

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه تکتونیک

تحلیل ساختاری تفصیلی چین خوردگی و گسلش در شمال مشهد

رائفه خلیلی طرقله

استاد راهنما :

پرویز امیدى

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

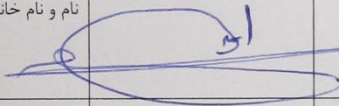
دانشکده : علوم زمین

گروه : تکتونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم رائفه خلیلی طریقه به شماره دانشجویی: ۹۱۰۲۷۸۴

تحت عنوان: تحلیل ساختاری تفصیلی چین خوردگی و گسلش در شمال مشهد

در تاریخ ۱۳۹۴/۶/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر پرویز امیدی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نمایندگه تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر عزیزاله طاهری		نام و نام خانوادگی : دکتر محسن خادمی
			نام و نام خانوادگی : دکتر رمضان رضانی
			اومالی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

شماره: ۱۱۷۳۱
 تاریخ: ۹۴، ۷، ۱۲
 ویرایش:

باسمه تعالی

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم رانفه خلیلی طرهبه به شماره دانشجویی ۹۱۰۲۷۸۴ رشته زمین‌شناسی گرایش تکتونیک تحت عنوان "تحلیل ساختاری تفصیلی چین‌خوردگی و گسلش در شمال مشهد" که در تاریخ ۹۴/۰۶/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار امتیاز (۱۸-۱۸)) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

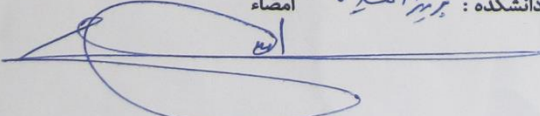
۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر پرویز امیدی	۱- استاد راهنما
		-	۲- استاد مشاور
	استاد	دکتر عزیز الله طاهری	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر محسن خادمی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر رمضان رضانی اومالی	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده: پرویز امیدی
 امضاء 

این نوشتار را تقدیم می‌کنم

به پیشگاه مقدّس حضرت امام زمان "حجّۃ ابن الحسن العسکری (عج)"

پاسکزاری

پاس و ستایش از آن پرودگاری است که مرانعت هستی بخشید و شایسته‌ی کسب دانشم دانست.

اکنون که در سایه‌ی لطف پروردگار مهربانم، نگارش این پایان‌نامه به انجام رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از تمامی عزیزانی که مراد انجام این پژوهش یاری رسانند سپاسگزاری نمایم.

پیش از همه و بیش از همه از پدر و مادر مهربانم، پاسکزارم که از آغاز زندگی تاکنون محطه‌ای از من غافل نبوده‌اند و همیشه مرا مورد لطف و مهربانی خویش قرار داده‌اند.

از خواهر عزیزم و برادران مهربانم صمیمانه سپاسگزارم به ویژه از برادران بزرگوارم جناب آقای مهندس حسن خلیلی و جناب آقای مهندس محمد خلیلی که در طول انجام این پژوهش، همواره یار و همراه من بودند.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر پرویز امیدی که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده داشتند و در طی این پژوهش مرا از دانش خود بهره‌مند ساختند، پاسکزارم.

از همه دوستان، عزیزان و اساتیدی که به نحوی مرا مورد لطف و محبت خود قرار دادند سپاسگزارم و از درگاه پروردگار مهربان طلب شادی، سلامتی و آرامش برای ایشان دارم.

راننده خلیلی طرqbه

شهر پورماه ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب **رائفه خلیلی طرقله**، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی - تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل ساختاری تفصیلی چین خوردگی و گسلش در شمال مشهد، تحت راهنمایی دکتر پرویز امیدی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان-نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۹۴/۰۶/۱۶

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از حاشیه جنوبی کپه‌داغ شرقی است و در شمال باختر مشهد قرار دارد. در این منطقه سازندهای مزوزوئیک- ترشیاری شامل مزدوران، شوربجه، تیرگان، سرچشمه و کنگلومرای نئوژن در معرض چین‌خوردگی و گسلش قرار گرفته‌اند. چین‌ها دارای راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری هستند. گسل‌ها دارای دو روند کلی شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری، هستند.

در این پژوهش هندسه‌ی چین‌خوردگی در دو مقطع شمال روستای چشمه‌گیلاس و شمال خاور شهرستان چناران به عنوان نمادی از چین‌خوردگی کپه‌داغ مورد مطالعه قرار گرفت. چین‌خوردگی شمال روستای چشمه‌گیلاس شامل تاقدیس جنوبی، ناودیس میانی و تاقدیس شمالی بر اساس رده‌بندی فلوتی از چین‌ها (۱۹۶۴) در رده‌های چین‌های دارای محور با میل ملایم و سطح محوری ایستاده، محور افقی و سطح محوری ایستاده و محور افقی و سطح محوری بسیار شیبدار قرار گرفتند. چین‌خوردگی شمال شهرستان چناران (ناودیس قرق) در همان رده‌بندی، در رده‌ی چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری بسیار شیبدار قرار گرفت. بر اساس زاویه‌ی بین یالی تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس در رده‌ی چین‌های تنگ و ناودیس قرق، تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس و ناودیس میانی چشمه‌گیلاس در رده‌ی چین‌های باز قرار می‌گیرند.

در این منطقه، دو دسته از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. دسته‌ی اول گسل‌های دارای جهت‌گیری کلی شمال باختری- جنوب خاوری هستند که گسل‌های بزمهرون، بارو، اردک و چشمه‌گیلاس را شامل می‌شوند. گسل‌های بزمهرون و بارو دارای ساز و کار راست‌بر معکوس و گسل‌های اردک و چشمه‌گیلاس دارای ساز و کار معکوس هستند. دسته‌ی دوم دارای جهت‌گیری کلی شمال خاوری- جنوب باختری هستند و گسل‌های موجنان و بهمن‌جان را شامل می‌شوند. این گسل‌ها به ترتیب دارای ساز و کار راست‌بر

معکوس و چپ‌بر معکوس هستند. برخی از این گسل‌ها مانند گسل‌های اردک، بهمن‌جان و موچنان نخستین بار در این مطالعه معرفی شدند.

مقایسه‌ی درزه‌های اندازه‌گیری شده بر روی سازندهای مزدوران، شوريجه و تیرگان در مقاطع پایانه‌ی جنوب باختری و شمال خاوری چین‌خوردگی شمال روستای چشمه‌گیلاس و در مقاطع اردک، علی‌آباد، رادکان، بهمن‌جان و موچنان در ناودیس قرق با عناصر هندسی چین‌ها، نشان‌دهنده‌ی ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی است.

موقعیت محورهای تنش اصلی در بازه‌ی نوزمین ساختی در منطقه، با استفاده از تحلیل لغزش گسل‌ها بر روی سازندهای مزدوران، شوريجه، تیرگان و کنگلومرای نئوزن، موقعیت تنش‌های اصلی δ_1 ، δ_2 و δ_3 را به ترتیب ۰۳۹/۰۱، ۳۰۹/۰۰ و ۲۱۴/۸۹ نشان داد.

کلمات کلیدی: تحلیل ساختاری، چین‌خوردگی، گسلش، شکستگی، تنش دیرین، نوزمین ساختی.

مقالات مستخرج:

خلیلی طرقله، ر. و امیدى، پ.، ۱۳۹۳، الگویابی شکستگی‌ها در ناودیس قرق (کپه‌داغ- شمال خاور مشهد)، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین.

فهرست عناوین

۱	فصل اول- کلیات و روش پژوهش.....
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی
۶	۳-۱- زمین‌ریخت‌شناسی و آب و هوای منطقه
۸	۴-۱- پیشینه‌ی پژوهش در منطقه
۱۱	۵-۱- اهداف و کاربردهای پژوهش
۱۱	۶-۱- روش پژوهش
۱۳	فصل دوم- زمین‌شناسی عمومی
۱۴	۱-۲- تاریخچه تکاملی کپه‌داغ
۱۵	۲-۲- زمین‌ساخت کپه‌داغ
۱۸	۳-۲- معرفی سازندهای منطقه‌ی مورد مطالعه
۱۸	۱-۳-۲- سازند آهکی مزدوران
۱۹	۲-۳-۲- سازند آواری شوربجه
۲۱	۳-۳-۲- سازند آهکی تیرگان
۲۳	۴-۳-۲- سازند مارنی سرچشمه
۲۳	۵-۳-۲- کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن
۲۴	۶-۳-۲- نهشته‌های کواترنری
۲۷	فصل سوم- زمین‌شناسی ساختمانی

- ۲۸.....۱-۳-چین خوردگی
- ۳۰.....۱-۱-۳-ناودیس قرق
- ۳۱.....۱-۱-۱-۳-پیمایش اردک
- ۳۲.....۲-۱-۱-۳-پیمایش علی آباد
- ۳۳.....۳-۱-۱-۳-پیمایش رادکان
- ۳۴.....۴-۱-۱-۳-پیمایش بهمن جان
- ۳۶.....۵-۱-۱-۳-پیمایش موچنان
- ۳۸.....۲-۱-۳-چین خوردگی شمال روستای چشمه گیلان
- ۳۸.....۱-۲-۱-۳-تاقدیس جنوبی چشمه گیلان
- ۳۹.....۱-۱-۲-۱-۳-پیمایش پایانه ی جنوب خاوری تاقدیس جنوبی چشمه گیلان
- ۴۰.....۲-۱-۲-۱-۳-پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه گیلان
- ۴۱.....۲-۲-۱-۳-ناودیس میانی چشمه گیلان
- ۴۲.....۳-۲-۱-۳-تاقدیس شمالی چشمه گیلان
- ۴۳.....۲-۳-گسل ها
- ۴۴.....۱-۲-۳-گسل بارو
- ۴۹.....۲-۲-۳-گسل بزمهرون
- ۵۲.....۳-۲-۳-گسل موچنان
- ۵۵.....۴-۲-۳-گسل بهمن جان
- ۵۸.....۵-۲-۳-گسل چشمه گیلان
- ۶۲.....۶-۲-۳-گسل اردک

۶۶	.....۳-۳-درزه‌ها
۶۷	.....۱-۳-۳-درزه‌ها در ناودیس قرق
۶۷	.....۱-۱-۳-۳-درزه‌ها در پیمایش رادکان
۷۰	.....۲-۱-۳-۳-درزه‌ها در پیمایش بهمن‌جان
۷۲	.....۳-۱-۳-۳-درزه‌ها در پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موجنان
۷۸	.....۲-۳-۳-درزه‌ها در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس
۸۱	.....۳-۳-۳-درزه‌ها در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس
۸۳	.....۴-۳-۳-درزه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس
۸۷	.....فصل چهارم- تعیین تنش
۸۸	.....۱-۴-مقدمه
۸۹	.....۲-۴-فرضیات
۸۹	.....۳-۴-روش‌های تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش
۸۹	.....۱-۳-۴-روش اندرسون (۱۹۵۱)
۹۰	.....۱-۱-۳-۴-نظریه‌ی والاس- بوت
۹۱	.....۲-۳-۴-روش برگشتی
۹۲	.....۳-۳-۴-روش دو وجهی عمود بر هم
۹۴	.....۴-۴-محاسبه‌ی تنش دیرین در منطقه‌ی مورد بررسی
۱۰۰	.....۵-۴-تنش تعیین شده از حل ساز و کار کانونی زلزله‌ها در منطقه‌ی کپه‌داغ
	.....۶-۴-مقایسه‌ی تنش حاصل از تحلیل لغزش گسل و تنش حاصل از حل ساز و کار کانونی زلزله-
۱۰۳	.....های منطقه‌ی مورد مطالعه

- فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادها.....۱۰۷
- ۱-۵- الگوی گسلش.....۱۰۸
- ۲-۵- الگوی چین خوردگی.....۱۱۰
- ۳-۵- الگوی درزه ها.....۱۱۴
- ۴-۵- میدان تنش حاکم بر منطقه.....۱۱۶
- ۵-۵- پیشنهادها.....۱۱۹
- منابع.....۱۲۱
- پیوست ها.....۱۲۷
- پیوست ۱- داده های چین خوردگی.....۱۲۸
- پیوست ۲- داده های سطوح درزه.....۱۳۴
- پیوست ۳- نقشه زمین شناسی تهیه شده از منطقه ی مورد مطالعه.....۱۴۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۴
- شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۳-۱- تصویر ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۷
- شکل ۱-۲- تقسیم‌بندی کوه‌های کپه‌داغ..... ۱۶
- شکل ۲-۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای رخنمون یافته..... ۱۷
- شکل ۳-۲- رخنمونی از آهک ضخیم لایه‌ی مزدوران..... ۱۹
- شکل ۴-۲- سازند آواری شوربجه..... ۲۰
- شکل ۵-۲- نمای صحرایی سازند تیرگان..... ۲۲
- شکل ۶-۲- نمای صحرایی کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن..... ۲۴
- شکل ۷-۲- نمای صحرایی رسوبات کواترنری..... ۲۵
- شکل ۱-۳- موقعیت عوارض ساختاری مورد مطالعه..... ۲۹
- شکل ۲-۳- موقعیت پیمایش‌های صورت گرفته..... ۳۰
- شکل ۳-۳- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند شوربجه و کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن..... ۳۱
- شکل ۴-۳- موقعیت لایه‌های سازند تیرگان..... ۳۲
- شکل ۵-۳- وضعیت ساختاری لایه‌های چین‌خورده‌ی سازند تیرگان..... ۳۴
- شکل ۶-۳- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند تیرگان..... ۳۵
- شکل ۷-۳- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند شوربجه..... ۳۶
- شکل ۸-۳- استریوگرام نشان دهنده‌ی وضعیت هندسی ناودیس قرق..... ۳۸
- شکل ۹-۳- وضعیت ساختاری لایه‌ها در پیمایش جنوب خاوری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس..... ۳۹

- شکل ۳-۱۰- وضعیت ساختاری لایه‌ها در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس..... ۴۰
- شکل ۳-۱۲- وضعیت ساختاری لایه‌ها در ناودیس میانی چشمه‌گیل ۴۱
- شکل ۳-۱۳- وضعیت لایه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس..... ۴۲
- شکل ۳-۱۴- شکستگی‌های برشی..... ۴۳
- شکل ۳-۱۵- شواهد جابجایی راست‌بر گسل بارو..... ۴۵
- شکل ۳-۱۶- دو راستای اصلی سطوح اندازه‌گیری شده..... ۴۵
- شکل ۳-۱۷- نمای صحرایی شکستگی T ۴۶
- شکل ۳-۱۸- نمای صحرایی گسل‌های R ۴۸
- شکل ۳-۱۹- استریوگرام سطوح اندازه‌گیری شده از گسل‌های R ۴۸
- شکل ۳-۲۰- گسل بزمه‌رون در تصویر ماهواره‌ای..... ۵۰
- شکل ۳-۲۱- نمای صحرایی گسل بزمه‌رون..... ۵۱
- شکل ۳-۲۲- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل بزمه‌رون..... ۵۱
- شکل ۳-۲۳- گسل موچنان در تصویر ماهواره‌ای..... ۵۳
- شکل ۳-۲۴- نمای صحرایی گسل موچنان..... ۵۴
- شکل ۳-۲۵- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل موچنان..... ۵۵
- شکل ۳-۲۶- موقعیت گسل بهمن‌جان در تصویر ماهواره‌ای..... ۵۶
- شکل ۳-۲۷- نمای صحرایی گسل بهمن‌جان..... ۵۷
- شکل ۳-۲۸- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل بهمن‌جان..... ۵۸
- شکل ۳-۲۹- پایین‌افتادگی فرودواره‌ی گسل چشمه‌گیلاس نسبت به فرادواره آن..... ۶۱
- شکل ۳-۳۰- نمای صحرایی گسل چشمه‌گیلاس در دهانه‌ی رودخانه‌ی رادکان..... ۶۱

- شکل ۳-۳۱- نمای صحرایی گسل چشمه‌گیلاس در شمال روستای چشمه‌گیلاس.....۶۲
- شکل ۳-۳۲- موقعیت گسل اردک در تصویر ماهواره‌ای.....۶۳
- شکل ۳-۳۳- نمای صحرایی گسل اردک.....۶۵
- شکل ۳-۳۴- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش رادکان.....۶۸
- شکل ۳-۳۵- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش رادکان.....۶۹
- شکل ۳-۳۶- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش بهمن‌جان.....۷۰
- شکل ۳-۳۷- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش بهمن‌جان.....۷۱
- شکل ۳-۳۸- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش علی‌آباد.....۷۲
- شکل ۳-۳۹- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش اردک در کنگلومرای پلیوسن-پلیستوسن.....۷۳
- شکل ۳-۴۰- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش اردک.....۷۴
- شکل ۳-۴۱- نمای صحرایی درزه‌ها در سازند شوریجه در پیمایش اردک.....۷۴
- شکل ۳-۴۲- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش اردک.....۷۵
- شکل ۳-۴۳- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش علی‌آباد.....۷۵
- شکل ۳-۴۴- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش علی‌آباد.....۷۶
- شکل ۳-۴۵- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش موجنان.....۷۶
- شکل ۳-۴۶- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش موجنان.....۷۷
- شکل ۳-۴۷- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و استریوگرام درزه‌ها.....۷۸
- شکل ۳-۴۸- نمای صحرایی درزه‌های طولی و عرضی در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس.....۷۹
- شکل ۳-۴۹- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش تاقدیس جنوبی.....۸۰
- شکل ۳-۵۰- نمای صحرایی درزه‌ها در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس.....۸۱

- شکل ۳-۵۱- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش ناودیس میانی..... ۸۲
- شکل ۳-۵۲- نمای صحرایی درزه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس..... ۸۴
- شکل ۳-۵۳- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش تاقدیس شمالی..... ۸۵
- شکل ۴-۱- رژیم‌های مختلف گسلش مطرح شده در نظریه‌ی اندرسون..... ۹۰
- شکل ۴-۲- سه حالت ساده‌ی بیضوی تنش..... ۹۲
- شکل ۴-۳- مفهوم سطح گسل و سطح کمکی..... ۹۳
- شکل ۴-۴- مراحل محدود کردن محدوده‌ی δ_1 و δ_2 ۹۴
- شکل ۴-۵- موقعیت محورهای سه تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی..... ۹۹
- شکل ۴-۶- موقعیت محورهای تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی..... ۹۹
- شکل ۴-۷- موقعیت محورهای سه تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی..... ۱۰۰
- شکل ۴-۸- تنش به دست آمده از معکوس‌سازی نظام‌مند ساز و کار کانونی زلزله‌ها..... ۱۰۱
- شکل ۴-۹- موقعیت سه محور تنش اصلی به دست آمده از معکوس‌سازی تنش حاصل..... ۱۰۲
- شکل ۴-۱۰- محورهای تنش کششی و فشارشی در بخش‌های مختلف ایران..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۱- مقایسه‌ی موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده..... ۱۰۵
- شکل ۵-۱- هماهنگی ساختارهای مورد بررسی با راستای تنش فشارشی محاسبه شده..... ۱۰۹
- شکل ۵-۲- موقعیت هندسی یال‌ها، محور و سطح محوری میانگین در ناودیس قرق..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳- جایگاه چین‌های مورد بررسی در رده‌بندی فلوتی..... ۱۱۳
- شکل ۵-۴- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و استریوگرام درزه‌های اندازه‌گیری شده..... ۱۱۴
- شکل ۵-۵- نمودار هم‌تراز قطب سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در پیمایش‌های..... ۱۱۵
- شکل ۵-۶- میدان و بیضوی تنش محاسبه شده با استفاده از داده‌های گردآوری شده..... ۱۱۶

شکل ۵-۷- مقایسه‌ی موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده..... ۱۱۸

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳- موقعیت یال شمال خاوری و جنوب باختری ناودیس قرق ۳۷
- جدول ۲-۳- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح گسل‌های R مرتبط با گسل بارو..... ۴۷
- جدول ۳-۳- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح شکستگی‌های T مرتبط با گسل بارو..... ۴۷
- جدول ۴-۳- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل بزمهرون..... ۴۹
- جدول ۵-۳- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح گسل موچنان..... ۵۲
- جدول ۶-۳- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل بهمن‌جان..... ۵۷
- جدول ۷-۳- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل چشمه‌گیلاس..... ۵۹
- جدول ۸-۳- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل اردک..... ۶۴
- جدول ۹-۳- موقعیت تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش رادکان..... ۶۸
- جدول ۱۰-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب‌های سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۶۹
- جدول ۱۱-۳- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش بهمن‌جان..... ۷۰
- جدول ۱۲-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۷۱
- جدول ۱۳-۳- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موچنان..... ۷۲
- جدول ۱۴-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۷۳
- جدول ۱۵-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۷۴
- جدول ۱۶-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۷۵
- جدول ۱۷-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با ناودیس قرق..... ۷۶
- جدول ۱۸-۳- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در تاق‌دیس جنوبی چشمه‌گیلاس..... ۷۹
- جدول ۱۹-۳- محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در تاق‌دیس جنوبی..... ۸۰

- جدول ۳-۲۰- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی درزه‌های آرمانی در ناودیس میانی..... ۸۱
- جدول ۳-۲۱- محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس..... ۸۳
- جدول ۳-۲۲- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس..... ۸۳
- جدول ۴-۱- داده‌های مور استفاده به منظور تعیین راستای محورهای تنش..... ۹۵
- جدول ۴-۲- داده‌های مور استفاده به منظور تعیین راستای محورهای تنش..... ۹۵
- جدول ۴-۳- مقایسه‌ی تنش‌های اصلی محاسبه شده..... ۱۰۴
- جدول ۵-۱- مقایسه‌ی تنش‌های اصلی محاسبه شده..... ۱۱۸

فصل اول

کلیات و روش پژوهش

حوضه ی رسوبی کپه‌داغ، حوضه‌ای مشترک بین سه کشور ایران، ترکمنستان و افغانستان است. بخش ایرانی این حوضه که افشار حرب (۱۳۷۳) آن را "منطقه‌ی کپه‌داغ" نامیده است بین $35^{\circ} 30'$ و $38^{\circ} 15'$ عرض شمالی و $54^{\circ} 00'$ و $61^{\circ} 13'$ طول شرقی قرار دارد. وسعت منطقه حدود ۵۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع یعنی تقریباً $\frac{3}{3}$ مساحت کل کشور است (افشار حرب، ۱۳۷۳).

این منطقه شامل ۱۰ تا ۱۷ کیلومتر ضخامت رسوبات مزوزوئیک و ترشیاری است که در طی حرکات کوهزایی اولیگو - میوسن چین خورده‌اند (Shabanian et al, 2009). حرکات کوهزایی اولیگو - میوسن در حدود ۱۹ تا ۱۷ میلیون سال پیش رخ داده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۸). مورفولوژی منطقه در مراحل جوانی بوده و توپوگرافی رابطه‌ی مستقیم با ساختمان‌های زمین‌شناسی دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳). میدان‌های عظیم گازی و قرارگیری در فصل مشترک دو ابرقاره‌ی اوراسیا و گندوانا سبب توجه ویژه‌ی زمین‌شناسان به این پهنه شده است.

حوضه‌ی کپه‌داغ به عنوان یک حوضه‌ی هیدروکربنی مطرح است. از این‌رو بررسی و شناخت هندسه و الگوی چین‌خوردگی و همچنین شناسایی الگوی شکستگی‌ها و هندسه‌ی گسل‌های موجود در این حوضه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند نقش به‌سزایی در اکتشاف و نیز برداشت بهینه در این حوضه داشته باشد.

پژوهش حاضر تلاشی در جهت بررسی مفصل ساختاری و درک چین‌خوردگی و شکستگی (گسل و درزه) در بخش کوچکی از این پهنه است.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه‌ی مورد پژوهش در زون زمین‌ساختی کپه‌داغ و در محدوده‌ای میان $36^{\circ} 30'$ و $37^{\circ} 00'$ عرض شمالی و $58^{\circ} 46'$ و $59^{\circ} 42' 30''$ طول شرقی قرار دارد. در این پژوهش طی نه پیمایش عرضی بخشی از عوارض ساختاری این منطقه مورد اندازه‌گیری و تحلیل قرار گرفت. عوارض ساختاری مورد مطالعه شامل چین‌خوردگی‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها است. در طی این پژوهش تعداد دو ناودیس (ناودیس قرق و ناودیس میانی چشمه‌گیلاس)، دو تاق‌دیس (تاق‌دیس‌های جنوبی و شمالی چشمه‌گیلاس)، شش گسل و درزه‌های موجود در منطقه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و عوارض مورد مطالعه در شکل ۱-۱ و راه‌های دسترسی به آن در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

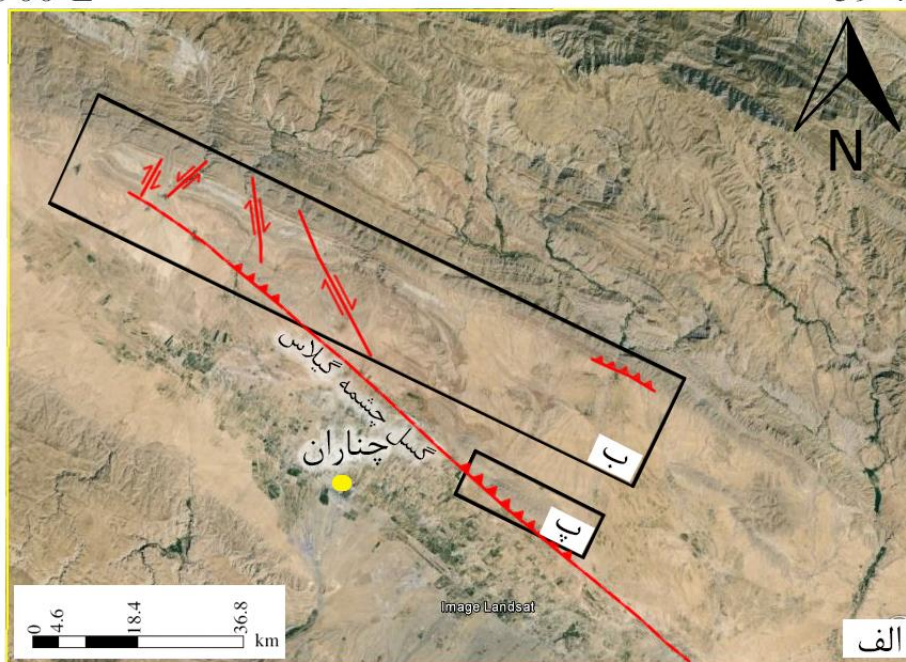
چنانچه شهر مشهد به عنوان مبداء حرکت در نظر گرفته شود؛ دسترسی به پیمایش اردک (واقع در نزدیکی روستای اردک) از مسیر اصلی مشهد به قوچان به مسیر فرعی روستای خان‌آباد سپس روستای طویل و پس از آن به روستای اردک، امکان پذیر است. دسترسی به پیمایش علی‌آباد (واقع در نزدیکی روستای علی‌آباد) از مسیر چناران- کبیر- جوقان- قزل حصار- علی‌آباد، دسترسی به پیمایش رادکان (واقع در نزدیکی روستای رادکان) از مسیر چهار مهن (در مسیر اصلی چناران- قوچان)- کلاته سادو- رادکان، دسترسی به پیمایش بهمن‌جان (واقع در نزدیکی روستای بهمن‌جان) از مسیر اصلی چناران- قوچان به مسیر فرعی حکیم‌آباد- حاجی‌آباد- علی‌آباد بهمن‌جان- بهمن‌جان سفلی و دسترسی به پیمایش موچنان (واقع در نزدیکی روستای موچنان) از مسیر اصلی چناران- قوچان به مسیر فرعی موچنان امکان‌پذیر است. دسترسی به تاق‌دیس جنوبی چشمه‌گیلاس از مسیر جاده‌ی مشهد - قوچان به روستای چشمه‌گیلاس و دسترسی به ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و تاق‌دیس شمالی چشمه‌گیلاس از مسیر روستای چشمه‌گیلاس به روستای خان‌آباد و نیز از مسیر اصلی مشهد - قوچان به روستای خان‌آباد امکان‌پذیر است.

37°00'00"N

58°46'00"E

37°00'00"N

59°42'30"E



36°30'00"N

58°46'00"E

36°30'00"N

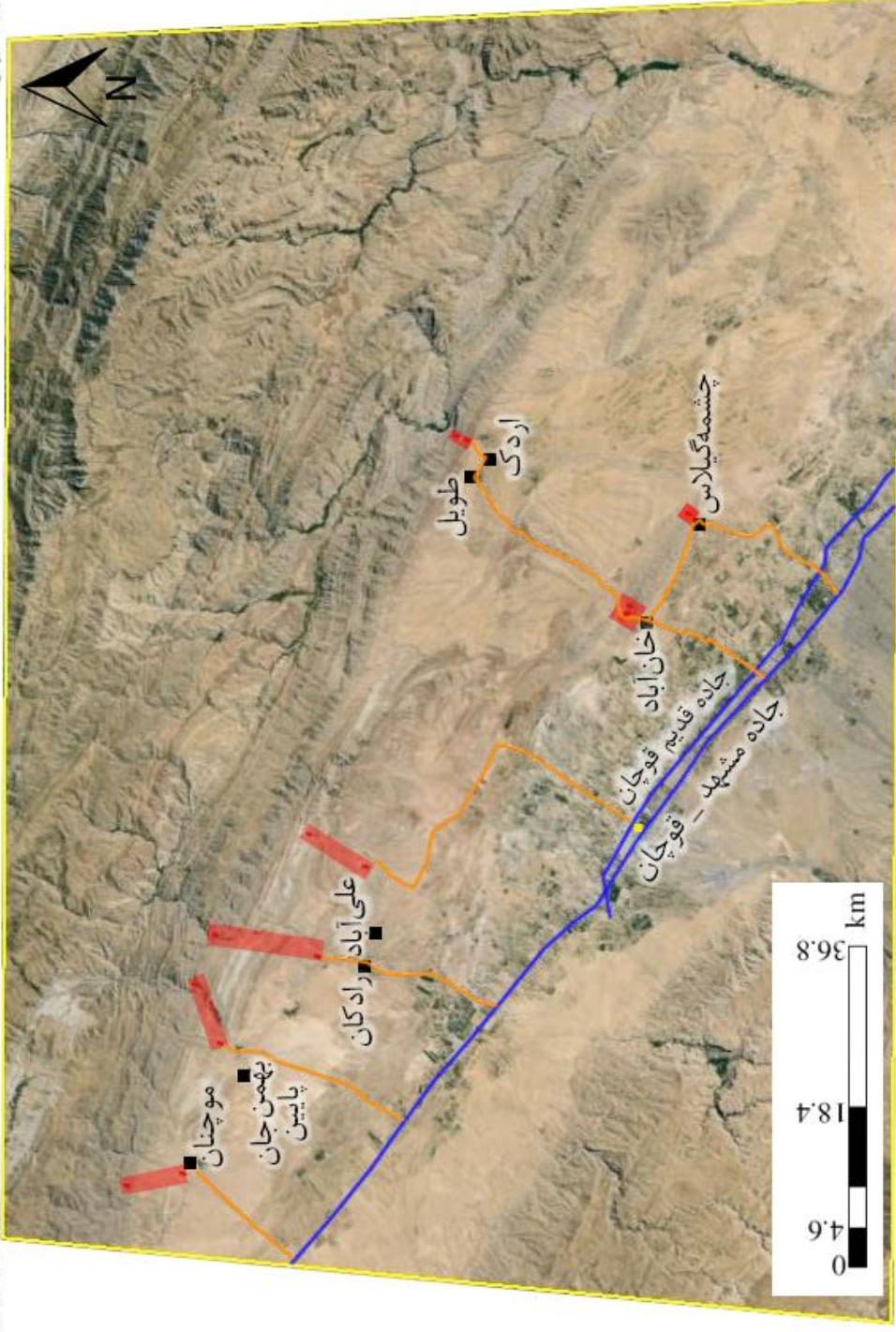
59°42'30"E



شکل ۱-۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و عوارض زمین‌ساختی مورد بررسی در این پژوهش (الف)، نمای نزدیک از ناودیس فرق (ب) و تاقدیس جنوبی چشمه گیلان، ناودیس میانی چشمه گیلان و تاقدیس شمالی چشمه گیلان (پ).

37°00'00"N
58°46'00"E

37°00'00"N
59°42'30"E



36°30'00"N
58°46'00"E

36°30'00"N
59°42'30"E

شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (محدوده‌هایی که به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند نشان دهنده‌ی پیمایش‌های صورت گرفته هستند).

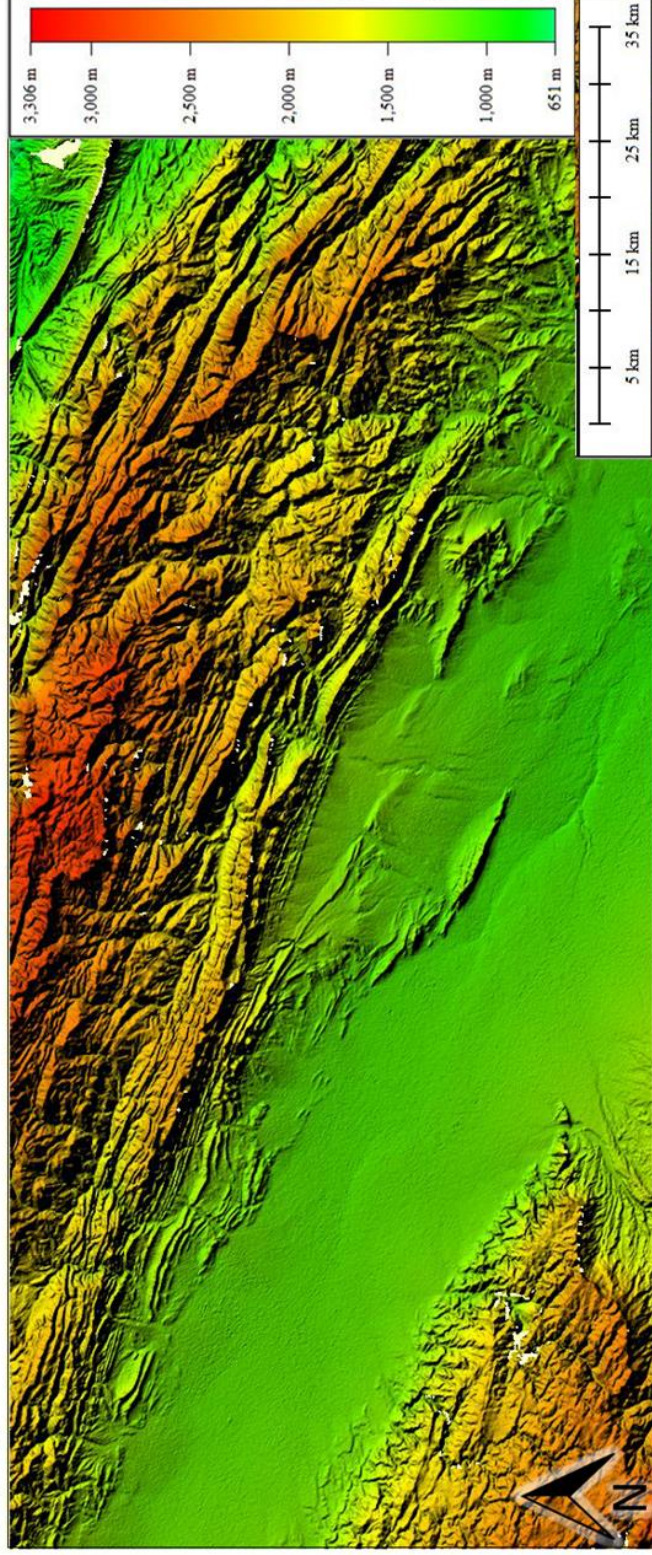
۳-۱- زمین‌ریخت‌شناسی و آب و هوای منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از منطقه‌ی کوهستانی کپه‌داغ است که در اثر آخرین فازهای چین‌خوردگی آلپ و فرسایش پیامد آن سیمای فعلی را به خود گرفته است. مورفولوژی منطقه کوهستانی کپه‌داغ در مراحل جوانی بوده و توپوگرافی رابطه‌ی مستقیم با ساختمان‌های زمین‌شناسی دارد. تاقدیس‌ها ارتفاعات و کوه‌ها را می‌سازند و ناودیس‌ها اغلب دشت‌های میان کوهی را تشکیل داده‌اند (افشار حرب، ۱۳۷۳). یک مدل ارتفاعی از منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۳-۱ نمایش داده شده است.

در ناودیس قرق سازندهای کربناتی مزدوران و تیرگان اصلی‌ترین واحدهای سیما ساز به حساب می‌آیند. سازند مارنی سرچشمه که در هسته‌ی این ناودیس قرار دارد دشت را تشکیل داده است. در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس سازند آهکی مزدوران اصلی‌ترین واحد سیماساز است. سازندهای مزدوران و تیرگان از سنگ‌های کربناتی تشکیل شده‌اند که دارای رخنمون و گسترش وسیعی در منطقه‌اند و نقش عمده‌ای را در ذخیره و هدایت آب دارا هستند. اغلب چشمه‌های بزرگ منطقه از سازند مزدوران و در مرتبه‌ی بعد از سازند تیرگان خارج می‌شوند (افشار حرب، ۱۳۷۳).

37°00'00"N
58°46'00"E

37°00'00"N
59°42'30"E



36°30'00"N
58°46'00"E

36°30'00"N
59°42'30"E

شکل ۱-۳- تصویر ارتفاعی منطقه مورد مطالعه که با استفاده از تصاویر SRTM در نرم افزار Gelobal mapper تهیه شده است.

