

## تحلیل استرین نهایی با استفاده از پورفیروکلاستهای سازند گچساران، مطالعه موردی در تاق‌دیس رامهرمز

بابک سامانی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

عادل ساکی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

هدی مختاربند

دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۴

[b.samani@scu.ac.ir](mailto:b.samani@scu.ac.ir)

### چکیده

در این پژوهش با استفاده از مطالعات بافت ساختاری و تحلیل استرین نهایی به بررسی تغییرات کمی استرین در واحدهای سنگی سازند گچساران در بخش فرا دیواره گسل راندگی رامهرمز پرداخته شده است. در مقطع عمود بر امتداد گسل و در طول ترانسه طبیعی موجود در منطقه تعداد ۱۳ نمونه سنگی مورد بررسی قرار گرفت. پورفیروکلاستهای موجود در نمونه‌ها بعنوان نشانگر جهت مطالعه استرین مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج مطالعات بافت ساختاری حاکی از وجود یک مؤلفه برش راستگرد در منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل استرین حاکی از وجود رابطه نسبی بین مقادیر استرین و فاصله از گسل است. تحلیل سه بعدی بیضوی استرین نشان دهنده شکل بیضوی استرین بصورت بیضوی کشیده شده سه محوری می‌باشد. تحلیل مقادیر عدد تاوایی جنبش شناختی در صفحه XZ بیضوی استرین نشان دهنده دامنه تغییرات پارامتر تاوایی بین  $0.39 < Wk < 0.85$  و عملکرد مؤلفه های استرین برش محض و برش ساده و رخداد پدیده توزیع استرین در منطقه است. نتایج حاصل از مقادیر درصدی مؤلفه های برش محض و برش ساده نشان دهنده وجود مؤلفه استرین برشی عمومی با غلبه مؤلفه برش محض می باشد.

**کلمات کلیدی:** بیضوی استرین، استرین نهایی، عدد تاوایی جنبش شناختی، گسل رامهرمز، توزیع استرین

### مقدمه

پیرولیت‌ها، قلوه‌های موجود در سنگ‌های کنگلومرایی دگرشکل شده، پورفیروکلاست‌ها، پورفیروپلاست‌ها و برخی از انواع فسیل‌ها، بخشی از مهمترین نشانگرهای استرین در مطالعات استرین نهایی می باشند. در بسیاری از جایگاه‌های زمین شناسی عدم حضور نشانگرهای مناسب باعث ایجاد محدودیت در انجام اینگونه مطالعات گشته است. اما در سالهای اخیر به دلیل افزایش تنوع روشهای اندازه‌گیری استرین و استفاده از نشانگرهای گوناگون این محدودیت‌ها تا حد زیادی از بین رفته است (Xypolias, 2010; Fossen, 2010).

به گونه‌ای که امروزه از عناصری همچون استیلولیت‌ها، رگچه‌های کششی، کلاستهای آذرین و رسوبی، فابریک‌های مختلف در سنگهای دگرگونی، برخی کانیه‌ها و ... بعنوان نشانگرهای استرین استفاده می‌شود (Fossen, 2016). با توجه به امکانات و محدودیتهای موجود در انجام اینگونه مطالعات، تحلیل های استرین نهایی با استفاده از نشانگرهای موجود معمولاً در یک، دو و یا سه بعد قابل اجرا می‌باشد (Ramsay and Huber, 1983). معمولاً نتایج حاصل از مطالعات استرین در صفحه دربرگیرنده مقادیر حداکثر و حداقل استرین (XZ plane of strain) درارای بیشترین اهمیت در اینگونه مطالعات می‌باشد (Fossen, 2016).

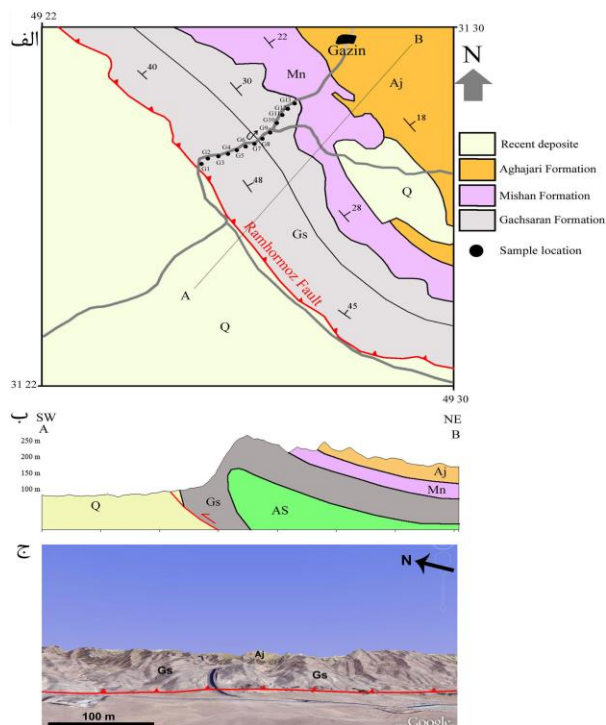
با محاسبه و در دست داشتن مقادیر استرین در صفحه اصلی XZ بیضوی استرین و با به کارگیری توابع تصویری ارائه شده توسط محققین مختلف زمین شناس امکان شناخت ماهیت دو بعدی و یا حتی سه بعدی استرین در برخی

مبحث تحلیل استرین نهایی در مناطق دگرشکلی یکی از موضوعاتی است که در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از زمین شناسان ساختاری قرار گرفته است. با توجه به امکانات و داده‌های قابل برداشت در صحرا، مطالعات استرین زمین شناسان را به درک پارامترهایی همچون مقادیر کمی استرین تکتونیک در سطوح اصلی بیضوی استرین، جهت یابی محورهای اصلی بیضوی استرین، شکل و ماهیت بیضوی استرین و نوع استرین‌های عمل کننده در شکل‌گیری و تکامل ساختاری هر منطقه رهنمود می‌سازد.

