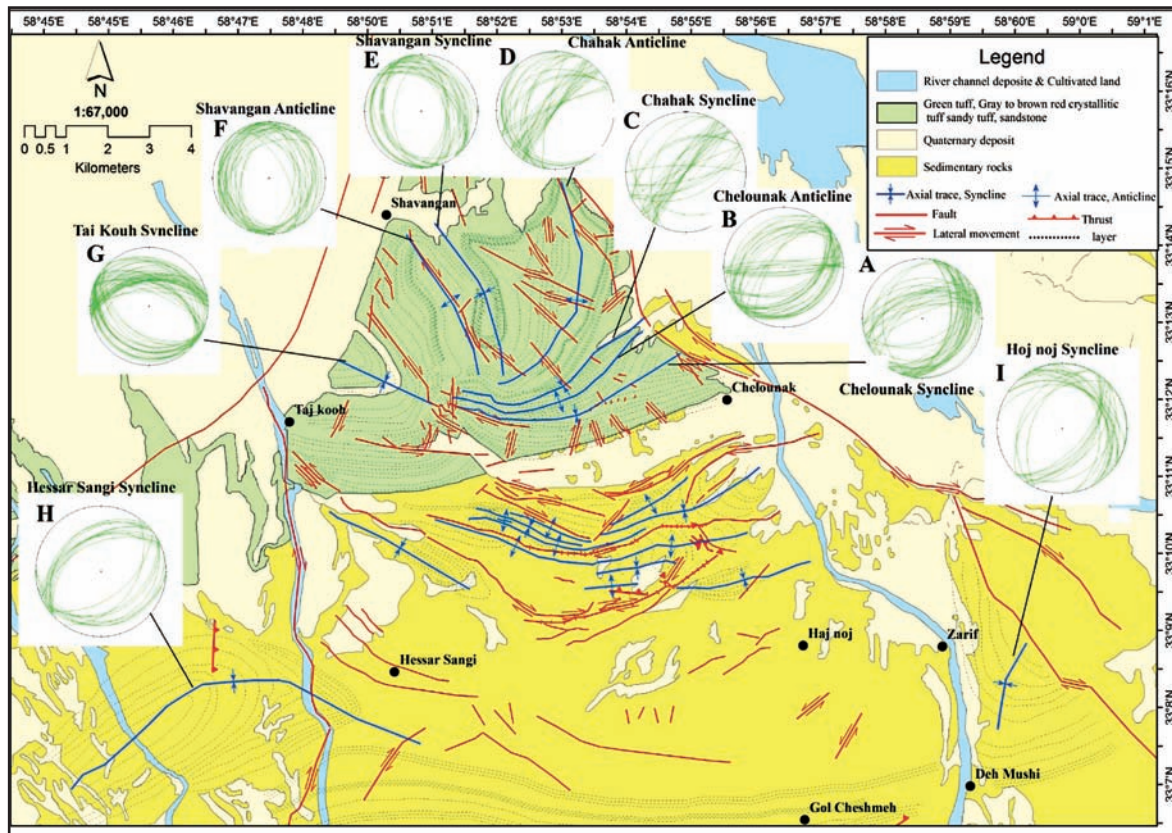
مرحله دوم: در مرحله دوم در زمان اتوسن میانی تا پایانی حرکت گسل‌های CH-MO و MO-HE تحت تأثیر تنش‌های وارده از سوی صفحه عربی و مکران سبب شکل‌گیری چین‌های شمالی منطقه با راستاهای تقریباً خاوری - باختری می‌شود. در نتیجه این حرکت محور چین‌های حج‌نچ و حصارسنگی دچار چرخش می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۱۴-ب مشخص شده است ادامه حرکت گسل‌ها سبب افزایش میزان کوتاه‌شدگی چین‌های منطقه می‌شود. چین‌های شمالی منطقه نیز دچار چرخش می‌شوند. میزان چرخش و کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد چین‌های منطقه متناسب با زاویه محور چین و امتداد گسل متفاوت هستند (شکل ۱۴-ب).

مرحله سوم: در این مرحله در زمان اتوسن بالایی چین‌های جنوبی دچار چرخش و کوتاه‌شدگی بیشتری شده‌اند. محور ناودیس حصارسنگی در ناحیه دماغه چین چرخش آشکاری را نشان می‌دهد. در شکل ۱۴-پ در چین‌های شمالی منطقه چین‌های با راستای NE-SW با توجه به موقعیت محور چین‌ها نسبت به گسل HO-MO دچار بیشترین کوتاه‌شدگی و درجه چرخش شده‌اند. در این میان ناودیس چاهک بیشترین مقادیر کوتاه‌شدگی و نسبت ابعاد را دچار شده است. ناودیس‌های تاج‌کوه و شونگان و ناقدیس شونگان نیز تحت تأثیر گسل MO-HE دچار کوتاه‌شدگی و چرخش شده‌اند. (شکل ۱۴-پ).