محدوده قرارگیری منطقه‌ی مورد پژوهش (بخش‌هایی از شهرستان‌های مشهد، چناران و قوچان) به طور کلی دارای آب و هوای معتدل و نیمه‌خشک است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۱- پیشینه‌ی پژوهشی در منطقه

پیش از این، پژوهشگران متعددی به بررسی‌های زمین‌شناسی در منطقه‌ی کپه‌داغ پرداخته‌اند. نخستین بررسی‌های زمین‌شناسی در منطقه را گریسباخ (C.L.Greisbach) از سازمان زمین‌شناسی هند در سال ۱۸۸۱ به عمل آورده است. وی نتایج کار خود را در سال ۱۸۸۷ تحت عنوان "یادداشت‌های صحرایی شماره‌ی ۵ برای توضیح نقشه‌ی زمین‌شناسی افغانستان و شمال شرقی خراسان" منتشر نمود (افشار حرب، ۱۳۷۳). بعد از آن، عملیات و مطالعات منظم زمین‌شناسی برای نخستین بار توسط شرکت نفت امیرانین (Amiranian Oil Co.) انجام گرفت. نتایج کلی کار زمین‌شناسی این شرکت را کلاپ (F.G.Clapp) در نشریه‌ی انجمن زمین‌شناسان آمریکا در ژانویه ۱۹۴۰ تحت عنوان "زمین‌شناسی شرق ایران" منتشر نمود (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال ۱۳۳۰ گانسر (A.Gansser) زمین‌شناس سوئیسی که در استخدام شرکت نفت ایران بود مطالعاتی را در کپه‌داغ انجام داد که نتایج آن در گزارش زمین‌شناسی شماره‌ی ۱۰ تحت عنوان "زمین‌شناسی شناسایی در گرگان و نواحی اطراف آن" در آرشیو شرکت ملی نفت ایران موجود است (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال ۱۳۳۱، گلدشمید (K.T.Goldschmid) و ر. فخرایی، زمین‌شناسان شرکت نفت ایران، دو ماه کار صحرایی در منطقه‌ی کپه‌داغ انجام دادند که نتایج این برداشت‌ها در گزارش زمین‌شناسی شماره‌ی ۱۰۷ تحت عنوان "زمین‌شناسی شناسایی شمال خراسان" در آرشیو شرکت ملی نفت ایران موجود است (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال ۱۳۳۵، ی. پرن و ا. جهانگللو، زمین‌شناسان شرکت نفت ایران، یک ماه کار صحرایی در کپه‌داغ انجام دادند که نتایج آن در گزارش زمین‌شناسی شماره‌ی ۱۶۸ تحت عنوان "گزارش اولیه‌ی کار صحرایی سرخس" در آرشیو شرکت

ملی نفت ایران وجود دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال ۱۳۴۰، ه.ج. انصاری و ع. افشار حرب، زمین-شناسان شرکت ملی نفت ایران، طی دو ماه کار صحرایی به مطالعه و نام‌گذاری واحدهای سنگی ناحیه‌ی سرخس پرداختند که گزارش این برداشت‌ها به شماره‌ی ۲۵۶ و عنوان "دوران دوم و سوم زمین شناسی در سرخس" در آرشیو شرکت ملی نفت ایران وجود دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال ۱۳۴۱ ع.افشار حرب، طی یک ماه و نیم کار صحرایی در تاقدیس خانگیران و نواحی غرب سرخس، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ ناحیه را تهیه نمود. گزارش این برداشت به شماره‌ی ۲۶۰ تحت عنوان "گزارش زمین-شناسی تاقدیس خانگیران، غرب سرخس" در آرشیو شرکت ملی نفت ایران وجود دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳). در سال‌های ۱۳۵۰، ۱۳۵۲ و ۱۳۵۳ افشار حرب، طی شش ماه کار صحرایی برداشت چینه-شناسی و زمین‌ساختی تکمیلی را در منطقه انجام داد. نتیجه این کار در رساله دکتری ایشان آمده است و بخشی از نقشه‌های حاصل از این کار، توسط شرکت ملی نفت ایران و بخشی توسط سازمان زمین‌شناسی کشور چاپ و منتشر شده است (افشار حرب، ۱۳۷۳). نواب‌پور و همکاران (۱۳۸۵) آرایش محورهای تنش دیرینه پس از تریاس را در کپه‌داغ مورد بررسی قرار دادند و سه راستای تنش فشارشی متفاوت را شناسایی نمودند. قنادیان و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی الگوی شکستگی‌ها در سازند مخزنی مزدوران پرداخته و نشان دادند که سازند مزدوران در منطقه‌ی شرق کپه‌داغ، تحت تاثیر سه دسته شکستگی سیستماتیک قرار گرفته است. قنادیان و همکاران (۱۳۹۱a) عوامل موثر بر فاصله بندی شکستگی‌های سازند مخزنی مزدوران در خاور کپه‌داغ را مطالعه نموده و عواملی همچون گسلش نرمال، ضخامت لایه بندی و دگر ریختی و خمش سنگ مخزن را از جمله عوامل موثر بر فاصله بندی شکستگی‌های کششی موجود در این سازند معرفی کردند. قنادیان و همکاران (۱۳۹۱b) با بررسی وضعیت میدان تنش موثر بر دگر ریختی سازند مخزنی مزدوران در خاور کپه‌داغ، با استفاده از روش برگشتی، به محور اصلی تنش دست یافتند. بر این اساس، محور اصلی تنش افقی موثر بر سازند مزدوران $(\pm 20) N \cdot 25$ درجه می‌باشد.

فرازمند و رحیمی (۱۳۹۱a) با بهره‌گیری از ساختارهای شکننده به بررسی تغییرات میدان تنش موثر در چین‌خوردگی سازند مخزنی شوربجه و سازند آهکی تیرگان در رخنمون اشلر پرداختند. بر این اساس، موقعیت محورهای اصلی تنش در دواير تنش تعیین شد که بر این مبناء، راستای تنش بیشینه‌ی افقی در سازند مخزنی شوربجه در رخنمون اشلر، $N30^{\circ}(\pm 25)$ درجه و برای سازند تیرگان در رخنمون سنگانه $N024^{\circ}(\pm 20)$ درجه را نشان می‌دهد. فرازمند و رحیمی (۱۳۹۱b) با مطالعه‌ی آماری و جزء به جزء درز و شکستگی‌های موجود در سازند مخزنی شوربجه در رخنمون اشلر بیان کردند که نتایج حاصل از این مطالعه قابل تعمیم به عمق (سنگ مخزن) خواهد بود. همچنین جهت تفسیر تکتونیکی درزه‌ها، مولفه‌های سبک درزه از جمله طول، تراکم، شدت سیستم درزه‌ها را تعیین نمودند. فروغی‌گرو و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی ساختارهای تاقدیس ژرف در کمربند چین‌خورده‌ی کپه‌داغ پرداخته و چهار سری گسل با امتداد NW-SE, E-W, NE-SW, N-S و سه سری درزه مرتبط با چین را شناسایی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مکانیسم غالب چین‌خوردگی در این منطقه از نوع خمشی- لغزشی است. عامری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به بررسی تاقدیس چشمه‌گیلاس پرداختند. آن‌ها روند تنش بیشینه‌ی افقی را $N30^{\circ}E$ به دست آوردند. (Motaghi et al. (2012)، برای نخستین بار تغییرات مرز پوسته- گوشته را در زیر زون برخوردی قاره‌ای شمال شرق ایران بررسی نمودند و بیان کردند که بیشترین ضخامت پوسته در زیر توپوگرافی مرتفع کوه‌های کپه‌داغ و بینالود قرار ندارد و این نشان می‌دهد که این رشته‌کوه‌ها به جای این- که با یک ریشه‌ی پوسته‌ای ناشی از فرآیند ایزوستازی پشتیبانی شوند، به طور دینامیکی پشتیبانی می- شوند. (Motaghi et al. (2012) بیان نمودند که لرزه‌خیزی در این منطقه، به پوسته‌ی بالایی محدود می- شود و هیچ شاهی از لرزه‌خیزی پایین‌تر از پوسته وجود ندارد.

۱-۵- اهداف و کاربردهای پژوهش

هدف از این پژوهش، بررسی موارد زیر است:

- تعیین الگوی چین خوردگی در سازندهایی با سن مختلف در منطقه؛
 - مدل کردن درزه‌های منطقه در واحدهای سنگی چین خورده و تعیین ارتباط ژنتیک درزه‌ها با چین‌ها و گسل‌های منطقه؛
 - بررسی گسل‌های منطقه از نظر هندسه، ساز و کار و سن رویداد و بررسی شواهد فعالیت این گسل‌ها در بازه‌ی نوزمین ساختی؛
 - تعیین تنش دیرین بر مبنای تحلیل لغزش گسل‌ها (Fault slip analysis) و مقایسه‌ی آن با میدان تنش حاصل از ساز و کار کانونی زلزله‌های منطقه.
- از دستاوردهای این پژوهش می‌توان در مطالعات لرزه زمین‌ساخت و تحلیل خطر لرزه، تهیه‌ی نقشه‌های بزرگ مقیاس‌تر و سایر بررسی‌های زمین‌شناسی استفاده نمود.

۱-۶- روش پژوهش

مراحل انجام این پژوهش، به شرح زیر است:

- ۱- جمع‌آوری و بررسی مطالعات پیشین در مورد زمین‌شناسی منطقه؛

- ۲- بررسی و مطالعه‌ی منابع موجود در ارتباط با موضوع پژوهش (تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌ها به ویژه گسل‌های امتداد لغز و رانده، تحلیل هندسی چین‌خوردگی در لایه‌های سنگی، مطالعات نوزمین‌ساختی و الگوهای دگرریختی مربوط به آن‌ها)؛
- ۳- مطالعه‌ی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، جهت شناسایی ساختارهای مهم در منطقه؛
- ۴- انجام عملیات صحرایی در بخش‌های منتخبی از منطقه به منظور اندازه‌گیری‌های ساختاری؛ این اندازه‌گیری‌ها شامل موارد زیر است:
- ویژگی‌های لایه‌بندی در جهت تقریباً عمود بر روند کلی چین‌های مورد بررسی؛
 - درزه‌های موجود در لایه‌های چین‌خورده‌ی مورد بررسی؛
 - موقعیت گسل‌ها و آثار لغزش موجود بر سطح آن‌ها.
- لازم به ذکر است که نحوه‌ی بیان موقعیت عناصر ساختاری صفحه‌ای به روش آزیموتی و به صورت جهت شیب و شیب و عناصر ساختاری خطی به روش آزیموتی و به صورت جهت میل و میل است.
- ۵- تحلیل داده‌های ساختاری جمع‌آوری شده از برداشت‌های صحرایی، در این بخش، از نرم‌افزارهای استریوگرافیک موجود مانند Tectonics FP ، Georient ، Fabric 8 ، Win Tensor و ... استفاده شده است.
- ۶- تدوین پایان‌نامه و تهیه‌ی نقشه‌ی ساختاری و نقشه‌ی زمین‌شناسی از منطقه‌ی مورد مطالعه (پیوست ۳) که از طریق تلفیق اطلاعات به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، برداشت‌های صحرایی و نقشه‌های موجود و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Arc GIS ، Global mapper صورت گرفت.

فصل دوم

زمین شناسی عمومی

۱-۲- تاریخچه‌ی تکاملی کپه‌داغ

منطقه‌ی مورد مطالعه، بر اساس تقسیم‌بندی آقنابتی (۱۳۸۳)، در منطقه‌ی رسوبی ساختاری کپه‌داغ قرار گرفته است. از این‌رو در این فصل ابتدا تاریخچه‌ی تکاملی کپه‌داغ را مورد بررسی قرار داده و سپس به شرح چینه‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌پردازیم.

پهنه‌ی رسوبی-ساختاری کپه‌داغ شامل کوه‌های هزار مسجد در شمال خاور ایران است که در یک راستای WNW تا ESE، از خاور دریای خزر آغاز و پس از عبور از ترکمنستان و ایران، وارد خاک افغانستان می‌شود (آقنابتی، ۱۳۸۳). مرز شمالی این پهنه با فلات توران، منطبق بر گسل عشق آباد است که روند N 310 درجه دارد (آقنابتی، ۱۳۸۳). در مورد مرز جنوبی کپه‌داغ دیدگاه‌ها متفاوت است (آقنابتی، ۱۳۸۳). از نگاه ریخت‌شناسی، کپه‌داغ منطقه‌ای کوهستانی است که فازهای آلپ پایانی در شکل‌گیری سیمای امروزی آن نقش اساسی داشته‌اند (آقنابتی، ۱۳۸۳). ریخت‌شناسی منطقه جوان است و توپوگرافی ناحیه، رابطه‌ی مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد (آقنابتی، ۱۳۸۳).

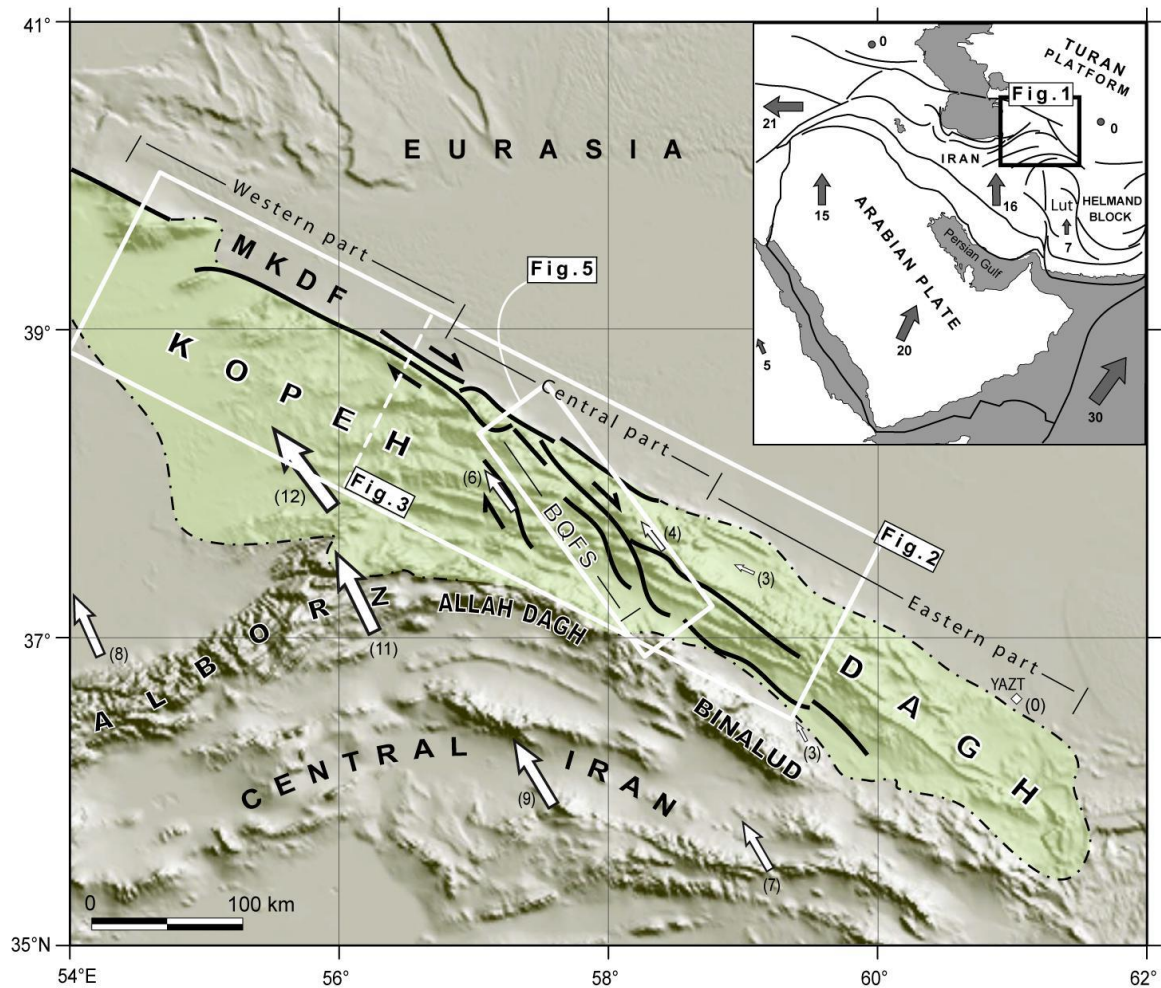
در مورد موقعیت ساختاری کپه‌داغ، دو نظریه‌ی اوراسیایی و گندوانایی مطرح است. زمین‌شناسانی که معتقد به نظریه‌ی اوراسیایی هستند، کپه‌داغ را بخشی از ابرقاره‌ی اوراسیا و سنگ‌های اولترامافیک ناحیه‌ی مشهد را بقایای اقیانوسی می‌دانند که دو صفحه‌ی توران (اوراسیا) و ایران (گندوانا) را از یکدیگر جدا می‌کرده است (آقنابتی، ۱۳۸۳). در نظریه‌ی گندوانایی اعتقاد بر این است که مرز میان سکوی ایران و پهنه‌ی هرسی‌نین توران در شمال کوه‌های کپه‌داغ و در خارج از ایران قرار دارد (آقنابتی، ۱۳۸۳).

جدا از دو نظریه‌ی اوراسیایی و گندوانایی، وجود توربیدایت‌های دانه‌ریز، چرت، روانه‌های بالشی و سنگ‌های اولترامافیک خاور روستای سفیدسنگ واقع در جنوب خاوری مشهد، به سن پرمین پسین و گاهی پرمین میانی، نشان می‌دهد که در اواخر کربونیفر و اوایل پرمین، در بخش شمال خاوری ایران، یک کافت

درون قاره‌ای به وجود آمده و دست کم از آن زمان به بعد، کپه‌داغ به عنوان یک حوضه‌ی رسوبی مستقل، شرایط رسوبی و زمین‌ساختی ناهمسانی با ایران مرکزی و البرز خاوری داشته است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- زمین‌ساخت کپه‌داغ:

یقین بر این است که الگوی چین‌خوردگی کنونی کپه‌داغ حاصل عملکرد رخداد کوهزایی اواخر پلیوسن است (آقانباتی، ۱۳۸۳). فشردگی کپه‌داغ، با کوتاه‌شدگی پوسته همراه است که میزان آن حدود ۱۵ درصد است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این کوتاه‌شدگی به سمت شرق کاهش می‌یابد و در مرز افغانستان محو می‌شود (Musavi et al., 2013). منطقه‌ی کپه‌داغ بر زون اصلی دگرشکلی در مرز شمالی برخورد عربی- اوراسیایی منطبق است (Shabanian, 2009). این رشته کوه، شمالی‌ترین بخش همگرایی N-S را متحمل می‌شود (Musavi et al., 2013). با توجه به میدان سرعت محاسبه شده با توجه به موقعیت‌های GPS، کپه‌داغ را می‌توان به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی (شکل ۲-۱) تقسیم کرد (Musavi et al., 2013).



شکل ۲-۱- تقسیم‌بندی کوه‌های کپه‌داغ. پیکان‌های سفید رنگ و اعداد همراه آن‌ها، جهت و سرعت حرکت افقی با توجه به موقعیت‌های GPS را بر حسب میلی‌متر بر سال نشان می‌دهند (به نقل از Shabanian, 2009).

رشته‌کوه‌های کپه‌داغ یک کمربند فعال با راستای NW-SE را تشکیل می‌دهد که ایران مرکزی را از اوراسیا (پلتفرم توران) جدا می‌کند (Shabanian, 2009). این رشته‌کوه بخش مهمی از هم‌گرایی عربی - اوراسیایی را که توسط فروانش مکران جذب نمی‌شود، تحمل می‌کند (Vernant et al., 2004). دگرشکلی‌های ناشی از تحمل این همگرایی شامل گسلش معکوس، گسلش امتداد لغز چپ‌بر (در گسل-های کوچک) در کپه‌داغ غربی و گسلش امتداد لغز راست‌بر در کپه‌داغ مرکزی - شرقی است

(Shabaniyan,2009). (Shabaniyan,2009) تخمین زده است که گسلش امتدادلغز درکوه‌های کپه‌داغ،

تقریباً از ۴ میلیون سال پیش آغاز شده است.

System	Seri	Formation	Lithology	Description		
Neogene	Pliocene - Pleistocene			Conglomerate		
		Cretaceous	Lower	Sarcheshmeh		Marl and chalky marl
				Tirgan		Lime stone with marly interbeds
				Shurijeh		Conglomerate, sand stone, shale
		Jurassic	Upper	Mozduran		Lime stone, dolomite lime stone

شکل ۲-۲- ستون چینه شناسی سازندهای رخنمون یافته در منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۲- معرفی سازندهای منطقه‌ی مورد مطالعه

واحدهای سنگی که در منطقه‌ی مورد بررسی رخنمون دارند عبارتند از سازندهای مزدوران، شوربجه، تیرگان، سرچشمه و کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن (شکل ۲-۲). جوان‌ترین رسوبات منطقه‌ی مطالعاتی، رسوبات آبرفتی عهدحاضر هستند.

۳-۲-۱- سازند آهکی مزدوران

در ناحیه‌ی کپه‌داغ، سازند مزدوران آخرین واحد سنگ چینه‌ای کربناتی ژوراسیک و سنگ مخزن اصلی میدان گازی خانگیران است (آقانباتی، ۱۳۸۳). برش الگوی این سازند در ارتفاعات شرق روستای مزدوران در ۸۰ کیلومتری شرق مشهد قرار دارد. دسترسی به محل برش الگو از طریق راه اصلی مشهد - سرخس امکان‌پذیر است. سازند مزدوران از سنگ‌های آهکی ضخیم‌لایه و صخره‌ساز تشکیل شده (شکل ۲-۳) و لایه‌های مارن و شیل به صورت لایه‌های فرعی در آن دیده می‌شود (افشار حرب، ۱۳۷۳). در بیشتر برش‌ها سن سازند مزدوران، آکسفوردین-کیمرجین است ولی مرزهای بالا و پایین آن در همه‌جا هم‌زمان نیست (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در منطقه‌ی مورد مطالعه سازند مزدوران به صورت آهک ضخیم لایه رخنمون دارد که سیمای مرتفع و صخره‌سازی را ایجاد نموده است. در شکل ۲-۳ رخنمونی از این سازند در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس نشان داده شده است.



شکل ۲-۳- رخمنونی از آهک ضخیم‌لایه‌ی مزدوران در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس (دید به جنوب خاور).

۲-۳-۲- سازند آواری شوربجه

در پهنه‌ی کپه‌داغ، در مرز ژوراسیک- کرتاسه، با پسروری دریا به سمت باختر، توالی سرخ‌رنگی به نام سازند شوربجه بر جای گذاشته شده است که از مرز افغانستان تا ۸۰ کیلومتری خاور گنبد کاووس رخمنون دارد. رخساره‌ی سنگی آواری یادشده، آشکارا به یک کاهش ژرفا ولی بدون هرگونه چین‌خوردگی اشاره دارد (آقاناتی، ۱۳۸۳). با وجود این، در باختر کپه‌داغ، سازند شوربجه دیده نمی‌شود و در نواحی گنبد کاووس، رسوبگذاری از ژوراسیک پسین به کرتاسه‌ی پیشین پیوسته است (افشار حرب، ۱۳۷۳). برش الگوی این سازند در دماغه‌ی شرقی تاقدیس خور در ۵۰ کیلومتری شمال شرق شهر مشهد، کنار جاده‌ی مشهد به کلات نادری واقع است (افشار حرب، ۱۳۷۳). سازند شوربجه بیشتر از نوع رسوب‌های آواری (شیل، رس‌سنگ، ماسه‌سنگ، کنگلومرا)، کمی سنگ گچ و لایه‌های ناچیز سنگ‌های کربناتی است

که سیمای قهوه‌ای_سرخ دارد و به صورت ردیفی راهنما و سرخرنگ، سنگ آهک‌های صخره‌ساز ژوراسیک بالا (مزدوران) را از سنگ آهک‌های کرتاسه‌ی پایین (سازند تیرگان) جدا می‌کند (آقنابتی، ۱۳۸۳). در محل برش نمونه، سطح تماس این سازند با سازند مزدوران گذری تدریجی (transitional) است (افشار حرب، ۱۳۷۳). سطح تماس فوقانی با سازند تیرگان با تغییر رخساره‌ی تند مشخص می‌شود (افشار حرب، ۱۳۷۳). ریوندی و همکاران (۱۳۸۹)، مرز بالایی این سازند را با سازند تیرگان در شرق حوضه کپه‌داغ، هم‌شیب و تدریجی می‌دانند. موسوی زاده و همکاران (۱۳۸۷)، مرز بالایی این سازند را با سازند تیرگان در غرب حوضه‌ی کپه‌داغ، هم‌شیب و تدریجی می‌دانند. میرسعیدی و همکاران (۱۳۷۴)، مرز بالایی این سازند را با سازند تیرگان در برش قرق در کپه‌داغ مرکزی، تدریجی می‌دانند.



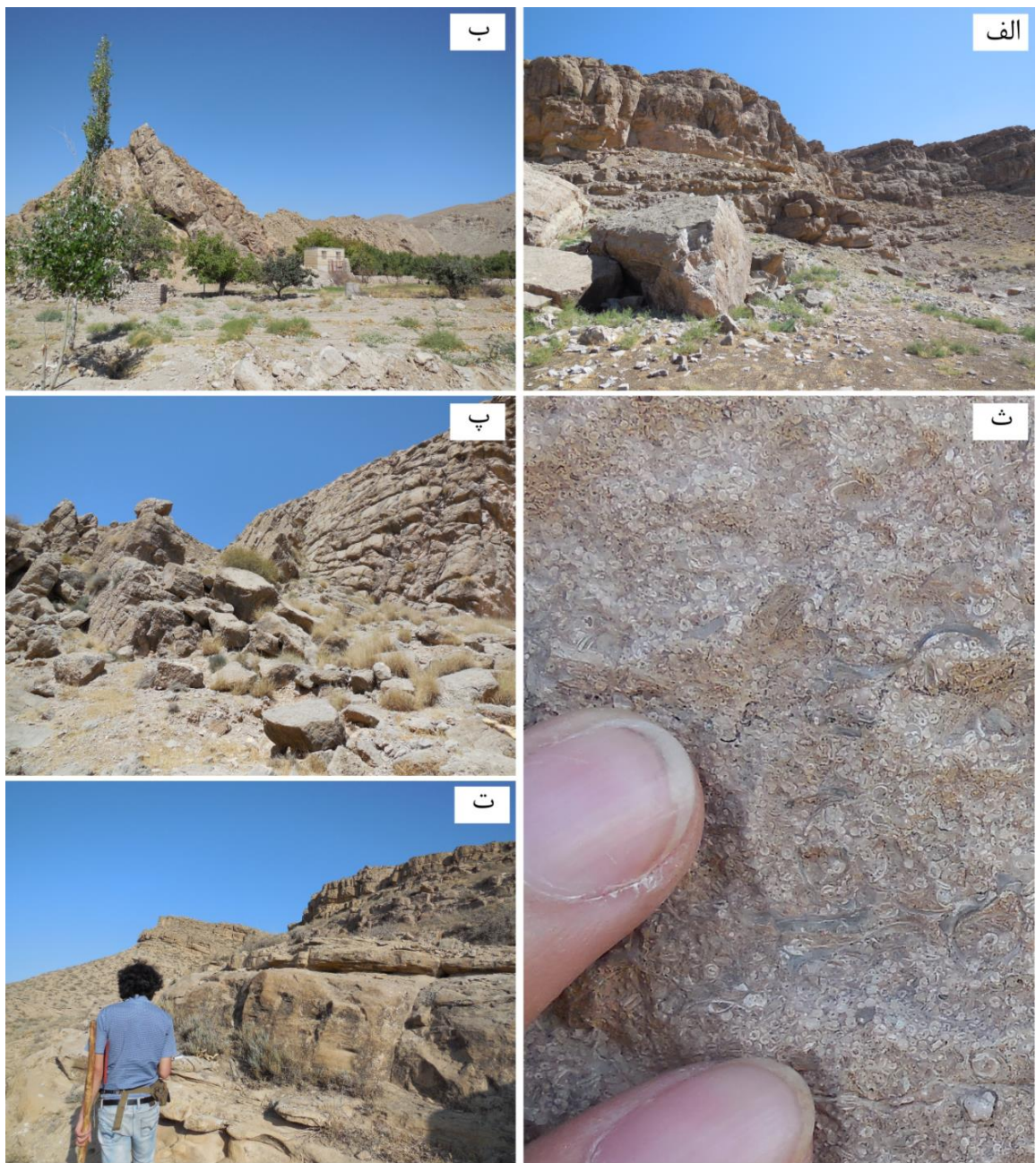
شکل ۲-۴- سازند آواری شوربجه در منطقه مورد مطالعه (در ناودیس قرق)، الف و ب - نمای صحرایی سازند شوربجه (به ترتیب دید ب سمت شمال خاور و جنوب باختر)، پ و ت- دانه‌بندی تدریجی در سازند شوربجه، ث- بخش‌های نازک لایه در سازند شوربجه، ج- قطعات انیدریت در سازند شوربجه.

در منطقه‌ی مورد مطالعه، سازند شوربیجه ظاهری به رنگ قهوه‌ای- سرخ داشته، ضخامت لایه‌ها از نازک- لایه تا ضخیم‌لایه متغییر است و همان‌طور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است از لایه‌های متناوب گنگلومرا، ماسه سنگ و شیل و عدسی‌های انیدریت تشکیل شده است.

۲-۳-۳- سازند آهکی تیرگان

برش الگوی سازند تیرگان در ۵ کیلومتری غرب روستای تیرگان واقع است (افشار حرب، ۱۳۷۳). برش مرجعی نیز در غرب کپه‌داغ، در جنوب شرق روستای جوزک معرفی شده است (افشار حرب، ۱۳۷۳). سن این سازند کرتاسه‌ی زیرین است. سازند تیرگان از سنگ آهک‌های ستبر لایه تا توده‌ای ائولیتی و زیست-آواری با میان‌لایه‌های ناچیزی از سنگ آهک‌های مارنی، مارن و شیل آهکی تشکیل شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). موسوی‌زاده و همکاران (۱۳۸۷)، میرسعیدی و همکاران (۱۳۷۴) و ریوندی و همکاران (۱۳۸۹) مرز زیرین این سازند را با سازند شوربیجه و مرز بالایی آن را با سازند سرچشمه به ترتیب در غرب، مرکز و شرق حوضه‌ی کپه‌داغ، پیوسته و تدریجی می‌دانند. در خاور کپه‌داغ، سازند تیرگان کم‌ترین ستبر را دارد ولی به سمت باختر، ضخامت سازند افزایش می‌یابد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در منطقه‌ی مورد مطالعه، سازند تیرگان از آهک ضخیم‌لایه با میان‌لایه‌های مارن تشکیل شده است. بخش‌های آهکی این سازند حاوی ائولیت و قطعات زیست‌آواری (قطعات فسیلی دوکفه‌ای‌ها) بوده و حالتی مرتفع و صخره‌ساز دارند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- نمای صحرایی سازند تیرگان در منطقه‌ی مورد مطالعه (در ناودیس قرق)؛ دید به سمت شمال خاور (الف)، دید به سمت جنوب خاور (ب)، دید به سمت شمال باختر (پ)، دید به سمت شمال باختر (ت)، ائولیت‌ها و قطعات زیستی (قطعات فسیلی دو کفه‌ای‌ها) در سازند تیرگان (ث).

۲-۳-۴- سازند مارنی سرچشمه

برش الگوی این سازند در دماغه‌ی شرقی تاقدیس خور در کنار راه مشهد به کلات نادری انتخاب شده است که در ۶۵ کیلومتری شمال - شمال شرق شهر مشهد واقع است (افشار حرب، ۱۳۷۳). سن این سازند کرتاسه‌ی زیرین است. در یک نگاه کلی، ستبرا از خاور به باختر افزایش می‌یابد (آقانباتی، ۱۳۸۳). سازند سرچشمه از دو بخش تشکیل می‌شود. بخش زیرین که از مارن خاکستری و خاکستری تیره تشکیل شده که در سطح فرسوده به رنگ خاکستری روشن مایل به سبز با فرسایش سرنیزه‌ای یا مدادی دیده می‌شود. بخش فوقانی شامل تناوب لایه‌های شیل تیره و لایه‌های نازک سنگ آهک است (افشار حرب، ۱۳۷۳).

قابل ذکر است که در منطقه‌ی مورد مطالعه، سازند سرچشمه به علت فرسایش زیاد و قرار گرفتن مزارع کشاورزی بر روی آن، قابل شناسایی نبود.

۲-۳-۵- کنگلومرای پلیوسن-پلیستوسن

این واحد رسوبی از کنگلومرای خاکستری با سیمان ضعیف پدید آمده است. جورشدگی ذرات، ضعیف و جنس قلوه‌ها به دلیل تنوع رخنمون‌های سنگی اطراف، بسیار متنوع است. میان لایه‌هایی از عدسی گچی در برخی نقاط درون این واحد دیده می‌شود (نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چناران، ۱۳۷۵، سازمان زمین‌شناسی کشور).

در منطقه‌ی مورد مطالعه، این واحد گنگلومرای تنها در نزدیکی روستای اردک رخنمون دارد که به صورت ناپیوسته بر روی سازند شوریجه قرار گرفته است. این کنگلومرا همان‌طور که در شکل ۲-۶ مشهود است سیمان شدگی ضعیف داشته، قطعات تشکیل دهنده‌ی آن متنوع بوده و جورشدگی ضعیف دارند.

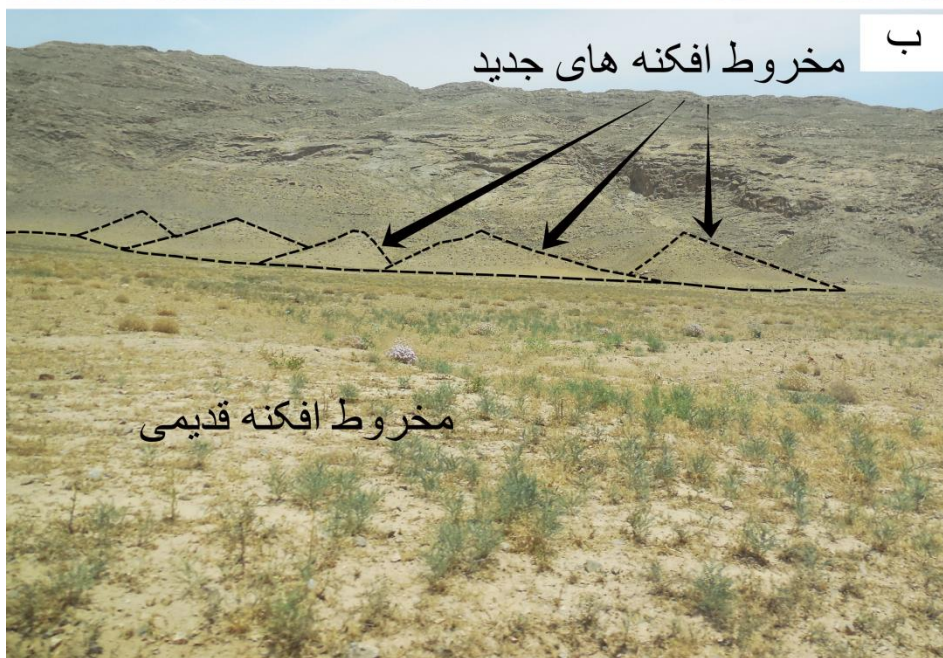


شکل ۶-۲-۶- نمای صحرایی کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن در منطقه‌ی مورد مطالعه (در نزدیکی روستای اردک) دید به سمت جنوب خاور (الف و ب)، قطعات تشکیل دهنده‌ی این کنگلومرا (پ و ت).

۶-۳-۲- نهشته‌های کواترنری

در منطقه‌ی مورد مطالعه این دسته از رسوبات شامل پادگانه‌های آبرفتی کهن و نهشته‌های بستر رودخانه (شکل ۷-۲) و مخروط افکنه‌های قدیم و جدید (شکل ۸-۲) هستند. پادگانه‌های کهن به گونه پادگانه‌های آبرفتی مرتفع هستند. این پادگانه‌ها با اختلاف ارتفاعی شایان توجه نسبت به مسیر فصلی رودخانه با دیواره‌های به نسبت تند و پرشیب به گونه دگرشیب بر روی سازندهای زیرین گسترش یافته‌اند. نهشته‌های بستر رودخانه در بیشتر موارد درشت دانه هستند و گردشگی و جورشدگی متوسط تا ضعیفی دارند

و اجزای سیلتی و رسی ندارند، در حالی که با پیمودن مسیری از رودخانه از اندازه‌ی ذرات کاسته می‌شود اما جورشدگی و گردشگی نهشته‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۷- نمای صحرایی از رسوبات کواترنری، پادگانه‌ی آبرفتی کهن و رسوبات رودخانه‌ای در رودخانه‌ی رادکان در ناودیس قرق (الف)، مخروط افکنه‌های قدیم و جدید در دامنه‌ی جنوبی ارتفاعات شمال روستای چشمه‌گیلاس (ب).

فصل سوم

زمین‌شناسی ساختمانی

نیروهای ناشی از حرکات قطعات لیتوسفری، در زمان‌های مختلف، میدان‌های تنش مختلفی را در پوسته-ی زمین ایجاد می‌کنند. این که این میدان‌های تنش چه ساختارهایی را در سنگ‌های پوسته‌ی زمین ایجاد می‌کنند، به ویژگی‌های سنگ‌ها و طرز قرارگیری لایه‌های سنگی نسبت به محورهای اصلی تنش بستگی دارد. عناصر ساختاری مانند چین‌ها، درزه‌ها و گسل‌ها ابزارهای ضروری جهت شناخت دگرختی یک منطقه محسوب می‌شوند. در این فصل تلاش ما بر آن است تا با بررسی و تحلیل داده‌های حاصل از کار صحرایی در مورد چین‌خوردگی، گسلش و درزه‌ها، به یک دید سه بعدی از این ساختارها در منطقه، دست پیدا کنیم.

در ادامه، ابتدا چین‌خوردگی منطقه را مورد بررسی قرار می‌دهیم. پس از مشخص شدن ویژگی‌های هندسی چین‌ها، به بررسی هندسه و ساز و کار گسل‌ها می‌پردازیم و پس از آن به بررسی منشاء درزه‌های اندازه‌گیری شده خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است که موقعیت عوارض صفحه‌ای به صورت جهت شیب و شیب و موقعیت عوارض خطی به صورت جهت میل و میل گزارش شده است.

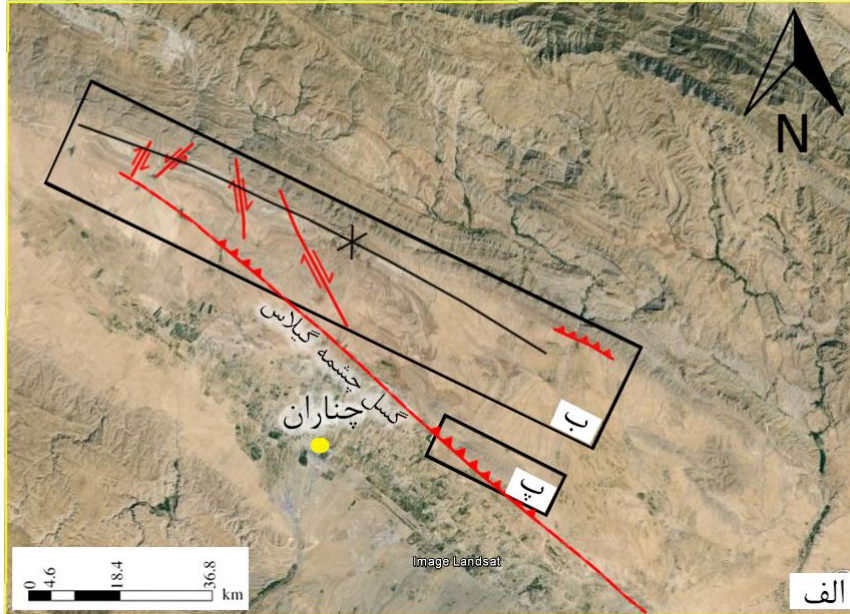
۱-۳- چین‌خوردگی

در این پژوهش به منظور بررسی الگوی چین‌خوردگی در منطقه‌ی مورد مطالعه، چین‌خوردگی در ارتفاعات شمال روستای چشمه‌گیلاس (شامل تاقدیس جنوبی، ناودیس میانی و تاقدیس شمالی) و ناودیس قرق، به عنوان نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور تعداد پنج پیمایش عرضی بر روی ناودیس قرق، تعداد دو پیمایش عرضی بر روی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، تعداد یک پیمایش عرضی بر روی ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و تعداد یک پیمایش عرضی بر روی تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس صورت گرفته است. موقعیت چین‌خوردگی‌های مورد بررسی، در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. داده‌های

گردآوری شده از این نه پیمایش عرضی در پیوست ۱ آمده است. در ادامه به بررسی داده‌های گردآوری شده می‌پردازیم.