مطالعات استرین معمولاً در دو مقوله استرین پیشرونده (Incremental Strain) و استرین نهایی (Finite strain) مورد توجه محققین قرار می‌گیرد. در مطالعات استرین پیشرونده تغییرات کمی مقادیر استرین در هر لحظه از زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این رو این گونه مطالعات بصورت عمومی در آزمایشگاه‌های زمین شناسی و در حین مدل سازی های تکتونیک قابل اجرا می‌باشد. در مطالعات استرین نهایی محصول نهایی دگرشکلی مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر کمی استرین در آخرین مرحله دگرشکلی مورد تحلیل قرار خواهد گرفت چرا که زمین شناسان همواره با آخرین محصول دگرشکلی در صحرا مواجه می‌شوند و از این رو تنها پرداختن به مقوله استرین نهایی امکان پذیر می‌باشد.

مهمترین اصل در مطالعات استرین نهایی یافتن نشانگرهایی است که محققین را در انجام اندازه‌گیریهای کمی یاری کند. نشانگرهایی همچون اولیت‌ها،

راستاهای شمال باختر - جنوب خاور می باشد (Alavi, 1994). پهنه مورد مطالعه در زیرپهنه فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. زیرپهنه فروافتادگی دزفول بخشی از پهنه جنوبی زاگرس بوده که به بوسیله ساختارهای گسله کازرون در شرق و جنوب شرق و پهنه گسله بالارود در شمال و شمال غرب محصور شده است. این بخش از زاگرس دارای ویژگیهای منحصر به خود بوده و به همین دلیل بعنوان یک زیرپهنه مجزا معرفی شده است (Alavi, 2004). این بخش از زاگرس نسبت به مناطق همجوار بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر دچار پایین افتادگی شده است و از لحاظ زمین ساختی نسبت به سایر مناطق زاگرس پایدارتر بوده و شدت چین خوردگیها در آن کمتر است. بررسیهای ژئوفیزیکی حاکی از افزایش عمق پی سنگ و وجود ضخامت زیاد رسوبات در این بخش از زاگرس می باشد. در این بخش از زاگرس سازند آهکی آسماری فاقد بیرون زدگی بوده و تنها در تاقدیس آسماری دارای رخنمون می باشد و بیشتر میادین نفتی ایران در زیرپهنه فرو افتادگی دزفول قرار گرفته اند. منطقه مورد مطالعه در ۷۵ کیلومتری شمال شرق اهواز و در یال جنوبی تاقدیس رامهرمز قرار گرفته است. این تاقدیس یک تاقدیس مرتبط با گسلش بوده و شکل گیری و تکامل آن در ارتباط با عملکرد گسل رامهرمز می باشد. در نتیجه عملکرد این گسل تاقدیس رامهرمز دچار بالا آمدگی و برگشتگی در یال جنوبی گشته است (شکل الف و ب). عملکرد معکوس این گسل باعث راندگی سازند گچساران بر روی سازندهای قدیمی تر و همجواری سازند گچساران با رسوبات عهد حاضر شده است. وجود ترانشه جاده اهواز هفتکل که بصورت عرضی تاقدیس رامهرمز را قطع کرده است فرصت مناسبی جهت بررسی مقطع این تاقدیس و بررسی و تحلیل استرین نهایی با استفاده از پورفیروکلاستهای سازند گچساران ایجاد کرده است (شکل ج).



شکل ۱- الف) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. ب) نیمرخ زمین شناسی شماتیک از توالی واحدهای سنگی. ج) تصویر ماهواره ای مایل از ترانشه موجود در تاقدیس رامهرمز.

مواقع امکان پذیر می باشد. بطور کلی روشهای مختلفی برای اندازه گیری و تحلیل استرین نهایی در سنگها وجود دارد (Xypolias, 2010). از آنجا که در شرایط طبیعی سنگها طی مکانیزمهای مختلفی دگرشکل می شوند بنابراین ممکن است روشهای مختلف تحلیل استرین نتایج متفاوتی را دربر داشته باشند (Ramsay and Huber, 1983; Xypolias, 2010). جهت یابی و پراکندگی محور بزرگ نشانگرهای استرین در سنگهای دگرشکل شده حاوی اطلاعات ارزشمندی از مقدار استرین و تاریخچه دگرشکلی می باشد. در این تحقیق مطالعات استرین نهایی با استفاده از پورفیروکلاستهای موجود در سازند گچساران در بخشی از فرادیواره گسل رامهرمز در استان خوزستان صورت گرفته است. همچنین سعی شده است به بررسی کمی مقادیر استرین، عدد تاوایی جنبش شناختی (Kinematic vorticity number)، و ارتباط پارامترهای استرین در بخشهای مختلف گسل و تاثیر فاصله گسل بر پارامترهای استرین پرداخته شود.