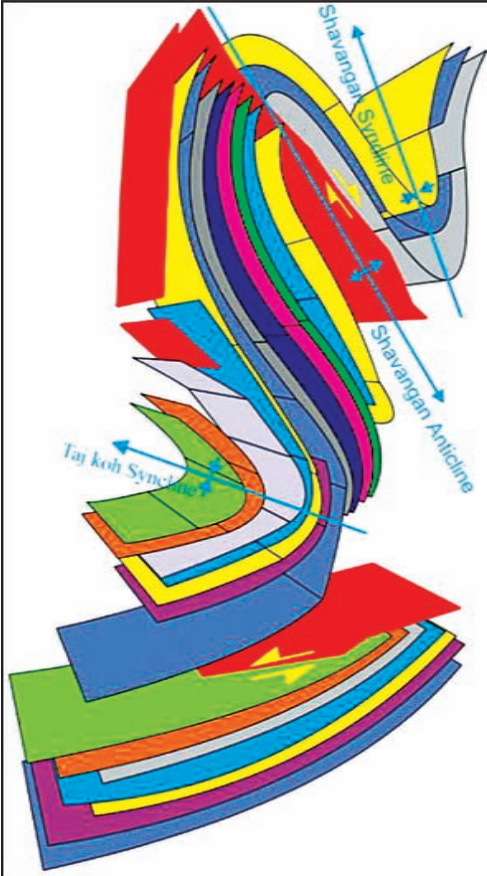
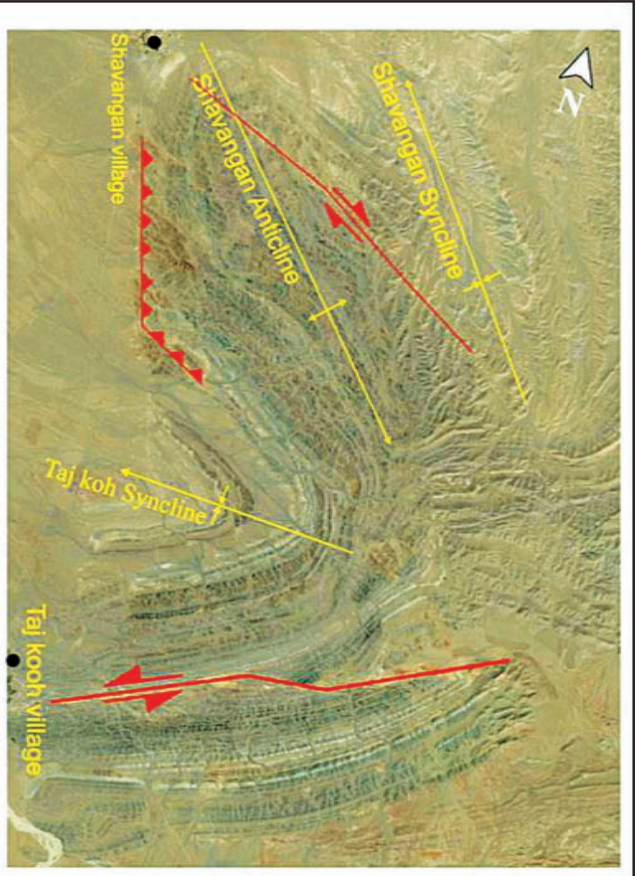
با توجه به زاویه قرارگیری محور چین‌های چلونک و چاهک نسبت به گسل چاهک - موسویه (میان ۶۰ تا ۹۰ درجه) و زاویه قرارگیری محور چین تاج‌کوه و شونگان نسبت به گسل محمدآباد - حصارسنگی می‌توان گفت که چون زاویه محور چین‌های خاوری با گسل تقریباً ۹۰ درجه است. مقدار کوتاه‌شدگی در مقایسه با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ساختاری منطقه چلونک روی تصاویر ماهواره‌ای همراه با چین‌خوردگی- گسلسن‌های منطقه (CH-MO): گسل چاهک- موسویه؛ MO-HE: گسل محمدیه- حصارسنگی).



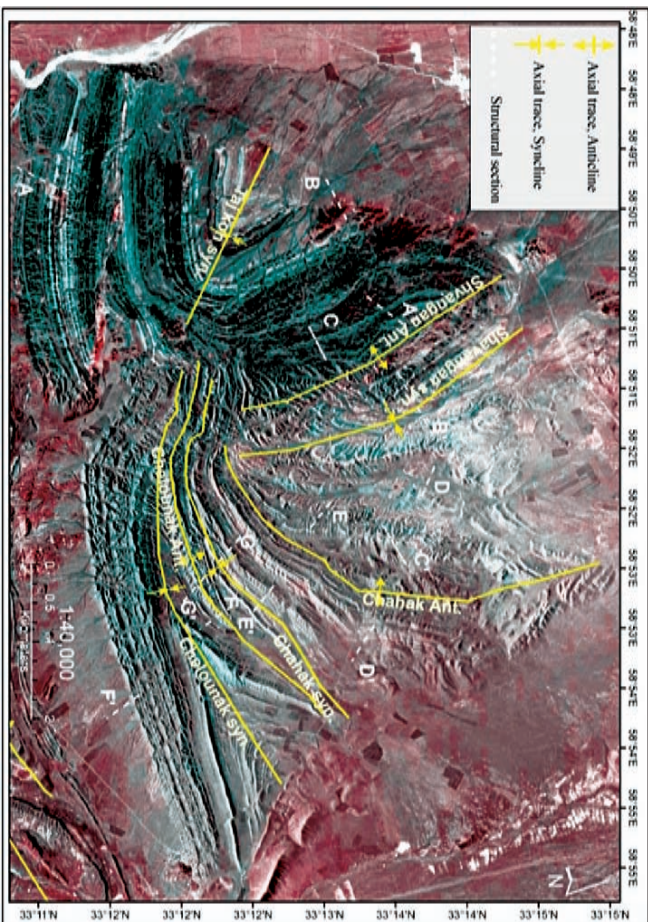
شکل ۲- نقشه ساختاری منطقه چلونک به همراه سیکلوگراف چین‌خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه؛ سیکلوگراف A: ناودیس چلونک با موقعیت محور 17 و N44E و سیکلوگراف B: ناقدیس چلونک با موقعیت محور 06 و N48E و 19 و N87E؛ سیکلوگراف C: ناودیس چاهک با موقعیت محور 08 و N30E و 06 و N66E؛ سیکلوگراف D: ناقدیس چاهک با موقعیت محور 10 و N04E و 21 و N34E؛ سیکلوگراف E: ناودیس شونگان با موقعیت محور 06 و N28W و 02 و N04W؛ سیکلوگراف F: ناقدیس شونگان با موقعیت محور 10 و N18W و 05 و N06E؛ سیکلوگراف G: ناودیس حصارسنگی با موقعیت محور 03 و N67E و 00 و N80W؛ سیکلوگراف H: ناقدیس تاج کوه با موقعیت محور 13 و N84W و 06 و N59W؛ سیکلوگراف I: ناودیس حج‌نچ با موقعیت محور 29 و N61E و 02 و N40E.