37°00'00"N
58°46'00"E

37°00'00"N
59°42'30"E



36°30'00"N
58°46'00"E

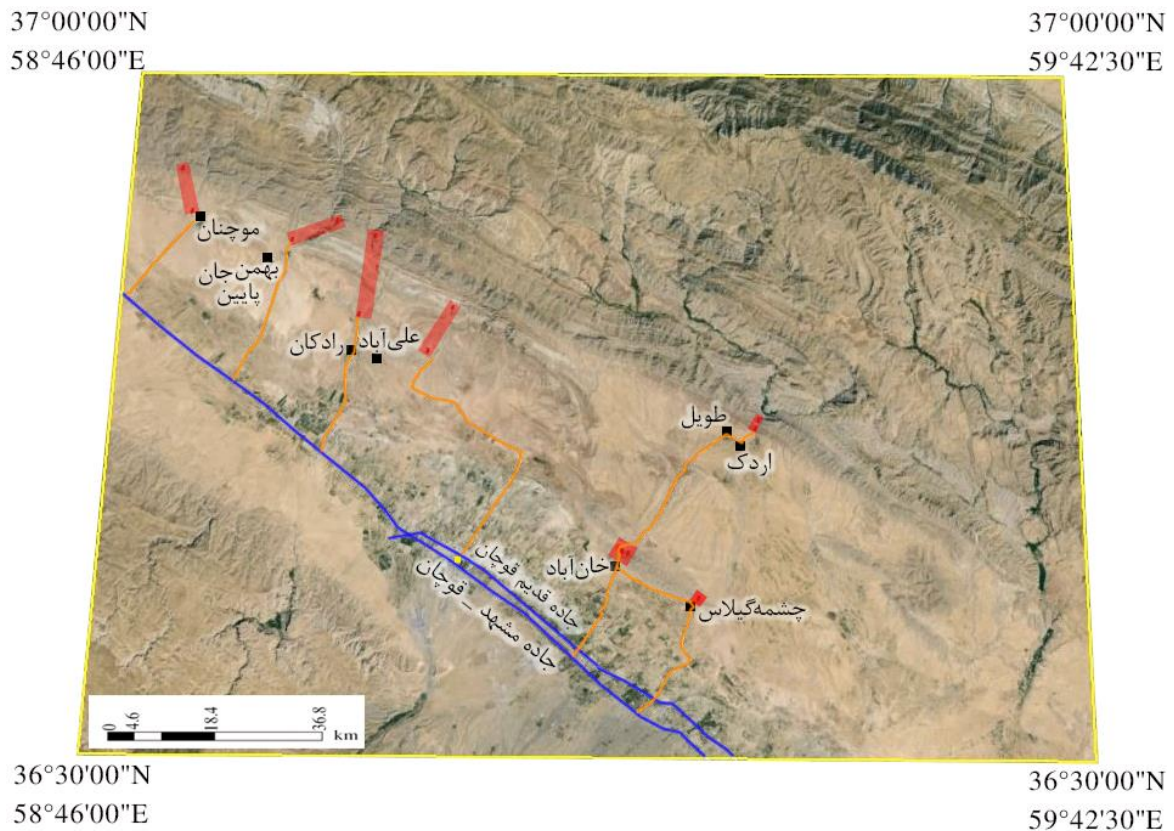
36°30'00"N
59°42'30"E



شکل ۳-۱- موقعیت عوارض ساختاری مورد مطالعه در این پژوهش. الف- محدوده‌ی کلی منطقه‌ی مورد مطالعه، ب- نمای نزدیک‌تر از ناودیس قرق در تصویر ماهواره‌ای، پ- نمای نزدیک‌تر از تاقدیس جنوبی چشمه گیلاس، ناودیس میانی چشمه-گیلاس و تاقدیس شمالی چشمه گیلاس در تصویر ماهواره‌ای.

۳-۱-۱- ناودیس قرق

به منظور بررسی هندسه‌ی چین‌خوردگی ناودیس قرق، تعداد پنج پیمایش عرضی تقریباً عمود بر محور چین در نظر گرفته شد و وضعیت لایه‌بندی در این پنج پیمایش عرضی به صورت ایستگاهی مورد برداشت قرار گرفت. محدوده‌ی مورد مطالعه و موقعیت تقریبی پنج پیمایش عرضی انجام شده، در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است.

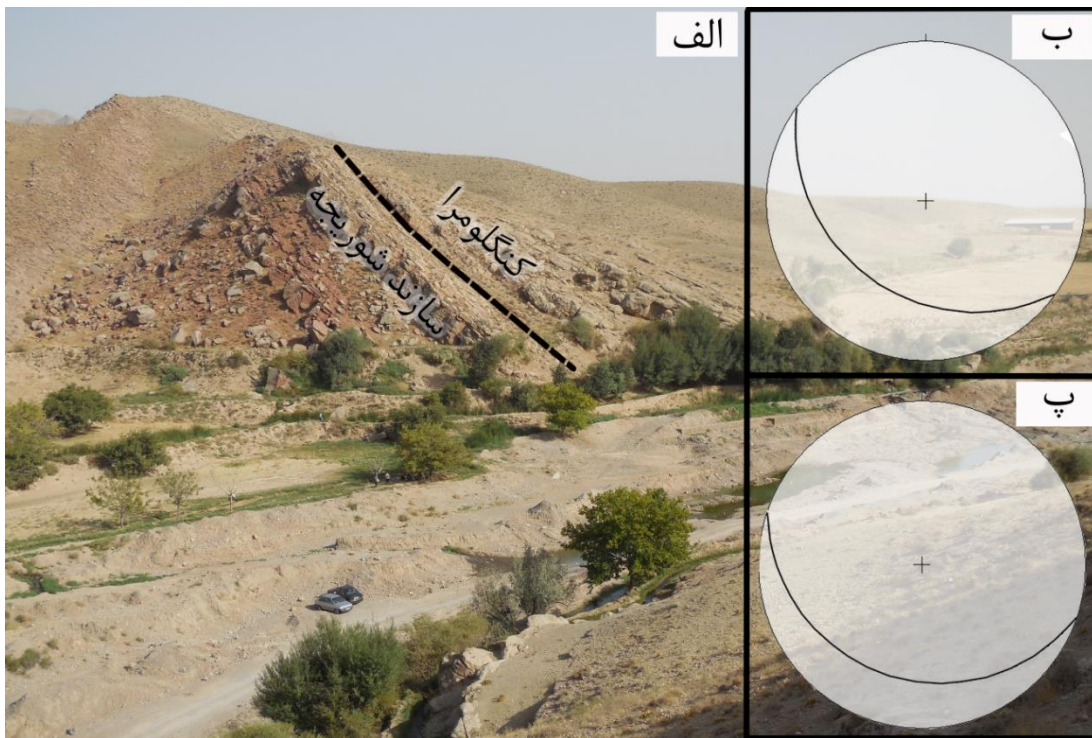


شکل ۳-۲- موقعیت پیمایش‌های عرضی صورت گرفته بر روی چین‌خوردگی‌های مورد بررسی (محدوده‌هایی که به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، نشان دهنده‌ی محل پیمایش‌ها هستند. مربع‌های سیاه رنگ و نام‌های نوشته‌شده در کنار آن‌ها نشان دهنده‌ی محل و نام روستاها هستند).

۳-۱-۱-۱- پیمایش اردک

پیمایش اردک شرقی‌ترین پیمایش صورت گرفته بر روی ناودیس قرق در این مطالعه است. این پیمایش در نزدیکی سد اردک و روستایی به همین نام قرار دارد که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در این پیمایش موقعیت لایه‌ها در سازند شوریجه و سازند کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن در یال شمال شرقی ناودیس قرق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

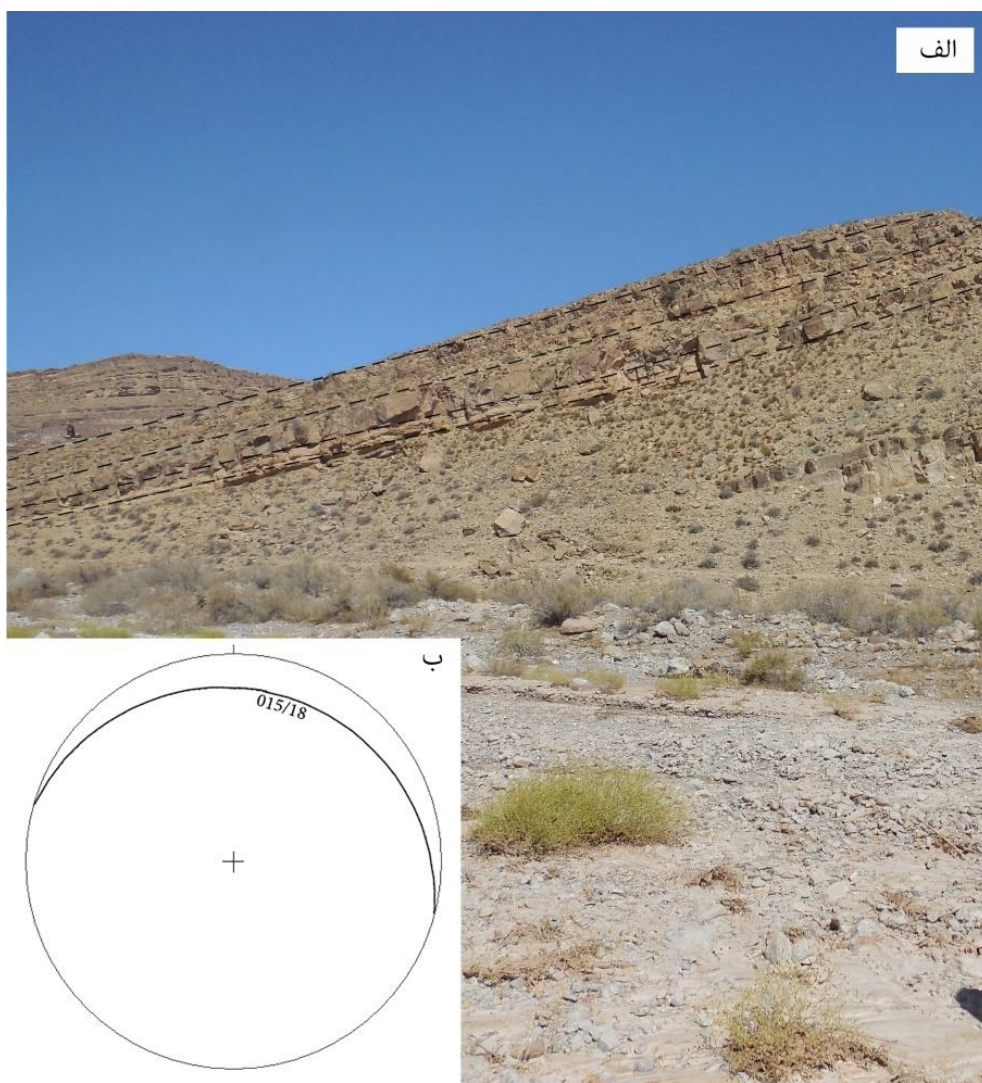
موقعیت لایه‌های چین‌خورده‌ی سازند شوریجه در یال شمال خاوری ناودیس در این پیمایش عبارت است از ۲۱۶/۴۰ و موقعیت لایه‌های چین‌خورده‌ی کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن در یال شمال خاوری ناودیس در این پیمایش عبارت است از ۱۹۹/۳۰ (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند شوریجه و کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن در پیمایش اردک دید به سمت جنوب خاوری، مرز سازند شوریجه و کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن با خط چین سیاه رنگ مشخص شده است (الف)، استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت هندسی لایه‌های سازند شوریجه در پیمایش اردک (ب)، استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت هندسی لایه‌های کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن در پیمایش اردک (پ).

۳-۱-۱-۲- پیمایش علی‌آباد

پیمایش علی‌آباد، چنان که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است در نزدیکی روستای علی‌آباد قرار دارد. اندازه‌گیری سطوح لایه‌بندی در این پیمایش در سازندهای شورجه و تیرگان در یال جنوب باختری چین انجام شده است. در این پیمایش موقعیت یال جنوب باختری ۰۱۵/۱۸ است (شکل ۳-۴).



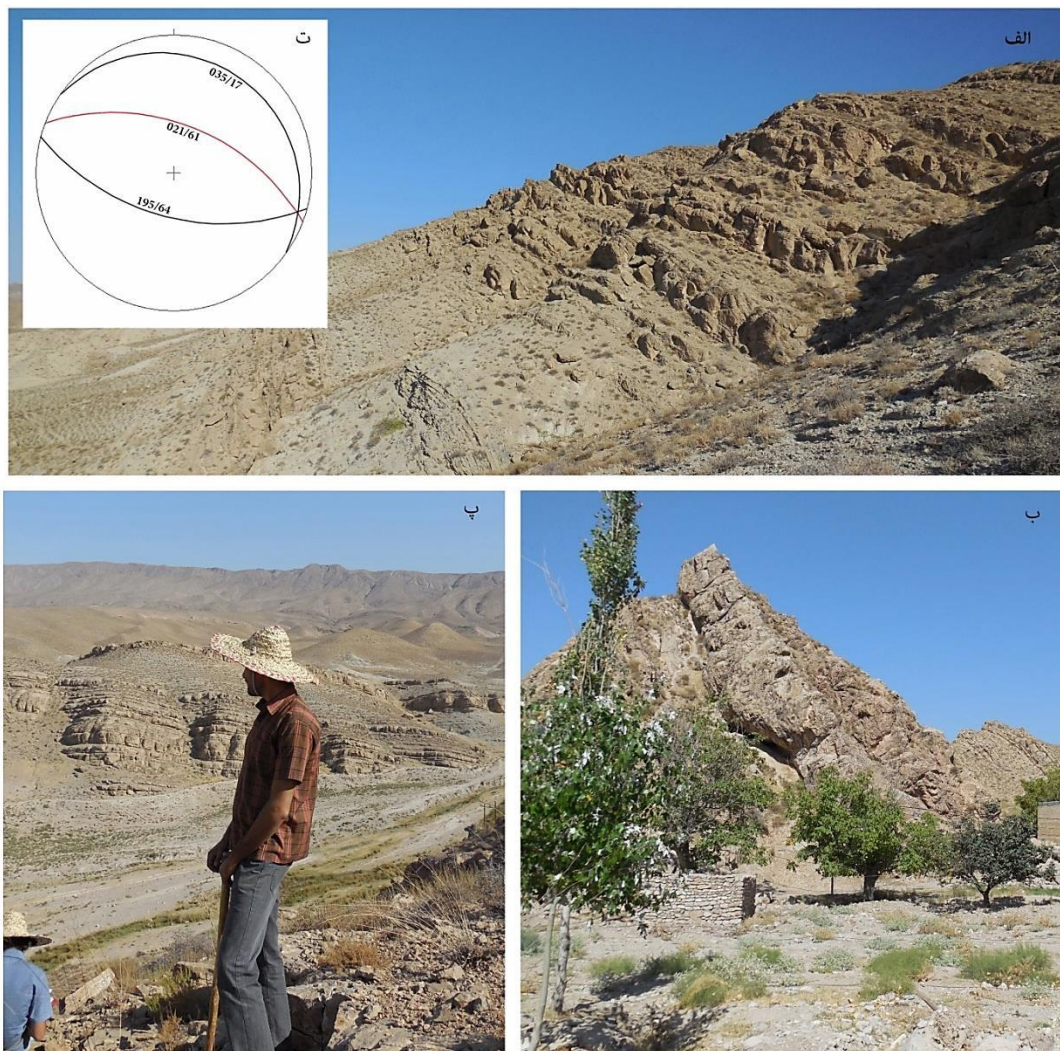
شکل ۳-۴- موقعیت لایه‌های سازند تیرگان در یال جنوب باختری ناودیس قرق در پیمایش علی‌آباد (دید به سمت جنوب خاور)(الف) و استریوگرام نشان دهنده‌ی وضعیت هندسی لایه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش (ب).

۳-۱-۱-۳- پیمایش رادکان

پیمایش رادکان، چنان که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، در نزدیکی روستای رادکان قرار دارد. اندازه‌گیری سطوح لایه در این پیمایش در سازندهای شورجه و تیرگان و در هر دو یال جنوب باختری و شمال خاوری ناودیس قرق صورت گرفت.

موقعیت یال جنوب باختری ناودیس قرق در این پیمایش عبارت است از ۰۳۵/۱۷ و موقعیت یال شمال خاوری آن عبارت است از ۱۹۵/۶۴. موقعیت خط لولا ۱۰۸/۰۵، موقعیت سطح محوری ۰۲۱/۶۱ و زاویه-ی بین یالی ۱۰۱ درجه است (شکل ۳-۵).

بنابراین ناودیس قرق در این پیمایش در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین-های باز (Open) و در رده بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین-های دارای محور افقی و سطح محوری به شدت شیب‌دار (Horizontal steeply inclined) است.

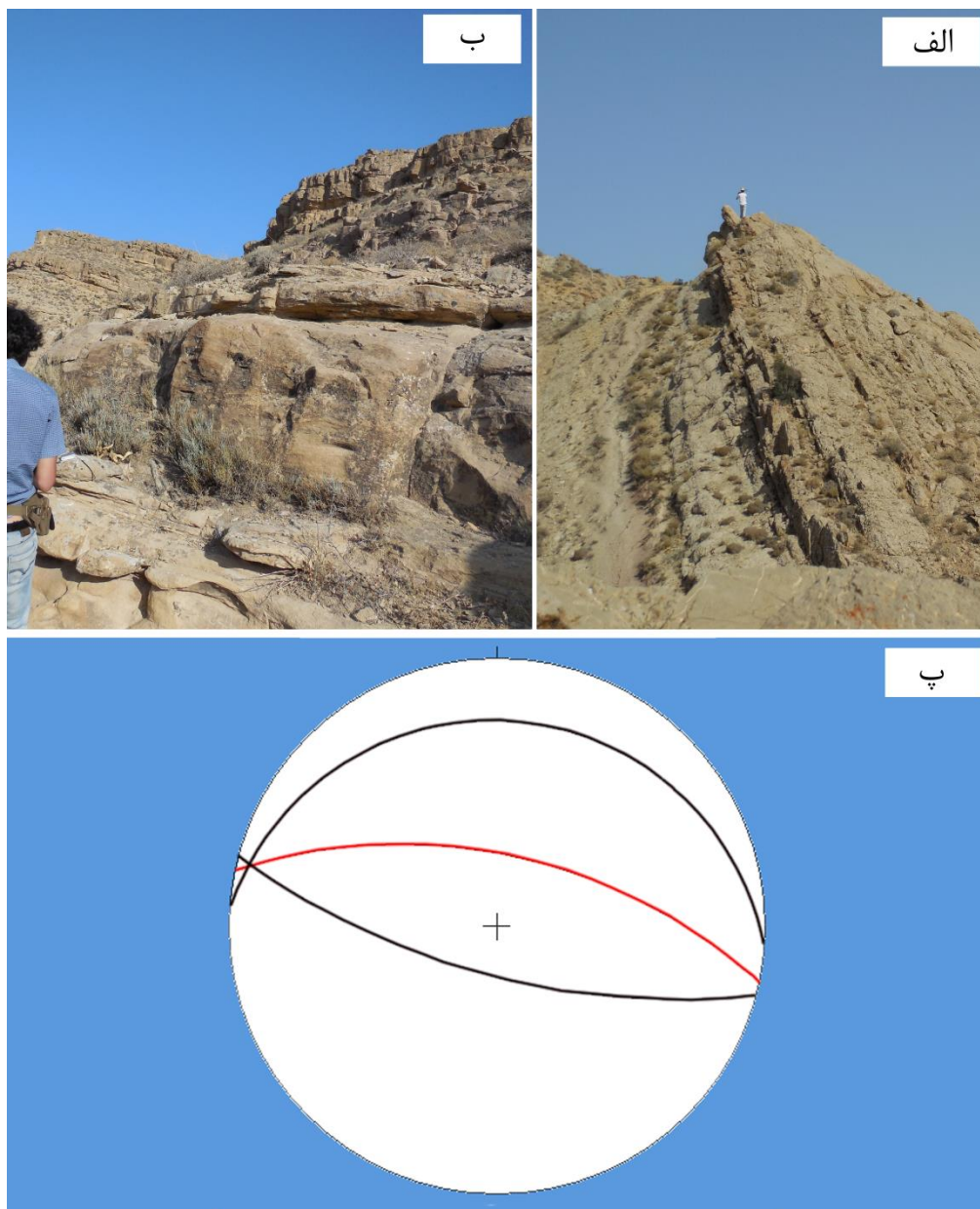


شکل ۳-۵- وضعیت ساختاری لایه‌های چین‌خورده سازند تیرگان در ناودیس قرق در پیمایش رادکان در یال شمال خاوری ناودیس، (الف- دید به سمت شمال باختر و ب- دید به سمت خاور) و در یال جنوب باختری ناودیس (پ- دید به سمت شمال) و استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت یال‌ها، خط لولا و سطح محوری ناودیس قرق در پیمایش رادکان (ت).

۳-۱-۱-۴- پیمایش بهمن جان

پیمایش بهمن جان چنان که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، در نزدیکی روستای بهمن جان سفلی قرار دارد. اندازه‌گیری سطوح لایه‌بندی در این پیمایش در سازندهای شوربجه و تیرگان و در هر دو یال جنوب باختری و شمال خاوری ناودیس قرق صورت گرفته است. موقعیت یال جنوب باختری ناودیس قرق

در پیمایش بهمن‌جان عبارت است از $004/15$ و موقعیت یال شمال خاوری آن عبارت است از $195/69$.
 موقعیت خط لولا $284/03$ ، موقعیت سطح محوری $012/60$ و زاویه‌ی بین یالی 84 درجه است (شکل ۳-۶).

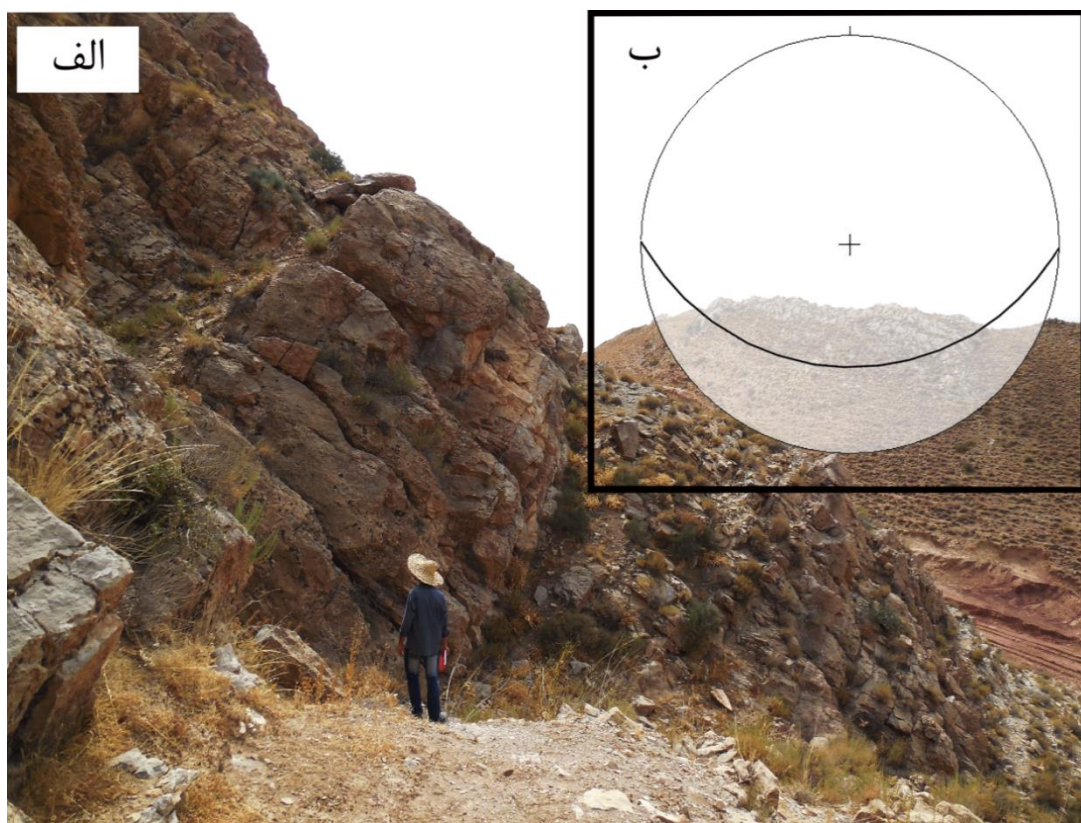


شکل ۳-۶- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند تیرگان در پیمایش بهمن‌جان در یال شمال خاوری ناودیس قرق- دید به سمت جنوب خاوری (الف) و در یال جنوب باختری ناودیس قرق- دید به سمت شمال باختری (ب) و استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت هندسی لایه‌ها و سطح محوری در این پیمایش (پ).

بنابراین، این ناودیس در پیمایش بهمن‌جان در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های باز (Open) و در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری بسیار شیب‌دار (Horizontal steeply inclined) است.

۳-۱-۱-۵- پیمایش موجنان

پیمایش موجنان غربی‌ترین پیمایش صورت گرفته در عرض ناودیس قرق است و چنان‌که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، در نزدیکی روستای موجنان قرار دارد. اندازه‌گیری موقعیت لایه‌ها در این پیمایش در یال شمال خاوری ناودیس و در سازند شوربچه انجام شده است. موقعیت لایه‌های اندازه‌گیری شده عبارت است از ۱۸۱/۴۱ (شکل ۳-۷).



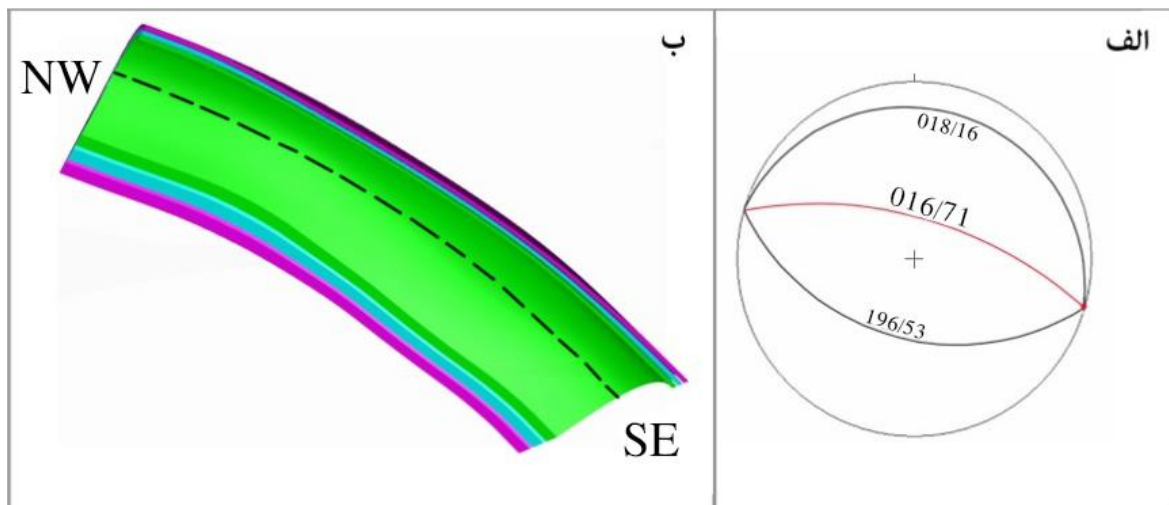
شکل ۳-۷- وضعیت ساختاری لایه‌های سازند شوربچه در پیمایش موجنان- دید به سمت شمال باختری (الف) و استریوگرام نشان دهنده موقعیت هندسی لایه‌ها در این پیمایش (ب).

بر اساس بررسی‌های انجام شده، موقعیت یال شمال خاوری ناودیس قرق در چهار پیمایش و موقعیت یال جنوب باختری این ناودیس در سه پیمایش در دست است که در جدول ۱-۳ آمده است.

جدول ۱-۳- موقعیت یال شمال خاوری و جنوب باختری ناودیس قرق در پیمایش‌های صورت گرفته در عرض ناودیس قرق

نام پیمایش	موقعیت یال شمال خاوری	موقعیت یال جنوب باختری
اردک	۲۱۶/۴۰	-
علی آباد	-	۰۱۵/۱۸
رادکان	۱۹۵/۶۴	۰۳۵/۱۷
بهمن جان	۱۹۵/۶۹	۰۰۴/۱۵
موچنان	۱۸۱/۴۱	-

میانگین کل اندازه‌گیری‌های انجام شده در یال شمال خاوری ناودیس قرق ۱۹۶/۵۳ و در یال جنوب باختری این ناودیس ۰۱۸/۱۶ است. بر این اساس، موقعیت خط لولای کلی ناودیس قرق ۱۰۶/۰۰، سطح محوری آن ۰۱۶/۷۱ و زاویه‌ی بین یالی آن ۱۱۰ درجه است. بنابراین ناودیس قرق به طور کلی در رده-بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های باز (Open) و در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع دارای محور افقی با سطح محوری بسیار شیب-دار (Horizontal steeply inclined) است. استریوگرام و مدل سه بعدی کلی از ناودیس قرق در شکل ۸-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۸- استریوگرام نشان دهنده‌ی وضعیت هندسی یال‌ها، سطح محوری و محور ناودیس قرق (الف) و مدل این ناودیس (دید از بالا) (ب). در استریوگرام، صفحه‌هایی که به رنگ سیاه نشان داده شده‌اند، نماینده‌ی وضعیت هندسی یال‌ها هستند و صفحه‌ای که با رنگ قرمز نشان داده شده است، نماینده‌ی سطح محوری ناودیس است. در مدل سه بعدی ارائه شده، خط-چین سیاه رنگ، نشان دهنده‌ی خط‌القعر ناودیس قرق است.

۳-۱-۲- چین خوردگی شمال روستای چشمه‌گیلاس

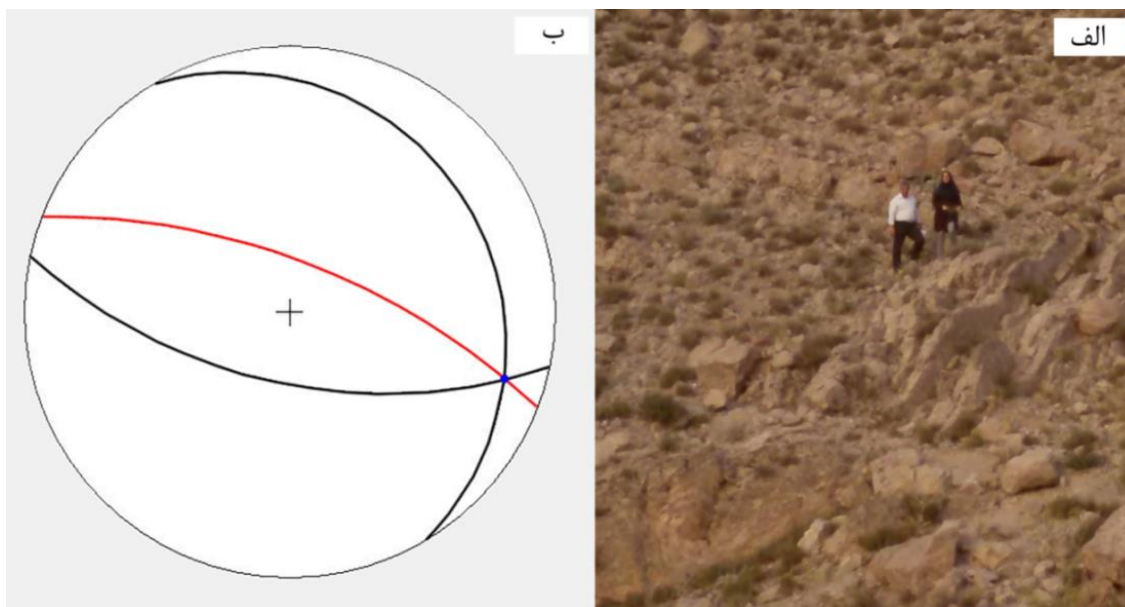
در ارتفاعات شمال روستای چشمه‌گیلاس (شکل ۱-۱ و ۲-۱) یک مجموعه چین خوردگی وجود دارد. این مجموعه از جنوب باختری به شمال خاوری شامل یک تاقدیس، یک ناودیس و یک تاقدیس است که به ترتیب، تاقدیس جنوبی، ناودیس میانی و تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس نامیده شدند.

۳-۱-۲-۱- تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

به منظور بررسی هندسه‌ی چین خوردگی در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، تعداد دو پیمایش عرضی تقریباً عمود بر محور تاقدیس بر روی این تاقدیس صورت گرفت. موقعیت این دو پیمایش عرضی در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

۳-۱-۲-۱-۱- پیمایش پایانه‌ی جنوب خاوری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

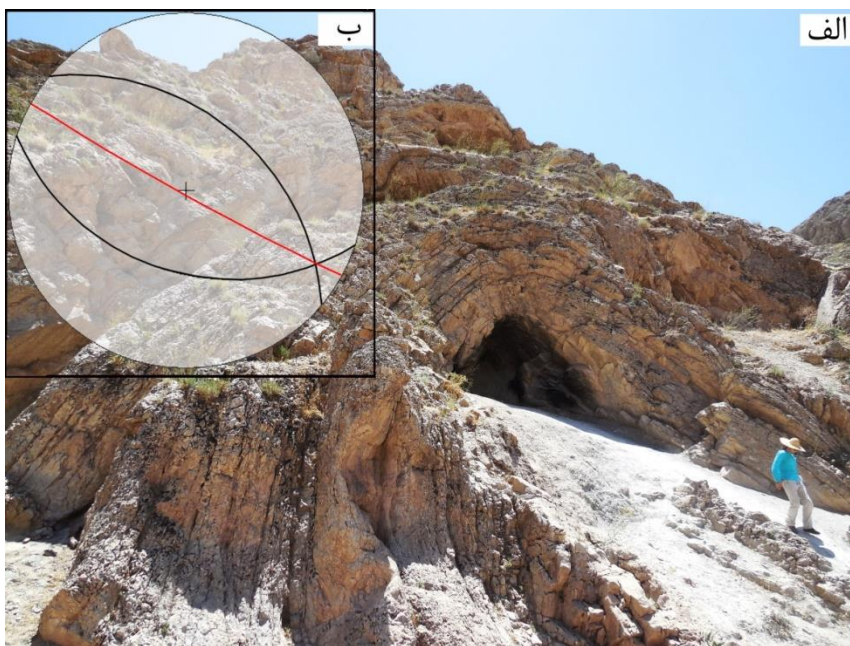
مسیر این پیمایش چنان که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است در نزدیکی روستای چشمه‌گیلاس قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش بر روی سازند مزدوران و در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری و منطقه‌ی لولایی تاقدیس چشمه‌گیلاس صورت گرفته است. بر اساس این اندازه‌گیری‌ها، میانگین سطوح لایه‌بندی در یال شمال خاوری عبارت است از $0.59/14$ ، میانگین سطوح لایه‌بندی در یال جنوب باختری عبارت است از $1.92/60$. بر این اساس موقعیت خط لولای تاقدیس چشمه‌گیلاس در این پیمایش $1.07/0.9$ ، موقعیت سطح محوری $0.21/68$ و زاویه‌ی بین یالی 110 درجه است (شکل ۳-۹). بنابراین تاقدیس چشمه‌گیلاس در این پیمایش در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی در دسته‌ی چین‌های باز (Open) و بر اساس میل محور و شیب سطح محوری در دسته‌ی چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری بسیار شیبدار (Horizontal – steeply inclined) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۹- وضعیت ساختاری لایه‌ها در پیمایش پایانه جنوب خاوری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس - جهت دید به شمال خاور (الف)، استریوگرام نشان دهنده‌ی یال شمال خاوری و جنوب باختری و سطح محوری تاقدیس جنوبی چشمه-گیلاس (ب)، (در استریوگرام، یال‌ها به رنگ سیاه و سطح محوری به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند)

۳-۱-۲-۲-۱-۲-۱-۳- پیمایش پایانه‌ی شمال باختری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

مسیر این پیمایش چنان که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است در نزدیکی روستای خان‌آباد قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش بر روی سازند مزدوران و در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری تاقدیس چشمه‌گیلاس صورت گرفته است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش موقعیت میانگین سطوح لایه-بندی در یال شمال خاوری و جنوب باختری به ترتیب ۰۴۰/۵۵ و ۱۹۸/۵۲ است. بر این اساس موقعیت خط لولا ۱۲۰/۱۴، موقعیت سطح محوری ۲۰۹/۸۸ و زاویه بین یالی ۷۶ درجه است (شکل ۳-۱۰). بنابراین تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس در این پیمایش در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی در دسته‌ی چین‌های باز (Open) و بر اساس میل محور و شیب سطح محوری در دسته‌ی چین‌های دارای محور با زاویه‌ی میل کم و سطح محوری ایستاده (Gently plunging – upright) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۰- وضعیت ساختاری لایه‌ها در پیمایش پایانه‌ی شمال باختری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس- دید به جنوب خاور (الف)، استریوگرام نشان دهنده‌ی میانگین یال شمال خاوری و جنوب باختری و سطح محوری تاقدیس جنوبی چشمه-گیلاس در این پیمایش (ب). (در استریوگرام، یال‌ها به رنگ سیاه و سطح محوری به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند).

۳-۱-۲-۲-۲- ناودیس میانی چشمه گیلان

به منظور بررسی هندسه‌ی چین‌خوردگی در ناودیس میانی چشمه گیلان، موقعیت سطوح لایه‌بندی در این ناودیس در یک پیمایش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مسیر این پیمایش چنان که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است در نزدیکی روستای خان‌آباد قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش بر روی سازند مزدوران و در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری این ناودیس صورت گرفته است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش موقعیت میانگین سطوح لایه‌بندی در یال شمال خاوری و جنوب باختری به ترتیب ۲۰۰/۴۹ و ۰۲۲/۵۳ است. بر این اساس موقعیت خط لولا ۱۱۱/۰۱، موقعیت سطح محوری ۲۰۱/۸۸ و زاویه‌ی بین یالی ۷۸ درجه است (شکل ۳-۱۲). بنابراین ناودیس میانی چشمه گیلان در این پیمایش در رده بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی در دسته‌ی چین‌های باز (Open) و بر اساس میل محور و شیب سطح محوری در دسته‌ی چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری ایستاده (Horizontal – upright) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۲- وضعیت ساختاری لایه‌ها در ناودیس میانی چشمه گیلان - دید به جنوب خاور (الف)، استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت میانگین سطوح یال شمال خاوری و جنوب باختری و سطح محوری ناودیس میانی چشمه گیلان (ب). (در استریوگرام، یال‌ها به رنگ سیاه و سطح محوری به رنگ قرمز نشان داده شده اند)

۳-۲-۱-۳- تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

به منظور بررسی هندسه‌ی تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس، موقعیت سطوح لایه‌بندی در این تاقدیس در یک پیمایش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مسیر این پیمایش چنان که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است در نزدیکی روستای خان‌آباد قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها در این پیمایش بر روی سازند مزدوران و در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری و منطقه‌ی لولایی این تاقدیس صورت گرفته است. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در این پیمایش موقعیت میانگین سطوح لایه‌بندی در یال شمال خاوری این تاقدیس $۰۰۳/۵۳$ در در یال جنوب باختری آن $۱۹۰/۷۴$ است. بر این اساس موقعیت خط لولا $۲۷۸/۰۷$ ، موقعیت سطح لولایی $۰۰۷/۷۹$ و زاویه‌ی بین یالی ۵۴ درجه است (شکل ۳-۱۳). بنابراین تاقدیس خان‌آباد در این پیمایش در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی در دسته‌ی چین‌های تنگ (Tight) و بر اساس میل محور و شیب سطح محوری در رده‌ی چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری بسیار شیبدار (Horizontal – steeply inclined) قرار می‌گیرد.