### روش کار

در این پژوهش پورفیروکلاستهای موجود در سازند گچساران بعنوان یک نشانگر استرین مورد بررسی قرار گرفته اند. در نتیجه عملکرد نیروهای برشی حاصل از مولفه حرکتی گسل رامهرمز سازند گچساران در فرادیواره گسل تاریخچه استرین موجود در منطقه را به خوبی درخود حفظ کرده است. به گونه ای که توسعه نشانگرهای برش و شکل گیری پورفیروکلاستها در این سازند به خوبی قابل مشاهده می باشد. بنابراین این پورفیروکلاستها ابزار مناسبی جهت تحلیل کمی پارامترهای استرین ایجاد کرده اند. در این تحقیق مقادیر نسبت ابعادی پورفیروکلاستها در صفحه XZ بیضوی استرین اندازه گیری شد و با استفاده از نرم افزار EllipsFit مقادیر استرین تکتونیکی و جهت یابی محور بزرگ بیضوی استرین با استفاده از روشهای  $Rf/\theta$  و روش هذلولی محاسبه گردید. با محاسبه مقادیر استرین تکتونیکی ( $R_s$ ) و تعیین راستای جهت یابی محور بزرگ بیضوی استرین نسبت به یک خط مبنا و با استفاده از تابع تصویری  $(R_{xz}-\theta-K-\gamma)$  (Fossen, 2010) مقادیر استرین برشی، و ضریب شکل بیضوی استرین ( $K$ ) محاسبه گردید. همچنین با استفاده از تابع تصویری  $(R_{xz}-\theta)$  (Bailey et al., 1999) مقادیر پارامتر عدد تاوایی جنبش شناختی جهت فهم ماهیت توزیع استرین و مقادیر درصدی عملکرد برش محض و برش ساده تعیین گردید.

### بحث

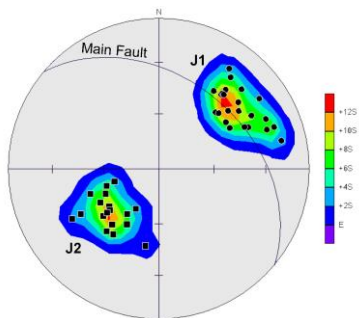
#### جایگاه زمین شناسی

کمر بند چین و راندگی زاگرس بخشی از کمر بند کوهزایی آلپ- هیمالیا است که در حاشیه شمال خاوری صفحه عربستان قرار گرفته است (Berberian and King, 1981). این کمر بند کوهزایی شامل ۸ تا ۱۴ کیلومتر از رسوبات کامبرین تا عهد حاضر می باشد که بر روی پی سنگ کامبرین قرار گرفته اند. تکامل ساختاری و زمین ساختی کمر بند کوهزایی زاگرس در نتیجه سه رخداد اصلی (۱) فروانش پوسته اقیانوسی دریای تتیس جوان به زیر پوسته قاره ای ایران در طول کرتاسه پایینی، ب) جاگیری و رورانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان بر روی حاشیه صفحه آفر-عربی و توسعه افیولیت های زاگرس در اواخر کرتاسه، ج) برخورد قاره ای-قاره ای صفحه آفر-عربی با صفحه ایران در اواخر کرتاسه به بعد صورت گرفته است (Alavi, 2004). در راستای شمال خاور به جنوب باختر، کمر بند کوهزایی زاگرس شامل سه بخش اصلی: ۱) کمر بند ماگمایی ارومیه دختر، ۲) کمر بند دگرگونی سندج-سیرجان و ۳) کمر بند چین و راندگی زاگرس با

