

# شناخت گسل‌های پنهان و ارتباط آن با دگرشکلی‌های موجود در جنوب خاور زاگرس با استفاده از رهیافت دورسنجی

نوشته : فاطمه مهشادینا\*

## Studies of Basement Faults and their Deformational Style in Southeast Zagros by Application of Remotely Sensed (RS) Method

By: F. Mahshadnia\*

### چکیده

ناحیه مورد مطالعه در جنوب خاور بخش چین خورده - رانده زاگرس واقع است و تحت تأثیر جنبش دوباره ساختارهای زیرسطحی و زایش تغییرشکل‌های جوان در کوهزایی آلپ پایانی قرار گرفته است. استفاده از داده‌های دورسنجی در این ناحیه نشان داد که این ناحیه دارای پیچیدگی‌های ساختاری ناشی از اثر برهم افتادگی دگرشکلی‌های حاصل از فعالیتهای جوان تر خطواره‌های عرضی، بر ساختارهای چین خورده - رانده بخش پیشانی کوهزاد زاگرس است. با استفاده از تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای و بررسی شواهدی مانند: هندسه خمیده لولای چین‌ها و وجود دگرشکلی‌های مشابه در ساختارهای زیرسطحی، زایش راستاهای متفاوت چین خورده، تداخل محور چین‌ها، زایش چین‌های کم شیب و رخنمون توده‌های نمکی پروتروزویک بالایی، دو سامانه از گسل‌های عرضی زیرسطحی در منطقه مورد مطالعه معرفی شده است. سامانه اول با راستایی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^{\circ}$  بر پایه رخنمون توده‌های نمکی در راستای آنها و جابه‌جایی چپگرد ساختارهای چین خورده - رانده شناسایی شده است. در حالی که سامانه دوم با راستایی در فاصله آزیموتی  $270^{\circ}$  تا  $360^{\circ}$  توانایی کمتری در دی‌پیرسم و رخنمون ساختن توده‌های نمکی داشته و بدین ترتیب توده‌های نمکی بسیار کمی در راستای آنها دیده شده است. بر مبنای هندسه خمیده چین‌های بخش پیشانی کوهزاد، جا به جایی راستگرد این سامانه تحلیل شده است.

همچنین با تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، به نظر می‌رسد که بیشینه تشیی با آزیموت تقریبی  $20^{\circ}$  در منطقه حاکم بوده و یا می‌باشد و عملکرد آن به صورت ایجاد دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج (با مؤلفه چیره راستالغز) نمایان شده است. مؤلفه راستالغز چپگرد مشاهده شده در راستای گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $0^{\circ}$  تا  $90^{\circ}$  و همچنین مؤلفه راستالغز راستگرد مشاهده شده در راستای گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $270^{\circ}$  تا  $360^{\circ}$  در منطقه مورد مطالعه، توجیهی بر این احتمال است. با توجه به شباهت‌های بسیار نمودار آماری خطواره‌های ساختاری جنوب خاور و شمال باختر زاگرس، الگوی ساختاری ارائه شده در منطقه مورد مطالعه را به احتمال می‌توان برای تمامی زاگرس در نظر گرفت.

افزون بر این، الگوی ساختاری پیشنهاد شده، می‌تواند برخی دلایل احتمالی را مبنی بر توزیع غیریکنواخت گنبد‌های نمکی در منطقه مورد مطالعه، بیان دارد. شمال عراق و جنوب خاور زاگرس به‌عنوان حاشیه شمالی و شمال خاوری صفحه عربی و بخش پیشانی کوهزاد آلپی توروس - زاگرس، شباهت‌های بسیاری با الگوی زمین ساخت پی سنگی بخش شمال خاور صفحه عربی در عربستان سعودی دارند. هم راستایی بیشتر گسل‌های برشی مزدوج منطقه مورد مطالعه و همچنین چین خوردگی کم شیب حاصل از فعالیت آنها، با راستای گسل‌های پی سنگی و چین‌های جوان پوشاننده آنها در بخش شمال خاوری صفحه عربی در عربستان سعودی بیان کننده این امر است که این گسل‌ها بسیار ژرف و بنابراین، پی سنگی هستند.