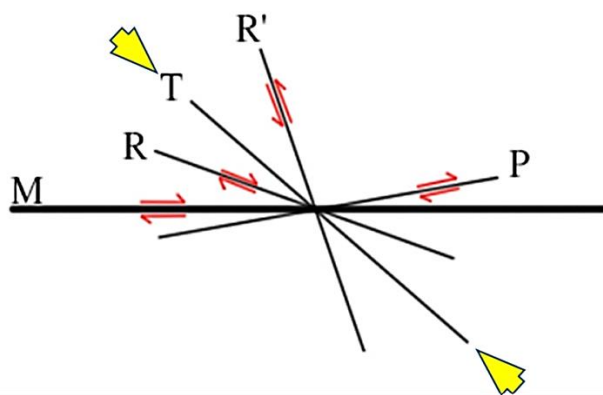


شکل ۳-۱۳- وضعیت لایه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس- دید به سمت شمال باختر (الف)، استریوگرام نشان دهنده‌ی موقعیت میانگین سطوح لایه‌بندی در یال شمال خاوری و جنوب باختری و سطح محوری در این تاقدیس (ب). (در استریوگرام، یال‌ها به رنگ سیاه و سطح محوری به رنگ قرمز نشان داده شده‌اند)

۲-۳- گسل‌ها

در منطقه‌ی مورد بررسی گسل‌ها در دو امتداد کلی شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری - جنوب خاوری قرار دارند. موقعیت گسل‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

از آن‌جا که در تعیین ساز و کار یکی از گسل‌های مورد بررسی (گسل بارو) منحصرأً از گسل‌های R و شکستگی‌های T استفاده شده است؛ در این‌جا ارائه‌ی توضیح مختصری درباره‌ی گسل‌های R و شکستگی‌های T ضروری به نظر می‌رسد. اگر سطح گسل اصلی را به صورت یک سطح افقی تصور نماییم آن‌گاه، گسل‌های R نسبت به سطح گسل اصلی زاویه‌ی کوچکی می‌سازند، ساز و کار این گسل‌ها با ساز و کار گسل اصلی مشابه است و خط تقاطع این گسل‌های با خطوط خش موجود بر روی سطح گسل اصلی زاویه‌ای بزرگ (تقریباً ۹۰ درجه) می‌سازد (Fossen, 2010). شکستگی‌های T یا شکستگی‌های کششی، شکستگی‌هایی هستند که در راستای تنش فشاری بیشینه ایجاد می‌شوند و نسبت به جهت لغزش سطح گسل اصلی زاویه‌ی حدود ۴۵ درجه می‌سازند (Fossen, 2010). این شکستگی‌ها در شکل ۱۴-۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۴-۳- شکستگی‌های برشی R, R', P و شکستگی‌های کششی T مرتبط با یک سطح گسل اصلی فرضی افقی (M) در برش طولی فرضی در امتداد سطح گسل اصلی افقی (پیکان‌های زرد رنگ، جهت تنش فشاری بیشینه را نشان می‌دهند).

۳-۲-۱- گسل بارو

نام "بارو" در نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ چناران بر این گسل اطلاق شده است. خطواره‌ی گسل بارو، راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری دارد (شکل ۳-۱۵). طول آن تقریباً ۲۸ کیلومتر بوده و از ناودیس قرق به طور عرضی عبور نموده و در مسیر خود سازندهای مزدوران، شوريجه، تیرگان و سرچشمه را قطع کرده است. این گسل محور ناودیس قرق را جابجا نموده است بنابراین باید پس از تشکیل چین‌خوردگی ناودیس قرق پدید آمده باشد. نتایج بررسی‌های دورسنجی نشان دهنده وجود مولفه‌ی امتدادی راست‌بر در امتداد گسل بارو است. در بررسی‌های صحرایی، سطحی از گسل بارو پیدا نشد. اما سطوح گسلی مرتبط با آن مورد شناسایی و اندازه‌گیری قرار گرفت و این سطوح گسلی، به منظور تعیین ساز و کار و موقعیت هندسی تقریبی این گسل مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های برداشت شده در جدول‌های ۳-۲ و ۳-۳ آورده شده است. دو راستای اصلی در استریوگرام مربوط به سطوح برداشت شده (شکل ۳-۱۶) مشاهده می‌شود که عبارتند از ۲۷۳/۸۵ و ۳۰۳/۸۷. با توجه به آزمون راستای اساسی گسل بارو در تصویر ماهواره-ای (۳۳۹°)، نسبت به راستای این گسل، دسته گسل‌های دارای موقعیت ۲۷۳/۸۵ را می‌توان به عنوان شکستگی‌های R و دسته گسل‌های دارای موقعیت ۳۰۳/۸۷ را می‌توان به عنوان شکستگی‌های T در نظر گرفت. تصاویر صحرایی گسل‌های R و T در شکل ۳-۱۷ و ۳-۱۸ نشان داده شده است. بر این اساس، با توجه به زاویه‌ی شکستگی‌های R و T نسبت به گسل اصلی، می‌توان موقعیت تقریبی گسل بارو را با توجه به سطوح برداشت شده، تخمین زد و ساز و کار آن را تعیین نمود.

36 58 00
058 48 30

36 58 00
059 42 00

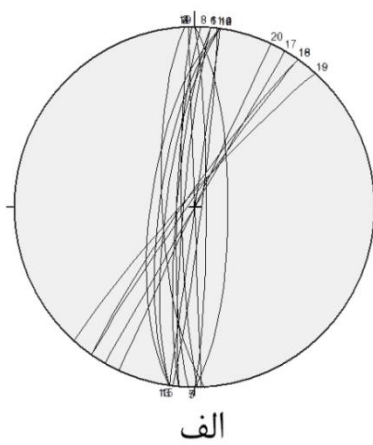
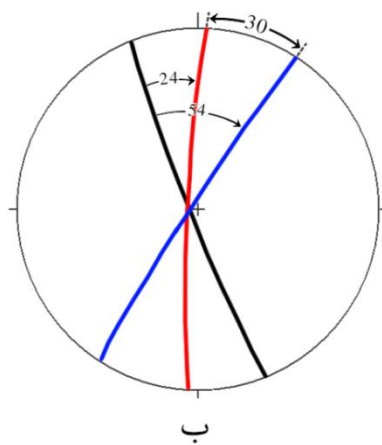


36 39 15
058 48 30

36 39 15
059 42 00



شکل ۳-۱۵- شواهد جابجایی راست‌بر گسل بارو در تصویر ماهواره‌ای؛ الف- موقعیت گسل بارو در منطقه‌ی مورد مطالعه، ب- قطع شدن سازندهای شوربجه و تیرگان توسط گسل بارو، پ- نمایش جابجایی دو لایه‌ی کلیدی در سازندهای شوربجه (لایه کلیدی شماره ۱) و تیرگان (لایه کلیدی شماره ۲) توسط حرکت راست‌بر گسل بارو.



شکل ۳-۱۶- الف- دو راستای اصلی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل‌های R و T مرتبط با گسل بارو، ب- اختلاف امتداد این دو دسته شکستگی با امتداد گسل بارو

دسته گسل‌های دارای موقعیت ۳۰۳/۸۷ شکستگی‌های کششی هستند و با توجه به موقعیت هندسی آن‌ها نسبت به گسل بارو، مؤلفه‌ی امتدادی گسل بارو راست‌بر تعیین می‌شود.



شکل ۳-۱۷- نمای صحرایی شکستگی T مرتبط با گسل بارو، دید به سمت شمال خاور

بر اساس خش‌لغزهای مشاهده شده بر روی دسته گسل‌های دارای موقعیت ۲۷۳/۸۵، این دسته گسل‌ها دارای ساز و کار راست‌بر معکوس هستند (شکل ۳-۱۸ و ۳-۱۹). با در نظر گرفتن این گسل‌ها به عنوان شکستگی‌های R مرتبط با گسل بارو، ساز و کار گسل بارو راست‌بر معکوس تعیین می‌شود. بر این اساس،

گسل بارو، گسلی با ساز و کار راست‌بر با مولفه‌ی معکوس بسیار کوچک و شیب بیش از ۸۰ درجه به سمت جنوب باختر، معرفی می‌شود.

جدول ۲-۳- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح گسل‌های R مرتبط با گسل بارو

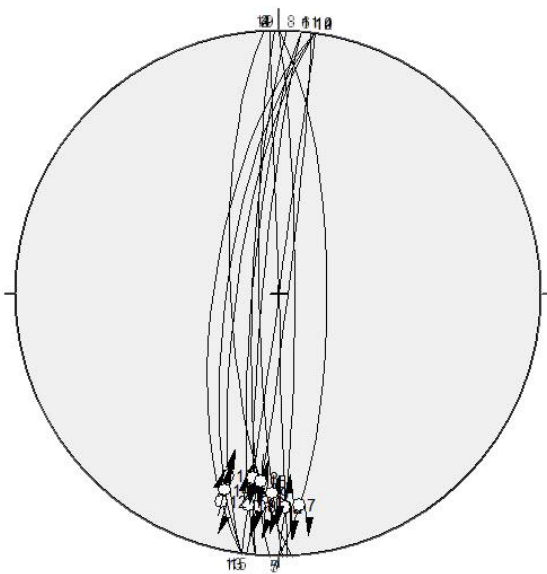
موقعیت سطح گسل	موقعیت خش لغز
۲۶۷/۷۵	۱۸۳/۲۲
۲۶۸/۹۰	۱۷۸/۲۰
۲۶۸/۹۰	۱۷۸/۲۰
۲۷۰/۹۰	۱۸۰/۲۰
۰۹۰/۸۵	۱۷۸/۲۰
۲۷۵/۸۵	۱۸۷/۲۳
۰۹۰/۷۵	۱۷۴/۲۰
۲۷۲/۸۲	۱۸۵/۲۰
۲۶۹/۸۴	۱۸۲/۲۵
۲۷۸/۷۷	۱۹۵/۲۹
۲۷۵/۸۲	۱۸۸/۲۰
۲۷۸/۷۰	۱۹۵/۱۹
۰۹۸/۹۰	۱۸۸/۳۰
۲۷۸/۷۴	۱۹۵/۲۴
۰۹۷/۸۷	۱۸۰/۲۹

جدول ۳-۳- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح شکستگی‌های T مرتبط با گسل بارو

موقعیت صفحه
۳۰۵/۸۷
۳۰۰/۹۰
۳۰۵/۸۵
۳۱۲/۸۵
۲۹۵/۹۰



شکل ۳-۱۸- نمای صحرایی گسل‌های R مرتبط با گسل بارو (الف- دید به سمت باختر، ب- دید به سمت خاور و پ- دید به سمت شمال خاوری)، خش‌لغز موجود بر سطح گسل‌های R مرتبط با گسل بارو (ت)، پیکان سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۹- استریوگرام سطوح اندازه‌گیری شده از گسل‌های R مرتبط با گسل بارو به همراه نمایش موقعیت خش‌لغز و ساز و کار مشاهده شده بر روی سطوح

۳-۲-۲- گسل بزمهرون

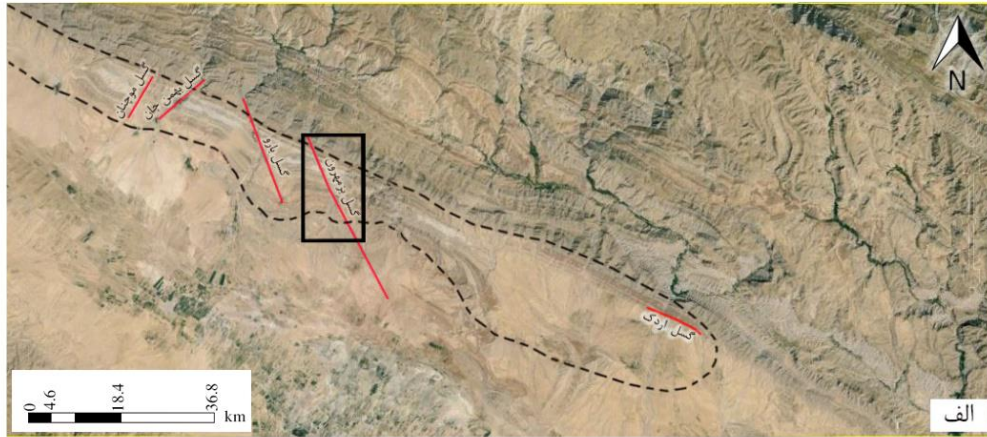
نام "بزمهرون" در نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ چناران بر این گسل اطلاق شده است. خطواره‌ی گسل بزمهرون دارای راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری است. طول آن حدود ۱۵/۵ کیلومتر است و در مسیر خود، سازندهای مزدوران، شورجه، تیرگان و سرچشمه را به طور عرضی قطع می‌کند. این گسل محور ناودیس قرق را جابجا نموده است بنابراین باید پس از تشکیل چین‌خوردگی ناودیس قرق پدید آمده باشد. گسل بزمهرون همچنین مخروط افکنه‌ی جوان تشکیل شده در بخش هسته‌ی ناودیس قرق را جابجا نموده است (شکل ۳-۲۰- ت) بنابراین گسل مورد بحث یک گسل کواترنری است. بررسی‌های دورسنجی نشان دهنده‌ی وجود مؤلفه‌ی امتدادی راست‌بر بر روی این گسل است (شکل ۳-۲۰). از سطح گسل بزمهرون تعداد ۱۲ اندازه‌گیری صورت گرفت (جدول ۳-۴). موقعیت میانگین این سطوح اندازه‌گیری شده، ۰۷۸/۸۰ است.

جدول ۳-۴- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل بزمهرون

موقعیت صفحہ	موقعیت خش لغز
۰۸۵/۸۰	۳۵۷/۱۳
۲۶۵/۹۰	۳۵۵/۱۷
۲۶۰/۸۵	۳۵۰/۰۵
۲۶۳/۸۰	۳۵۰/۱۸
۰۶۷/۷۲	۳۴۲/۱۴
۰۷۷/۶۵	۳۵۳/۱۴
۰۸۰/۸۲	۳۵۲/۱۴
۰۸۳/۸۵	۳۵۴/۱۴
۰۷۲/۷۲	۳۴۶/۱۲
۰۷۳/۷۰	۳۴۸/۱۴
۰۷۷/۸۵	۳۴۸/۱۵
۰۷۳/۷۰	۳۴۸/۱۴

36 58 00
058 48 30

36 58 00
059 42 00



36 39 15
058 48 30

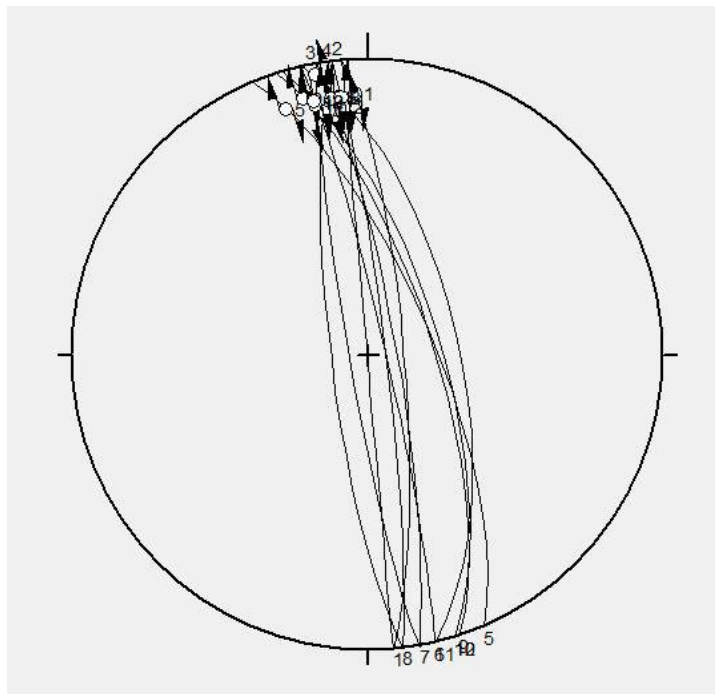
36 39 15
059 42 00



شکل ۳-۲۰- گسل بزمهرون در تصویر ماهواره‌ای، موقعیت این گسل در منطقه‌ی مورد مطالعه (الف)، نمای نزدیک‌تر از گسل بزمهرون (ب)، جابجایی راست‌بر یک لایه‌ی کلید در سازند شورجه (پ و ث)، جابجایی راست‌بر مخروط افکنه‌ی جوان توسط گسل بزمهرون (ت)



شکل ۳-۲۱- نمای صحرایی گسل بزمهرون (دید به سمت شمال)، ب- پله‌ی گسلی موجود بر سطح فرادیواره‌ی گسل بزمهرون، پیکان سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۲- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل بزمهرون به همراه موقعیت خش لغزها و ساز و کار تشخیص داده شده.

بر اساس پله‌های موجود بر سطح این گسل، ساز و کار این گسل، راست‌بر با مولفه‌ی معکوس بسیار کوچک تشخیص داده شد (شکل ۳-۲۱ و ۳-۲۲).

۳-۲-۳- گسل موچنان

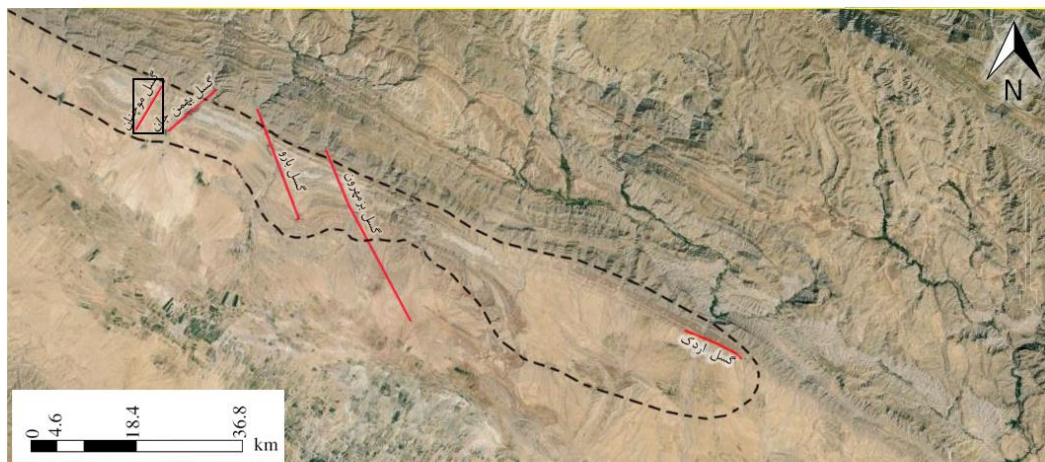
این گسل به دلیل قرارگیری در خاور روستای موچنان، برای نخستین بار، در این پژوهش به نام گسل موچنان نامیده شد. خطواره‌ی این گسل دارای راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری است (شکل ۳-۲۳) و حدود ۷ کیلومتر طول دارد. این گسل سازندهای چین‌خورده‌ی مزدوران، شوربجه، تیرگان و سرچشمه را قطع نموده است. بنابراین تشکیل آن مربوط به پس از چین‌خوردگی این سازندها است. در بررسی‌های دورسنجی اطلاعاتی از مولفه‌ی امتداد لغز در راستای این گسل به دست نیامد. از سطح گسل موچنان، تعداد ۱۳ برداشت انجام شد (جدول ۳-۵). موقعیت میانگین این سطوح برداشت شده، ۱۳۹/۸۳ است.

جدول ۳-۵- داده‌های جمع‌آوری شده از سطح گسل موچنان

موقعیت صفحہ	موقعیت خش لغز
۱۴۰/۷۵	۰۹۰/۶۷
۱۴۰/۸۰	۰۸۳/۷۲
۱۳۵/۸۰	۱۸۰/۷۹
۱۵۰/۸۰	۱۱۱/۷۷
۱۴۰/۷۵	۱۰۱/۷۱
۱۳۸/۷۵	۰۹۶/۷۰
۱۴۰/۸۰	۰۵۰/۰۰
۱۳۵/۸۰	۰۴۷/۱۳
۳۱۵/۹۰	۰۴۵/۲۰
۳۱۷/۸۷	۰۴۶/۲۲
۳۲۰/۸۸	۰۳۹/۸۰
۳۱۷/۸۵	۲۲۷/۰۳
۳۲۵/۹۰	۰۵۵/۰۸

36 58 00
058 48 30

36 58 00
059 42 00



36 39 15
058 48 30

36 39 15
059 42 00



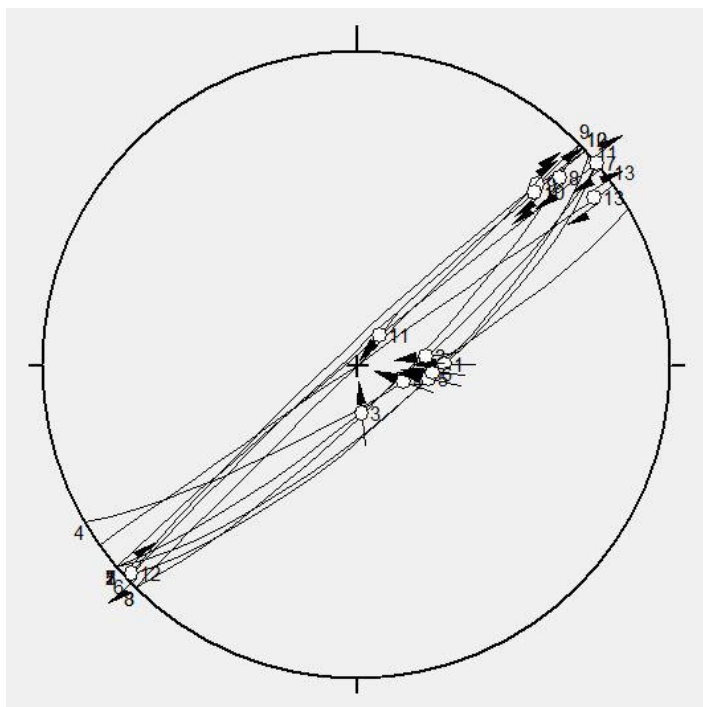
شکل ۳-۲۳- گسل موجچان در تصویر ماهواره‌ای (مولفه‌ی امتدادی راست‌بر با استفاده از داده‌های سطح گسل تعیین شده است).

همانطور که در جدول ۳-۵ قابل مشاهده است دو دسته خش‌لغز بر روی این گسل برداشت شده است. یک دسته از این خش‌ها (که فراوانی بیشتری دارند) دارای میل متوسط بیش از ۷۰ درجه هستند. دسته-ی دیگر (که فراوانی اندکی دارند) دارای میل بین ۰ تا ۲۲ درجه (ریک بین ۰ تا ۲۰) هستند. با توجه به این‌که خش‌های تقریباً افقی خش‌های دارای ریک زیاد را قطع نموده‌اند، این خش‌ها جوان‌تر در نظر گرفته

شدند. بر اساس پله‌های گسلی (در ارتباط با خش‌لغزهای جوان‌تر)، ساز و کار این گسل راست‌بر معکوس تشخیص داده شد (شکل ۲۴-۳ و ۲۵-۳).



شکل ۲۴-۳- نمای صحرایی گسل موج‌چنان (دید به سمت شمال) (الف)، خش‌لغزهای دارای ریک کم (ب و ت)، قطع‌شدگی خش‌لغزهای دارای ریک زیاد توسط خش‌لغزهای تقریباً افقی (پ)، خش‌لغزهای دارای ریک زیاد (ث). پیکان‌های سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۲۵- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل موچنان به همراه موقعیت خش لغزها و ساز و کار تشخیص داده شده.

۳-۲-۴- گسل بهمن‌جان

این گسل به دلیل عبور از روستای بهمن‌جان بالا، برای نخستین بار در این پژوهش به نام گسل بهمن‌جان نامیده شد. خطواره‌ی گسل بهمن‌جان در راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری قرار دارد. این گسل حدود ۱۱ کیلومتر طول دارد و در مسیر خود سازندهای چین‌خورده‌ی مزدوران، شوربجه، تیرگان و سرچشمه را قطع می‌کند از این‌رو تشکیل آن باید مربوط به پس از چین‌خوردگی این سازندهای مزوزوئیک کپه‌داغ باشد. در بررسی‌های دورسنجی، مولفه‌ی امتدادی چپ‌بر روی این گسل تشخیص داده شد (شکل ۳-۲۶). تعداد ۱۲ سطح از این گسل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۳-۶). میانگین این سطوح ۲۸۷/۷۱ است.

36 58 00
058 48 30

36 58 00
059 42 00

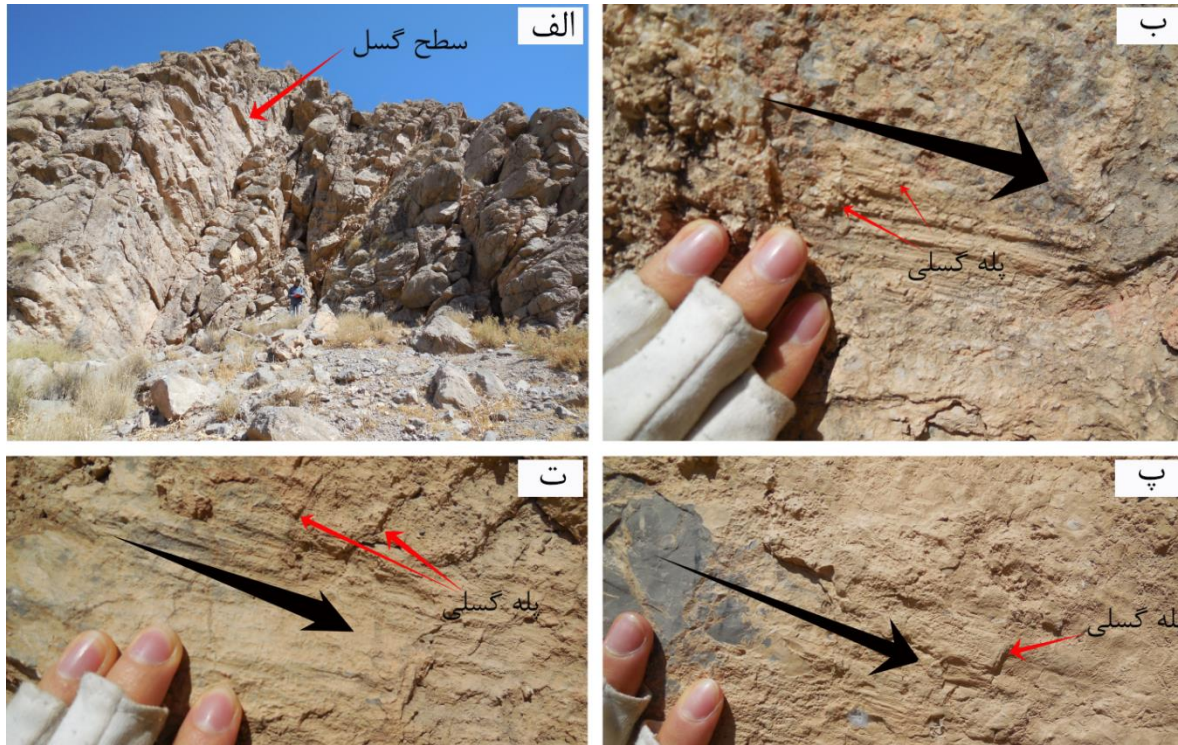


36 39 15
058 48 30

36 39 15
059 42 00



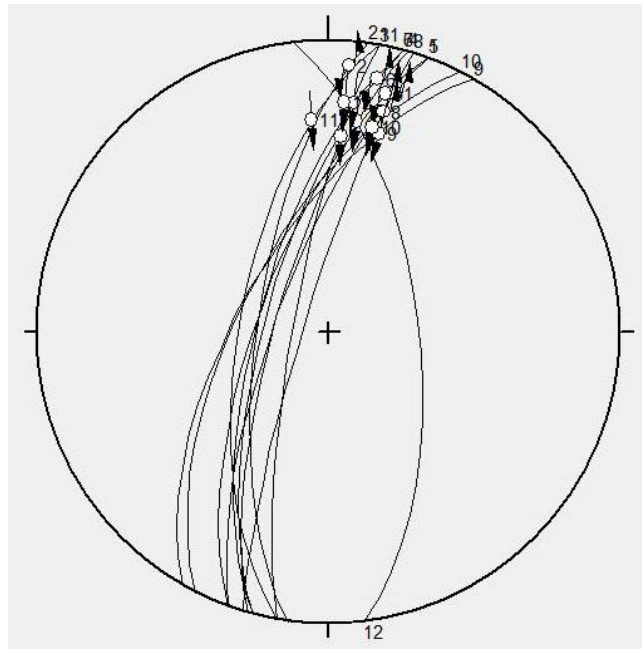
شکل ۳-۲۶- موقعیت گسل بهمن جان در تصویر ماهواره‌ای (الف)، جایجایی یک لایه‌ی کلید در سازند شورجه توسط حرکت چپ‌بر گسل بهمن جان در تصویر ماهواره‌ای (ب و پ).



شکل ۳-۲۷-الف- نمای صحرایی گسل بهمن جان (دید به سمت شمال)، ب، پ و ت- خش لغزهای موجود بر سطح فرادیواره-
ی گسل بهمن جان. پیکان‌های سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهند.

جدول ۳-۶- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل بهمن جان

موقعیت خش لغز	موقعیت صفحه گسل
۰۱۵/۱۶	۲۹۰/۷۵
۰۱۲/۱۲	۲۷۸/۷۰
۰۰۳/۳۳	۲۸۰/۸۰
۰۰۷/۲۸	۲۸۶/۷۵
۰۱۳/۱۷	۲۹۰/۷۰
۰۰۷/۲۲	۲۸۵/۷۲
۰۰۶/۲۲	۲۸۵/۷۰
۰۱۳/۲۳	۲۸۷/۸۳
۰۱۳/۳۰	۳۰۰/۶۵
۰۱۲/۲۹	۲۹۷/۶۵
۳۵۵/۲۸	۲۸۰/۶۵
۰۰۰/۲۴	۲۸۳/۶۵



شکل ۳-۲۸- استریوگرام نشان دهنده‌ی سطوح اندازه‌گیری شده از گسل بهمن‌جان به همراه موقعیت خش‌لغزها و ساز و کار تشخیص داده شده

بر اساس پله‌های گسلی، ساز و کار این گسل چپ‌بر معکوس تشخیص داده شد (شکل ۳-۲۷ و ۳-۲۸).

۳-۲-۵- گسل چشمه‌گیلاس

نام "چشمه‌گیلاس" در نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ مشهد بر این گسل اطلاق شده است. خطواره‌ی گسل چشمه-گیلاس دارای راستای کلی شمال باختری-جنوب خاوری است. طول آن حدود ۷۸ کیلومتر است و از شمال مشهد تا جنوب روستای بهمن‌جان ادامه دارد (شکل ۳-۱) و یک زون گسلی عریض و گسترده را در فاصله‌ی شمال مشهد تا جنوب روستای بهمن‌جان تشکیل داده است. این گسل که تقریباً به موازات چین-خوردگی‌های منطقه قرار دارد، در طول خود سازندهای چین‌خورده‌ی مزدوران و شوربجه را در تقادیس

جنوبی چشمه‌گیلاس و نیز در دهانه‌ی رودخانه‌ی رادکان قطع نموده است. بنابراین تشکیل آن مربوط به پس از چین‌خوردگی این سازندهای مزوزوئیک کپه‌داغ است. شاهد قاطعی بر جابجایی رسوبات کواترنر توسط این گسل در طول آن مشاهده نشد. تعداد ۴۳ سطح از گسل چشمه‌گیلاس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۳-۷). این اندازه‌گیری‌ها در پایانه‌ی جنوب خاوری تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس و در دهانه‌ی دره‌ی رودخانه‌ی رادکان صورت گرفته‌اند. در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، اندازه‌گیری‌ها در سازند مزدوران و در دهانه‌ی رودخانه‌ی رادکان اندازه‌گیری‌ها در سازند شوربجه صورت گرفته است. میانگین این سطوح ۰۲۷/۷۷ است. بر اساس مورفولوژی زون گسلی که حاکی از پایین افتادگی فرودیواره‌ی گسل نسبت به فرادیواره‌ی آن بود (شکل ۳-۲۹) و نیز پله‌های گسلی موجود بر سطح این گسل، ساز و کار این گسل معکوس با مولفه‌ی جزئی چپ‌بر تشخیص داده شد (شکل ۳-۳۰ و ۳-۳۱).

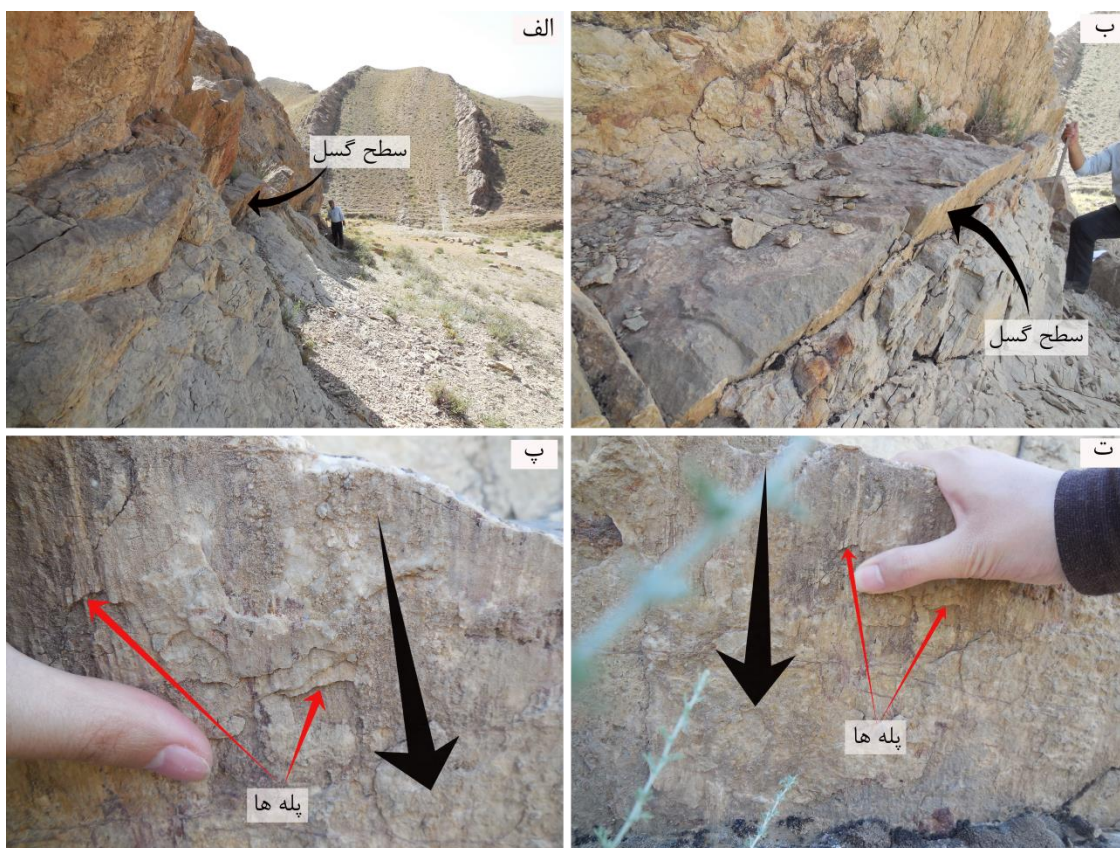
جدول ۳-۷- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل چشمه‌گیلاس

موقعیت خش	موقعیت صفحه گسل
۰۳۱/۶۱	۰۱۷/۷۰
۰۳۱/۷۴	۰۱۲/۷۵
۰۲۹/۷۴	۰۱۰/۷۵
۰۷۵/۸۳	۰۳۰/۸۵
۰۳۰/۸۰	۰۳۰/۸۰
۰۲۵/۶۸	۰۲۵/۶۸
۰۱۵/۷۵	۰۱۵/۷۵
۰۱۵/۷۰	۰۱۵/۷۰
۰۱۷/۷۳	۰۱۷/۷۳
۰۲۰/۸۸	۰۲۰/۸۸
۲۰۸/۸۵	۲۰۸/۸۵
۲۱۰/۸۵	۲۱۰/۸۵
۲۰۵/۹۰	۲۰۵/۹۰
۲۰۸/۶۵	۲۰۸/۶۵

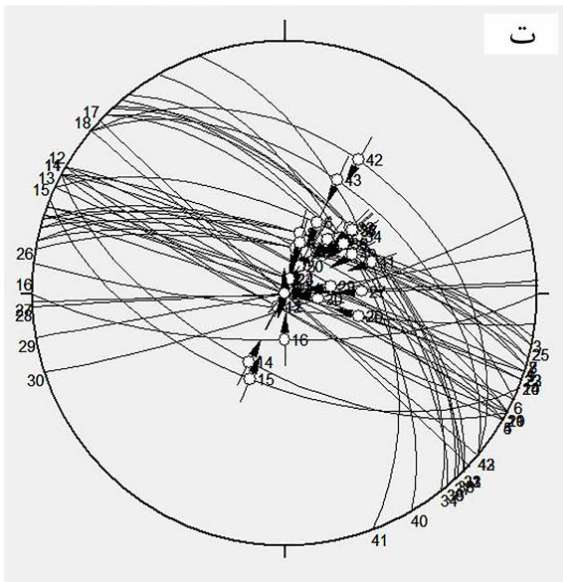
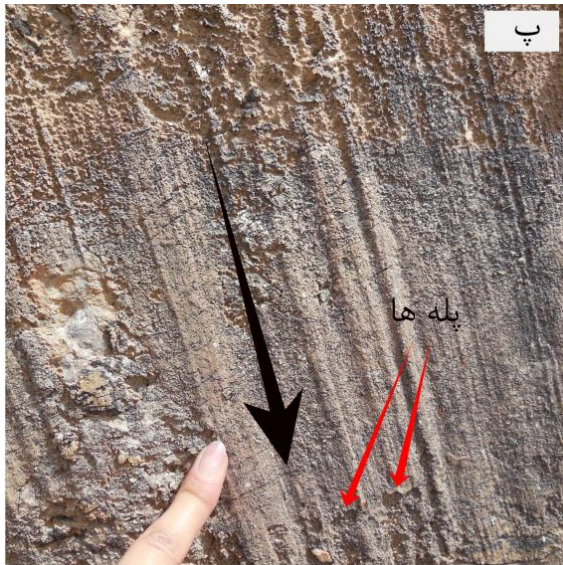
۲۰۲/۶۰	۲۰۲/۶۰
۱۸۰/۷۵	۱۸۰/۷۵
۲۲۳/۹۰	۲۲۳/۹۰
۲۲۰/۹۰	۲۲۰/۹۰
۰۲۸/۷۵	۰۲۸/۷۵
۰۲۸/۸۰	۰۲۸/۸۰
۰۲۸/۸۸	۰۲۸/۸۸
۰۱۸/۹۰	۰۱۸/۹۰
۰۱۸/۸۵	۰۱۸/۸۵
۰۲۰/۸۵	۰۲۰/۸۵
۰۱۲/۷۰	۰۳۹/۶۸
۱۸۷/۸۵	۱۰۸/۶۵
۱۷۸/۹۰	۰۸۸/۶۵
۱۷۷/۹۰	۱۷۷/۹۰
۱۷۰/۹۰	۰۸۰/۷۵
۱۶۲/۸۵	۰۹۸/۷۹
۰۴۵/۶۵	۰۴۵/۶۵
۰۴۵/۶۰	۰۴۵/۶۰
۰۴۵/۶۰	۰۴۵/۶۰
۰۵۲/۶۰	۰۵۲/۶۰
۰۵۰/۶۵	۰۵۰/۶۵
۰۵۰/۶۵	۰۵۰/۶۵
۰۴۸/۶۰	۰۴۸/۶۰
۰۴۷/۶۰	۰۴۷/۶۰
۰۵۰/۶۵	۰۵۰/۶۵
۰۶۰/۶۵	۰۶۰/۶۵
۰۷۰/۶۰	۰۷۰/۶۰
۲۲۰/۷۵	۱۶۵/۶۵
۰۴۰/۴۰	۰۲۷/۵۰
۰۴۰/۵۰	۰۲۵/۴۸



شکل ۳-۲۹- پایین افتادگی فرودیواره گسل چشمه گیللاس نسبت به فرادیواره‌ی آن در سازند آهکی مزدوران (الف- دید به سمت شمال و ب- دید به سمت جنوب خاور)



شکل ۳-۳۰- نمای صحرایی گسل چشمه گیللاس در دهانه‌ی رودخانه‌ی رادکان- دید به سمت جنوب خاور (الف و ب)، خش لغزها و پله‌های گسلی بر روی فرادیواره‌ی گسل (ت و پ)، (پیکان‌های سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهند)

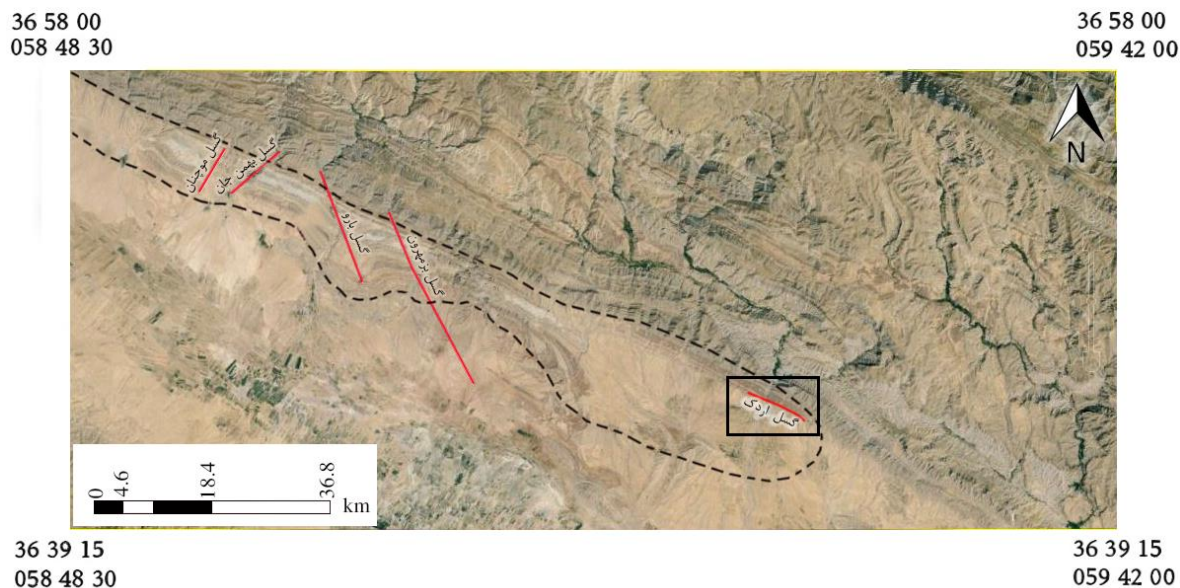


شکل ۳-۳۱- نمای صحرایی گسل چشمه‌گیلاس در شمال روستای چشمه‌گیلاس- دید به سمت جنوب خاور (الف و ب)،
 خش لغزها و پله‌های گسلی بر روی فرادیواره‌ی گسل (پ) (بیکان سیاه رنگ جهت حرکت بلوک گمشده را نشان می‌دهد)،
 استریوگرام سطوح برداشت شده از گسل چشمه‌گیلاس به همراه موقعیت خش لغزها و ساز و کار تشخیص داده شده (ت).