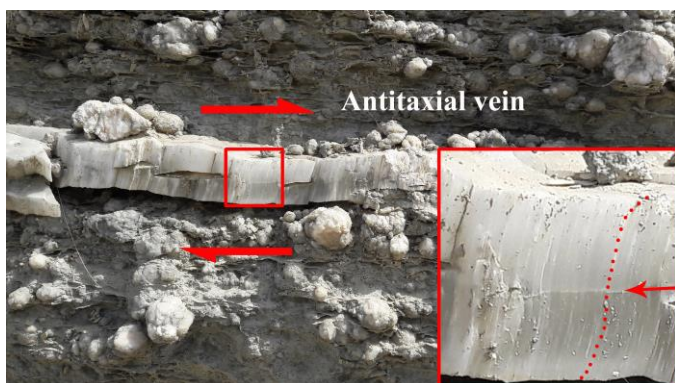
## بررسی های ساختاری و بافت ساختاری

همانگونه که ذکر گردید ترانشه طبیعی موجود در مسیر اهواز هفتکل که ظاهرا در نتیجه عملکرد یک گسل عرضی قدیمی می باشد مسیری مناسب جهت انجام بررسیهای زمین شناسی در دل تاقدیس رامهرمز ایجاد کرده است. احتمالا این گسل عرضی در نتیجه نرخ حرکت متفاوت در امتداد گسل رامهرمز بصورت متقاطع و عرضی شکل گرفته است. از آنجا که دیواره های این ترانشه طبیعی در جهت عمود بر محور چین و گسل رامهرمز بوده این امکان را فراهم می کند تا در یک مقطع عرضی مناسب و در مقطعی که تقریبا به موازات صفحه  $XZ$  بیضوی استرین می باشد به بررسی و مشاهده ساختارها و بافت ها پرداخت. مشاهده لایه بندی با شیب به سمت شمال-شرق، برگشتگی لایه ها در یال جنوبی تاقدیس را به خوبی نشان داده و وجود ساختارهای گسلی و پهنه های گسلی بطور غالب در راستایی همسو با شیب گسل اصلی رامهرمز در طول دیواره های ترانشه به خوبی نمایان است (شکل ۲). مهمترین ساختارهای شکنده در منطقه شکستگیها و درزه های موجود در فرادیواره گسل می باشند که در مسیر پیمایش به وفور توسعه یافته اند. براساس بررسیهای صحرایی دو دسته سیستم درز قابل تفکیک بوده که هر دو سیستم درز دارای امتدادی تقریبا موازی با امتداد گسل رامهرمز بوده و تنها در جهت شیب با یکدیگر در تضاد می باشند (شکل ۲). یک دسته از شکستگیها دارای شیبی همسو و دسته دیگر دارای شیبی ناهمسو با سیستم گسلش اصلی می باشند. طبق مشاهدات صحرایی براساس ارتباط هندسی دو سیستم درز، دلیلی بر تقدم یا تاخر تشکیل سیستم های درز حاصل نگردید و ظاهرا می توان چنین استنباط کرد که هر دو سیستم درز در ارتباط با یک رخداد دگرشکلی توسعه یافته اند. (شکل ۳)، تحلیل استریوگرافی سیستم های درز در منطقه را نشان می دهد. در اکثر مواقع رشد کانیهایی ثانویه و رشته های ژیبس در بین صفحات هر دو سیستم درز قابل مشاهده است (شکل ۴).

براساس تحلیل های مزوسکوپی و میکروسکوپی رشته های ژیبس توسعه یافته در درزه ها، وجود خط رشد میانی قابل مشاهده بوده و بر اساس عدم انطباق و پیوستگی کریستال های توسعه یافته و کریستال های حاشیه دیواره درزه ها می توان استنباط نمود که این رگه ها از نوع رگه های آنتی تکسیال بوده (Paschier and Throw, 2006) و بخشهای مرکزی و خط رشد رگه ها قدیمی ترین بخش رگه ها بوده و با نزدیک شدن به دیواره درز، کریستال های رشته ای ژیبس جوان تر از بخشهای مرکزی می باشند (شکل ۴).

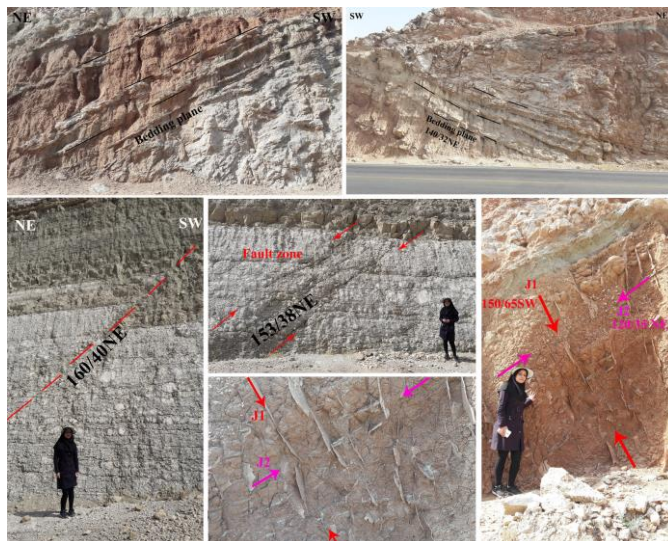


شکل ۳- تحلیل استریوگرافی سیستم های درز غالب در منطقه.



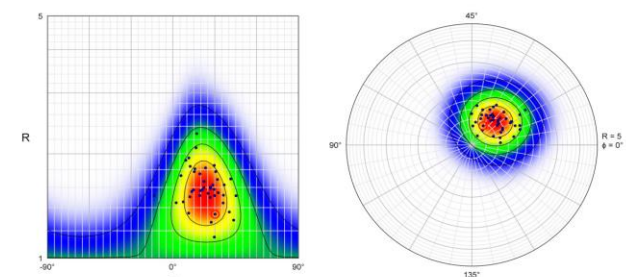
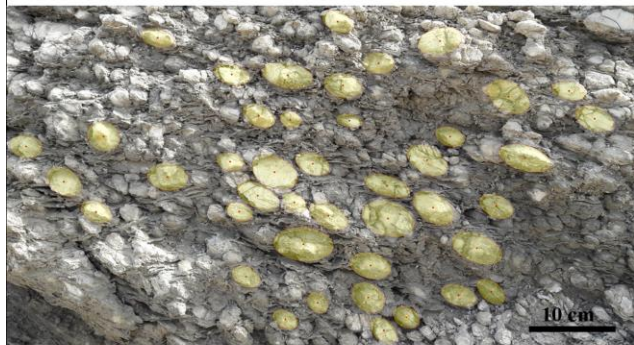
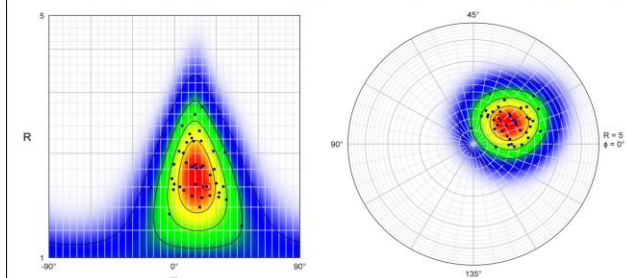
شکل ۴- رشد فیبرهای ژیبس در رگه ها و درزه های موجود در منطقه.