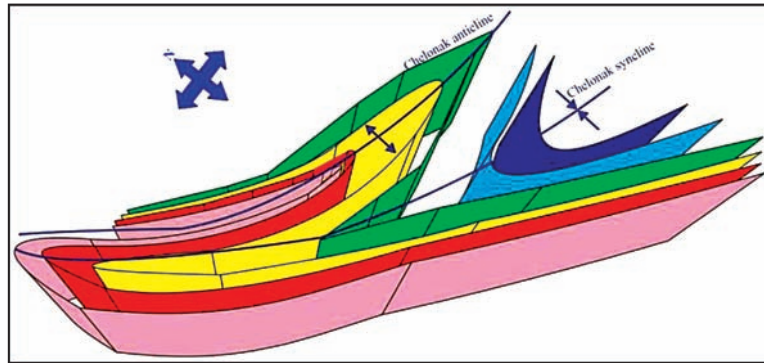
شکل ۵- نمای سه بعدی و دو بعدی (Google earth) نودیس های تاج کوه و شوگان، تاقیس شوگان و گسل تاج کوه و شوگان.



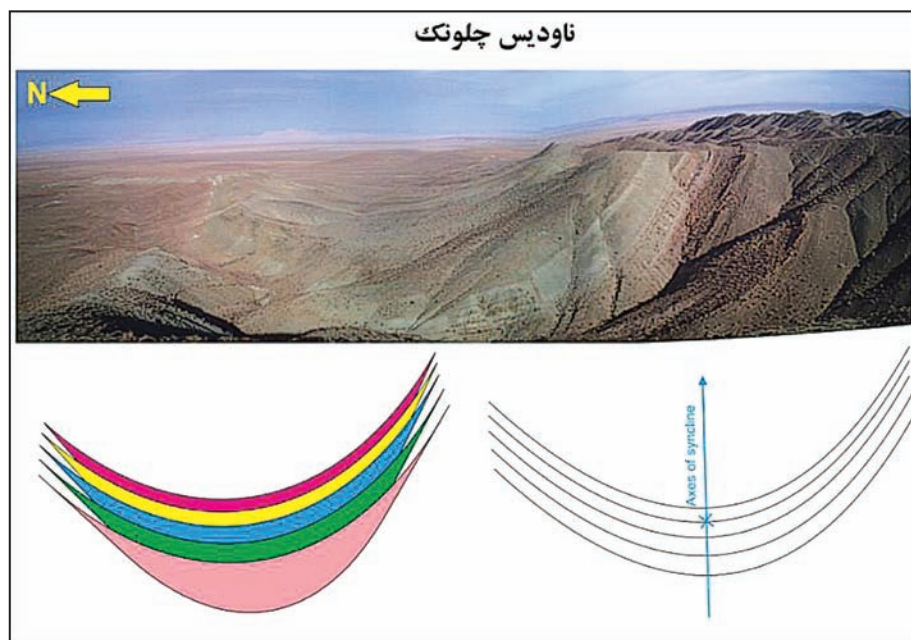
شکل ۳- گسل محمدآباد - حصارسنگی که باعث جابه جایی چپ بر رودخانه شده است.



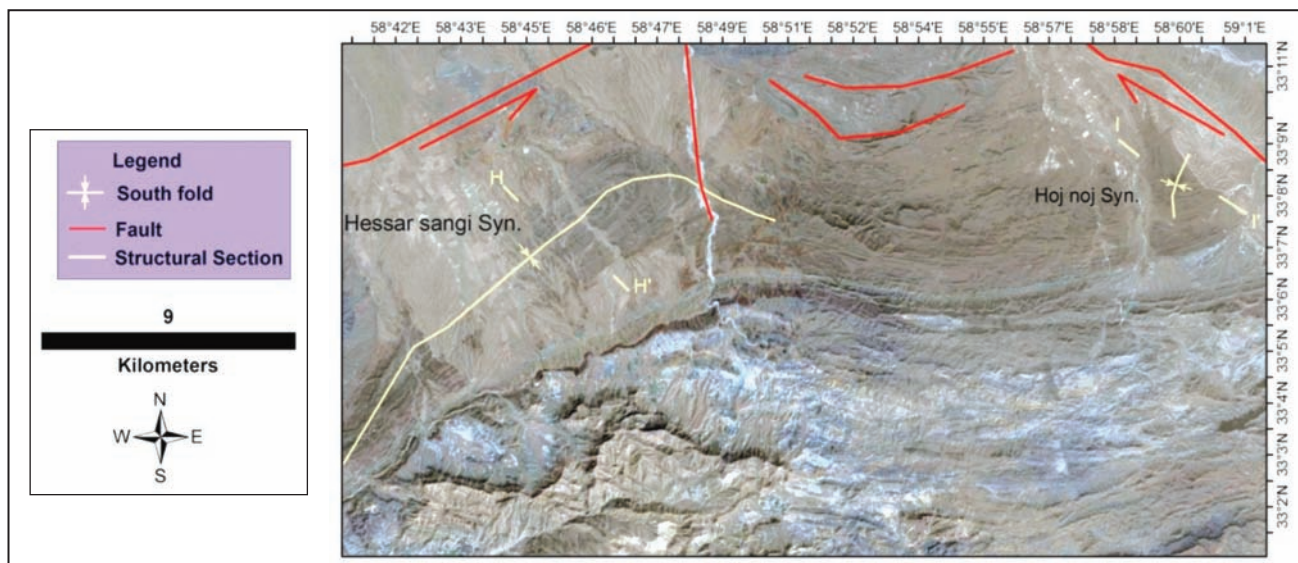
شکل ۴- تصویر ماهواره ای چین خوردگی های شمالی منطقه به همراه اثر محوری آنها و مسیر رسم مقاطع ساختمانی.