۳-۲-۶- گسل اردک

این گسل به دلیل قرارگیری در نزدیکی روستای اردک نخستین بار در این پژوهش به نام "گسل اردک"
 نامیده شد. موقعیت گسل اردک در شکل ۳-۳۲ نشان داده شده است. این گسل به صورت یک گسل

طولی تقریباً به موازات روند کلی ناودیس قرق قرار گرفته و در مسیر خود گنکومرای جوان پلیوسن- پلیستوسن را قطع نموده است. بنابراین گسل اردک اساساً یک گسل کوتاه‌ترزی است. نشانه‌ای از این گسل در تصویر ماهواره‌ای مشاهده نشد.

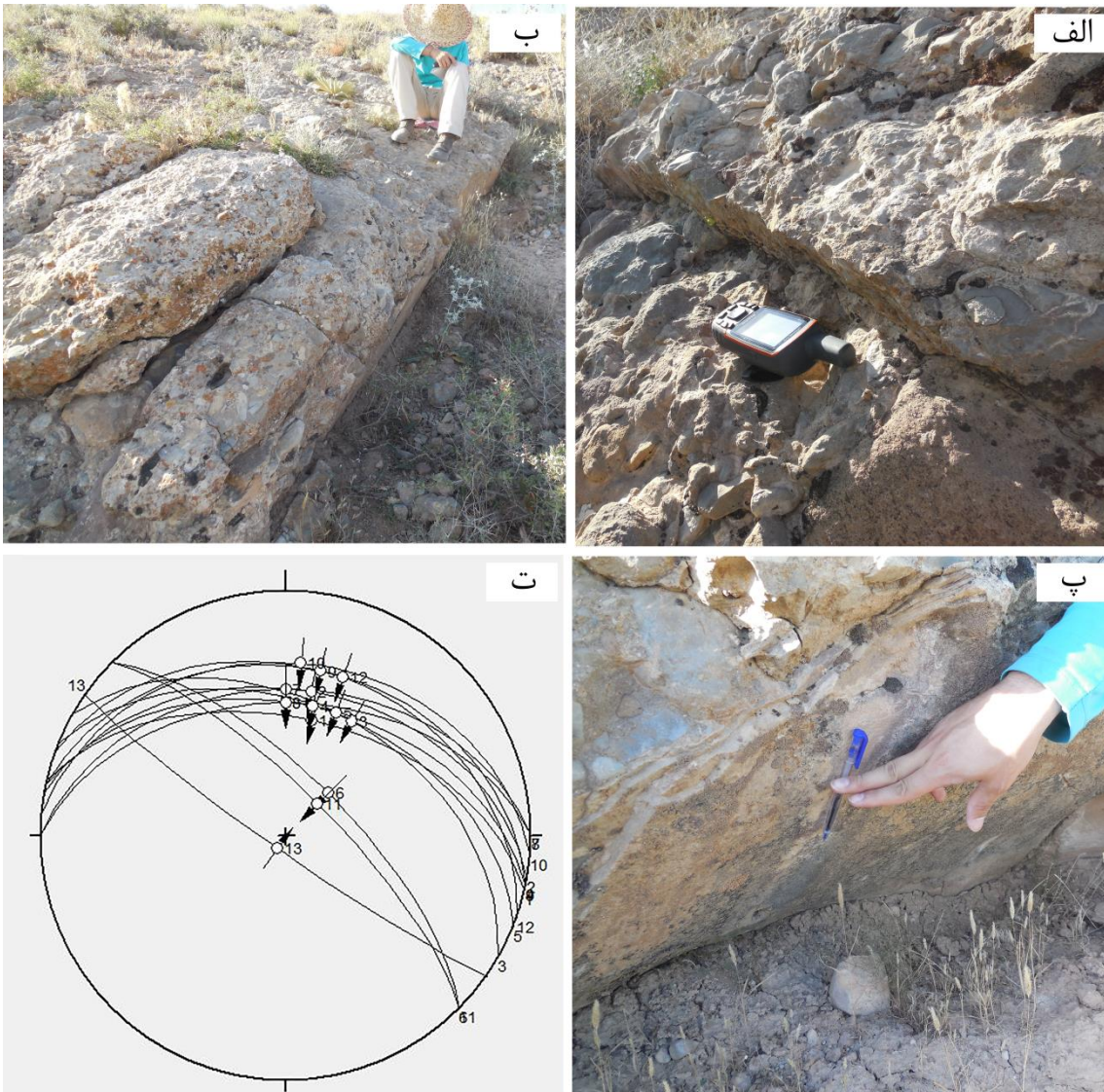


شکل ۳-۳۲- موقعیت گسل اردک در تصویر ماهواره‌ای

تعداد ۱۳ سطح از این گسل در نزدیکی روستای اردک اندازه‌گیری شد (جدول ۳-۸). میانگین این سطوح ۰۲۰/۴۶ است. بر اساس مورفولوژی زون گسلی که حاکی از پایین افتادگی فرودیواره‌ی گسل نسبت به فرادیواره‌ی آن بود و نیز تموج سطح گسل که نشان دهنده‌ی راستای حرکت گسل است، ساز و کار این گسل معکوس محض تشخیص داده شد (شکل ۳-۳۳).

جدول ۳-۸- داده‌های گردآوری شده از سطح گسل اردک

موقعیت خش لغز	موقعیت صفحه گسل
۰۱۳/۵۰	۰۱۳/۵۰
۰۱۰/۴۰	۰۱۰/۴۰
۰۳۰/۴۵	۰۳۰/۴۵
۰۱۲/۴۵	۰۱۲/۴۵
۰۲۲/۴۵	۰۲۲/۴۵
۰۴۵/۷۰	۰۴۵/۷۰
۰۰۰/۴۰	۰۰۰/۴۰
۰۰۰/۴۵	۰۰۰/۴۵
۰۱۲/۳۲	۰۱۲/۳۲
۰۰۵/۳۰	۰۰۵/۳۰
۰۲۵/۳۵	۰۲۵/۳۵
۰۴۵/۷۵	۰۴۵/۷۵
۳۵۸/۴۹	۳۵۸/۴۹
۳۴۵/۵۰	۳۴۵/۵۰
۳۲۵/۸۵	۳۲۵/۸۵
۳۲۵/۸۵	۳۲۵/۸۵
۲۱۵/۸۵	۲۱۵/۸۵
۰۲۰/۳۲	۰۲۰/۳۲



شکل ۳-۳۳- نمای صحرائی گسل اردک دید به شمال باختر (الف) و دید به جنوب خاور (ب) که نشان‌دهنده‌ی فروافتادگی فرودیواره نسبت به فرادیواره است. نمایی از سطح گسل اردک و توجّح موجود بر سطح آن (پ)، استریوگرام سطوح اندازه-گیری شده از گسل اردک به همراه موقعیت خش لغزها و ساز و کار تشخیص داده شده (ت)

چنان‌که در فصل اول اشاره شد، رسوبات مزوزوئیک-ترشیاری کپه‌داغ طی حرکات کوهزایی اولیگو-میوسن (شروع از ۱۷-۱۹ میلیون سال پیش) چین خورده‌اند (Stöcklin, 1968; Afshar Harb 1979; Lyberis & Manby 1999 به نقل از Shabanian et al, 2009). از یک سو (Hollingsworth 2010)

معتقد است که تخمین‌های زمین‌شناسی، اوایل تا اواسط اولیگوسن را برای شروع بالآمدگی کپه‌داغ نشان می‌دهند. از سوی دیگر (Shabanian 2009) نیز در رساله‌ی دکتری خود تخمین زده است که گسلش امتداد لغز پس از چین‌خوردگی در کپه‌داغ تقریباً از چهار میلیون سال پیش آغاز شده است و زودتر از پلیوسن رخ نداده است. از طرفی نیز تمام گسل‌های مورد بررسی در این پژوهش، سازندهای چین‌خورده‌ی مزوزوئیک را قطع نموده‌اند از این‌رو شکل‌گیری آن‌ها مربوط به پس از چین‌خوردگی این سازندها است. بنابراین این گسل‌ها متعلق به بازه‌ی نو زمین‌ساختی هستند.

تا کنون در مورد واژه‌ی "نو زمین‌ساخت" تعاریف متعددی ارائه شده است. این واژه نخستین بار توسط (Obruchev 1948) برای توصیف "مطالعه‌ی حرکات جوان و اخیر که در پایان ترشیاری و نیمه‌ی اول کواترنری رخ داده‌اند" ابداع شد. (Slemmons 1991) نوشت: "نو زمین‌ساخت می‌تواند به طور گسترده برای توصیف فرآیندها و وقایع زمین‌ساختی که در زمان بعد از میوسن رخ داده‌اند استفاده شود" (Hancock. 1994) که در این پژوهش، تعریف (Slemmons 1991) از نو زمین‌ساخت مورد نظر است.

۳-۳- درزه‌ها

در این پژوهش درزه‌ها در پنج پیمایش عرضی بر روی ناودیس قرق، یک پیمایش عرضی بر روی تاق‌دیس جنوبی چشمه‌گیلاس، یک پیمایش عرضی بر روی ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و یک پیمایش عرضی بر روی تاق‌دیس شمالی چشمه‌گیلاس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. داده‌های گردآوری شده با توجه به موقعیت ساختارهای اصلی منطقه (چین‌ها و گسل‌ها) مورد بررسی قرار گرفت تا ارتباط یا عدم ارتباط درزه‌ها با ساختارهای اصلی منطقه تعیین شود.

۳-۳-۱- درزه‌ها در ناودیس قرق

به منظور بررسی ارتباط درزه‌ها با چین‌خوردگی، دانستن موقعیت محور و سطح محوری چین ضروری است. از آنجا که در ناودیس قرق در دو پیمایش رادکان و بهمن‌جان موقعیت محور و سطح محوری به طور محلی در دسترس است، در ادامه ابتدا به بررسی وجود یا نبود ارتباط بین چین‌خوردگی و درزه‌ها در این دو پیمایش می‌پردازیم. پس از آن وجود یا نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی را در سایر پیمایش‌ها (پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موچنان) نیز بررسی خواهیم نمود.

از آنجا که درزه‌های عرضی، عمود بر سطح محوری چین شکل می‌گیرند، محل خط لولای چین به عنوان موقعیت تمرکز قطب درزه‌های آرمانی عرضی در نظر گرفته شد. محل قطب سطح محوری چین به عنوان موقعیت تمرکز قطب درزه‌های آرمانی طولی در نظر گرفته شد. به منظور تعیین محل تمرکز قطب درزه‌های مزدوج، ابتدا سطح محوری چین (که اکنون به سمت شمال شیب دارد) به حالت قائم برگردانده شد. سپس قطب سطح محوری قائم تعیین شد. با در نظر گرفتن زاویه اصطکاک داخلی ۳۰ درجه برای توده‌های سنگی موجود در منطقه و در نتیجه، زاویه ۶۰ درجه بین دو دسته درزه‌ی مزدوج، موقعیت قطب درزه‌های آرمانی مزدوج (با فرض قائم بودن سطح محوری) با فاصله‌ی ۳۰ درجه در دو سوی محل قطب سطح محوری قائم تعیین شد. پس از تعیین این موقعیت‌ها، دو قطب تعیین شده به اندازه‌ی متمم زاویه‌ی شیب سطح محوری حول محور افقی با روند مشابه امتداد سطح محوری دوران داده شد. به این ترتیب موقعیت کنونی تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج به دست آمد.

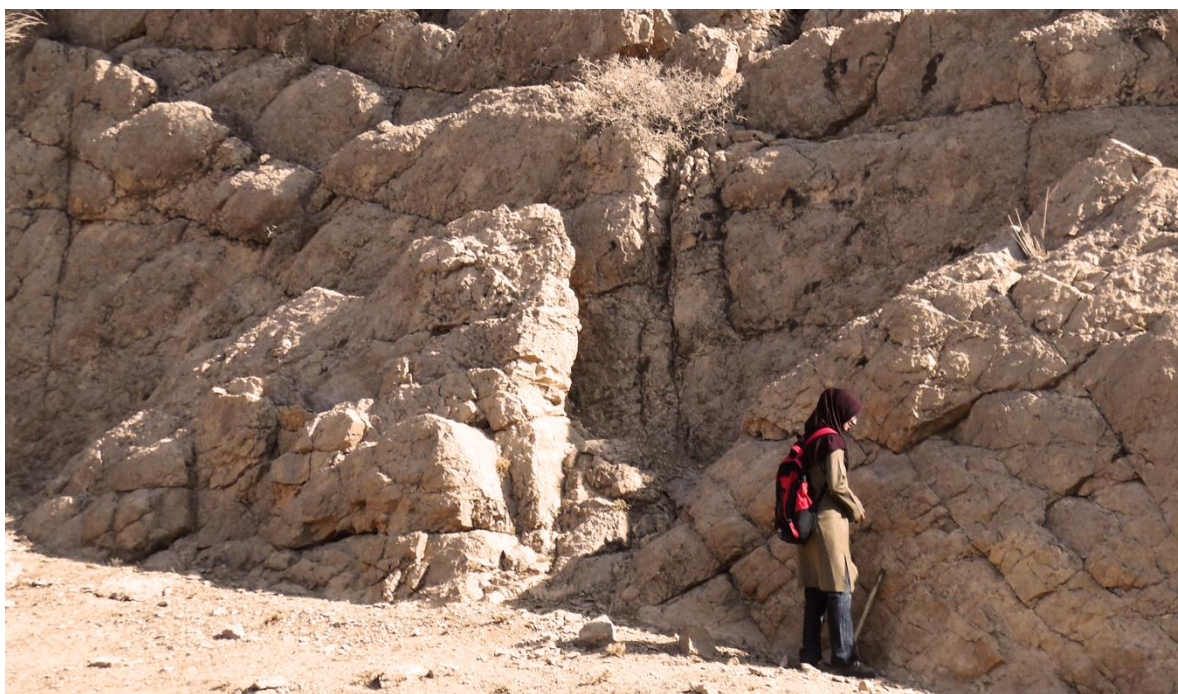
۳-۳-۱-۱- درزه‌ها در پیمایش رادکان

در پیمایش رادکان، تعداد ۲۷۸ سطح درزه در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری ناودیس قرق، اندازه‌گیری شد. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل ۳-۳۴ نشان داده شده است. برای بررسی وجود یا

نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در ناودیس قرق در پیمایش رادکان، نخستین کار، مشخص کردن محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مرتبط با چین‌خوردگی در این پیمایش است. با توجه به موقعیت محور و سطح محوری ناودیس قرق در پیمایش رادکان، موقعیت محل تمرکز قطب‌های درزه‌های آرمانی به شکلی است که در جدول ۹-۳ آورده شده است.

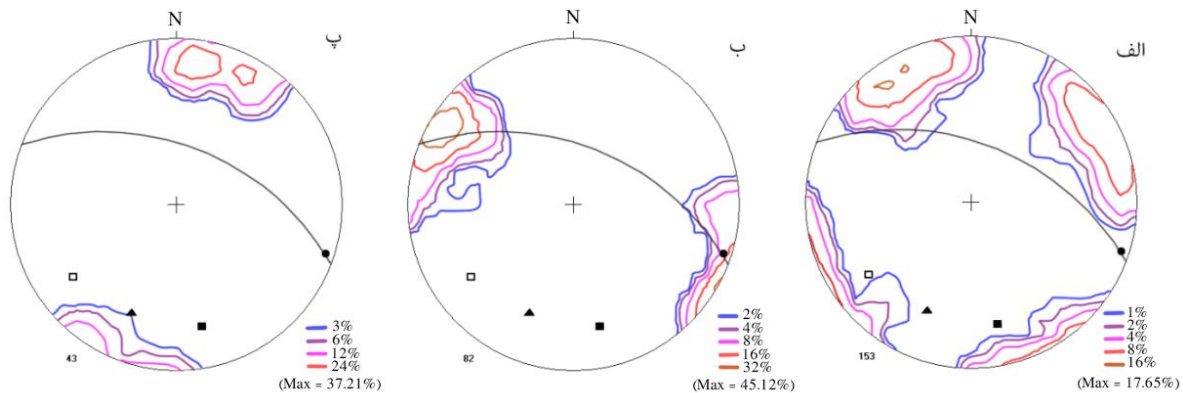
جدول ۹-۳- موقعیت تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در ناودیس قرق در پیمایش رادکان

درزه‌های مزدوج	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های کششی عرضی
۲۳۵/۶۵ و ۱۶۸/۲۶	۲۰۲/۳۰	۱۰۸/۰۵



شکل ۳-۳۴- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش رادکان در ناودیس قرق

پس از مشخص شدن محل‌های تمرکز درزه‌های آرمانی در پیمایش رادکان، درزه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش بر روی استریوگرام قرار داده شد و محل‌های تمرکز قطب این درزه‌ها شناسایی شد. بر اساس نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها، چنان که در شکل ۳-۳۵ قابل مشاهده است، درزه‌های برداشت شده در این مسیر تا حد بسیار زیادی بر درزه‌های آرمانی مرتبط با ناودیس قرق در این پیمایش منطبق هستند.



شکل ۳-۳۵- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش رادکان بر روی ناودیس قرق به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

موقعیت بیشترین تمرکز هر کدام از این سه دسته درزه، در جدول ۳-۱۰ آمده است.

جدول ۳-۱۰- موقعیت بیشترین تمرکز قطب‌های سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق در پیمایش رادکان

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۹۴/۰۹	۰۲۰/۰۹	۰۶۲/۰۹ و ۳۳۳/۰۹

۳-۱-۲- درزه‌ها در پیمایش بهمن‌جان

در پیمایش بهمن‌جان، تعداد ۲۶۲ سطح درزه در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری ناودیس قرق، اندازه‌گیری شد. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل ۳-۳۶ نشان داده شده است. به منظور بررسی وجود یا نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در این پیمایش، مانند آنچه در مورد پیمایش رادکان انجام شد، ابتدا محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در این پیمایش مشخص شد. موقعیت این نقاط تمرکز در جدول ۳-۱۱ آورده شده است.

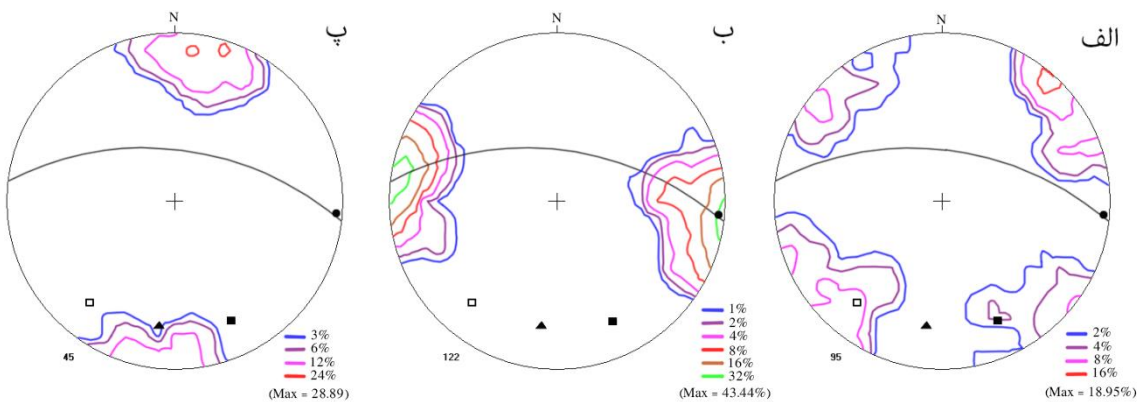
جدول ۳-۱۱- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در ناودیس قرق در پیمایش بهمن‌جان

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۰۹۵/۰۴	۱۸۷/۲۶	۲۲۰/۲۲ و ۱۵۵/۲۲



شکل ۳-۳۶- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش بهمن‌جان در ناودیس قرق

پس از مشخص کردن محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش بهمن‌جان، درزه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش، بر روی استریوگرام قرار داده شدند و محل‌های تمرکز قطب آن‌ها با محل‌های تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نمودار هم‌تراز قطب این درزه‌ها، چنان که در شکل ۳-۳۷ نشان داده شده است، این درزه‌ها تا حد بسیار زیادی بر درزه‌های آرمانی مرتبط با ناودیس قرق، مطابقت دارند. محل تمرکز قطب این درزه‌ها در جدول ۳-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۷- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش بهمن‌جان بر روی ناودیس قرق به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

جدول ۳-۱۲- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق در پیمایش بهمن‌جان

درزه‌های عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۷۸/۷۹	۱۸۹/۸۳	۳۰۸/۰۹ و ۰۴۰/۰۶

۳-۱-۳-۳- درزه‌ها در پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موچنان

در سه پیمایش اردک، علی‌آباد و موچنان، در مجموع تعداد ۳۲۸ سطح درزه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل‌های ۳-۳۸، ۳-۳۹، ۳-۴۱، ۳-۴۳ و ۳-۴۵ نشان داده شده‌اند. به منظور بررسی وجود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در سه پیمایش اردک، علی‌آباد و موچنان، ابتدا با توجه به موقعیت محور و سطح محوری کلی تعیین شده برای ناودیس قرق، محل‌های تمرکز درزه‌های آرمانی تعیین شد. موقعیت این درزه‌ها در جدول ۳-۱۳ آمده است.

جدول ۳-۱۳- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در ناودیس قرق در پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موچنان

درزه‌های عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۱۰۶/۰۰	۱۹۶/۲۰	۲۲۸/۱۶ و ۱۶۵/۱۶



شکل ۳-۳۸- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش علی‌آباد در ناودیس قرق

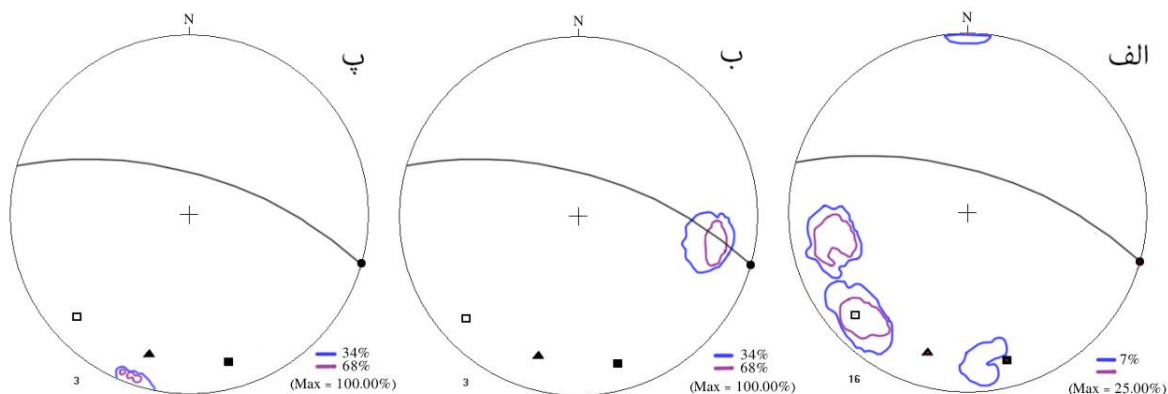
پس از تعیین موقعیت درزه‌های آرمانی، به منظور بررسی تطابق درزه‌های اندازه‌گیری شده با درزه‌های آرمانی، قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در هر پیمایش، بر روی استریوگرام قرار گرفت. محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در جدول‌های ۱۴-۳، ۱۵-۳، ۱۶-۳ و ۱۷-۳ آورده شده است. نمودارهای هم‌تراز مربوط به این درزه‌ها در شکل‌های ۴۰-۳، ۴۲-۳، ۴۴-۳ و ۴۶-۳ نشان داده شده است.

جدول ۱۴-۳- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق در پیمایش اردک در کنگلومرای پلیوسن-پلیستوسن.

درزه‌های عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۱۰۱/۲۳	۲۰۰/۰۶	۲۶۰/۲۳



شکل ۳-۳۹- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش اردک در ناودیس قرق در کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن



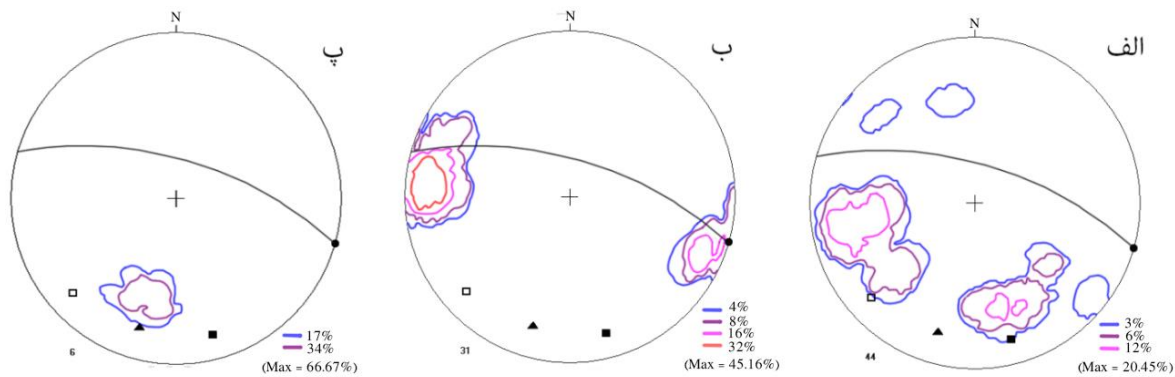
شکل ۳-۴۰- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش اردک بر روی ناودیس قرق در سازند گنگلومرای پلیوسن-پلیستوسن به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

جدول ۳-۱۵- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق در پیمایش اردک در سازند شوربجه

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۷۶/۱۴	۱۹۷/۳۸	۱۶۳/۳۵ و ۲۶۰/۲۵



شکل ۳-۴۱- نمای صحرایی درزه‌ها در سازند شوربجه در پیمایش اردک در ناودیس قرق



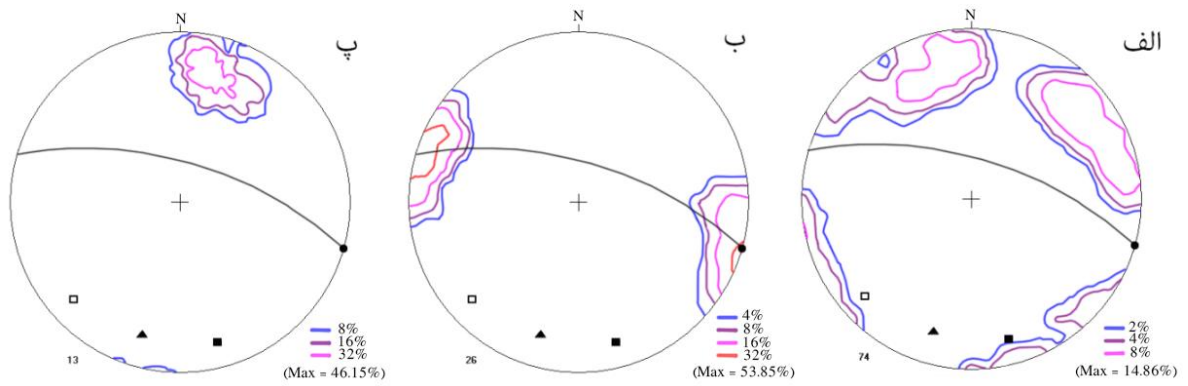
شکل ۳-۴۲- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش اردک بر روی ناودیس قرق در سازند شورجه به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

جدول ۳-۱۶- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین خوردگی ناودیس قرق در پیمایش علی‌آباد

درزه‌های عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۹۰/۰۷	۰۱۱/۲۳	۰۵۶/۱۹ و ۳۵۱/۲۰



شکل ۳-۴۳- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش علی‌آباد در ناودیس قرق



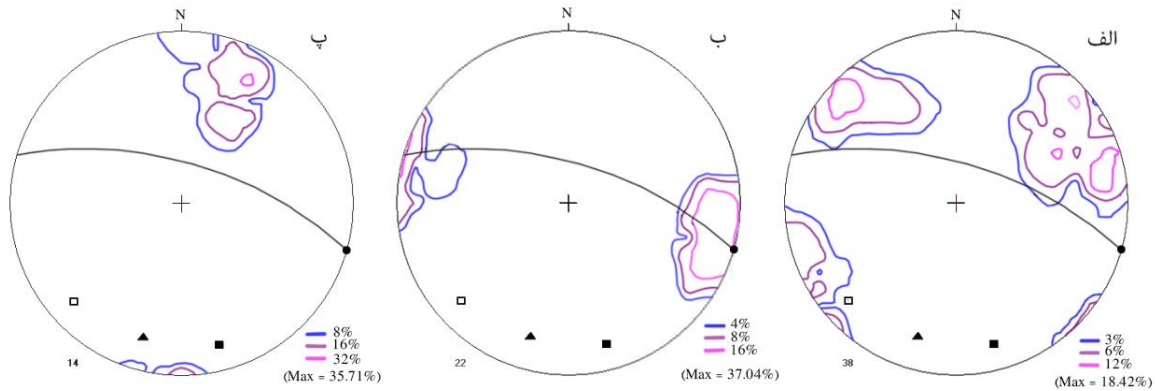
شکل ۳-۴۴- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش علی‌آباد بر روی ناودیس قرق به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

جدول ۳-۱۷- موقعیت بیشترین تمرکز قطب سه دسته درزه‌ی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق در پیمایش موجنان

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۱۰۱/۱۲	۰۲۳/۲۰	۰۶۴/۱۷ و ۳۱۳/۱۳



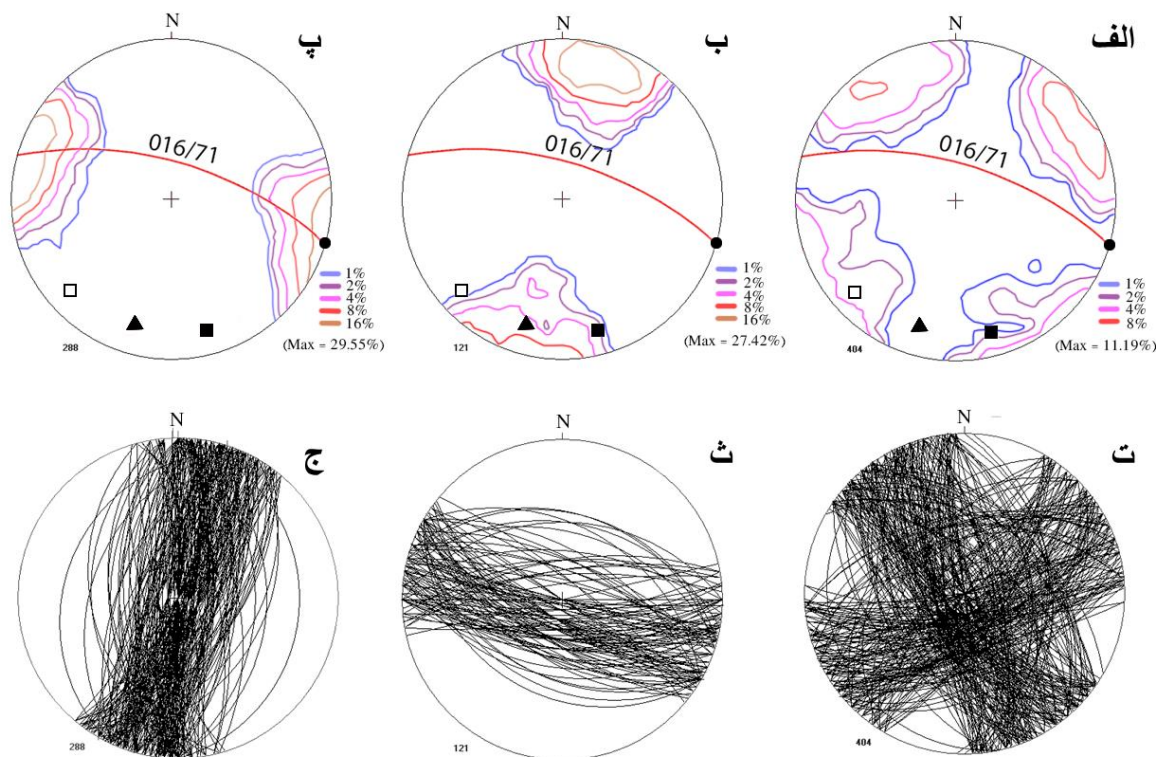
شکل ۳-۴۵- نمای صحرایی درزه‌ها در پیمایش موجنان



شکل ۳-۴۶- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش موجنان بر روی ناودیس قرق به صورت تفکیک شده (الف، ب و پ به ترتیب، نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های مزدوج، عرضی و طولی). صفحه‌ی رسم شده، نشان دهنده‌ی سطح محوری است. قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره، قطب درزه‌های آرمانی کششی طولی با مثلث و قطب‌های درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع توپر و تو خالی نشان داده شده‌اند.

بررسی درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش‌های اردک، علی‌آباد و موجنان نشان می‌دهد که این درزه‌ها مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق هستند.

در پایان، تمام سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در محدوده‌ی ناودیس قرق (تعداد ۸۶۸ سطح درزه)، به صورت یک‌جا بر روی استریوگرام قرار داده شدند و نمودار هم‌تراز تمرکز قطب این درزه‌ها نیز رسم شد. همان‌طور که در شکل ۳-۴۷ مشهود است تمرکز قطب‌های این درزه‌ها با موقعیت قطب درزه‌های آرمانی مرتبط با ناودیس قرق همخوانی خوبی دارد و این نشان دهنده‌ی وجود ارتباط زایشی میان چین‌خوردگی و درزه‌ها در این منطقه است.



شکل ۳-۴۷- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و استریوگرام درزه‌های اندازه‌گیری شده در ناودیس قرق، الف و ت- درزه‌های مزدوج راست‌بر و چپ‌بر، ب و ث- درزه‌های طولی، پ و ج- درزه‌های عرضی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، محل تمرکز قطب درزه‌های کششی طولی با مثلث و محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره نشان داده شده است، صفحه‌ی رسم شده به رنگ قرمز، نشان دهنده‌ی سطح محوری ناودیس قرق است.