تحلیل بافت ساختاری و بررسی نشانگرهای برش حاکی از عملکرد یک مؤلفه برشی راستگرد در منطقه می باشد. یکی از مهمترین و فراوان ترین نشانگرهای برش در منطقه توسعه ساختارهای نوی سیگما ( $\sigma$ -Type structure) می باشد که عدم تقارن موجود در این ساختارها وجود یک مؤلفه برشی غالب راستگرد را نشان می دهد (شکل ۵). از دیگر نشانگرهای برش توسعه ساختارهای نامتقارن نوع دلتا ( $\delta$ -Type structure) می باشد. فراوانی ساختارهای نوع دلتا به اندازه فراوانی ساختارهای نوع سیگما نبوده و این ساختارها فراوانی کمتری دارند. توسعه این ساختارها بوپژه در بخشهایی که پورفیروکلاستهای ژیبسی در زمینه ای از رسوبات رسی قرار گرفته اند توسعه بهتری را نشان می دهد. این ساختارها نیز عملکرد یک مؤلفه برشی راستگرد غالب را نمایان می کند (شکل ۶). همانگونه که پیش از این اشاره شد عدم تقارن موجود در رگه های ژیبسی توسعه یافته در درزه ها نیز نشان دهنده مؤلفه برشی راستگرد می باشد (شکل ۴).

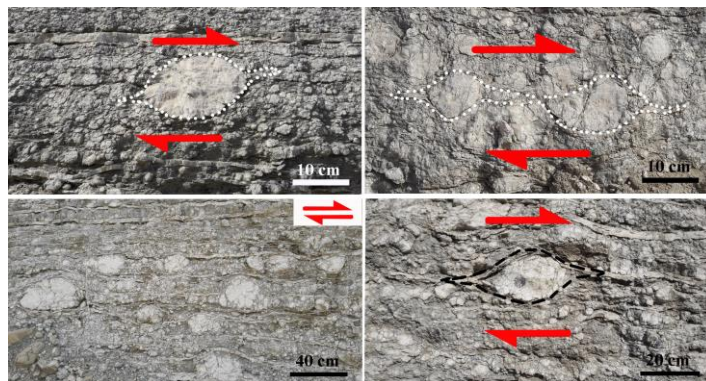


شکل ۲- نمایش لایه بندی، سامانه های گسلی و سیستم های درزه موجود در فرا دیواره گسل رامهرمز.

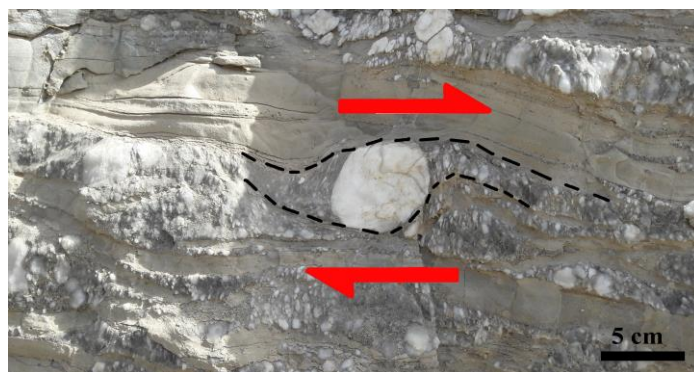
جهت یابی محور بزرگ هر نشانگر با استفاده از روش (Ramsay and  $Rf/\phi$ ) جهت یابی محور بزرگ هر نشانگر با استفاده از روش (Ramsay and  $Rf/\phi$ ) و روش (Huber, 1983) و روش (Volmer, 2011) مقادیر نسبت استرین تکتونیکی در صفحه حداکثر-حداقل بیضی استرین (XZ plane of strain ellipsoid) محاسبه گردید. برای هر نمونه حداقل ۴۰ اندازه گیری صورت پذیرفت. (شکل ۷) محاسبه مقادیر استرین تکتونیکی (RXZ) برای ایستگاه های ۳ و ۹ را نشان می دهد.



شکل ۷- محاسبه مقادیر استرین تکتونیکی در صفحه XZ بیضی استرین با استفاده از روشهای  $Rf/\phi$  و Polar در ایستگاههای شماره ۳ و ۹.



شکل ۵- توسعه ساختارهای برشی نوع  $\sigma$  در پورفیروکلاستهای گچی.



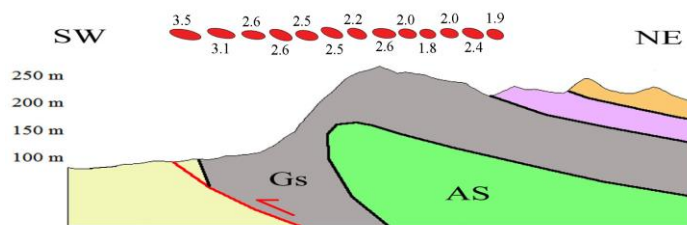
شکل ۶- توسعه ساختارهای برشی نوع  $\delta$ .