شکل ۶- نمای سه‌بعدی از ناودیس و تاقدیس چلونک.

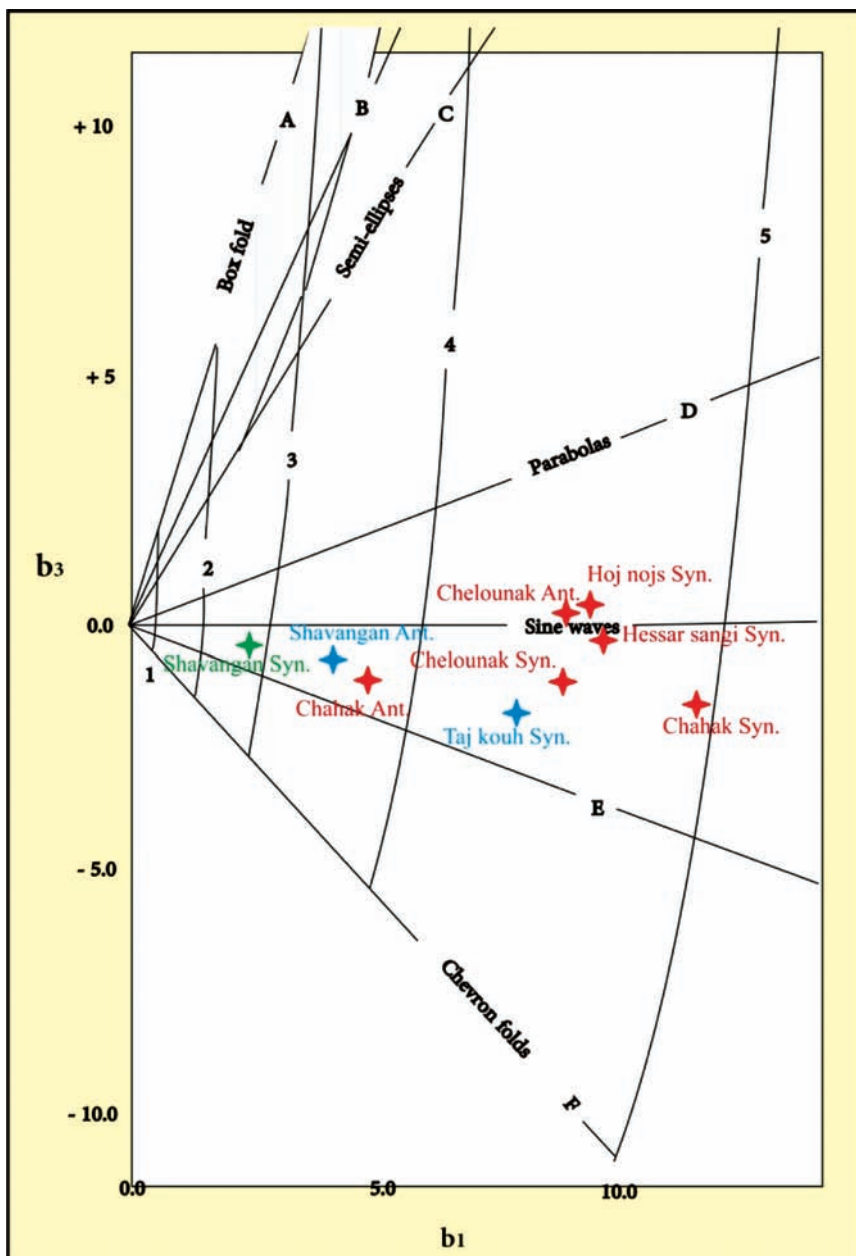
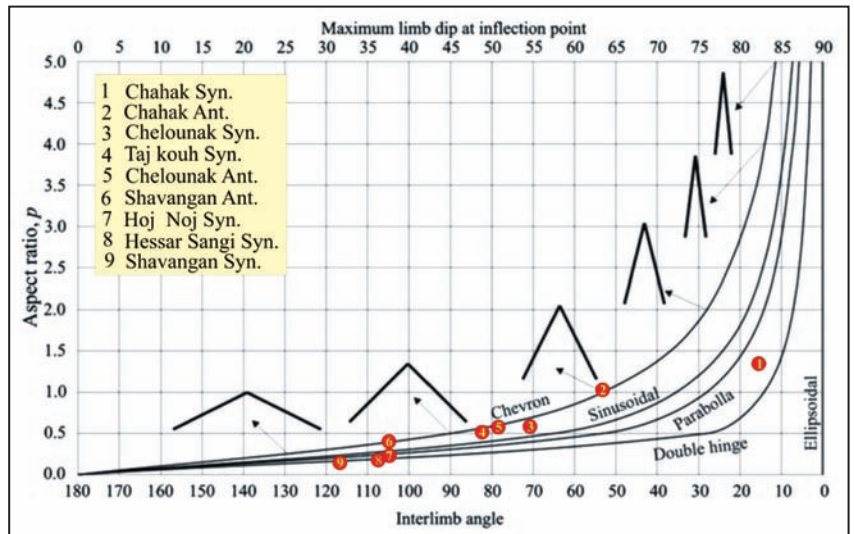


شکل ۷- نمایی از ناودیس چلونک در نزدیکی روستای چلونک به همراه مقاطع دو و سه‌بعدی از این چین.