۳-۳-۲- درزه‌ها در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، تعداد ۸۴ سطح درزه در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری این تاقدیس، اندازه‌گیری شد. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل ۳-۴۸ نشان داده شده است. به منظور بررسی وجود یا نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در این پیمایش، مانند آنچه در مورد پیمایش‌های پیشین انجام شد، ابتدا محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در این پیمایش مشخص شد. موقعیت این نقاط تمرکز در جدول ۳-۱۸ آورده شده است.



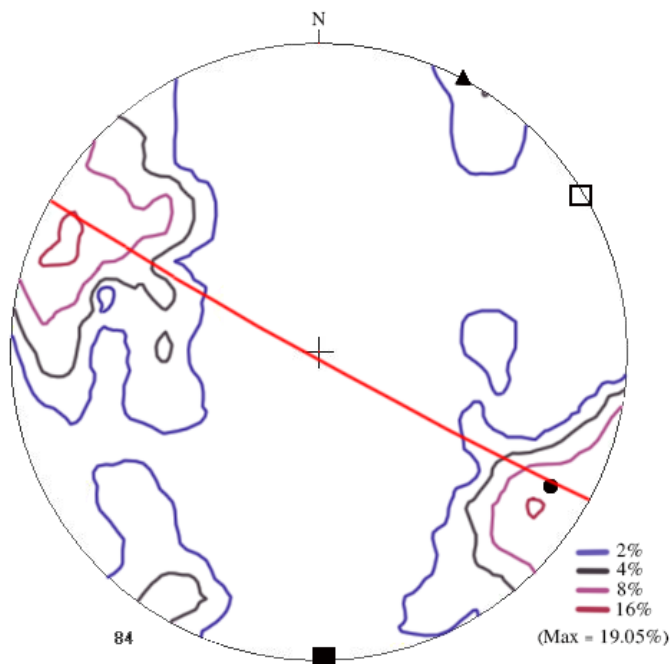
شکل ۳-۴۸- نمای صحرایی درزه‌های طولی و عرضی در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس- دید به جنوب خاور

جدول ۳-۱۸- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

درزه‌های مزدوج	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های کششی عرضی
۱۷۹/۰۱ و ۰۵۹/۰۱	۰۲۸/۰۰	۱۲۰/۱۴

پس از مشخص کردن محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، درزه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش، بر روی استریوگرام قرار داده شدند و محل‌های

تمرکز قطب آن‌ها با محل‌های تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نمودارهای هم‌تراز قطب این درزه‌ها، چنان که در شکل ۳-۴۹ نشان داده شده است، این درزه‌ها تا حد بسیار زیادی بر درزه‌های آرمانی طولی و عرضی مرتبط با تاقدیس مورد بررسی، مطابقت دارند. محل تمرکز قطب این درزه‌ها در جدول ۳-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۹- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، درزه‌های کششی عرضی با دایره و درزه‌های کششی طولی با مثلث نشان داده شده است. صفحه‌ی رسم شده نشان دهنده‌ی سطح محوری این تاقدیس در این پیمایش است.

جدول ۳-۱۹- محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس در پیمایش بخش میانی تاقدیس چشمه‌گیلاس

درزه‌های مزدوج	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های کششی عرضی
-	۲۱۱/۰۸	۲۹۳/۱۲

۳-۳-۳- درزه‌ها در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

در پیمایش ناودیس میانی چشمه‌گیلاس، تعداد ۵۸ سطح درزه در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری این ناودیس، اندازه‌گیری شد. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل ۳-۵۰ نشان داده شده است. به منظور بررسی وجود یا نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در این پیمایش، مانند آنچه در مورد پیمایش‌های پیشین انجام شد، ابتدا محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در این پیمایش مشخص شد. موقعیت این نقاط تمرکز در جدول ۳-۲۰ آورده شده است.

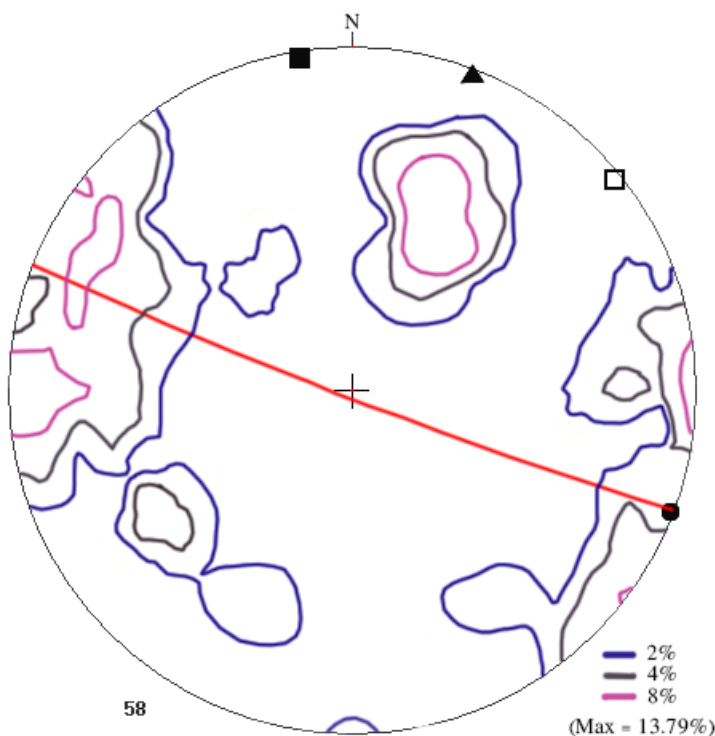
جدول ۳-۲۰- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

درزه‌های عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۱۱۱/۰۱	۰۲۱/۰۲	۰۵۱/۰۲ و ۳۵۱/۰۲



شکل ۳-۵۰- نمای صحرایی درزه‌ها در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

پس از مشخص کردن محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش ناودیس میانی چشمه‌گیلاس، درزه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش، بر روی استریوگرام قرار داده شدند و محل‌های تمرکز قطب آن‌ها با محل‌های تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نمودارهای هم‌تراز قطب این درزه‌ها، چنان که در شکل ۳-۵۱ نشان داده شده است، این درزه‌ها تا حد بسیار زیادی بر درزه‌های آرمانی طولی و عرضی مرتبط با ناودیس مورد بررسی، مطابقت دارند. محل تمرکز قطب این درزه‌ها در جدول ۳-۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵۱- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش ناودیس میانی چشمه‌گیلاس. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، درزه‌های کششی عرضی با دایره و درزه‌های کششی طولی با مثلث نشان داده شده است. صفحه‌ی رسم شده نشان دهنده‌ی سطح محوری این ناودیس در این پیمایش است.

جدول ۳-۲۱- محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۹۸/۱۶	۰۲۶/۴۱	-

۳-۳-۴- درزه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

در پیمایش تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس، تعداد ۴۰ سطح درزه در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری این تاقدیس، اندازه‌گیری شد. نمای صحرایی این درزه‌ها در شکل ۳-۵۲ نشان داده شده است. به منظور بررسی وجود یا نبود ارتباط میان درزه‌ها و چین‌خوردگی در این پیمایش، مانند آنچه در مورد پیمایش‌های پیشین انجام شد، ابتدا محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در این پیمایش مشخص شد. موقعیت این نقاط تمرکز در جدول ۳-۲۲ آورده شده است.

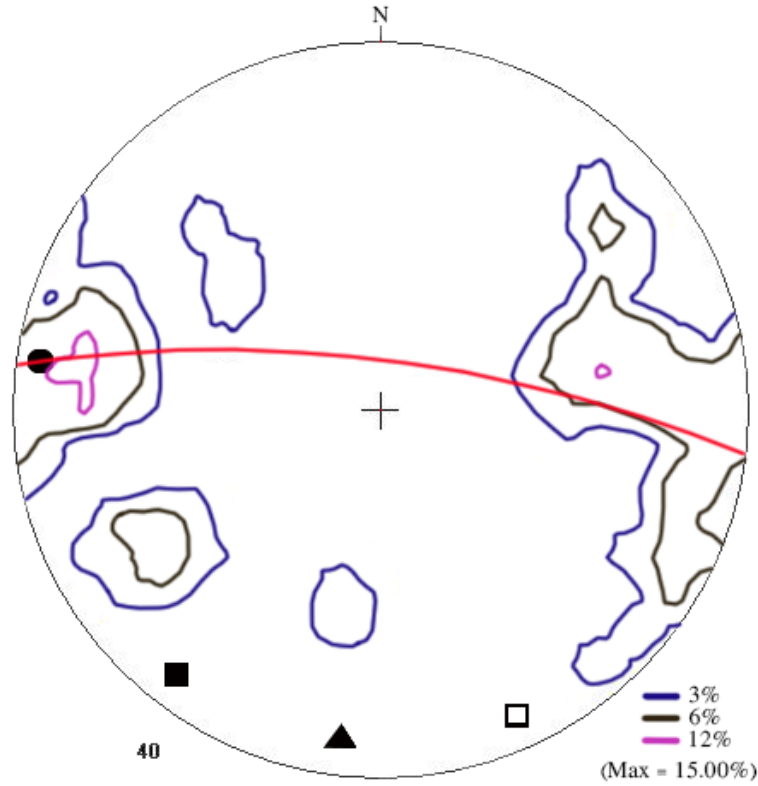
جدول ۳-۲۲- محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

درزه‌های کششی عرضی	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های مزدوج
۲۷۸/۰۷	۱۸۷/۱۱	۲۱۸/۱۰ و ۱۵۶/۱۰



شکل ۳-۵۲- نمای صحرایی درزه‌ها در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

پس از مشخص کردن محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی در پیمایش تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس، درزه‌های اندازه‌گیری شده در این پیمایش، بر روی استریوگرام قرار داده شدند و محل‌های تمرکز قطب آنها با محل‌های تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نمودارهای هم‌تراز قطب این درزه‌ها، چنان که در شکل ۳-۵۳ نشان داده شده است، این درزه‌ها تا حد بسیار زیادی بر درزه‌های آرمانی عرضی مرتبط با تاقدیس مورد بررسی، مطابقت دارند. محل تمرکز قطب این درزه‌ها در جدول ۳-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵۳- نمودار هم تراز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، درزه‌های کششی عرضی با دایره و درزه‌های کششی طولی با مثلث نشان داده شده است. صفحه‌ی رسم شده نشان دهنده‌ی سطح محوری این تاقدیس در این پیمایش است.

جدول ۳-۲۳- محل تمرکز قطب درزه‌های اندازه‌گیری شده در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

درزه‌های مزدوج	درزه‌های کششی طولی	درزه‌های کششی عرضی
-	-	۲۷۸/۱۷

فصل چهارم

تعیین تنش

تحلیل دینامیکی یک منطقه، پایه‌ی تحلیل جنبشی آن را می‌سازد و تحلیل تنش، یک بخش از تحلیل دینامیکی را تشکیل می‌دهد. ساختارهای زمین‌ساختی مختلف از قبیل چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها می‌توانند به منظور تعیین جهت تنش‌های اصلی مورد استفاده قرار گیرند. تحلیل تنش می‌تواند با توجه به اطلاعات ساختاری در تمامی مقیاس‌ها صورت گیرد.

یکی از اهداف این پژوهش، تعیین تنش بر مبنای تحلیل لغزش گسل‌ها (fault slip analysis) و مقایسه‌ی آن با میدان تنش حاصل از حل ساز و کار کانونی زلزله‌های منطقه است. در این فصل برآنیم تا به این هدف دست یابیم.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، گسل‌ها از جمله ساختارهایی هستند که می‌توانند به منظور تحلیل تنش مورد استفاده قرار گیرند. این ساختارها به فراوانی در پوسته‌ی بالایی زمین قابل مشاهده و دسترسی هستند.

مشخصات یگ گسل که در تحلیل تنش به کار می‌روند شامل امتداد و شیب محلی سطح گسل، جهت‌گیری خطواره (که معمولاً به صورت ریک یا پیچ بیان می‌شود) و جهت حرکت است. هنگامی که چنین داده‌هایی از یک مجموعه‌ی گسلی جمع‌آوری شوند این امکان اساساً وجود دارد که به اطلاعاتی نه‌تنها در مورد دگرشکلی بلکه در مورد جهت‌گیری تنش‌های اصلی (σ_1 ، σ_2 و σ_3) و بزرگی نسبی آن‌ها (یعنی شکل بیضوی تنش) دست پیدا کرد (Fossen, 2010).

۲-۴- فرضیات

روش‌های تنش دیرین بر چندین فرض استوار است. پایه‌ای‌ترین آن‌ها این است که گسل‌های مورد بررسی در یک میدان تنش واحد پدید آمده‌اند. سایر فرض‌ها عبارتند از اینکه سنگ‌ها نسبتاً هموزن هستند، دگرشکلی نسبتاً کم است و ساختارها از زمان تشکیل دچار چرخش چشم‌گیری نشده‌اند (Fossen, 2010).

۳-۴- روش‌های تعیین موقعیت محورهای اصلی تنش

تا کنون روش‌های گوناگونی به منظور تحلیل تنش دیرین توسط پژوهشگران ارائه شده است. در ادامه به تعدادی از آن‌ها به اختصار اشاره می‌کنیم.

۱-۳-۴- روش اندرسون^۱ (۱۹۵۱)

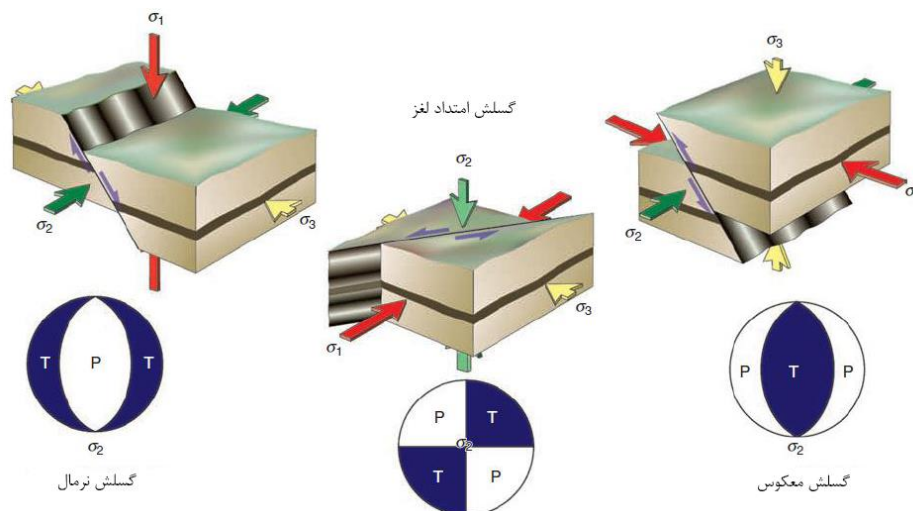
یک روش معمول رده‌بندی رژیم‌های تنش تکتونیکی در سال ۱۹۵۱ توسط اندرسون ابداع گردید. اندرسون این‌طور فرض کرد که با توجه به این‌که هیچ تنش برشی در سطح زمین وجود ندارد، بنابراین یکی از تنش‌های اصلی باید قائم و دو تنش اصلی دیگر باید افقی باشند. بسته به این‌که کدام‌یک از سه تنش اصلی قائم باشند، اندرسون سه رژیم را تعریف نمود (Fossen, 2010) که عبارتند از:

$\sigma_v = \sigma_1$ → رژیم گسلش نرمال

$\sigma_v = \sigma_2$ → رژیم گسلش امتدادلغز

$\sigma_v = \sigma_3$ → رژیم گسلش معکوس

¹ - Andersonian method



شکل ۴-۱- رژیم‌های مختلف گسلش مطرح شده در نظریه اندرسون (Fossen, 2010)

بنابراین گسل‌های مزدوج و خطواره‌های آن‌ها، جهت‌گیری تنش‌های اصلی را آشکار می‌سازند. محور تنش اصلی بیشینه، زاویه‌ی حاده‌ی گسل‌های مزدوج را به دو نیم تقسیم می‌کند (Fossen, 2010).

۴-۳-۱-۱- نظریه‌ی والاس-بوت^۱

می‌توان فرض کرد که گسل‌ها یا شکستگی‌هایی که جهت‌گیری عمود بر یکی از سه تنش اصلی داشته باشند، لغزش نخواهند داشت. این فرض تا زمانی درست است که هیچ مولفه‌ی برشی در آن موقعیت وجود نداشته باشد ($\sigma_s = 0$). برای سایر جهت‌گیری‌ها $\sigma_s \neq 0$ و لغزش اصطکاکی رخ خواهد داد اگر σ_s از مقاومت اصطکاکی در مقابل لغزش، فراتر رود. منطقی به نظر می‌رسد اگر فرض کنیم که لغزش در سطحی رخ خواهد داد که بیشترین تنش برشی وجود دارد. اگر بیشترین تنش برشی در جهت شیب باشد، گسل‌های نرمال یا معکوس پدید خواهند آمد. اگر بیشترین تنش برشی افقی باشد، گسل‌های امتداد لغز پدید خواهند آمد. هر وضعیت دیگری بجز این‌ها، منجر به حرکت مورب لغز خواهد شد. این فرض، به

¹ - Wallace – Bott hypothesis

نظریه‌ی والاس – بوت مشهور است. این نظریه بیان می‌کند که لغزش در شکستگی‌های مسطح، در جهت موازی با بزرگ‌ترین تنش برشی رخ می‌دهد. این نظریه همچنین فرض می‌کند که گسل‌ها مسطح هستند، بلوک‌های گسلی مستحکم و سخت هستند، چرخش بلوک گسلی قابل چشم‌پوشی بوده و گسل‌ها در طی یک فاز واحد دگرشکلی تحت یک میدان استرس واحد فعال شده‌اند. واضح است که این شرایط، شرایطی آرمانی هستند. بر مبنای این چند فرض ساده، در یک مجموعه‌ی گسلی می‌توان جهت‌گیری گسل، جهت‌گیری خطواره و جهت حرکت را ثبت نمود و با استفاده از این داده‌ها، جهت‌گیری و اندازه‌ی نسبی محورهای تنش را محاسبه نمود. روش‌هایی که به این منظور به کار می‌روند، به روش‌های وارون‌سازی تنش یا روش‌های وارون‌سازی لغزش گسل معروف هستند (Fossen, 2010).

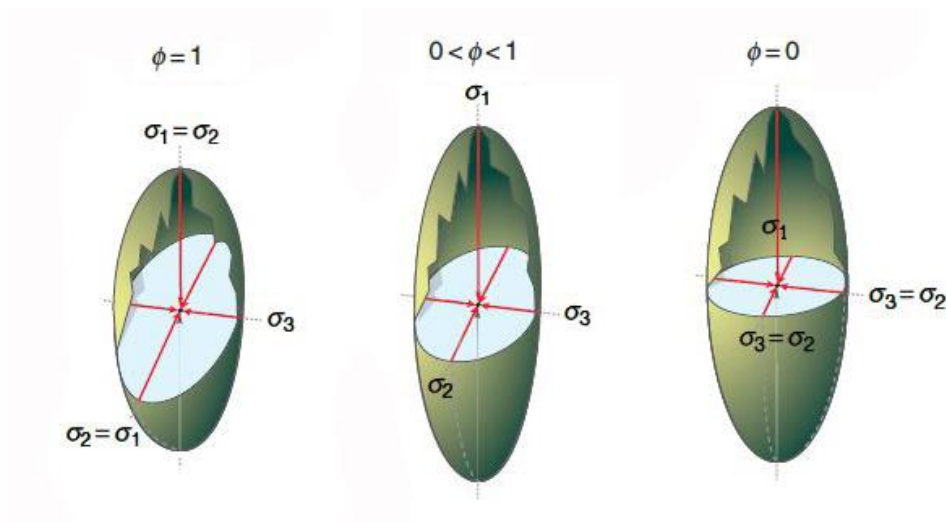
۴-۳-۲- روش برگشتی^۱

روش برگشتی یا وارون‌سازی تنش عبارت است از تعیین موقعیت میانگین تنش با استفاده از راستا و سوی لغزش بر روی سطح گسل. هدف از وارون کردن داده‌های لغزش گسل، بازسازی جهت‌گیری و شکل بیضوی تنش بر مبنای داده‌های لغزش گسلی اندازه‌گیری شده است. برای این منظور از نسبت تنش (ϕ) استفاده می‌شود

$$\phi = (\delta_2 - \delta_3) / (\delta_1 - \delta_3) \quad \text{و} \quad 0 \leq \phi \leq 1$$

رابطه‌ی نسبت تنش (ϕ) نخستین بار توسط Angelier (1975) معرفی شد. از آن جا که $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \delta_3$ همواره صورت و مخرج رابطه‌ی فوق مثبت و بنابراین $0 \leq \phi \leq 1$ خواهد بود. برای بیضوی تنش دوکی-شکل که $\delta_2 = \delta_3$ (فشارش تک محوری)، $\phi = 0$ است. $\phi = 1$ نشان دهنده‌ی حالتی است که $\delta_1 = \delta_2$ و بیضوی تنش کلوچه‌ای شکل است (کشش تک محوری).

¹ - Stress inversion method



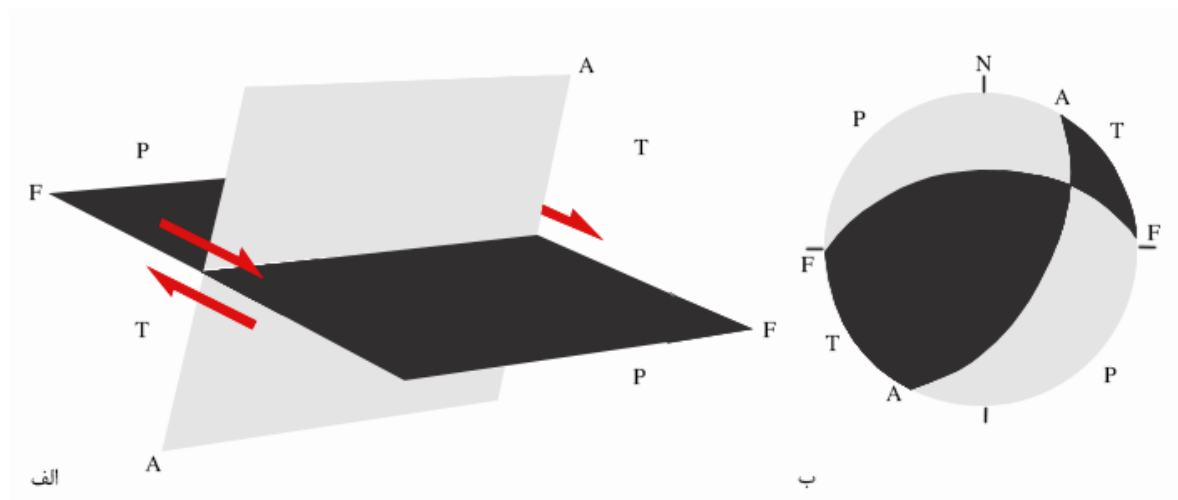
شکل ۴-۲- سه حالت ساده‌ی بیضوی تنش (Fossen, 2010)

۴-۳-۳- روش دو وجهی عمود بر هم^۱

این روش، یک روش گرافیکی تحلیل تنش دیرین است که بر مبنای استفاده از روش‌های بازسازی برای حل سطح گسل با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و همچنین داده‌های مجموعه گسل‌های دارای خش‌لغز، توسعه یافته است (Schimmrich, 1991). ارتباط بین حل سطح گسل و محورهای تنش اصلی، اولین بار توسط مک‌کنزی (۱۹۶۹) نشان داده شد. او به صراحت بیان کرد که تنش فشارشی اصلی δ_1 باید در ربعی باشد که محور فشارش (P) را در حل سطح گسلی در زلزله‌های کم‌عمق رخ داده در ناپیوستگی‌های مسطح از قبل موجود، در بر می‌گیرد. حل سطح گسلی با استفاده از گسل‌های دارای خش‌لغز یا نخستین حرکت لرزه‌ای زلزله‌ها صورت می‌گیرد و رابطه‌ی بین سطح گسل و سطح کمکی آن، منطقه‌ی فشارش و کشش و محور فشارش و کشش را نشان می‌دهد (شکل ۴-۳). سطح کمکی سطحی است که بر سطح گسل و جهت لغزش عمود است (Schimmrich, 1991) و به گونه‌ای رسم می‌شود که از قطب سطح گسل و عمود بر بردار لغزش موجود بر سطح گسل، عبور کند. به این ترتیب محدوده‌ی تحت گسلش به دو بخش

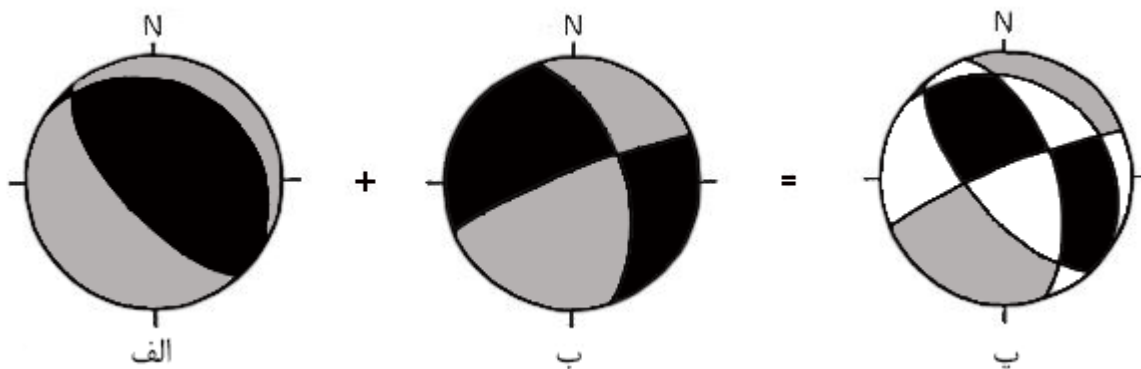
^۱ - The right dihedral method

فشارشی (محدوده‌ی محور P) و کششی (محدوده‌ی محور T) تقسیم می‌شود. محورهای تنش بیشینه و کمینه ممکن است در هر جایی از محدوده‌های P و T قرار گرفته باشند. با حل سطح گسل در مورد هر داده از مجموعه‌ی گسلی، هم‌پوشانی ربع‌هایی که محور فشارشی P را در بر می‌گیرند، منجر به مشخص شدن محل‌هایی خواهد شد که بیشترین تطابق را با محل قرارگیری محورهای تنش کمینه و بیشینه دارند (شکل ۴-۴). این روش توسط Angelier and Mechler (1977) روش دو وجهی عمود بر هم^۱ نامیده شد و سپس توسط Lisle (1987, 1988) تغییراتی در آن پدید آمد (Schimmrich, 1991).



شکل ۴-۳- مفهوم سطح گسل و سطح کمکی و منطقه‌های فشارش (ناحیه‌های روشن) و کشش (ناحیه‌های تیره) در روش دو وجهی عمود بر هم (Angelier, 1994)

¹ - la méthode des dièdres droits



شکل ۴-۴- (الف، ب و پ) مراحل محدود کردن محدوده‌ی δ_1 (ناحیه‌های خاکستری رنگ) و δ_3 (ناحیه‌های سیاه رنگ) با استفاده از اطلاعات دو سطح گسلی در روش دو وجهی عمود بر هم (Angelier, 1994)

۴-۴- محاسبه‌ی تنش دیرین در منطقه‌ی مورد بررسی

از میان روش‌هایی که در بالا به آن‌ها اشاره گردید، روش دو وجهی عمود بر هم که در سال ۱۹۷۷ توسط آنجلیر و مک‌لر معرفی شد، مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است.

در این پژوهش نیز با توجه به سطوح برشی نسبتاً فراوان موجود در منطقه، روش دو وجهی عمود بر هم به منظور تعیین تنش دیرین مورد استفاده قرار گرفته است.

با استفاده از ۱۰۴ داده‌ی لغزشی گردآوری شده از سطح این گسل‌ها، موقعیت محورهای اصلی تنش در بازه‌ی نو زمین‌ساختی در منطقه‌ی مورد مطالعه با روش دو وجهی عمود بر هم محاسبه شد. داده‌های مورد استفاده در این روش در جدول ۴-۱ و ۴-۲ آمده است. این داده‌ها شامل موقعیت هندسی سطح گسل و خط‌خش مربوط به آن و سوی حرکت است.

در هریک از این موارد ابتدا ویژگی‌های سطح گسل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و پس از شناسایی خط-خش و اندازه‌گیری مشخصات آن سوی حرکت گسل تعیین شد.

این داده‌ها از سطوح برشی ایجاد شده در سازندهای مزدوران، شوربجه، تیرگان و کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن حاصل شده‌اند. هرچند چنان که پیش از این مورد بحث قرار گرفت، تمامی داده‌های جمع‌آوری

شده متعلق به بازه‌ی نو زمین‌ساختی هستند اما از آن‌جا که این واحدهای سنگی متعلق به زمان‌های متفاوتی هستند و گنگلومرای جوان پلیوسن- پلیستوسن تاریخیچه‌ی تنش متعلق به بازه‌ی زمانی جدیدتری را در خود دارد؛ داده‌های حاصل از سطوح گسلی موجود در این گنگلومرا جدا از داده‌های حاصل از سطوح گسلی موجود در واحدهای سنگی مزوزوئیک (سازندهای مزدوران، شوربجه و تیرگان) مورد تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۴-۱- داده‌های مورد استفاده به منظور تعیین راستای محورهای تنش در بازه‌ی نو زمین‌ساختی (گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در گنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن) در منطقه‌ی مورد مطالعه ، جهت حرکت ۱ به معنی حرکت معکوس، ۲ به معنی حرکت نرمال، ۳ به معنی حرکت راست‌بر و ۴ به معنی حرکت چپ‌بر است.

شماره داده	جهت شیب	شیب	جهت میل	میل	جهت حرکت
۱	۰۱۳	۵۰	۰۱۲.۹۹	۵۰	۱
۲	۰۱۰	۴۰	۰۰۹.۹۹	۴۰	۱
۳	۰۳۰	۴۵	۰۲۹.۹۹	۴۵	۱
۴	۰۱۲	۴۵	۰۱۱.۹۹	۴۵	۱
۵	۰۲۲	۴۵	۰۲۱.۹۹	۴۵	۱
۶	۰۴۵	۷۰	۰۴۴.۹۹	۷۰	۱
۷	۰۰۰	۴۰	۳۵۹.۹۹	۴۰	۱
۸	۰۰۰	۴۵	۳۵۹.۹۹	۴۵	۱
۹	۰۱۲	۳۲	۰۱۱.۹۹	۳۲	۱
۱۰	۰۰۵	۳۰	۰۰۴.۹۹	۳۰	۱
۱۱	۰۴۵	۷۵	۰۴۴.۹۹	۷۵	۱
۱۲	۰۲۰	۳۲	۰۱۹.۹۹	۳۲	۱
۱۳	۲۱۵	۸۵	۲۱۴.۹۹	۸۵	۱

جدول ۴-۲- داده‌های مورد استفاده به منظور تعیین راستای محورهای تنش در بازه‌ی نو زمین‌ساختی (گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در سازندهای مزوزوئیک) در منطقه‌ی مورد مطالعه ، جهت حرکت ۱ به معنی حرکت معکوس، ۲ به معنی حرکت نرمال، ۳ به معنی حرکت راست‌بر و ۴ به معنی حرکت چپ‌بر است.

شماره داده	جهت شیب	شیب	جهت میل	میل	جهت حرکت
۱	۲۶۷	۷۵	۱۸۳.۲	۲۱.۹۵	۳
۲	۲۶۸	۸۹.۹	۱۷۸.۰۴	۲۰	۳

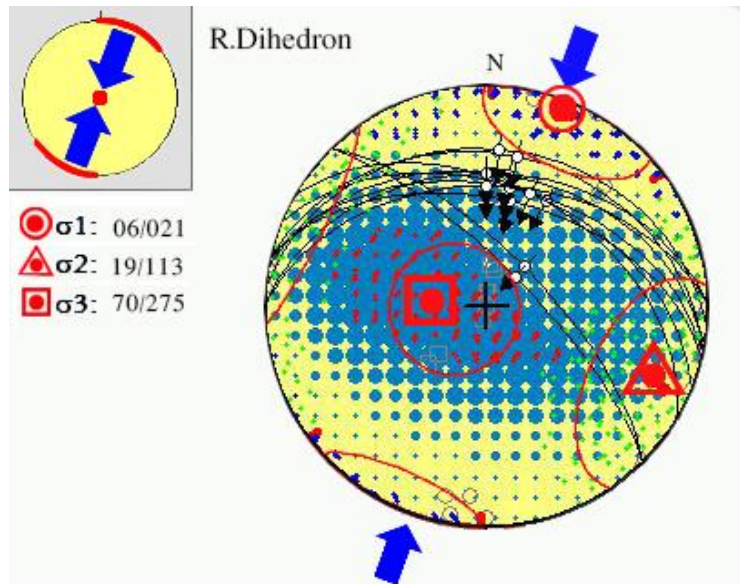
3	268	89.9	178.04	20	3
4	270	89.9	180.04	20	3
5	090	85	178.17	20.02	3
6	275	85	187.13	22.99	3
7	090	75	174.37	20.1	3
8	097	87	185.31	29.38	2
9	272	82	184.93	20.01	3
10	269	84	181.81	25.02	3
11	278	77	195.33	28.92	1
12	275	82	187.93	20.01	3
13	278	70	195.17	18.94	3
14	093	89.9	187.94	30	2
15	278	74	195.3	23.91	1
16	085	80	257.32	12.94	3
17	265	89.9	254.97	17	4
18	260	85	249.56	04.96	4
19	263	80	249.73	17.95	4
20	067	72	241.68	14.1	3
21	077	65	253.55	13.74	3
22	080	82	252.01	14	3
23	083	85	254.25	13.98	3
24	072	72	245.96	12.01	3
25	073	70	248.18	13.93	3
26	077	85	248.34	14.97	3
27	073	70	248.18	13.93	3
28	140	80	050	00.01	3
29	317	87	045.79	21.99	3
30	135	80	047	13	3
31	315	90	045	20	3
32	317	85	227.26	02.98	3
33	325	89.9	054.99	08	3
34	135	80	108.4	78.84	1
35	135	80	047.32	12.94	3
36	315	89.9	044.96	20	3

37	290	75	015.55	16.15	4
38	287	70	012.49	12.18	4
39	280	80	003.41	33.07	1
40	286	75	007.74	28.2	1
41	290	70	013.53	17.2	4
42	285	72	007.41	22.13	1
43	285	70	006.47	22.17	1
44	287	83	013.99	23.13	4
45	300	65	014.05	30.51	1
46	297	65	012.02	29.01	1
47	280	65	355.5	28.24	1
48	283	65	000.8	24.38	1
49	017	70	031.28	69.42	1
50	012	75	031.19	74.16	1
51	010	75	029.19	74.16	1
52	030	85	074.79	82.97	1
53	030	80	029.99	80	1
54	025	65	024.99	65	1
55	015	75	015.99	75	1
56	015	70	014.99	70	1
57	017	73	016.99	73	1
58	020	88	019.99	88	1
59	208	85	207.99	85	1
60	210	85	209.99	85	1
61	205	89.9	204.99	89.9	1
62	208	65	207.99	65	1
63	202	60	201.99	60	1
64	180	75	179.99	75	1
65	223	89.9	222.99	89.9	1
66	220	89.9	219.99	89.9	1
67	028	75	027.99	75	1
68	028	80	027.99	80	1
69	028	88	027.99	88	1
70	018	89.9	017.99	89.9	1

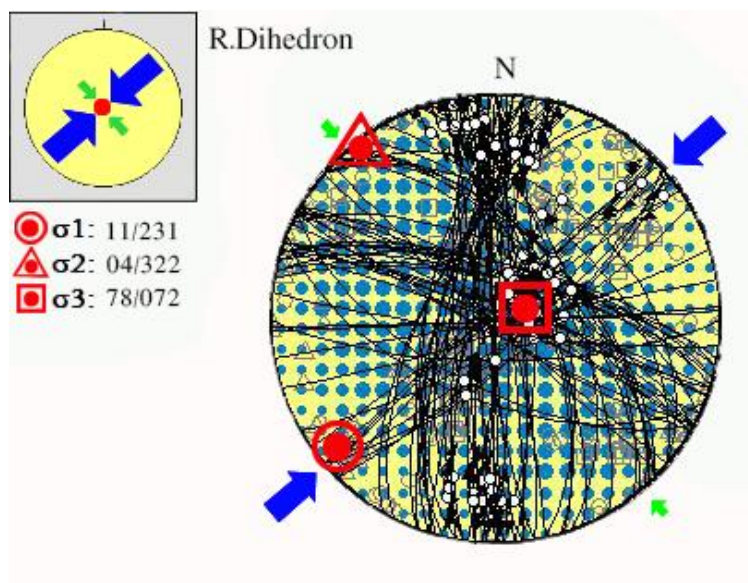
۷۱	۰۱۸	۸۵	۰۱۷.۹۹	۸۵	۱
۷۲	۰۲۰	۸۵	۰۱۹.۹۹	۸۵	۱
۷۳	۰۱۲	۷۰	۰۳۸.۷۸	۶۷.۸۲	۱
۷۴	۱۸۷	۸۵	۱۰۷.۸۲	۶۵.۰۲	۱
۷۵	۱۷۸	۸۹.۹	۰۸۸.۲۱	۶۵	۱
۷۶	۱۷۷	۸۹.۹	۱۷۶.۹۹	۸۹.۹	۱
۷۷	۱۷۰	۸۹.۹	۰۸۰.۳۷	۷۵	۱
۷۸	۱۶۲	۸۵	۰۹۸.۵۹	۷۸.۹۴	۱
۷۹	۰۴۵	۶۵	۰۴۴.۹۹	۶۵	۱
۸۰	۰۴۵	۶۰	۰۴۴.۹۹	۶۰	۱
۸۱	۰۴۵	۶۰	۰۴۴.۹۹	۶۰	۱
۸۲	۰۵۲	۶۰	۰۵۱.۹۹	۶۰	۱
۸۳	۰۵۰	۶۵	۰۴۹.۹۹	۶۵	۱
۸۴	۰۵۰	۶۵	۰۴۹.۹۹	۶۵	۱
۸۵	۰۴۸	۶۰	۰۴۷.۹۹	۶۰	۱
۸۶	۰۴۷	۶۰	۰۴۶.۹۹	۶۰	۱
۸۷	۰۵۰	۶۵	۰۴۹.۹۹	۶۵	۱
۸۸	۰۶۰	۶۵	۰۵۹.۹۹	۶۵	۱
۸۹	۰۷۰	۶۰	۰۶۹.۹۹	۶۰	۱
۹۰	۰۴۰	۴۰	۰۲۹.۰۱	۳۹.۴۸	۱
۹۱	۰۴۰	۵۰	۰۲۴.۷	۴۸.۹۸	۱

داده‌ی گردآوری شده از سطح گسل‌های منطقه، در نرم افزار Win Tensor با استفاده از روش دو وجهی عمود بر هم مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس تحلیل داده‌های گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن، δ_1 در موقعیت ۰۲۱/۰۶، δ_2 در موقعیت ۱۱۳/۱۹ و δ_3 در موقعیت ۲۷۵/۷۰ قرار دارد (شکل ۴-۵). بر اساس تحلیل داده‌های گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در سازندهای مزدوران، شوربجه و تیرگان (متعلق به مزوزوئیک) δ_1 در موقعیت ۲۳۱/۱۱، δ_2 در موقعیت ۳۲۲/۰۴ و δ_3 در موقعیت ۰۷۲/۷۸ قرار دارد (شکل ۴-۶). راستای δ_1 به دست آمده در مورد داده‌های حاصل از سطوح گسلی موجود در کنگلومرای پلیوسن-

پلیستوسن (N 021° E)، بسیار نزدیک است به آنچه که Shabanian (2010) برای جوان‌ترین موقعیت δ_1 در منطقه‌ی کپه‌داغ از طریق معکوس سازی بردار لغزش گسل محاسبه نموده است (N030±15°E).