### تحلیل کمی استرین نهایی

در این پژوهش با استفاده از پورفیروکلاستهای موجود در سازند گچساران بعنوان نشانگرهای استرین به تحلیل کمی استرین نهایی پرداخته شده است. در بسیاری از موارد درجه میزان همگونی یا غیرهمگونی بدنه سنگ نسبت به نشانگرهای استرین تاثیرات مهمی بر نتایج اینگونه مطالعات خواهد گذاشت (Vitale and Fossen, 2016; Mozali, 2008; Xypolyas, 2010). از این رو معمولاً بهتر است از نشانگرهایی استفاده شوند تا نتایج حاصله معیاری از میزان استرین کلی بدنه سنگ را در اختیار گذارند. معمولاً نشانگرهای کربناتی که در زمینه ای از سنگهای مشابه با حداقل درجه ناهمگونی قرار دارند، همچون آلیت ها و پیزولیت ها و برخی فسیل ها با پوسته کربناته بعنوان برخی از نشانگرهای مناسب یاد می-شوند (Fort and Beiley, 2007; Xypolias, 2010). در برخی موارد به دلیل متنوع بودن فازهای کاناییی بهتر است از فازکاناییی که نشان دهنده رفتار مکانیکی متوسط توده سنگ باشد استفاده گردد. بعنوان مثال در بسیاری از موارد در شیست ها و گنیس ها از کانی کوارتز که دارای رفتاری میانگین در فازهای کاناییی همچون میکاها و فلدسپات ها می باشد استفاده می گردد (Xypolias, 2010; Fossen, 2016). از این رو در این تحقیق با توجه به تشابه درجه همگونی نشانگرها و زمینه سنگ می توان انتظار داشت که نتایج حاصله معیاری از مقادیر استرین در کل بدنه سنگ باشد.

طی یک پیمایش صحرایی با راستای تقریبی آزیموت ۴۰ درجه تعداد ۱۳ ایستگاه به منظور اندازه گیریهای استرین انتخاب گردید (شکل ۱). از هر ایستگاه عکس تهیه گردید و با استفاده از روش بهترین بیضی محاطی نسبت ابعادی و

از آنجا که ممکن است روشهای مختلف تحلیل استرین نتایج و مقادیر متفاوتی را ارائه دهند بهتر است تا مقادیر میانگین روشهای مختلف بعنوان مقدار نهایی استرین تکتونیکی مورد توجه قرار گیرد (Xypolyas, 2010; Fossen, 2016). (شکل ۸) مشخصات صفحه XZ بیضوی استرین در راستای مسیر پیمایش را نشان می دهد.

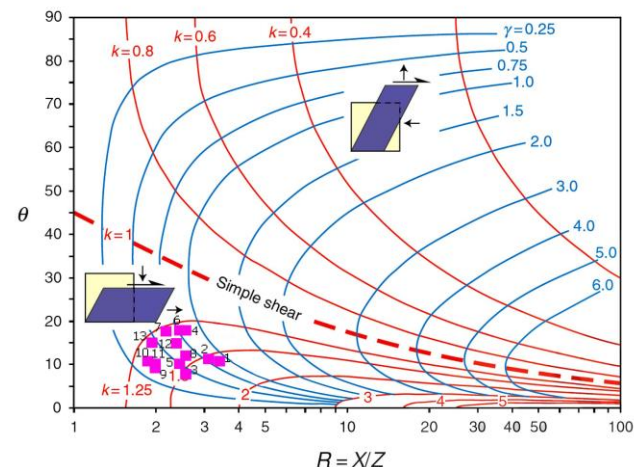


شکل ۸- مشخصات صفحه XZ بیضوی استرین (نسبت استرین و جهت یابی محور بزرگ بیضی) در طول مسیر پیمایش. موقعیت ایستگاه ها در شکل ۱ نشان داده شده اند.

در روشهای استفاده شده در این پژوهش جهت یابی محور بزرگ هر پورفیروکلاست (زاویه  $\theta$ ) نسبت به یک راستای مرجع (خط افق) اندازه گیری شد و در نهایت میانگین جهت یابی نشانگرهای استرین در هر ایستگاه نسبت به راستای مرجع (زاویه  $\theta$ ) و مقادیر استرین تکتونیکی (RXZ) توسط نرم افزار محاسبه گردید. (جدول ۱) مقادیر استرین تکتونیکی و جهت یابی محور بزرگ بیضوی استرین را نشان می دهد. با استفاده از تابع تصویری  $Rxz-\theta-K-\gamma$  (Fossen, 2016) مقادیر ضریب شکل سه بعدی بیضوی استرین (Strain (K) (ellipsoid shape) تعیین گردید (شکل ۹). با توجه به دامنه تغییرات پارامتر شکل بیضوی استرین ( $1.3 < K < 1.7$ ) می توان نتیجه گرفت که ماهیت سه بعدی بیضوی استرین نشان دهنده استرین کشیده (Prolate strain) می باشد (شکل ۹).

جدول ۱- مقادیر استرین تکتونیکی، زاویه  $\theta$ ، ضریب K و Wk در ایستگاه های مختلف.

Sample	Rxz	$\theta$	K	Wk
1	3.5	10.7	1.7	0.7
2	3.1	11.4	1.6	0.68
3	2.6	7.8	1.5	0.5
4	2.6	18.6	1.3	0.85
5	2.5	10.5	1.4	0.58
6	2.5	18.4	1.3	0.81
7	2.2	18	1.3	0.78
8	2.6	12	1.4	0.62
9	2	8	1.35	0.39
10	1.8	11.2	1.3	0.58
11	2	10.6	1.35	0.5
12	2.4	15	1.35	0.7
13	1.9	15	1.3	0.62



شکل ۹- تعیین ضریب شکل بیضوی استرین (K) با استفاده از تابع تصویری  $Rxz-\theta-K-\gamma$  (Fossen, 2016).