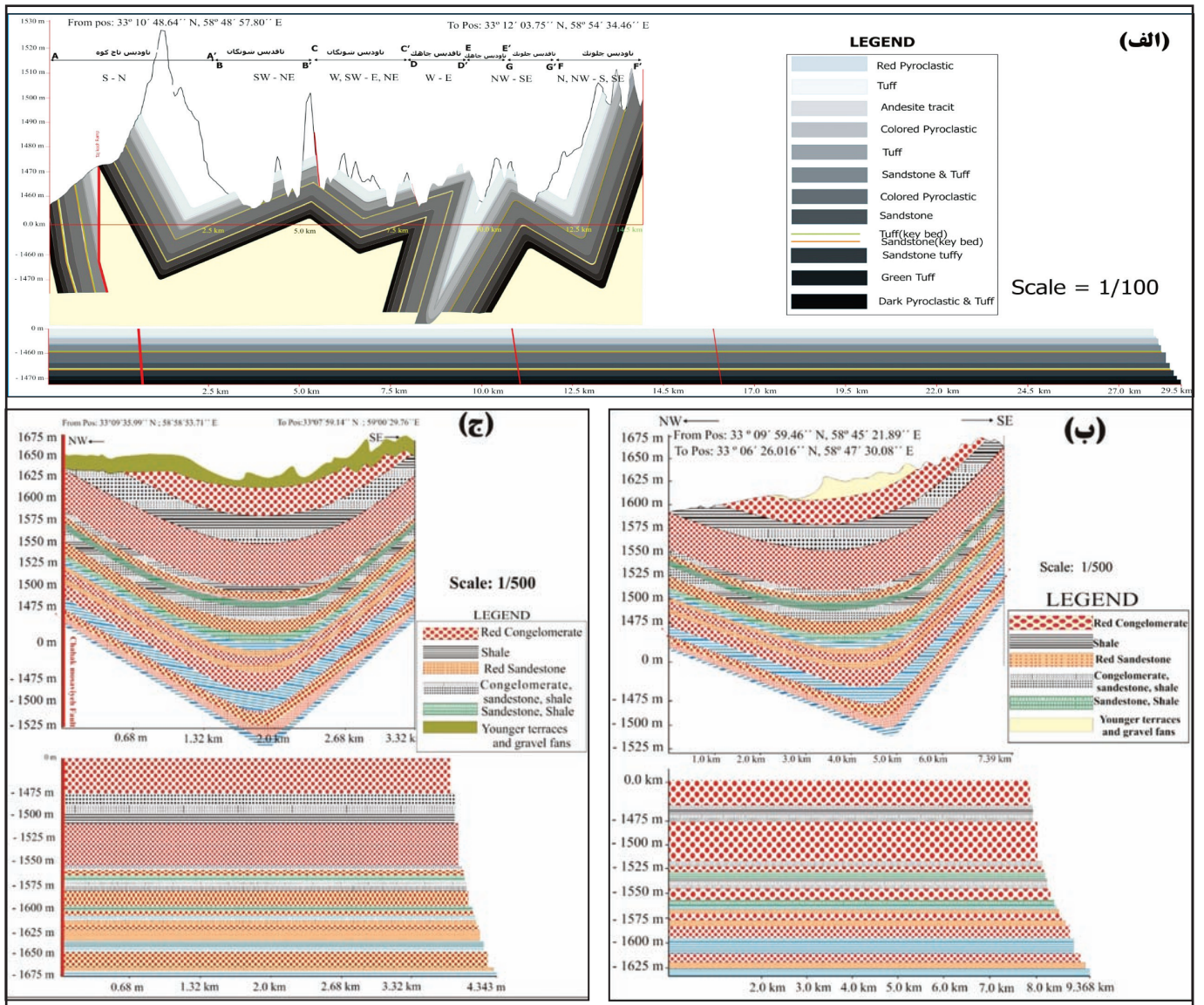


شکل ۸- چین خوردگی‌های جنوب منطقه چلونک.

شکل ۹- مقایسه چین‌های منطقه چلونک با استفاده از نسبت ابعاد و زاویه بین یالی در نمودار (Ghassemi et al. (2010؛ برای توضیح موقعیت چین‌ها به متن مراجعه شود).