**کلید واژه‌ها:** گسل‌های پنهان، انواع دگرشکلی، جنوب خاور زاگرس و رهیافت دورسنجی

### Abstract

The study area is located in southeast of the fold-thrust belt of Zagros. The belt is influenced by sub-surface structures and the creation of young deformations during the late Alpine Orogeny. Remotely sensed data showed that the area suffered

structural complications due to the influence of the superimposition of deformation resulted from the younger transverse lineaments over the foreland fold-thrust structures. Two systems of sub-surface transversed faults have been identified, using the visual interpretation of satellite images, review of the evidences such as curvilinear hinge geometry of the folds and the existence of similar deformations in the sub-surface structures, formation of different folded trends, axial interaction of the folds, generation of brachyanticlines, and alignment of the upper proterozoic salt plugs.

The first system has an identified trending 0 to 90 on the basis of their left-lateral displacement of the fold-thrust structures and trend of the salt plugs. While the second system, trending 270 to 360 has a lower capability in diapirism and outcrop of the salt plugs; Therefore, a weak alignment of salt plugs is observed in their trend. On the basis of the curvilinear folded geometry in the foreland part of the orogen, right-lateral displacement was analyzed for this system.

while Statistical analysis of the structural lineaments extracted from the satellite images shows that the principal stress axis, trending 20, is more dominant in the area. The performance of this stress resulted in two systems of conjugate shear faults with dominant strike-slip component. The left-lateral strike-slip component is observed in the sub-surface faults trending 0 to 90. The right-lateral strike-slip component is visible in the sub-surface faults trending 270 to 360. With respect to various similarities in statistical histograms of the structural lineaments of southeast and northwest of Zagros, the suggested structural pattern in the area under study, could probably be applicable for all of the Zagros.

Furthermore, the suggested structural pattern could assist to verify and explain some of considered probable reasons for the inconsistent distribution of the salt domes in the area.

The northern part of Iraq and southeast of Zagros, the north and northeast margins of the Arabian plateau, have many similarities with the basement tectonic pattern of the northeast Arabic plate in Saudi Arabia. The similar trend of most conjugate shear faults and also the brachyanticlines (in the area of study) with the strike of the basement faults and their overlapping young folds in the northeast of the Arabic plate in Saudi Arabia indicate that these faults are deep-seated and therefore of basement type.

**Key words:** Basement Faults, Deformational Style, Southeast Zagros and Remotely Sensed (RS) Approach

#### مقدمه

در ابتدا، جستجوی گسل‌های زیرسطحی منطقه مورد مطالعه، از راه تفسیر و استخراج بصری خطوطها از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ در باندهای گوناگون در مقیاس ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰ انجام گرفت سپس شواهدی از دگرشکلی‌های فرانهاد (Superimposed) بر چین‌خوردگی‌های کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس به همراه نمودهای سطحی توده‌های نمکی این منطقه ارائه شد.

در ضمن، در تأیید وجود این گسل‌های زیرسطحی و عملکرد آنها، که از تفسیر بصری و بررسی داده‌های دورسنجی بدست آمده، مقایسه‌ای با شواهد موجود در نقشه‌های مغناطیس‌هوایی (Yousefi & Friedberg, 1978) این منطقه صورت گرفت.

همچنین با تحلیل آماری اثر سطحی سامانه‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، الگوی ساختاری سامانه گسل‌های برشی مزدوج در منطقه معرفی شد که با ارائه شواهد و دلایل ساختاری و زمین‌ساختی، پی

در این بررسی، مطالعات ریخت زمین‌ساختی ناحیه جنوب خاور زاگرس با به کارگیری روش‌های دورسنجی، مورد توجه قرار گرفته است. برای انجام مطالعات دقیق‌تر، تصاویر ماهواره‌ای منطقه تهیه شده و سپس با تفسیر تصاویر به دست آمده، شناسایی عوامل کنترل‌کننده زمین‌ساخت منطقه صورت گرفته است، این امر تنها از راه تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. تفسیر داده‌های دورسنجی، با داده‌ها و مشاهدات صحرائی، نمونه برداری و حتی اکتشافات زیرسطحی، تأیید شود.

بررسی‌های دورسنجی برای دستیابی به اطلاعات زمین‌ساختی ناحیه مورد مطالعه، با توجه این مطلب انجام گرفت که پدیده‌های زمینی در چشم‌اندازهای مختلف، مقیاس‌های متفاوت و دید چند طیفی، متنوع هستند و همچنین کاهش بازدیدهای صحرائی، بر پوشش مطالعاتی کل منطقه تأثیر می‌گذارد.

## کلیات

سنگی بودن آنها تحلیل شده است. چنین الگوی ساختاری می‌تواند پاسخهای مناسبی برای برخی ابهامات در منطقه مورد مطالعه فراهم آورد.