### تحلیل عدد تاوایی جنبش شناختی

عدد تاوایی جنبش شناختی (Kinematic vorticity number) (Wk) یک پارامتر بدون بعد از چرخش نسبی در استرین می باشد و نشان دهنده میزان کشیدگی متناسب با جابجایی در جریان دگرشکلی می باشد. در حقیقت تاوایی مشخص کننده چرخش لحظه ای نسبت به کشیدگی لحظه ای در یک نقطه می باشد (Means et al., 1980; Fossen, 2016). بسیاری از روشهای متداول تحلیل تاوایی از داده های جمع آوری شده از روی صفحه XZ بیضوی استرین نهایی (صفحه عمود بر برگواگی و موازی با خط وارگی) استفاده می کنند که جریان دگرشکلی با یک مولفه تاوایی به موازات محور Y بیضوی استرین همراه می باشد. دامنه تغییرات پارامتر تاوایی بین صفر و یک می باشد که مقدار صفر نشان دهنده جریان دگرشکلی برش محض و مقدار یک نشان دهنده جریان دگرشکلی برش ساده می باشد. پارامتر تاوایی دارای مقیاس خطی نبوده اما می تواند بوسیله محاسبه مقادیر درصدی مولفه های برش محض و ساده به یک پارامتر با مقیاس خطی تبدیل شود. Fort and Bailey, 2007 سه میدان یا قلمرو دگرشکلی برش ساده، برش محض و برش عمومی را مورد توجه قرار دادند.

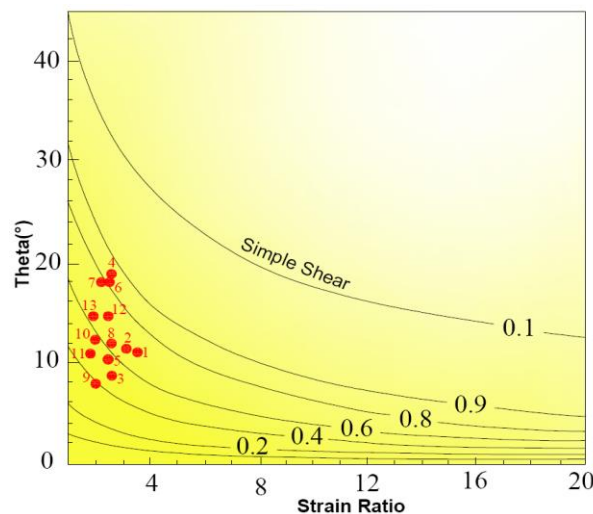
دگرشکلی که در آن برش محض مولفه غالب می باشد تغییرات پارامتر تاوایی بین ۰ تا ۰/۳ می باشد و در آن برش ساده کمتر از ۰/۲۰ درصد نقش دارد. در مقابل دگرشکلی که در آن برش ساده مولفه غالب می باشد تاوایی دارای مقادیر بزرگتر از ۰/۹۵ می باشد و در آن برش ساده بیشتر از ۸۵ درصد نقش ایفا می کند. مقادیر تاوایی بین ۰/۳ تا ۰/۹۵ نشان دهنده جریان دگرشکلی عمومی می باشد. تاکنون روشهای مختلفی جهت اندازه گیری عدد تاوایی در سنگهای دگرشکل شده ارائه شده است که برخی از مهمترین آنها عبارتند از: (۱) روش استفاده از راستا و نسبت ابعادی پورفیروکلاست ها و تعیین نسبت ابعادی بحرانی (Wallis, 1995).

(۲) استفاده از روش هیپرپولیک (Simpson and De paor, 1997) و اندازه گیری کسینوس زاویه حاده هذلولی تفکیک کننده میدانهای چرخش جلویی (Forward rotate) و چرخش پشتی (Backward rotate) در پورفیروکلاست ها.

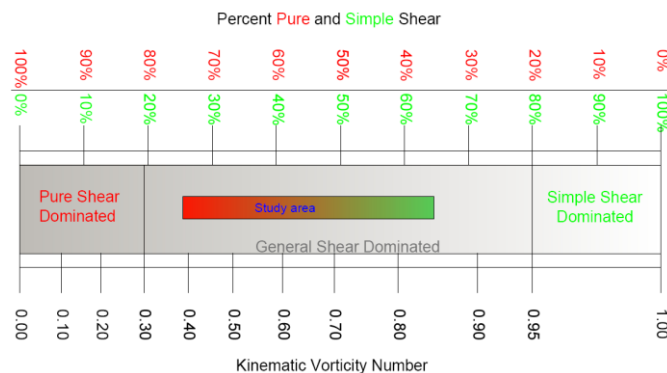
(۳) روش استفاده از اندازه گیری فابریک محور C کانی کوآرتز و نسبت استرین در صفحه XZ بیضوی استرین (Wallis, 1995) و (۴) استفاده از ارتباط بین نسبت

این نتایج حاکی از وقوع پدیده توزیع استرین و عملکرد همزمان مولفه های برش محض و برش ساده در منطقه می باشد. تعیین مقادیر درصدی برش محض و برش ساده حاکی از عملکرد ۷۵ تا ۴۰ درصد مولفه برش محض و ۲۵ تا ۶۰ درصد برش ساده در منطقه مورد مطالعه می باشد (شکل ۱۱). از این رو می توان بیان کرد که منطقه عموماً تحت تاثیر برش عمومی با غلبه بیشتر برش محض قرار گرفته است.