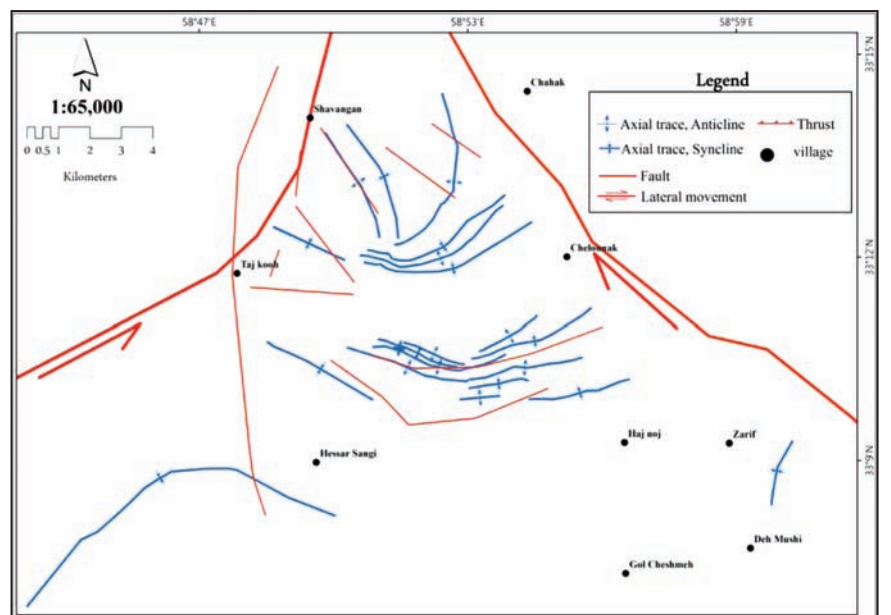


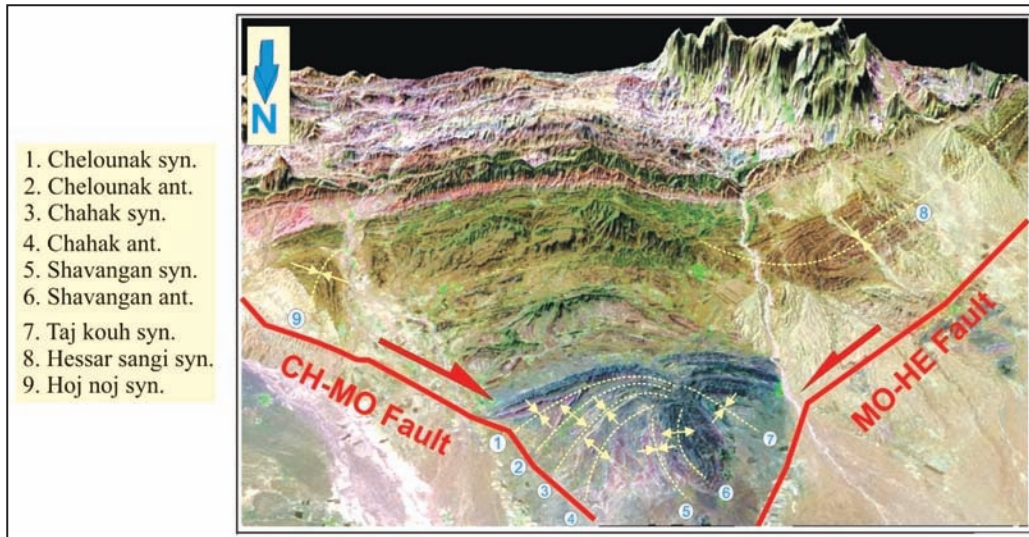
شکل ۱۰- موقعیت چین‌خوردگی‌های منطقه چلونک با استفاده از ضرایب فوریه در نمودار (Hudleston (1973؛ برای توضیح موقعیت چین‌ها به متن مراجعه شود).



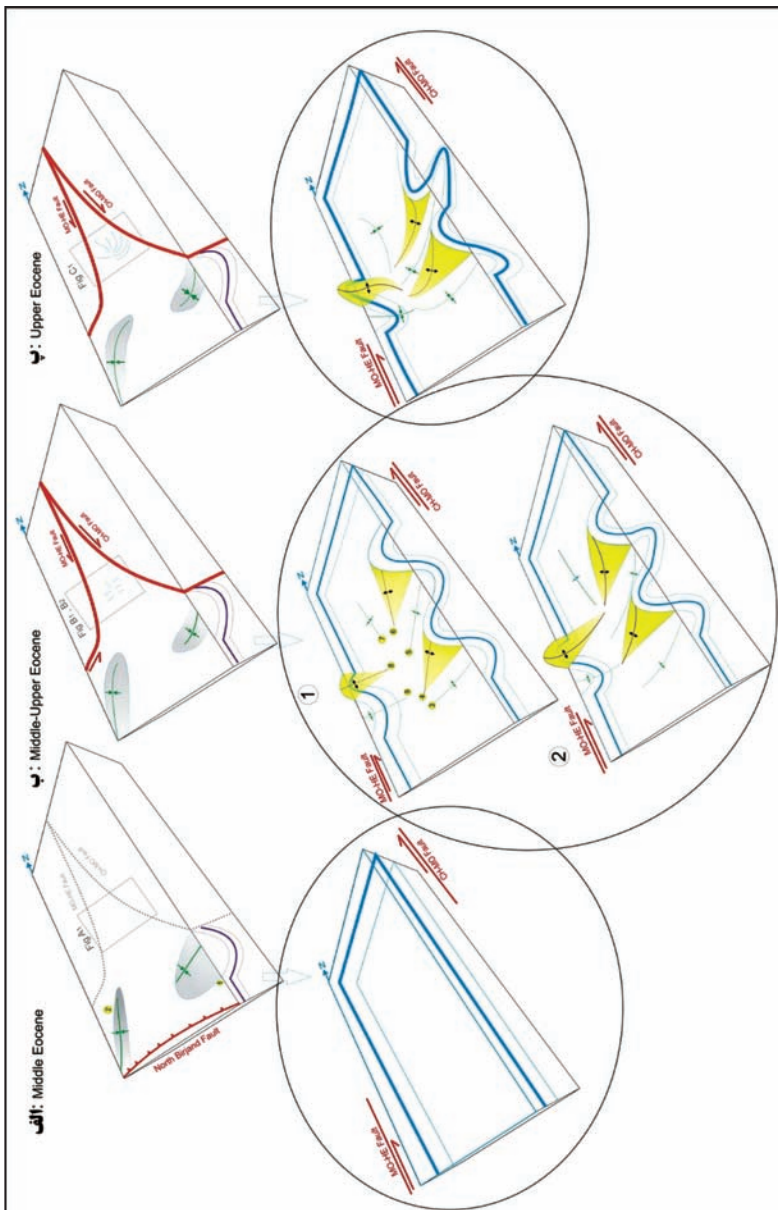
شکل ۱۱- مقاطع عرضی به همراه مقاطع موازنه شده آنها: الف) چین خوردگی‌های شمالی منطقه؛ ب) ناودیس حصارسنگی؛ ج) ناودیس حجج نج.

شکل ۱۲- تغییر موقعیت محور چین‌ها در میان گسل‌های اصلی منطقه.





شكل ۱۳- نماى سه بعدى منطقه چلونك؛ به اوج گيرى چين ها به شكل گوه‌اى در ميان گسل‌هاى چاه - موسويه (CH-MO Fault) و محمديه - حصار سنگى (MO-HE Fault) توجه شود.