منطقه مورد مطالعه، بخش جنوب خاوری کمر بند چین خورده - رانده زاگرس است و در محدوده طول جغرافیایی  $51^{\circ}00'$  تا  $57^{\circ}00'$  خاوری و عرض جغرافیایی  $26^{\circ}00'$  تا  $32^{\circ}00'$  شمالی واقع است.

پهنه جنوب خاور زاگرس به دلیل پیچیدگی‌های ساختاری ناشی از برهم افتادگی دگرشکلی‌های حاصل از گسل‌های زیرسطحی و دگرشکلی‌های بخش پیشانی زاگرس و نیز به علت موقعیت مکانی خود، همواره مورد مطالعه طرح‌های اکتشافی و لرزه خیزی با استفاده از داده‌های مختلف به ویژه دورسنجی و زمین فیزیکی بوده است. در هر حال، استفاده از سبک و الگوی ساختاری دگرشکلی‌های سطحی، در شناسایی عملکرد گسل‌های زیرسطحی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

هدف این پژوهش، جستجو و تعیین موقعیت این گسل‌های زیرسطحی در منطقه و تعیین عملکرد آنها با استفاده از سیمای ریکت‌زمین ساختی ساختارهای سطحی منطقه مورد مطالعه است. همچنین سعی شده است موقعیت عمقی این گسل‌ها بر مبنای داده‌های زمین فیزیکی (مغناطیس هوایی) تحلیل شود.

در آخر، سازوکار گسل‌های زیرسطحی تعیین شده و تحلیل ساختاری و آماری گسل‌های مربوطه برای دستیابی به یک الگوی ساختاری در منطقه جنوب خاور زاگرس، بررسی شده است.

در راستای این پژوهش، به علت وسعت منطقه جنوب خاور زاگرس، به دلیل پوشش وسیع، استفاده از داده‌های دورسنجی مکانی مناسب تشخیص داده شد. لذا برای انجام این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۵ - TM) منطقه جنوب خاور زاگرس استفاده شده است (شکل ۱).

## معرفی شواهد از روی تصاویر ماهواره‌ای

اجزای ساختاری مشاهده شده بر در تصاویر ماهواره‌ای، طبیعت ناهمگن واتنش و دگرشکلی را در یک بررسی ناحیه‌ای نشان می‌دهد و معرف ایجاد دگرشکلی‌های جوان به همراه توسعه چین خوردگی - رانندگی در خلال کوهزایی آلپ پایانی است.

از آنجا که خطواره‌های مشخص سطحی را اغلب نمی‌توان به عنوان عامل این دگرشکلی‌ها در نظر گرفت، لذا این دگرشکلی‌ها را می‌توان به عملکرد گسل‌های زیرسطحی نسبت داد.

## ۱) جستجو و استخراج خطواره‌های ساختاری از تصاویر ماهواره‌ای

در مطالعه تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس  $1:1000000$ ، ابتدا با تفسیر و استخراج بصری، سیمای ریکت‌زمین ساختی، مانند خطواره‌ها، چین خوردگی‌ها و گنبدهای نمکی تعیین شده است.

در بررسی ساختاری تصاویر ماهواره‌ای، دو عامل اساسی در توصیف عملکرد گسل‌های زیرسطحی بیشتر مورد توجه قرار گرفت:

- دگرشکلی‌های فرانهاده بر چین خوردگی کمر بند چین خورده - رانده جنوب خاور زاگرس،

- توده‌های نمکی که سنگهای پوششی را شکافته و به شکل گنبدهای نمکی در سطح تظاهر یافته‌اند.

## ۲) دگرشکلی‌های فرانهاده بر چین خوردگی کمر بند چین خورده - رانده

### جنوب خاور زاگرس

#### ۱- هندسه خمیدگی ناحیه لولایی چین‌ها: در منطقه جنوب خاوری

کمر بند چین خورده - رانده زاگرس (نواحی فارس - لارستان)، راستای چین خوردگی در محدوده طول جغرافیایی  $51$  تا  $57$  درجه خاوری، بدین ترتیب مشاهده می‌شود:

- در طول جغرافیایی  $51$  تا  $53$  درجه خاوری، راستای چین خوردگی‌ها، شمال باختری - جنوب خاوری است.

- بین محدوده طول جغرافیایی  $53$  تا  $55$  درجه خاوری، راستای چین خوردگی‌ها، باختر شمال باختری - خاور جنوب خاوری است.