استرین و جهت یابی محور بزرگ بیضوی استرین نسبت به یک خط مبنا ( $\theta$ ) (Bailey et al., 1999). در این پژوهش با استفاده از روش (Bailey et al., 1999) و با به کارگیری تابع تصویری  $Rxz-\theta$  مقادیر عدد تاوایی جنبش شناختی برای نمونه های مختلف تعیین گردید (شکل ۱۰). نتایج نشان دهنده دامنه تغییرات مقادیر عدد جنبش شناختی تاوایی بین  $0.39 < Wk < 0.85$  می باشد (جدول ۱).



شکل ۱۰- تعیین مقادیر عدد تاوایی جنبش شناختی با استفاده از تابع تصویری  $Rxz-\theta$  (Bailey et al., 1999).



شکل ۱۱- تعیین مقادیر درصدی برش محض و برش ساده (Bailey and Eyster, 2003).

گسل می باشد. بررسی جهت یابی محور بزرگ بیضوی استرین حاکی از همسویی محور بزرگ بیضوی استرین با شیب گسلش در منطقه است. تحلیل شکل بیضوی استرین نشان دهنده بیضوی کشیده سه محوری (Three axial prolate ellipsoid) می باشد ( $1.3 < K < 1.7$ ). بررسی های عدد جنبش شناختی تاوایی حاکی از وقوع پدیده تفکیک استرین (Strain partitioning) و عملکرد هر دو مولفه های برش محض و برش ساده در منطقه می باشد. همگرایی مایل صفحه عربستان به سمت ایران مهمترین عامل در وقوع پدیده توزیع استرین بوده و وجود همزمان مولفه های تنش فشاری و برشی بر روی بسیاری از گسل های تراستی منطقه زاگرس در ارتباط با همین پدیده می باشد. تعیین مقادیر درصدی برش محض و برش ساده حاکی از وجود برش عمومی (General shear) با غلبه بیشتر برش محض (Pure shear dominated) در محدوده مطالعاتی می باشد.

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات ساختاری و بافت ساختاری حاکی از توسعه ساختارهای شکنا و شکل پذیر در این بخش از واحد سنگی سازند گچساران می باشد. به گونه ای که بدنه واحدهای سنگی دچار خرد شدگی و تغییر شکل درجا شده و در بیشتر نقاط توسعه پورفیروکلاستهای گچی را می توان مشاهده نمود. تحلیل بافت ساختاری و مطالعه ساختارهای نوع  $\delta$  و  $\sigma$  و رگه های کششی حاکی از وجود یک مولفه برشی راستگرد در منطقه می باشد. تحلیل کمی استرین و محاسبه مقادیر استرین تکنونیک با استفاده از نشانگرهای پورفیروکلاست نشان دهنده تغییرات استرین در محدوده  $1.9 < Rxz < 3.5$  است. بررسی مقادیر کمی استرین و موقعیت مکانی نمونه ها به طور نسبی نشان دهنده بیشتر بودن مقادیر استرین در مناطق نزدیک به گسل اصلی و مقادیر کمتر استرین در نواحی دورتر از

- Alavi, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211-238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution, *American Journal of Science* 304, 1-20.
- Bailey, C.M., Gilmer, A.K., Marquis, M.N., 1999, A tale of two shear zones: the vorticity and strain path of two greenschist facies shear zones, *Geological Society of America Abstracts with Programs* 31 (7), 59.
- Bailey, C.M., Eyster, E.L., 2003, General shear deformation in the Pinaleno Mountains metamorphic core complex, Arizona, *Journal of Structural Geology* 25, 1883-1893.
- Berberian, M., King, G.C.P., 1981, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265.
- Fort, A.M., Bailey, C.M., 2007, Testing the utility of the porphyroclast hyperbolic distribution method of kinematic vorticity analysis, *Journal of Structural Geology* 29, 983-1001.
- Fossen, H., 2010, *Structural geology*, Cambridge University Press, 481p.
- Fossen, H., 2016, *Structural geology second edition*, Cambridge University Press, 520p.
- Means WD, Hobbs BE, Lister GS, Williams PF., 1980, Vorticity and noncoaxiality in progressive deformations. *Journal of Structural Geology* 2:371-378
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2006, *Microtectonics*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg- New York.
- Ramsay. J.G., Huber, M.I., 1983. *The Techniques of Modern Structural Geology. Strain Analysis*, Academic Press, London, 1: 307p.
- Simpson. C., De Poar, D.G., 1997, Strain and kinematic analysis in general shear zones, *Journal of Structural Geology*, 15: 1-20.
- Vitale. S. Mazzoli S., 2008. Heterogeneous shear zone evolution: the role of shear strain hardening/softening. *Journal of Structural Geology* 30:1383-1395.
- Vollmer. F.W., 2011, *EllipseFit 2.0*. <http://www.frederickvollmer.com/ellipsefit/>.
- Wallis. SR., 1995. Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa belt, SW Japan, *Journal of Structural Geology* 17:1077-1093.
- Xypolias. P., 2010, Vorticity analysis in shear zones: A review of methods and applications, *Journal of Structural Geology*. 42, 1-21.