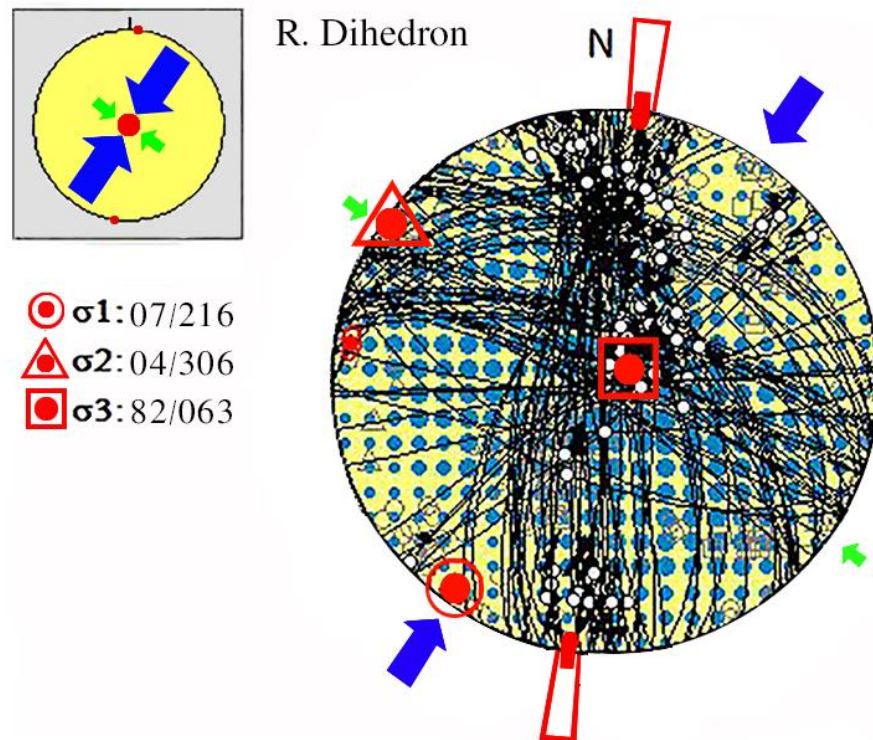


شکل ۴-۵- موقعیت محورهای سه تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی محاسبه شده در نرم افزار WIN Tensor (با استفاده از داده‌های حاصل از سطوح برشی موجود در کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن)



شکل ۴-۶- موقعیت محورهای سه تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی محاسبه شده در نرم افزار WIN Tensor (با استفاده از داده‌های حاصل از سطوح برشی موجود در سازندهای مزدوران، شوربچه و تیرگان)

با استفاده از تحلیل تمام داده‌های لغزشی (۱۰۴ داده) در نرم افزار Win Tensor با استفاده از روش دو وجهی عمود بر هم، یک حالت میانی میدان تنش (نسبت به دو حالت محاسبه شده‌ی پیشین) نیز محاسبه شد. در این حالت میانی، δ_1 در موقعیت ۲۱۶/۰۷، δ_2 در موقعیت ۳۰۶/۰۴ و δ_3 در موقعیت ۰۶۳/۸۲ قرار دارد (شکل ۷-۴).

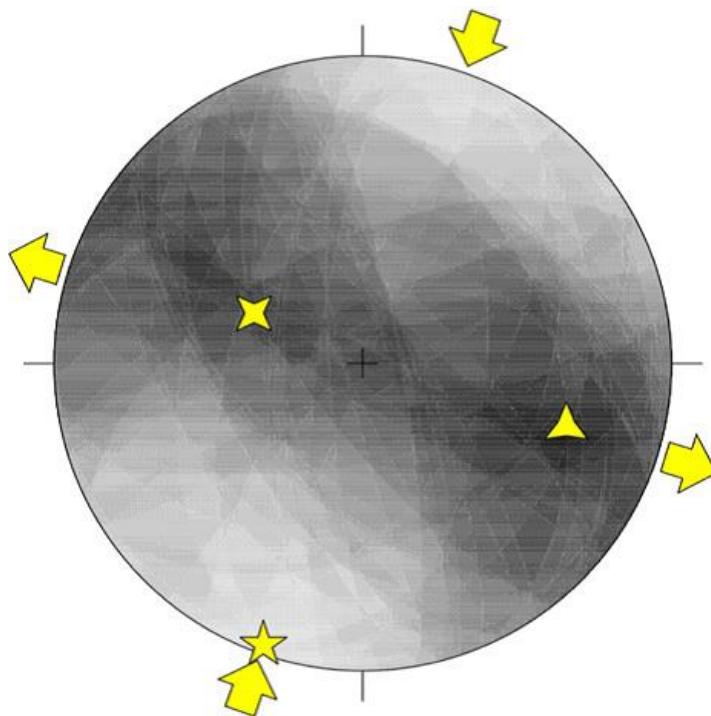


شکل ۷-۴- موقعیت محورهای سه تنش اصلی در بازه‌ی نو زمین‌ساختی محاسبه شده در نرم افزار WIN Tensor (با استفاده از داده‌های حاصل از سطوح برشی موجود در سازندهای مزدوران، شوريجه و تیرگان و کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن)

۴-۵- تنش تعیین شده از حل ساز و کار کانونی زلزله‌ها در منطقه‌ی کپه‌داغ

زلزله‌ها در کپه‌داغ عمدتاً مربوط به گسل‌های امتداد لغز راست‌بر دارای امتداد N تا NNW یا گسل‌های معکوس موازی با امتداد منطقه‌ای NW هستند (Shabanian, 2009).

Zamani G. et al., 2007 براساس معکوس‌سازی نظام‌مند^۱ ساز و کار کانونی زلزله‌های پوسته‌ای (دارای عمق کمتر از ۴۰ کیلومتر) دارای بزرگی ۴.۵ تا ۷.۳، بیان نموده‌اند که در منطقه‌ی شمال خاور ایران δ_1 در موقعیت ۱۹۹/۰۳، δ_2 در موقعیت ۲۹۵/۵۸ و δ_3 در موقعیت ۱۰۷/۳۲ قرار دارد (شکل ۴-۸).

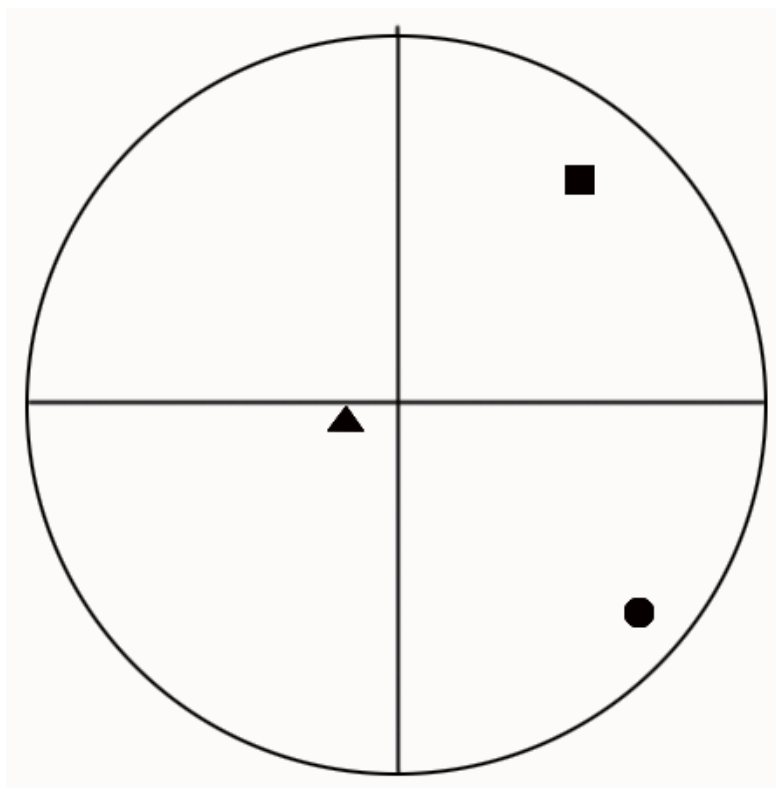


شکل ۴-۸- تنش به دست آمده از معکوس‌سازی نظام‌مند ساز و کار کانونی زلزله‌های کم عمق‌تر از ۴۰ کیلومتر در منطقه‌ی شمال خاوری ایران (Zamani G. et al., 2007)، δ_1 ، δ_2 و δ_3 به ترتیب با ستاره‌ی پنج‌پر، چهارپر و سه‌پر نشان داده شده است.

Zarifi et al., 2013 میدان تنش را در بخش‌های مختلف ایران با استفاده از معکوس‌سازی تنش حاصل از ساز و کار کانونی (FMSI)^۲ زلزله‌های پوسته‌ای (عمق کمتر از ۴۰ کیلومتر) در دوره‌ی زمانی سال ۱۹۰۹ تا ۲۰۱۱ محاسبه نموده‌اند. براساس محاسبات صورت گرفته توسط Zarifi et al., 2013، در منطقه‌ی کپه‌داغ δ_1 در موقعیت ۰۳۸.۷/۱۴.۱، δ_2 در موقعیت ۲۵۲/۷۳.۳ و δ_3 در موقعیت ۱۳۰.۸/۰۸.۶ قرار دارد (شکل ۴-۹).

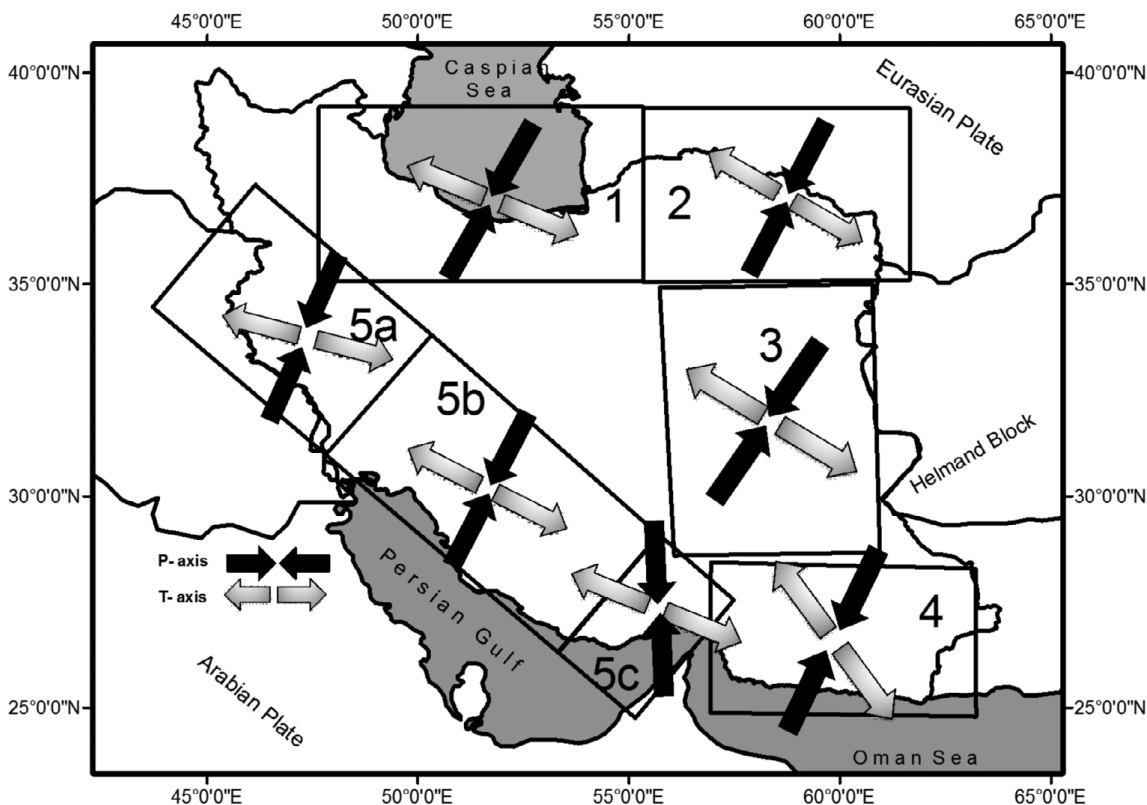
^۱ - systematic inversion

^۲ - focal mechanism stress inversion



شکل ۴-۹- موقعیت سه محور تنش اصلی به دست آمده از معکوس‌سازی تنش حاصل از حل ساز و کار کانونی زلزله‌ها در منطقه‌ی کپه‌داغ (Zarifi et al., 2013)، δ_1 با مربع، δ_2 با مثلث و δ_3 با دایره نشان داده شده است.

Ansari and Zamani, 2014 جهت‌گیری متوسط محورهای تنش فشارشی و کششی در بخش‌های مختلف ایران را با تصویر کردن تنسورهای ممان لرزه‌ای در شبکه‌ی هم مساحت، تعیین نموده‌اند. بر اساس محاسبات Ansari and Zamani; 2014، در منطقه‌ی کپه‌داغ، محور تنش اصلی فشارشی در راستای ۲۷ درجه و محور تنش اصلی کششی در راستای ۱۱۹ درجه قرار دارد (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰- محورهای تنش کششی و فشاری در بخش‌های مختلف ایران (Ansari and Zamani; 2014)

۴-۶- مقایسه تنش حاصل از تحلیل لغزش گسل و تنش حاصل از حل ساز و کار کانونی زلزله‌های منطقه-

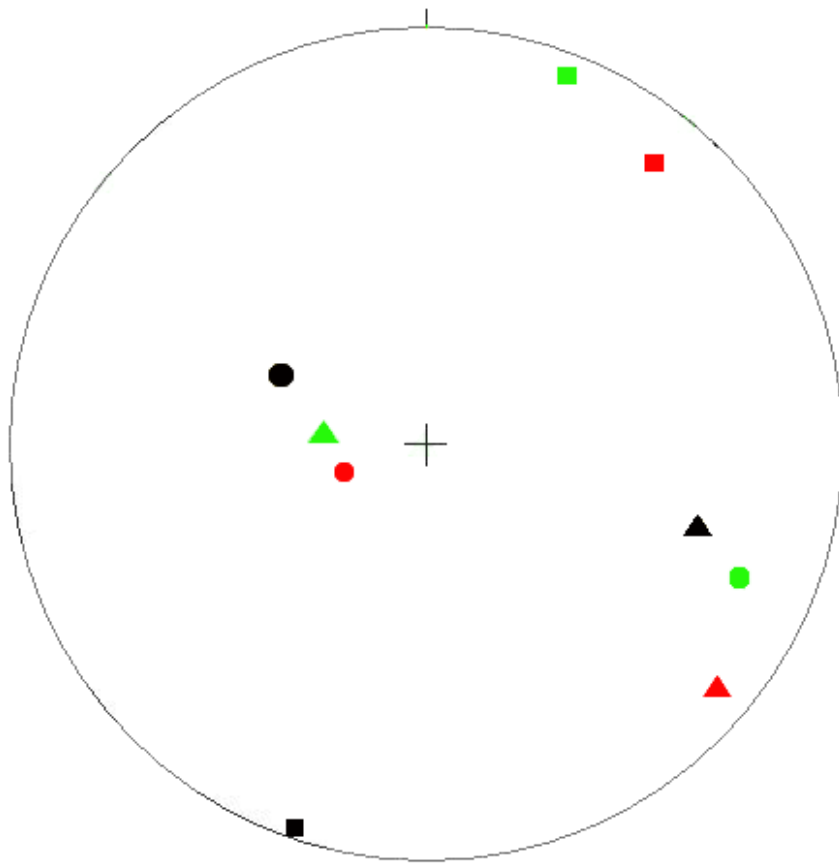
ی مطالعاتی

در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از تعداد ۱۳ سطح گسلی در کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن و ۹۱ سطح گسلی در سازندهای مزدوران، شورجه و تیرگان موقعیت سه محور اصلی تنش در بازه‌ی نو زمین‌ساختی تعیین شد. در جدول شماره ۴-۳ این موقعیت‌ها با موقعیت‌های به دست آمده با استفاده از حل ساز و کار زلزله‌های منطقه (توسط دیگر پژوهشگران) مقایسه شده است (مبنای مقایسه، محورهای محاسبه شده بر اساس سطوح برشی در کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن است). همانطور که در جدول ۴-۳ قابل مشاهده است، موقعیت δ_1 با نتایج هر سه پژوهش ذکر شده، همخوانی خوبی دارد. راستای محاسبه شده برای δ_2 و δ_3 نیز با موقعیت‌های به دست آمده از حل ساز و کار کانونی زلزله‌های

منطقه، همخوانی دارد. با این حال موقعیت محاسبه شده برای δ_2 و δ_3 در این پژوهش با موقعیت محاسبه شده توسط Zarifi et al. (2013) و Zamani G. et al. (2007) متفاوت است به طوری که در پژوهش‌های مورد بحث، δ_2 بیشتر به حالت قائم نزدیک است و δ_3 تقریباً افقی است اما در پژوهش حاضر، δ_2 تقریباً افقی و δ_3 تقریباً قائم است (شکل ۴-۱۱).

جدول ۴-۳- مقایسه‌ی موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده در این پژوهش با موقعیت‌های محاسبه شده توسط سایر پژوهشگران

δ_3		δ_2		δ_1		پژوهش حاضر (کپه‌داغ خاوری)
میل	جهت میل	میل	جهت میل	میل	جهت میل	
۷۰	۲۷۵	۱۹	۱۱۳	۰۶	۰۲۱	با استفاده از داده‌های گسلش کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن
۷۸	۰۷۲	۰۴	۳۲۲	۱۱	۲۳۱	با استفاده از داده‌های گسلش سازندهای مزدوران، شور یجه، تیرگان
؟؟	۱۱۹	؟؟	؟؟؟	؟؟	۰۲۷	Ansari and Zamani (2014) (شمال خاور ایران)
۰۸/۶	۱۳۰/۸	۷۳/۳	۲۵۲	۱۴/۱	۰۳۸/۷	Zarifi et al. (2013) (کپه‌داغ)
۳۲	۱۰۷	۵۸	۲۹۵	۰۳	۱۹۹	Zamani G. et al. (2007) (شمال خاور ایران)



شکل ۴-۱۱- مقایسه موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده (سبز : پژوهش حاضر، قرمز : Zarifi et al. (2013) ، سیاه : (Zamani G. et al. (2007)، δ_1 با مربع، δ_2 با دایره و δ_3 با مثلث نشان داده شده است.

فصل پنجم

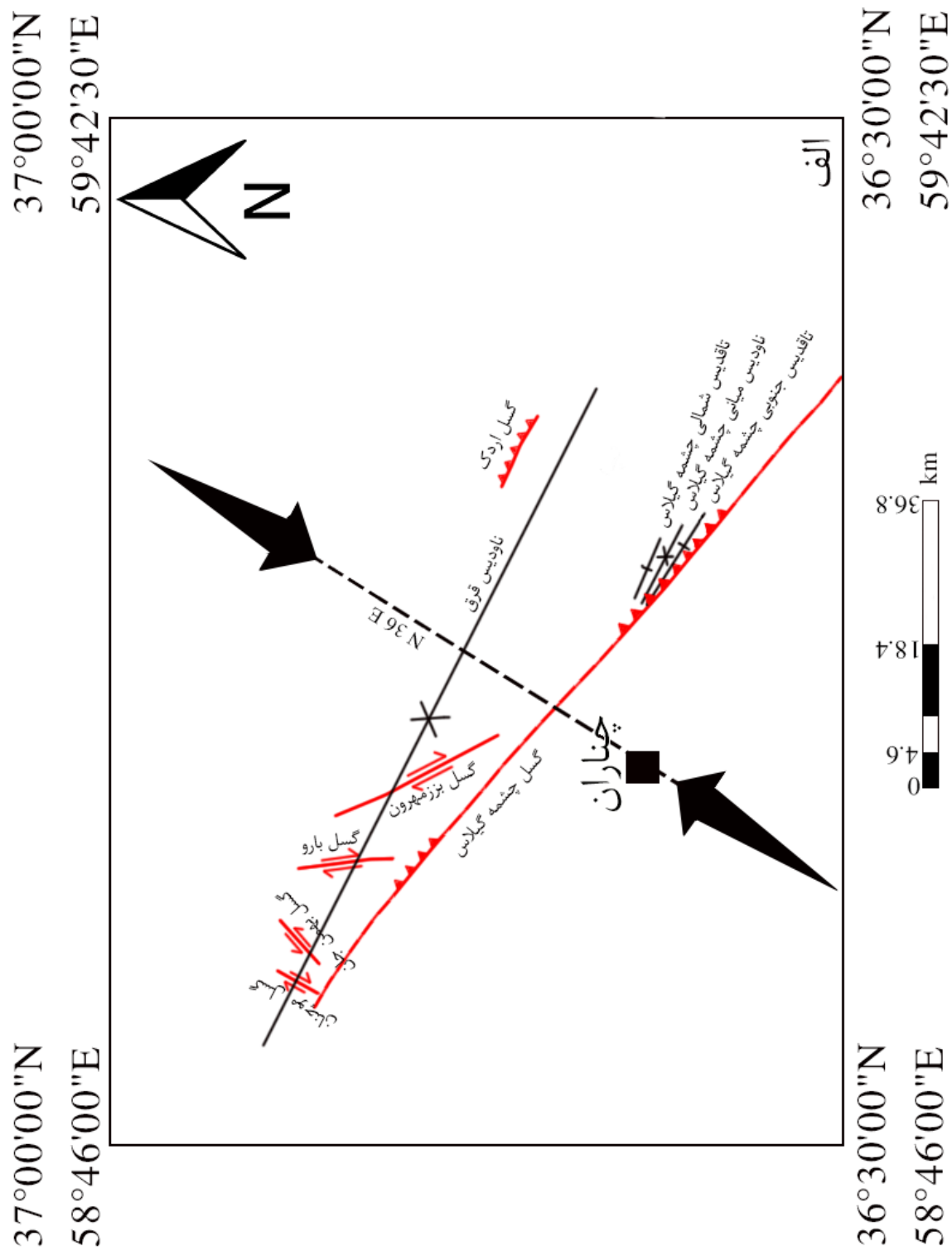
نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس مطالعات انجام شده در این پژوهش، در این فصل به بررسی نتایج به دست آمده می‌پردازیم.

۵-۱- الگوی گسلش

مطالعه‌ی صورت گرفته بر روی گسل‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که گسل‌های این منطقه دارای دو روند اساسی شمال باختری- جنوب خاوری و شمال خاوری- جنوب باختری هستند. گسل‌های دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری شامل گسل‌های بزمه‌رون، بارو، اردک و چشمه‌گیلاس هستند. گسل‌های بزمه‌رون و بارو دارای ساز و کار راست‌بر معکوس و گسل‌های اردک و چشمه‌گیلاس دارای ساز و کار معکوس هستند. گسل‌های دارای روند شمال خاوری- جنوب باختری شامل گسل‌های موچنان و بهمن‌جان هستند که به ترتیب دارای ساز و کار راست‌بر معکوس و چپ‌بر معکوس هستند. از این میان گسل موچنان دارای دو دسته خط‌خش است. یک دسته از این خش‌ها (که فراوانی بیشتری دارند) دارای میل متوسط بیش از ۷۰ درجه هستند. دسته‌ی دیگر (که فراوانی اندکی دارند) دارای میل بین ۰ تا ۲۲ درجه (ریک بین ۰ تا ۲۰) هستند. از آنجا که دسته خش‌های دارای ریک ۰ تا ۲۰ درجه دسته خش‌های دارای میل بیش از ۷۰ درجه را قطع نموده‌اند، دسته خش‌های دارای ریک بین ۰ تا ۲۰ درجه به عنوان خش‌های جوان‌تر در نظر گرفته شدند.

روند و ساز و کار گسل‌های مورد مطالعه با میدان تنش موجود در منطقه همخوانی دارد (شکل ۵-۱).

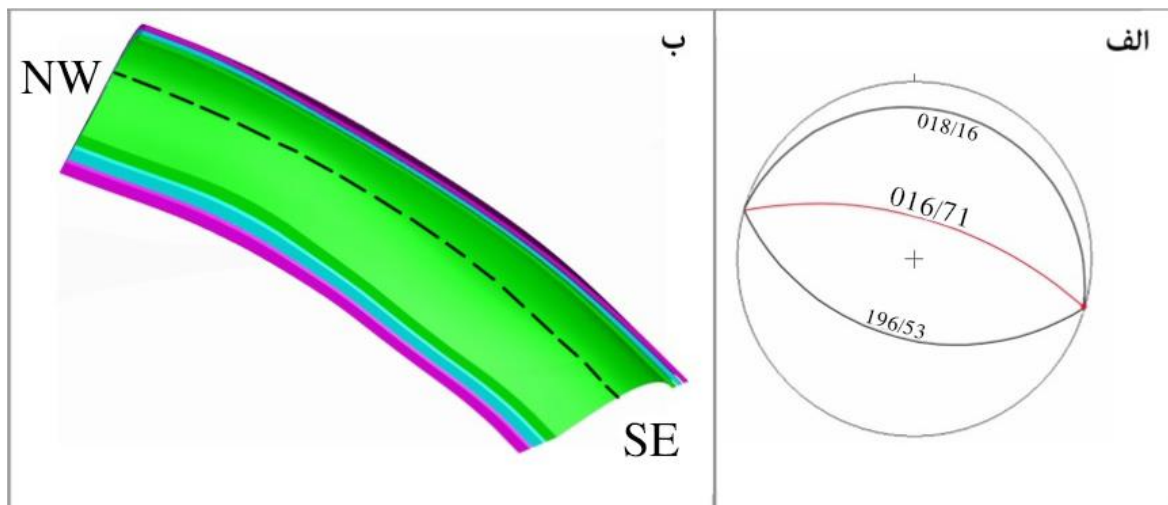


شکل ۵-۱- هم‌انگهی ساختارهای مورد بررسی با راستای تنش فشارشی محاسبه شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

۵-۲- الگوی چین خوردگی

محور چین خوردگی‌های مورد مطالعه در این پژوهش (ناودیس قرق، تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس) دارای راستای کلی شمال باختری- جنوب خاوری هستند و از روند کلی ساختارها در کپه‌داغ پیروی می‌کنند.

نتایج تحلیل اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی لایه‌های چین‌خورده‌ی سازند شوربجه و تیرگان در ناودیس قرق، نشان دهنده‌ی آن است که به طور میانگین، یال شمال خاوری این ناودیس دارای موقعیت ۱۹۶/۵۳ و یال جنوب باختری این ناودیس دارای موقعیت ۰۱۸/۱۶ است. بر این اساس موقعیت خط لولای ناودیس قرق به طور میانگین ۱۰۶/۰۰، موقعیت سطح محوری آن به طور میانگین ۰۱۶/۷۱ و زاویه‌ی بین یالی آن به طور میانگین، ۱۱۰ درجه است. بنابراین ناودیس قرق به طور کلی در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های باز (Open) (شکل ۵-۳- الف) و در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری شدیداً شیب‌دار (Horizontal steeply inclined) است (شکل ۵-۳- ب). موقعیت هندسی یال‌ها، سطح محوری و محور در ناودیس قرق در شکل ۵-۲- الف، نشان داده شده است. در شکل ۵-۲- ب یک مدل از ناودیس قرق نشان داده شده است.



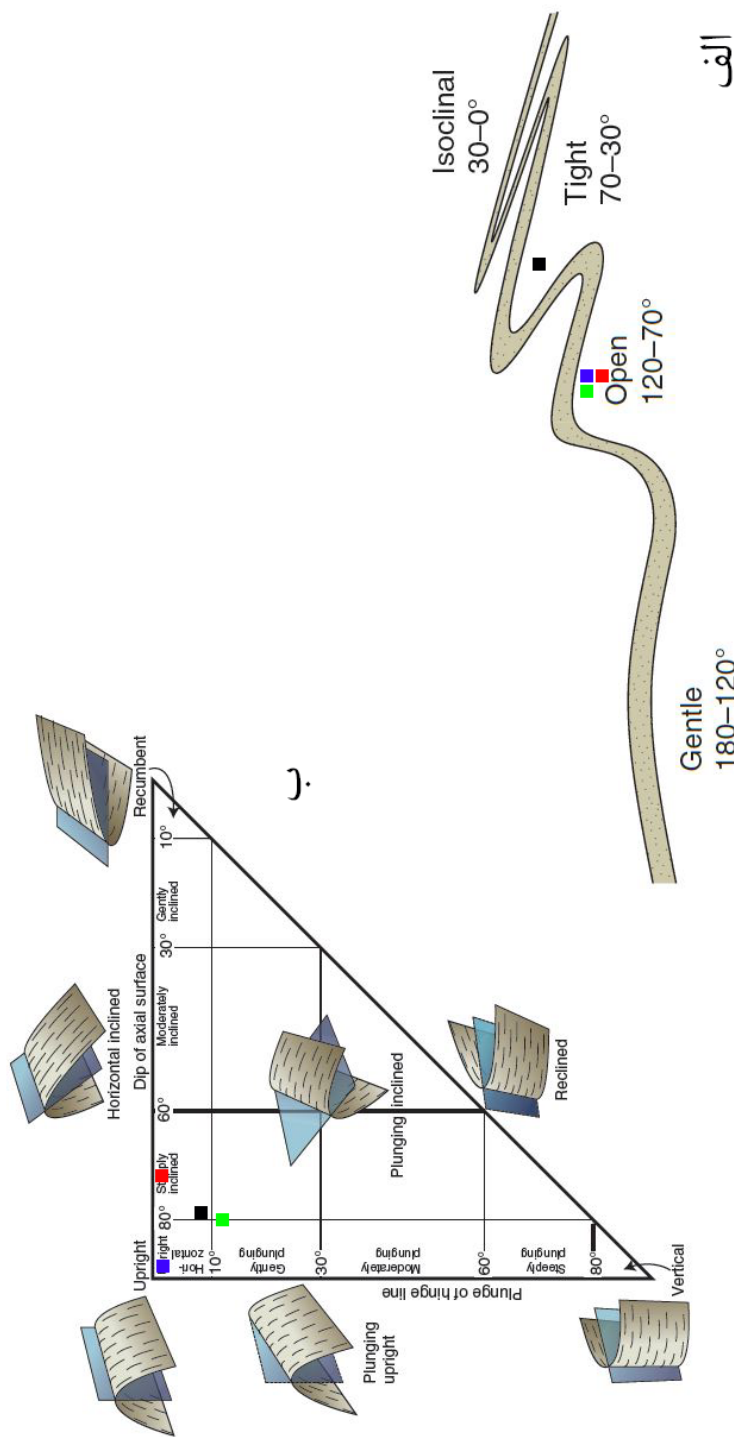
شکل ۵-۲- موقعیت هندسی یال‌ها، محور و سطح محوری میانگین در ناودیس قرق (الف)، مدل چین‌خوردگی ناودیس قرق (ب)، خط القعر چین با خط‌چین نشان داده شده است.

نتایج اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی سازند مزدوران در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، نشان دهنده‌ی آن است که به طور میانگین یال شمال خاوری این تاقدیس در موقعیت $042/41$ و یال جنوب باختری این تاقدیس در موقعیت $198/61$ ، خط لولا در موقعیت $14/116$ و سطح محوری در موقعیت $028/80$ قرار دارد. زاویه بین یالی این تاقدیس 80 درجه است. بر این اساس، تاقدیس چشمه‌گیلاس به طور کلی در رده‌بندی فلوتی (1964) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های باز (Open) (شکل ۵-۳- الف) و در رده‌بندی فلوتی (1964) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین-های دارای محور افقی و سطح محوری ایستاده (Gently plunging upright) است (شکل ۵-۳- ب).

نتایج اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی سازند مزدوران در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس، نشان دهنده‌ی آن است که یال شمال خاوری این ناودیس در موقعیت $200/49$ و یال جنوب باختری این ناودیس در موقعیت $022/53$ ، خط لولا در موقعیت $111/01$ و سطح محوری در موقعیت $201/88$ قرار دارد. زاویه بین یالی این ناودیس 78 درجه است. بر این اساس، ناودیس میانی چشمه‌گیلاس در رده‌بندی فلوتی

(۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های باز (Open) (شکل ۳-۵-الف) و در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری ایستاده (Horizontal upright) است (شکل ۳-۵-ب).

نتایج اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی سازند مزدوران در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس، نشان دهنده‌ی آن است که یال شمال خاوری این تاقدیس در موقعیت ۰۰۳/۵۳ و یال جنوب باختری این تاقدیس در موقعیت ۱۹۰/۷۴، خط لولا در موقعیت ۲۷۸/۰۷ و سطح محوری در موقعیت ۰۰۷/۷۹ قرار دارد. زاویه بین یالی این تاقدیس ۵۴ درجه است. بر این اساس، تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس در رده-بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه‌ی بین یالی از نوع چین‌های تنگ (Tight) (شکل ۳-۵-الف) و در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری از نوع چین‌های دارای محور افقی و سطح محوری بسیار شیبدار (Horizontal – steeply inclined) است (شکل ۳-۵-ب).

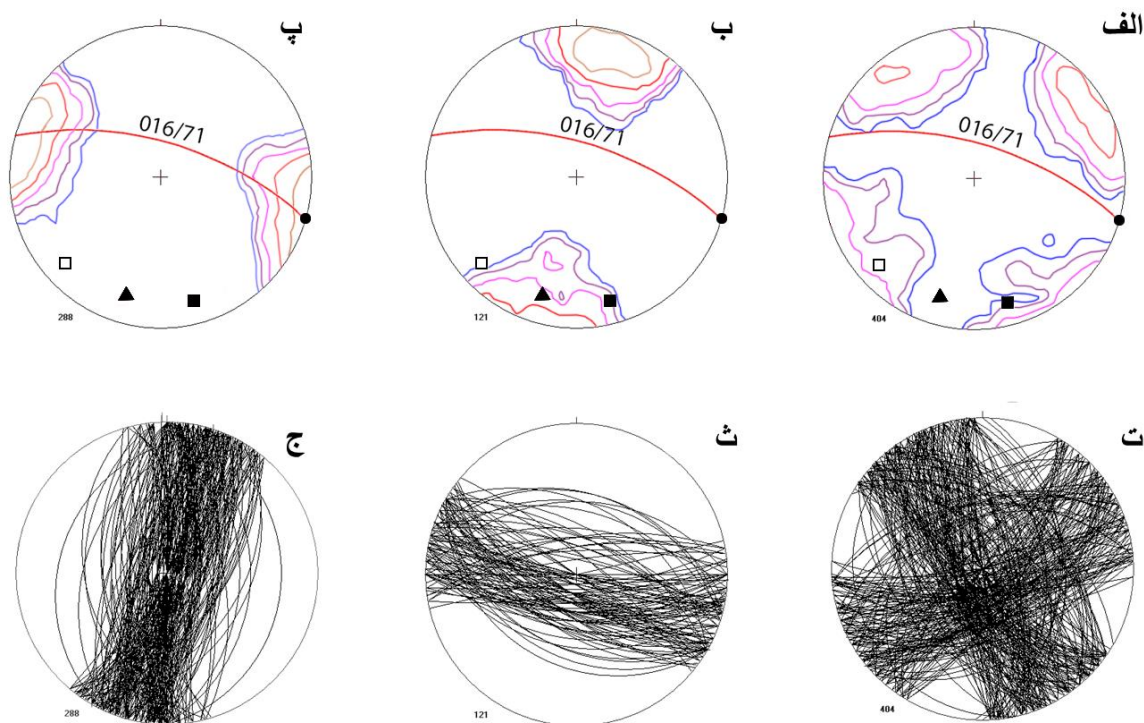


شکل ۵-۳- الف - جایگاه چین‌های مورد بررسی در رده‌بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس زاویه بین یالی، ب - جایگاه چین‌های مورد بررسی در رده بندی فلوتی (۱۹۶۴) بر اساس میل محور و شیب سطح محوری (ناودیس قرق : قرمز، تاقدیس جنوبی چشمه گیلان : سبز، ناودیس میانی چشمه گیلان : آبی، تاقدیس شمالی چشمه گیلان : سیاه).

۳-۵- الگوی درزه‌ها

درزه‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه در ناودیس قرق، تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس، ناودیس میانی چشمه‌گیلاس و تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی درزه‌های اندازه‌گیری شده در پنج پیمایش انجام شده بر روی ناودیس قرق، نشان می‌دهد که این درزه‌ها مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق هستند و در میدان تنش مسبب پیدایش ناودیس قرق پدید آمده‌اند (شکل ۴-۵).

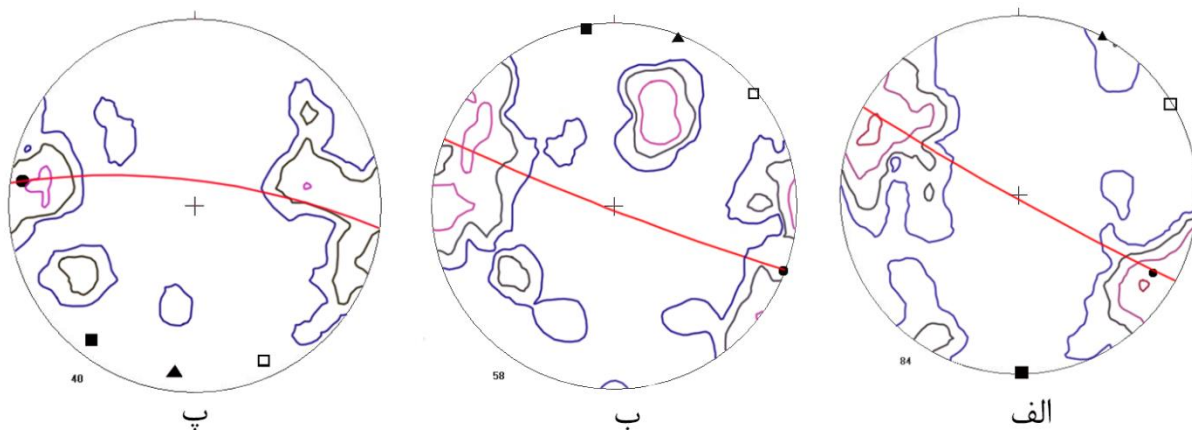


شکل ۴-۵- نمودار هم‌تراز قطب درزه‌ها و استریوگرام درزه‌های اندازه‌گیری شده در ناودیس قرق، الف و ت- درزه‌های مزدوج راست‌بر و چپ‌بر، ب و ث- درزه‌های طولی، پ و ج- درزه‌های عرضی مرتبط با چین‌خوردگی ناودیس قرق. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، محل تمرکز قطب درزه‌های کششی طولی با مثلث و محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی کششی عرضی با دایره نشان داده شده است، صفحه‌ی رسم شده به رنگ قرمز، نشان دهنده‌ی سطح محوری ناودیس قرق است.