شكل ۱۴- سير تكاملى چين خوردگى‌هاى منطقه چلونك. تكامل اين چين‌ها در سه مرحله نشان داده شده است: الف) اول؛ ب) دوم؛ پ) سوم. شماره چين‌ها روى شكل‌ها بدین ترتيب است: شماره‌هاى ۱: ناوديس حج نج؛ ۲: ناوديس حصار سنگى؛ ۳: ناوديس چلونك؛ ۴: تاقديس چلونك؛ ۵: ناوديس چاهك؛ ۶: تاقديس چاهك؛ ۷: ناوديس شونگان؛ ۸: تاقديس شونگان؛ ۹: ناوديس تاج كوه. همچنين خطوط آبى رنگ واحدهاى سنگى آذرآوارى در چين‌هاى شمالى و خطوط ارغوانى واحدهاى سنگى فليشى در چين‌هاى جنوبى هستند.

جدول ۱- ویژگی‌های برش‌های ساختاری.

ردیف	نام چین	نام مقطع	امتداد مقطع	طول مقطع (متر)
۱	ناودیس تاج کوه	A—A>	N30E	۵۲۰۰
۲	تاقدیس شونگان	B—B>	N63E	۲۶۳۰
۳	ناودیس شونگان	C—C>	N66E	۲۶۷۰
۴	تاقدیس چاهک	D—D>	S68E	۳۲۶۰
۵	ناودیس چاهک	E—E>	N46W	۱۲۴۰
۶	تاقدیس چلونک	G—G>	N45W	۹۳۰
۷	ناودیس چلونک	F—F>	N37W	۱۵۸۰
۸	ناودیس حصارسنگی	H—H>	N50W	۴۹۷۰
۹	ناودیس حج نج	I—I>	N55W	۳۸۵۰

جدول ۲- مقادیر زاویه بین یالی، دامنه، طول موج و ضرایب فوریه چین‌های منطقه چلونک.

نام چین	زاویه بین یالی	دامنه (متر)	۱/۲ طول موج (متر)	b_1	b_3	b_5
ناودیس چاهک	۱۷	۸۱۳	۵۰۱	۱۲/۰۵	-۱/۳۹	۱/۱۹
تاقدیس چاهک	۵۴	۱۴۳	۱۲۲	۴/۷۴	-۱/۰۱	۱/۲۵
ناودیس چلونک	۷۱	۲۴۷	۳۴۱	۹/۰۷	-۱/۰۴	۰/۷۵
ناودیس تاج کوه	۸۳	۳۹۶	۶۳۹	۷/۸۴	-۱/۶۷	۰/۷۲
تاقدیس چلونک	۷۹	۲۱۰	۳۵۳	۸/۲۶	۰/۲۴	۰/۷۶
تاقدیس شونگان	۱۰۶	۲۱۹	۵۲۰	۴/۲۱	-۰/۵۲	۰/۵۹
ناودیس حج نج	۱۰۷	۱۸۸۵	۵۰۷۰	۹/۱۴	۰/۴۱	۰/۶۶
ناودیس حصارسنگی	۱۰۸	۱۶۷۵	۴۷۱۰	۹/۵۹	-۰/۱۲	۱/۰۳
ناودیس شونگان	۱۱۷	۸۶	۲۴۴	۲/۵	-۰/۳۱	۰/۲۱

جدول ۳- مقادیر کوتاه‌شدگی، چرخش و نسبت ابعاد به همراه موقعیت محور چین‌های منطقه مورد مطالعه.

نام چین	اثر محور اولیه	اثر محور ثانویه	کوتاه‌شدگی	نسبت ابعاد
ناودیس چاهک	N30E, 08	N66E, 06	٪۷۷	۱/۶۲۳
تاقدیس چاهک	N04E, 10	N34E, 21	٪۵۷	۱/۱۷۲
ناودیس چلونک	N44E, 17	N73E, 18	٪۳۸	۰/۷۲۴
ناودیس تاج کوه	N84W, 13	N59W, 06	٪۴۱	۰/۶۲
تاقدیس چلونک	N48E, 06	N87E, 19	٪۳۲	۰/۵۹۵
تاقدیس شونگان	N18W, 10	N06E, 05	٪۲۷	۰/۴۲۱
ناودیس حج نج	N61E, 29	N40E, 02	٪۲۳	۰/۳۷۲
ناودیس حصارسنگی	N67E, 03	N80W, 00	٪۲۰	۰/۳۵۶
ناودیس شونگان	N28W, 06	N04W, 02	٪۲۵	۰/۳۵۲

کتابنگاری

- خطیب، م. م.، ۱۳۷۷- هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز (با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران)، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی. روشن‌روان، ج. ۱۳۸۵- نقشه زمین‌شناسی موسویه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- غلامی، ا.، نوگل‌سادات، م. ع. ا.، خطیب، م. م. و یساقی، ع.، ۱۳۸۸- شواهد ساختاری از تأثیر گسل‌های شمالی- جنوبی در توسعه دگرریختی‌های جنوب خاوری بیرجند، پهنه سیستان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۱، ص. ۱۳-۱۸.
- موسوی، م. م.، ۱۳۹۰- تفکیک فازهای تنش دیرین به روش برگشتی از صفحه‌های گسلی در منطقه جنوب بیرجند، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره سیزدهم، ص. ۲۷-۳۸.
- نوگل‌سادات، م. ع. ا.، ۱۳۷۲- نقشه تکنونیک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- هیئات، م. ر.، ۱۳۷۶- تحلیل ساختاری کوه‌های شمال بیرجند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۷ ص.

References

- Aller, J., Bastida, F., Toimila, N. C. & Bobillo-Ares, N. C., 2004- The use of conic sections for the geometrical analysis of folded surface profiles. *Tectonophysics*, 379, 239-254.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 2001- Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *Paul Hancock Memorial Issue, J. Struct. Geol.*, 23, 536-584.
- Bastida, F., Aller, J. & Bobillo-Ares, N. C., 1999- Geometrical analysis of folded surfaces using simple functions. *Journal of Structural Geology* 21, 729-742.
- Bastida, F., Aller, J., Bobillo-Ares, N. C. & Toimil, N. C., 2005- Fold geometry: a basis for their kinematical analysis. *Earth Science Reviews* 70, 129-164.
- Camp, V. E. & Griffis, R. J., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rock in the Sistan suture zone, Eastern Iran. *Lithos*, Vol. 15, pp. 221-239.
- Currie, J. B., Patnode, H. W. & Trump, R. P., 1962- Development of folds in sedimentary strata. *Geological Society of America Bulletin* 73, 655 e 674.
- De Paor, D. G., 1996- Bézier curves and geological design in structural geology and personal computers. In: De Paor, D.G. (Ed.), *Structural Geology and Personal Computers*. Pergamon Press, Oxford, pp. 389-417.
- Ghassemi, M. R., Schmalholz, S. M. & Ghassemi, A. R., 2010- Kinematics of constant arc length folding for different fold shapes, *Journal of Structural Geology*, Vol 32, 755 -765.
- Hudleston, P. J., 1973- Fold morphology and some geometrical implications of theorise of fold development. *Tectonophysics* 16, 1-46.
- Jeng, F. S., Lai, Y. C. & Teng, M. H., 2002- Influence of strain rate on buckle folding of an elasto-viscous single layer. *Journal of Structural Geology* 24, 501- 516.
- Kobberger, G. & Zulauf, G., 1995- Experimental folding and boudinage under pure constrictional conditions. *Journal of Structural Geology* 17, 1055-1063.
- Kraus, J. & Williams, P. F., 1998- Relationships between foliation development, por-phroblast growth and large-scale folding in a metaturbidite suite, Snow Lake, Canada. *Journal of Structural Geology* 20, 61-76.
- Marshak, S. & Woodward, N., 1988- Introduction to cross-section balancing in Marshak, S., Mitra, G., eds., *Basic Methods of Structural Geology*: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, p. 303-302.
- Mawer, C. K. & Williams, P. F., 1991- Progressive folding and foliation development in a sheared, coticule-bearing phyllite. *Journal of Structural Geology* 13, 539-555.
- Mitra, S., 2003- A unified kinematic model for the evolution of detachment folds. *Journal of Structural Geology* 25 (10), 1659-1673.
- Savage, H. M. & Cook, L. C., 2003- Can flat-ramp-flat fault geometry be inferred from fold shape? A comparison of kinematic and mechanical folds. *Journal of Structural Geology* 25, 2023- 2034.
- Sengupta, S., 1983- Folding of boudinaged layers. *Journal of Structural Geology* 5, 19 7-210.
- Srivastava, D. C. & Lisle, R. J., 2004- Rapid analysis of fold shape using Bezier curves, *Journal of Structural Geology* 26, 1553-1559.
- Srivastava, V. & Gairola, V. K., 1997- Classification of multilayered folds based on harmonic analysis: example from central India, *Journal of Structural Geology*, Vol. 19, No. 1, pp. 107-112.
- Stabler, C. L., 1968- Simplified Fourier analysis of fold shape. *Tectonophysics* 6, 343-350.
- Stowe, C. W., 1988- Application of Fourier analysis for computer representation of fold profiles, *Tectonophysics*, 156, 303-311.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. & Camp, V. E., 1983- the sistan suture zone of Eastern of Iran. *G.S.A.BV*. 94, PP. 134-150.

- Tripathi, A. & Gairola, V. K., 1999- Fold symmetry and a quantitative description, *Journal of Structural Geology* 21, 719-727.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. & Chéry, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157: 381 - 398.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23: TC5010.
- Walker, R. & Khatib, M. M., 2006- Active faulting in the Birjand region of NE Iran, *Tectonics*, v.25: TC4016,1-17.
- Walker, R., Jackson, J. & Baker, C., 2004- Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, *Geophys. J. Int.*, 157: 265-282.

Geometric-Kinematic Analysis of Folding in Chelounak Area (NW Birjand)

Y. Jalili ^{1*}, M. M. Khatib ², E. Gholami ³ & M. R. Ghassemi ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Birjand University, Birjand, Iran

² Professor, Department of Geology, Birjand University, Birjand, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Birjand University, Birjand, Iran

⁴ Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2010 July 08

Accepted: 2013 March 09

Abstract

The Chelounak area in northwest of Birjand located in the Sistan suture zone extremity with middle-upper Eocene sedimentary and pyroclastic rocks, folded with different axes and exposed between the Chahak-mosavieh and Mohammadieh-Hessarsangi faults. These folds have a dominant characteristic of the dispersion axis trends of NE-SW, NW-SE, and N-S. Geometric-Kinematic Analysis of these folds was carried out by data that taken from the structural interpretations, satellite images, geological maps, structural cross sections and mathematical functions. Aspect ratio, percent shortenings and the rotation folds axes are respectively for folds with NE-SW axis, 0.356-1.6, 20-77% and 28-40°; for folds with NW-SE axes 0.352-0.620, 25-41% and 25-40°; and for folds with N-S axes 0.352, 25% and 24°. In this analysis the Chahak and Chelounak synclines and the Chahak anticline with NE-SW axis have maximum shortening and the Shavangan syncline with NW-SE axis has minimum shortening. This Study demonstrated the aspect ratio rises with increasing of shortening. Analysis of the structural elements demonstrates axis change of the Chelounak, Chahak and Hoj noj synclines and the Chahak and Chelounak anticlines with NE-SW Dominant axes affected by the Chahak-Mosavieh fault (~N-S trend) as well as the axis change of the Taj kouh, Shavangan and Hesar sangi synclines with NW-SE dominant axes affected by the Mohammadieh-Hessar sangi fault (~N-S trend). Dispersion of folds axial respect to compressive component has caused difference in aspect ratio, shortening and rotation of fold axes values.

Keywords: Folding, Geometric-Kinematic Analysis, Shortening, Aspect ratio, Chelounak.

For Persian Version see pages 163 to 174

*Corresponding author: Y. Jalili; E-mail: jalili.yaghoub@yahoo.com