درزه‌های اندازه‌گیری شده در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس تا حد زیادی بر درزه‌های آرمانی محاسبه شده در این پیمایش منطبق هستند و بنابراین این درزه‌ها، درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی بوده و در میدان تنش مسبب چین‌خوردگی پدید آمده‌اند (شکل ۵-۵-الف).

درزه‌های اندازه‌گیری شده در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس تا حد زیادی بر درزه‌های آرمانی محاسبه شده در این پیمایش منطبق هستند و بنابراین این درزه‌ها، درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی بوده و در میدان تنش مسبب چین‌خوردگی پدید آمده‌اند (شکل ۵-۵-ب).

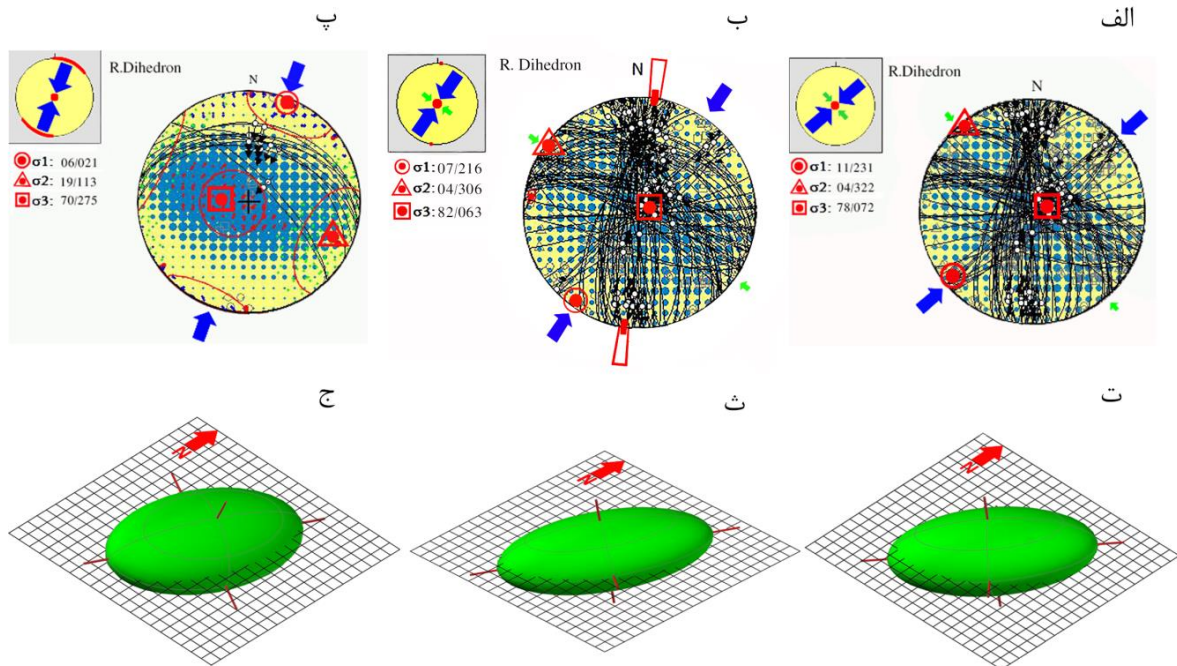
درزه‌های اندازه‌گیری شده در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس تا حد زیادی بر درزه‌های آرمانی محاسبه شده در این پیمایش منطبق هستند و بنابراین این درزه‌ها، درزه‌های مرتبط با چین‌خوردگی بوده و در میدان تنش مسبب چین‌خوردگی پدید آمده‌اند (شکل ۵-۵-پ).



شکل ۵-۵-الف- نمودار هم‌تراز قطب سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در پیمایش بخش میانی تاقدیس جنوبی چشمه-گیلاس. ب- نمودار هم‌تراز قطب سطوح درزه اندازه‌گیری شده در پیمایش ناودیس میانی چشمه‌گیلاس. پ- نمودار هم‌تراز قطب سطوح درزه اندازه‌گیری شده در پیمایش تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس. محل تمرکز قطب درزه‌های آرمانی مزدوج با مربع تو پر و تو خالی، درزه‌های کششی عرضی با دایره و درزه‌های کششی طولی با مثلث نشان داده شده است. صفحه‌ی رسم شده به رنگ قرمز، نشان دهنده‌ی سطح محوری در هر پیمایش است.

۴-۵- میدان تنش حاکم بر منطقه

در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات گردآوری شده از تعداد ۱۰۴ سطح گسلی در منطقه‌ی مورد مطالعه سه محور اصلی تنش در بازه‌ی نوزمین ساختی محاسبه شد. به این منظور ابتدا اطلاعات گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن و اطلاعات گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در سازندهای چین‌خورده‌ی مزدوران، شوربجه و تیرگان به طور جداگانه در نرم افزار Win Tensor با استفاده از روش دو وجهی عمود بر هم مورد تحلیل قرار گرفتند و میدان تنش مشخص شد. پس از آن به منظور دستیابی به حالت میدان تنش متوسط حاکم بر منطقه در بازه‌ی زمانی پس از چین‌خوردگی در منطقه‌ی مورد مطالعه، همه‌ی ۱۰۴ داده‌ی گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در سازندهای مزدوران، شوربجه، تیرگان و کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن به صورت یک‌جا مورد تحلیل قرار گرفت و میدان تنش تعیین شد. در شکل ۴-۵ سه حالت تنش محاسبه شده نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- میدان و بیضوی تنش محاسبه شده با استفاده از داده‌های گردآوری شده از سطوح گسلی موجود در سازندهای

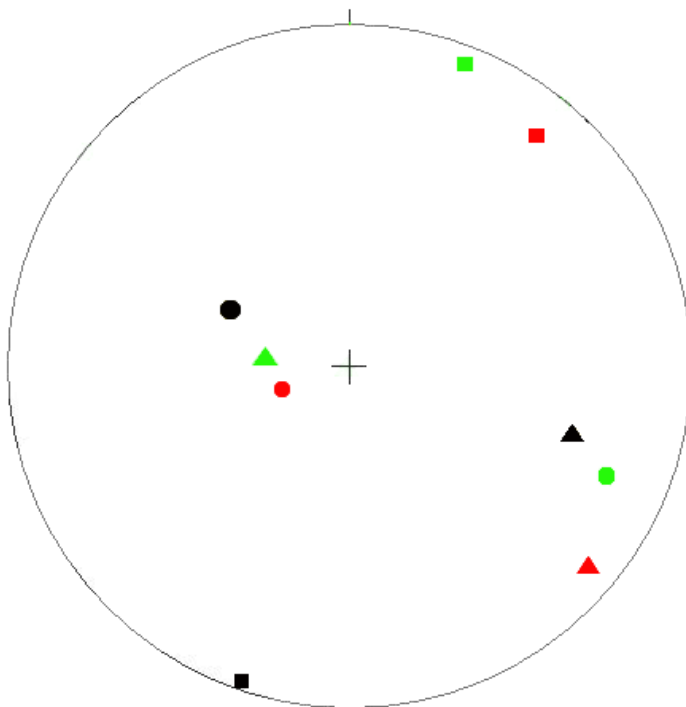
مزدوران، شوربجه و تیرگان (الف و ت)، همه‌ی داده‌ها (ب و ث) و کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن (پ و ج).

همان‌طور که در شکل ۵-۶ مشاهده می‌شود جهت تنش بیشینه‌ی فشارشی از زمان شروع گسلش در منطقه‌ی مورد مطالعه اندک اندک از راستای N 51 E به راستای N 36 E و سپس به راستای N 21 E تغییر نموده است و راستای تنش بیشینه‌ی کششی از راستای N 78 E به راستای N 63 E و سپس به راستای N 95 E تغییر نموده است.

محورهای اصلی محاسبه شده با استفاده از داده‌های جمع آوری شده از سطوح گسلی موجود در منطقه با محورهای محاسبه شده با استفاده از حل ساز و کار کانونی زلزله‌های منطقه مقایسه شد (مبنای مقایسه، محورهای محاسبه شده بر اساس سطوح برشی در کنگلومرای پلیوسن - پلیستوسن است). همان‌طور که در جدول ۵-۱ قابل مشاهده است، موقعیت δ_1 با نتایج هر سه پژوهش ذکر شده، همخوانی خوبی دارد. راستای محاسبه شده برای δ_2 و δ_3 نیز با راستاهای به دست آمده از حل ساز و کار کانونی زلزله‌های منطقه، همخوانی دارد. با این حال موقعیت محاسبه شده برای δ_2 و δ_3 در این پژوهش با موقعیت محاسبه شده توسط Zarifi et al. (2013) و Zamani G. et al. (2007) متفاوت است به طوری که در پژوهش‌های مورد بحث، δ_2 بیشتر به حالت قائم نزدیک است و δ_3 تقریباً افقی است اما در پژوهش حاضر، δ_2 تقریباً افقی و δ_3 تقریباً قائم است (شکل ۵-۷). این اختلاف تنش نیز می‌تواند نشان دهنده‌ی این مسئله باشد که از زمان شروع گسلش در منطقه‌ی مورد مطالعه، جهت‌گیری میدان تنش ثابت نبوده و دچار چرخش شده است.

جدول ۵-۱- مقایسه‌ی موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده در این پژوهش با موقعیت‌های محاسبه شده توسط سایر پژوهشگران

δ_3		δ_2		δ_1		پژوهش حاضر (کپه‌داغ خاوری)
میل	جهت میل	میل	جهت میل	میل	جهت میل	
۷۰	۲۷۵	۱۹	۱۱۳	۰.۶	۰.۲۱	با استفاده از داده‌های گسلش کنگلومرای پلیوسن- پلیستوسن
۷۸	۰.۷۲	۰.۴	۳۲۲	۱۱	۲۳۱	با استفاده از داده‌های گسلش سازندهای مزدوران، شور یجه، تیرگان
؟؟	۱۱۹	؟؟	؟؟؟	؟؟	۰.۲۷	Ansari and Zamani (2014) (شمال خاور ایران)
۰.۸/۶	۱۳۰/۸	۷۳/۳	۲۵۲	۱۴/۱	۰.۳۸/۷	Zarifi et al. (2013) (کپه‌داغ)
۳۲	۱۰.۷	۵۸	۲۹۵	۰.۳	۱۹۹	Zamani G. et al. (2007) (شمال خاور ایران)



شکل ۵-۷- مقایسه موقعیت تنش‌های اصلی محاسبه شده (سبز: پژوهش حاضر، قرمز: Zarifi et al. (2013)، سیاه: Zamani G. et al. (2007)، δ_1 با مربع، δ_2 با دایره و δ_3 با مثلث نشان داده شده است.

۵-۵- پیشنهادها

- ۱- ادامه‌ی مطالعات ساختاری در نواحی مجاور منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی این پژوهش، به منظور شناسایی ساختارهای موجود؛
- ۲- بررسی دقیق تاثیر یا عدم تاثیر گسل‌های منطقه بر رسوبات کواترنری؛
- ۳- حفر ترانشه‌های عرضی بر روی گسل چشمه گیلان و بررسی جنبش کواترنری این گسل.

منابع

منابع فارسی:

- آقاناتی، ع. (۱۳۶۵)، "نقشه‌ی ۱/۲۵۰۰۰۰ مشهد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اسماعیلی، ر.، منتظری، م.، اسماعیل‌نژاد، م.، صابر حقیقت، ا. (۱۳۹۰)، پهنه بندی اقلیمی خراسان رضوی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، نشریه‌ی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال دوم، شماره‌ی هفتم و هشتم.
- افشار حرب، ع. (۱۳۷۳)، "زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی کپه‌داغ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، ۲۷۵ صفحه.
- ترشیزیان، ه. (۱۳۷۵)، "نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ چناران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم"، انتشارات امیر کبیر، ۴۳۶ صفحه.
- ریوندی، ب.، نجفی، م.، موسوی حرمی، س. ر.، محبوبی، ا.، وحیدی‌نیا، م. (۱۳۸۹)، رخساره‌های رسوبی وچینه‌نگاری سکانشی سازند تیرگان در شرق حوضه‌ی کپه‌داغ (دره‌ی خور، شمال شرق مشهد)، مجله‌ی رخساره‌های رسوبی، سال سوم، شماره‌ی یک، صفحات ۲۳-۳۴.
- عامری، ش.، قائمی، ف.، قائمی، ف. (۱۳۹۰)، هندسه‌ی چین‌خوردگی در منطقه‌ی چشمه‌گیلاس، شمال غرب مشهد، اولین همایش ملی علمی دانشجویی انجمن علمی زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.
- فرازمند، ف.، رحیمی، ب. (۱۳۹۱a)، تحلیل نوسانات میدان تنش دیرینه‌ی موثر بر سازند مخزنی شوربچه بر پایه‌ی ساخت‌های شکننده، روستای سنگانه، شرقی‌ترین گستره‌ی ایالت کپه‌داغ، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.
- فرازمند، ف.، رحیمی، ب. (۱۳۹۱b)، سبک‌شناسی و تحلیل درز و شکستگی‌های سازند مخزنی شوربچه، شمال غرب روستای سنگانه، شرق ایالت کپه‌داغ، ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.
- فروغی گرو، ف.؛ قائمی، ف.؛ قائمی، ف. (۱۳۹۱). بررسی ساختارهای تکتونیکی تاقدیس ژرف (ارتفاعات کپه‌داغ)؛ ششمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.

- قنادیان، م.، رحیمی، ب.، شعبان، ع.، حسینی، س.ک.، (۱۳۹۰)، بررسی الگوی شکستگی‌های سازند مزدوران، شمال غرب روستای مزدوران، شرق کپه‌داغ، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.

- قنادیان، م.، رحیمی، ب.، حسینی، س.ک.، شعبان، ع.، (۱۳۹۱)، بررسی وضعیت میدان تنش موثر بر دگر ریختی سازند مخزنی مزدوران، خاور کپه‌داغ، نخستین همایش ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع وابسته.

- موسوی‌زاده، س.م.ع.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، س.ر.، نجفی، م.، (۱۳۸۷)، رخساره‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند تیرگان در برش‌های جوزک و چمن‌بید در غرب حوضه‌ی رسوبی کپه‌داغ و انطباق با نواحی شرق حوضه، *مجله‌ی پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه)*، جلد ۳۲، شماره‌ی ۳، صفحات ۳۳-۵۶.

- میرسعیدی، ن.، آریایی، ع.ا.، عاشوری، ع.، (۱۳۹۱)، ریز رخساره‌های سازند تیرگان در برش قرق، شمال چناران، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

- نواب‌پور، پ.، حیدرزاده، ق.، مافی، آ.، شیخ‌اسلامی، م.ح.، حقی‌پور، ن.، (۱۳۸۵)، پیش‌درآمدی بر آرایش تنش‌های دیرینه در گستره‌ی کپه‌داغ پس از تریاس، *فصلنامه‌ی علوم زمین*، سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۹، صفحات ۱۷۶-۱۸۳.

English references:

- Anderson, E.M., (1951), "The dynamics of faulting", Edinburgh: Oliver and boyed.
- Angelier, J., (1994), Fault slip analysis and paleo stress reconstruction, "**continental deformation**", "edited by Hancock, P. L., Pergamon press, p.53-100.
- Angelier, J. and Mechler, P., (1977), Surun method graphique de recherché des containtes principes egalement utisiabile en technique et en seismologie: La method des diedtes droites, **Bull. Soc. Geol. F. V. 7**, p. 1309-1318.
- Ansari, Sh., Zamani, A., (2014), Short – term seismic crustal deformation of Iran, "**Annals of Geophysics**", Vol.57.2.
- Berberian, M., and King, G.P., (1981), " **Towards a paleogeography and tectonics evolution of Iran**", Can. J. earth sci., 18, 210-265.

- Falcon, N. L., (1974), "**Southern Iran, Zagros mountains**", Geol. Soc. London spec. pub. 4, p. 199-211.
- Fleuty, M.J., (1964), The description of fold, "**Proceedings of the geologist association**", vol.35, p. 461-492.
- Fossen, H., 2010, "**Structural Geology**", Cambridge University press, New york, p.463.
- Hancock, P.L., (1994), "**Continental deformation**", Pergamon press, Oxford.new York.Seoul.Tokyo, P.420.
- Hollingsworth, J., Fattahi, M., Walker, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Bolourchi, M.J., Jackson, J., Copley, A., (2010), Oroclinal bending, distributed thrust and strike- slip faulting, and the accommodation of Arabia-Eurasia convergence in NE Iran since the Oligocene, "**Geophysical Journal International**".
- Mc. Kenzie, D.P., (1969), The relation between fault plane solutions for earthquakes and the directions of the principal stresses, "**Bull. Seism. Soc. Am.**" 59, 591-601.
- Motaghi, K., tatar, M., Priestley, K., (2012), Crustal thickness variation across the northeast Iran continental collision zone from teleseismic converted waves, "**Journal of Seismology**", Vol.16, P. 253-260.
- Mousavi, Z., Walpersdorf, A., Walker, R.T., Tavakoli, F., Pathier, E., Nankali, H., (2013), Global positioning system constraints on the active tectonics of NE Iran and the south Caspian region, "**Earth and planetary science letters**", 377-378, P.287-298.
- Obrochev, V.A., (1948), "**Osnovnyje certy kinetaki plastiki neotectoniki**", Izvestiya Akademii Nauk Uz SSR Sertiya Geologicheska, 5.
- Schimmrich, S.H., (1991), MS. Thesis " Evolution of computational methods of paleostress analysis using fault – striation data", College of science and mathematics, Department of Geological sciences, University of New York at Albany.
- Slemmons, D.B., (1991), "**Introduction in the geology of North America**", Decade map Vol. 1, Neotectonics of North America (edited by Slemmons, D.D.), Geological society of America, Boulder, Colorado, 1-20.
- Shabanian, E.,(2009), PhD. Thesis " Active tectonic study in northeast Iran: contribution of the accommodation of the Arabia- Eurasia convergence", Universite Paul Cezanne Aix-Marseille III.
- Shabanian, E., Siame, L., Bellier, O., Benedetti, L., Abbassi., M.R., (2009), Quaternary slip rates along the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision zone (Kopeh

Dagh mountains,northeast Iran), **“Geophysical Journal International”**, Vol. 178, P. 1055-1077).

- Shabaniyan, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L., Farbod, Y., (2010), Plio-quadernary stress state in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh- Binalud mountain ranges, **“Tectonophysics”**, Vol.480, P. 280-304.

- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, h., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., Chery, J., (2004), Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle east constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, **“geophysical Journal International”**, Vol. 157, P.381-398.

- Zamani G., B., Angelier, J., Zamani, A.,(2007), State of stress induced by plate convergence and stress partitioning in northeastern Iran, as indicated by focal mechanisms of earthquakes, **“Journal of Geodynamiaics”**, Vol.45, p.120-132.

- Zarifi, Z., Nilfouroushan, F., Raeesi, M., (2013),Crustal stress map pf Iran: insight from seismic and geodetic computations, **“Pure and Applied Geophysics”**.

پوستها

پیوست ۱ - داده‌های چین خوردگی

موقعیت سطوح لایه اندازه‌گیری شده در ناودیس قرق

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
210	35	220	37	205	60
206	52	212	45	205	80
200	35	218	55	198	60
177	25	227	52	200	75
212	42	185	28	205	68
205	30	212	30	200	75
197	35	194	30	197	58
175	25	224	40	205	48
197	30	190	25	218	40
205	25	207	28	247	23
195	30	198	27	220	37
187	30	145	20	210	60
210	30	205	65	230	60
198	35	206	70	210	50
215	30	198	65	230	55
175	28	209	50	215	60
220	40	207	75	215	65
225	55	205	62	205	60
230	37	204	60	202	50
210	45	205	68	205	30
215	45	215	60	250	25
202	32	212	48	038	40
215	38	233	50	220	45
218	40	240	36	202	60
215	30	245	25	198	62
220	26	242	42	217	43
215	35	085	34	202	50
217	36	226	30	270	25
200	33	234	35	190	17
212	42	247	35	255	20
215	40	230	35	216	12
213	40	206	42	190	17
215	35	210	65	215	25
220	50	202	70	215	25
210	40	222	84	186	20
200	37	202	83	175	25
212	45	204	75	197	25
220	47	210	85	340	02
228	43	185	50	311	10
218	47	205	70	358	15

200	45	220	42	045	22
210	33	202	70	020	05
215	43	202	72	015	20
212	40	202	70	003	25
200	45	200	68	010	27
012	22	210	30	195	80
023	20	180	22	180	70
023	31	200	15	180	80
007	22	185	63	180	65
010	25	193	45	200	60
020	25	195	75	180	65
027	35	197	70	185	80
020	37	195	75	200	70
193	80	192	80	195	85
200	85	189	82	200	83
010	20	190	50	195	75
340	20	190	77	003	77
354	10	185	75	358	72
355	10	195	62	005	85
355	10	197	80	007	82
003	10	200	85	010	80
008	20	185	70	012	85
030	20	195	80	012	80
357	12	195	55	020	75
354	15	198	60	017	80
006	11	170	80	025	82
010	18	195	80	020	88
003	12	177	80	010	80
013	18	348	15	010	75
010	78	059	03	015	90
205	60	355	10	010	85
018	70	359	10	010	70
010	80	005	10	010	80
194	80	352	08	000	85
192	85	006	08	020	85
200	90	013	25	007	75
200	90	002	10	190	85
030	02	000	15	010	87
190	82	008	67	195	85
205	85	008	70	180	60
200	90	200	80	178	80
020	80	194	80	190	70
190	80	200	72	185	60
190	65	175	60	190	60
015	60	194	65	185	80
010	85	180	70	190	70

015	70	195	65	193	70
012	85	180	70	200	70
205	90	190	67	203	70
015	42	190	75	015	75
180	90	195	70	195	70
030	40	037	05	063	15
030	25	027	15	047	20
025	20	045	10	060	25
015	30	020	15	045	30
025	20	030	05	040	30
027	30	035	20	050	30
025	20	045	05	030	30
025	20	206	85	065	40
015	25	202	70	060	25
017	20	207	70	190	35
040	25	207	70	050	20
020	25	215	80	042	40
010	30	212	63	065	15
022	25	205	90	075	20
015	15	207	75	032	18
033	20	215	85	055	12
030	25	225	80	020	25
015	20	010	60	073	15
017	35	015	45	050	30
027	25	010	50	045	25
030	10	013	30	035	20
015	30	240	25	044	20
013	20	220	10	045	20
005	30	035	10	058	25
030	28	045	05	040	25
018	30	065	10	045	20
032	25	035	20	045	15
015	30	033	20	055	15
050	27	050	10	045	25
020	25	045	15	060	10
015	25	045	20	030	10
025	30	065	15	050	10
030	30	064	10	020	10
025	30	062	15	050	15
033	20	055	20	000	10
025	20	067	15	218	10
050	25	077	10	075	15
035	20	065	20	064	17
030	20	070	20	075	10
355	30	068	30	080	12
055	30	072	15	085	10

030	35	080	15	085	10
030	30	065	10	087	10
040	30	090	10	060	10
033	90	090	15	085	15
030	70	090	10	082	20
010	15	195	85	020	20
187	10	200	60	025	60
010	10	200	70	035	62
350	15	185	60	025	70
025	05	205	80	020	50
040	05	205	40	017	40
040	10	200	25	013	55
037	10	200	25	015	45
037	10	353	20	030	53
035	10	357	20	020	68
020	10	359	20	020	65
043	23	347	15	025	15
050	15	349	15	030	30
070	20	353	20	025	20
060	05	355	17	024	25
040	07	043	05	358	50
060	10	020	20	006	55
040	05	005	07	011	50
075	08	055	28	007	50
055	07	070	10	008	45
045	10	052	15	005	50
035	20	010	20	011	50
035	15	010	12	018	60
045	15	015	21	005	48
038	10	035	20	340	47
034	20	018	20	350	40
045	20	018	15	355	52
010	10	013	18	350	55
040	15	020	20	340	52
030	10	017	20	342	65
030	20	020	20	342	45
040	15	000	20	002	48
010	25	022	20	340	40
020	30	005	22	343	45
035	15	010	20	045	63
025	10	020	30	042	89
180	15	047	15	040	82
185	50	020	20	023	50
193	45	030	20	012	70
180	45	035	20	020	88
190	60	028	25	025	87

190	73	015	20	038	72
208	65	030	18	043	53
195	65	035	20	195	90
190	55	020	18	007	77
195	65	025	18	013	87
010	78	022	58		

موقعیت سطوح لایه اندازه‌گیری شده در تاق‌دیس جنوبی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
050	65	050	42	030	60
063	65	040	55	033	55
062	65	040	48	040	55
023	65	035	55	030	60
040	60	040	30	032	55
037	55	028	58	040	55
047	45	020	45	040	55
050	60	060	13	065	25
045	55	058	10	058	10
057	13	050	10	060	15
060	15	050	13	062	20
055	13	060	13	180	80
198	75	195	40	200	55
200	55	205	50	195	60
210	40	198	50	200	50
200	45	202	40	202	53
190	45	208	50	202	55
185	55	220	50	217	80
185	50	195	55	217	80
203	75	197	76	177	45
192	75	190	88	190	50
195	80	194	80	190	47
193	70	180	60	177	50
190	72	182	55	180	50
196	83	185	55	190	45
190	40	185	40	200	85
175	45	200	40	205	85
200	40	205	70	223	90
215	88	210	90	200	70
032	85	210	82	207	55
205	80	210	70	195	65
205	55	203	55	205	60

موقعیت سطوح لایه اندازه‌گیری شده در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
205	45	200	50	025	54
195	45	203	52	027	55
210	40	198	50	022	56
205	40	195	50	022	50
203	42	197	55	030	60
193	57	205	60	025	70
202	52	190	50	020	50
024	50	020	65	012	50
008	50	020	55	024	45
020	55	027	50	023	50
025	60	020	50	020	45
015	50	026	50		

موقعیت سطوح لایه اندازه‌گیری شده در تاقدیس شمالی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
200	90	015	50	015	55
198	85	355	62	025	36
195	75	000	55	000	70
190	80	000	62	010	30
192	55	000	50	005	30
015	15	010	30	012	60
018	45	355	37	008	70
355	60	357	60	015	57
355	53	357	70	192	80
350	65	357	60	185	75
350	62	005	55	192	80
177	55	180	65		

پیوست ۲- داده‌های سطوح درزه

سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در ناودیس قرق

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
110	75	112	75	276	90
110	87	115	66	286	90
110	75	117	64	263	90
110	75	120	73	268	88
112	87	090	65	275	90
115	85	090	90	295	90
090	90	098	80	265	85
093	75	102	85	270	90
114	80	090	75	272	86
120	87	090	82	278	90
093	90	090	44	255	45
098	82	090	72	260	55
102	80	094	75	260	67
103	85	095	76	265	54
105	90	095	80	265	62
115	90	095	75	265	45
120	80	095	80	270	78
122	80	290	80	270	60
273	80	290	76	270	85
277	85	292	45	270	85
300	80	295	80	270	55
270	70	300	68	276	90
272	68	289	77	280	90
098	82	296	72	294	90
102	80	260	80	278	70
103	85	292	70	290	80
105	90	270	88	290	80
115	90	275	85	295	60
120	80	265	80	295	80
122	80	272	77	265	60
273	80	275	90	275	90
277	85	278	88	285	75
300	80	292	77	285	70
270	70	295	85	285	76
272	68	255	80	253	73
282	80	260	55	295	80
286	75	265	70	088	90
286	80	265	60	098	80
093	62	270	70	102	86
095	73	270	60	108	77

095	85	275	60	110	88
097	62	275	80	097	82
098	72	285	70	102	80
100	65	288	72	082	80
110	85	286	86	083	83
090	87	105	90	275	75
095	80	105	90	289	85
095	85	106	60	305	80
095	85	119	75	282	85
098	83	105	80	090	50
100	80	080	85	090	75
103	70	110	70	093	60
105	70	105	85	105	80
075	60	108	86	110	90
090	25	100	80	115	65
095	90	110	80	115	80
100	65	091	90	116	70
100	80	105	62	118	80
110	90	102	65	118	80
115	78	287	85	120	45
077	67	290	90	120	70
077	70	295	90	125	75
105	75	275	70	125	80
112	72	285	80	115	90
115	70	270	75	117	73
095	87	270	82	120	85
097	75	270	65	120	85
100	82	270	90	123	85
115	82	272	70	123	60
093	82	273	80	123	60
107	63	280	73	125	50
114	78	295	70	125	90
088	88	290	81	125	60
100	80	291	75	126	82
090	90	290	60	090	90
092	90	295	70	090	90
093	72	295	30	090	90
095	90	298	80	095	90
106	80	115	85	097	90
107	87	115	85	105	80
085	90	112	80	105	80
095	83	113	62	110	80
095	85	118	60	112	90
095	90	275	90	112	80
098	87	275	60	113	85
100	80	293	90	115	80

100	85	270	75	115	85
100	95	270	80	115	90
100	80	270	70	115	80
100	85	270	80	115	80
102	80	273	80	115	70
095	90	232	75	244	70
102	85	235	60	248	70
110	85	235	90	251	75
117	85	240	80	255	75
120	80	240	90	255	80
123	85	245	70	261	72
125	80	255	80	263	80
128	85	065	83	264	85
130	70	075	85	265	85
130	65	123	82	267	80
130	70	152	63	080	45
127	65	152	60	085	44
127	85	157	72	090	47
128	60	160	57	093	46
130	65	160	90	130	62
130	70	162	90	135	72
120	70	167	70	302	45
120	80	178	75	312	80
120	90	225	60	305	80
122	87	227	80	042	64
124	90	230	75	050	60
124	90	235	72	050	52
125	90	237	62	053	45
127	75	245	65	075	70
130	90	258	75	075	65
130	80	315	80	075	75
130	90	322	80	082	56
127	80	327	65	085	55
063	85	086	80	085	70
125	80	140	70	163	80
125	90	143	75	165	50
127	90	143	70	168	58
135	90	155	60	330	65
145	55	163	75	335	60
150	60	172	75	345	62
160	60	175	80	353	75
160	86	175	63	355	55
165	90	175	70	355	50
167	60	176	75	077	72
174	78	177	60	080	77
214	70	183	68	085	67

215	60	183	80	087	75
223	80	215	70	335	55
224	60	215	65	045	45
225	70	225	75	060	65
230	82	234	67	070	58
075	55	045	75	220	80
085	57	055	85	224	80
217	73	034	70	222	72
315	54	035	70	245	67
315	46	035	85	235	85
340	54	040	90	225	85
343	50	045	77	253	75
355	54	048	70	250	85
310	80	055	67	323	85
310	90	060	70	300	85
302	62	138	75	218	80
305	60	140	70	050	88
340	55	156	72	235	75
345	90	120	72	241	47
315	90	125	80	245	47
340	90	130	80	140	47
300	75	122	70	143	67
305	75	150	65	160	47
315	85	125	85	215	45
322	75	122	82	222	60
327	60	130	78	245	65
335	63	135	47	245	90
335	60	120	70	127	75
035	85	123	77	130	80
040	75	140	89	132	82
040	50	153	70	133	78
043	50	218	80	135	85
065	90	225	80	140	80
065	80	230	78	145	67
045	77	245	55	147	62
055	80	245	75	215	80
065	90	250	65	225	80
068	90	250	60	252	70
070	78	212	90	255	77
073	73	220	85	262	80
075	85	225	83	264	90
075	85	215	90	155	55
075	73	218	87	230	55
030	50	220	90	248	53
035	57	225	80	067	78
035	58	227	82	073	85

040	55	245	70	078	75
040	75	246	80	123	70
050	45	247	70	225	80
060	65	218	80	255	75
036	80	218	77	055	65
227	75	240	80	140	70
260	45	240	80	143	55
267	75	240	90	145	80
040	75	242	75	145	65
040	70	243	85	145	80
050	50	243	80	145	60
067	85	245	80	150	80
040	90	158	75	135	80
040	70	160	90	135	90
060	90	160	70	135	90
063	90	165	75	140	60
065	90	165	70	145	55
082	50	170	75	150	85
040	90	170	80	152	85
343	85	158	80	155	70
345	85	158	80	133	75
353	75	160	70	135	70
225	42	160	80	135	80
232	50	160	80	135	87
240	70	160	90	135	80
240	70	160	85	135	80
220	85	162	90	140	80
220	70	165	70	140	70
220	72	165	80	142	80
223	85	165	90	145	90
223	80	170	50	145	80
225	80	174	90	145	80
225	80	175	72	145	80
225	72	175	75	147	65
230	80	175	85	147	50
232	70	175	70	150	70
233	75	177	87	150	70
247	70	177	80	150	80
223	82	170	80	150	90
225	80	172	68	150	85
225	70	087	89	150	85
225	90	070	90	152	80
230	70	070	85	154	90
234	80	080	90	155	75
235	80	082	90	155	75
235	60	320	75	138	70

235	70	325	75	140	75
237	90	327	80	265	80
237	80	135	80	263	90
240	85	135	70	247	80
240	90	138	40	247	90
247	55	265	65	030	70
247	80	265	70	212	80
248	75	265	85	035	80
250	75	265	80	215	80
250	80	267	85	040	80
253	80	267	75	186	70
255	87	015	45	190	80
257	15	020	75	190	80
260	75	030	90	197	80
263	75	035	90	210	70
265	85	035	80	213	90
265	80	180	75	215	90
216	60	210	80	218	70
180	90	212	80	018	75
185	90	217	70	190	65
185	75	180	72	200	75
185	90	180	75	205	80
185	70	182	70	210	40
185	65	190	65	210	62
190	80	190	75	182	88
200	80	190	70	200	70
200	80	195	85	205	75
203	80	207	75	210	45
205	75	210	68	208	50
190	50	180	85	350	70
000	50	347	90	350	75
352	82	014	90	020	70
352	75	015	80	025	70
355	70	000	70	174	78
357	77	013	82	175	85
015	90	015	80	180	82
185	70	190	50	190	90
190	60	192	87	205	77
190	70	197	87	189	70
190	88	180	80	195	75
200	80	170	80	203	70
175	75	207	85	205	60
200	62	207	68	210	77
185	70	208	80	030	65
192	77	180	65	015	55
200	70	180	70	018	45

005	65	205	50	210	85
010	50	207	70	187	80
030	52	210	60	187	55
185	75	213	65	188	65
193	70	192	85	193	70

سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در تاقدیس جنوبی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
120	70	262	42	105	40
090	73	120	75	100	75
122	82	130	85	142	52
305	70	122	82	145	75
297	78	135	85	303	85
265	50	137	82	305	75
307	77	313	80	305	45
055	40	080	70	030	75
320	70	310	70	075	45
295	70	290	50	105	80
305	70	035	75	105	80
220	50	332	50	105	80
132	68	030	75	047	60
337	80	115	85	120	76
057	70	302	85	290	85
315	65	100	90	112	85
310	85	110	90	112	75
335	85	124	35	115	80
220	78	105	70	027	85
218	90	100	80	114	90
215	70	100	50	135	55
105	50	330	75	125	60
210	85	108	75	115	70
082	75	120	65	315	80
125	55	125	60	305	85
118	55	305	65	050	70
292	90	235	30	130	60
300	80	080	45	120	75

سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در ناودیس میانی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
057	56	115	55	142	45
055	60	310	80	025	55
330	65	030	20	118	76

128	80	095	67	135	90
210	50	135	85	205	62
202	46	092	55	210	70
300	85	085	60	085	62
025	60	117	80	094	85
293	85	198	55	080	85
323	60	210	46	085	90
095	75	112	65	135	80
200	30	197	55	075	80
200	60	235	15	207	35
085	90	115	70	090	85
135	80	210	45	090	90
075	80	110	50	180	85
207	35	217	35	120	70
210	45	055	50	260	75
100	80	265	62	275	60
090	80				

سطوح درزه‌ی اندازه‌گیری شده در تاق‌دیس شمالی چشمه‌گیلاس

جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب	جهت شیب	شیب
272	85	265	85	095	55
105	40	117	75	075	80
098	75	057	70	262	55
130	50	312	85	254	55
098	65	136	42	255	45
088	88	250	50	237	65
053	55	105	85	260	65
264	65	220	70	145	65
063	55	100	70	018	45
265	40	300	55	095	75
235	70	102	70	325	75
273	75	000	50	300	80
295	85	280	75	060	65
294	70				

Abstract:

The studied area is a part of southern margin of eastern Kope Dagh and is located at north- west of Mashhad. In this area the Mesozoic – Tertiary formations (Mozduran, Shurijeh, Tirgan, Sarcheshmeh and Neogene conglomerate) Have been affected by folding and faulting. The folds have a general orientation as north west- south east. The faults have tow main orientations as north east- south west and north west- south east.

In this research geometry of folding has been studied in north of Cheshmeh Gilas village and north-east of Chenaran town as tow symbols of folding in the Kope Dagh. North of Cheshmeh Gilas folding including southern anticline, median syncline and northern anticline based on Fleuty's fold classification (1964) are Gently plunging- Upright, Horizontal-Upright and Horizontal- steeply inclined types respectively. North- east of Chenaran folding (Ghorogh syncline) is horizontal- Steeply inclined type. Northern Cheshme Gilas anticline is Tight type and Ghorogh syncline, southern Cheshme Gilas anticline and median Cheshme Gilas syncline are Open type in feluty (1964) fold classification based on inter limb angel.

In this zone tow groups of faults have been studied. The first group has a north west- south east general orientation and consists of Bozmehrun, Baru, Ardak and Cheshme Gilas faults. Bozmehrun and Baru faults have a right –lateral strike-slip revers mechanism. Ardak and Cheshme Gilas faults have a revers mechanism. The second group has a north east- south west general orientation and consists of Muchenan and BahmanJan faults. Muchenan and BahmanJan faults have right-lateral revers and left-lateral revers mechanism respectively. Some faults like Ardak, Bahmanjan and Muchenan faults introduced for first time in this study.

Comparison of measured joints in Mozduran, Shurijeh, Tirgan formations and neogene conglomerate in south-eastern and north-western terminations on north of Cheshmeh Gilas folding and Ardak, Ali-Abad, Radkan, Bahman jan and Muchenan sections on Ghorogh syncline with geometric elements of studied folds, indicates that the joints are related to folding.

Using fault slip analysis on Mozduran, Shurijeh, Tirgan Formations and neogen conglomerate we find out the state of three main stress axes δ_1 , δ_2 and δ_3 during neo tectonics period are 039/01, 309/00 and 214/89 respectively.

Key words: structural analysis, folding, faulting, fracturing, paleo stress, neo tectonics.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth sciences

**Detailed Structural Analysis of Folding and Faulting in
North of Mashhad**

Raefeh Khalili Torghabeh

Supervisor

Parviz Omidy

September 2015