- بین طول جغرافیایی  $55$  تا  $56$  درجه خاوری، راستای چین خوردگی‌ها، بطور تقریبی، خاوری - باختری است.

- در فاصله طول جغرافیایی  $56$  تا  $57$  درجه خاوری، راستای چین خوردگی‌ها، خاور شمال خاوری - باختر جنوب باختری است.

- تغییر تدریجی در راستای چین خوردگی‌ها از باختر به خاور در بخش جنوب خاوری زاگرس، به صورت کماتی از چین‌ها نمایان می‌شود.

#### ۲- راستاهای متفاوت چین خوردگی و تداخل محور چین‌ها: با توجه به

امتداد ساختارهای چین خورده در منطقه مورد مطالعه، راستای کلی ناحیه لولایی برخی از چین‌ها، از راستای حاکم بر ساختارهای چین خورده در آن منطقه پیروی نمی‌کند. در بیشتر موارد، محور چین‌ها همدیگر را قطع کرده و تداخل ناحیه لولایی چین‌ها مشاهده می‌شود.

شواهدی از تداخل محوری چین‌ها در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر است

- چین جنوب خاور تاقدیس شو (شکل ۲ الف)، تداخل ناحیه لولایی تاقدیس نمک با چین جنوبی آن

- تداخل محوری دو چین جنوبی تاقدیس نخ (شکل ۳ الف).

ماهواره‌ای دیده می‌شود، وجود آثار شکستگی و نیز جا به جایی در سطوح بیرون زده برخی از این گنبدهاست که ظاهری خمیده را در تصاویر نمایان می‌سازند.

بررسی آثار توده‌های نمکی در بخش جنوب خاور زاگرس و نیز توجه به چین خوردگی‌های ملایم منطقه، نشان می‌دهد که توده‌های نمکی در ناحیه لولایی بیشتر تاقدیس‌های کم شیب یا در نزدیکی انتهای ناحیه لولایی آنها رخنمون دارند.

**شواهد زمین فیزیکی در منطقه مورد مطالعه:** در راستای بررسی‌های زمین فیزیکی به منظور دستیابی به نتیجه‌ای مطمئن‌تر در شناخت گسل‌های زیرسطحی و عملکرد این گسل‌های مؤثر در دگرشکلی منطقه مورد مطالعه، از نقشه‌های مغناطیس هوایی استفاده شده است. راهنمای این نقشه‌ها در شکل ۲ - د نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است که این بررسی به دلیل در دسترس نبودن کل نقشه‌های مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه، فقط در بخشهایی از منطقه انجام گرفته است.

### تحلیل ساختاری شواهد دگرریختی‌های سطحی و ارتباط آن با بررسی‌های زیرسطحی

با توجه به خطواره‌های استخراج شده از این تصاویر، توصیف عملکرد آنها بر کمر بند چین خورده - رانده در منطقه مورد مطالعه، به صورت زیر تحلیل می‌شود.

به طور کلی بیشتر خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه جنوب خاور زاگرس که آزمونوتی بین صفر تا  $90^\circ$  دارند، هندسه خمیدگی چپگردی را در نواحی لولایی چین‌ها ایجاد کرده‌اند. همچنین در محدوده این تصاویر ماهواره‌ای، خطواره‌های دیگری در فاصله آزمونوتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  استخراج شده که با مطالعه آنها و نیز دیگر ساختارها و دگرریختی‌های فرانهاده شده بر آنها، مشخص می‌شود که عملکرد این دسته از خطواره‌ها به صورت هندسه‌ای از خمیدگی راستگرد در نواحی لولایی چین‌ها در سطح منطقه بوده است. در اینجا، تنها به چند نمونه قابل توجه که امتداد بیشتری دارند، به همراه دگرشکلی‌های سطحی و زیرسطحی حاصل از آنها در منطقه مورد مطالعه اشاره می‌شود.

خطواره شماره ۳ (شکل ۲ الف): گذر این خطواره ساختاری از ناحیه لولایی تاقدیس‌ها، موجب خمیدگی چپگرد در هندسه آنها شده است. در راستای این خطواره ساختاری، گنبد‌های نمکی سری هرمز برونزد دارند.

در تطابق با بررسی‌های زیرسطحی به گونه‌ای که در شکل ۲ - ب دیده می‌شود، در محل عبور خطواره شماره ۳، امتداد گسل احتمالی ۷۴۵، امتداد توده مغناطیسی جنوب خاور تاقدیس فورقون، خاور محور ناودیس

**۳- چین خوردگی‌های کم شیب:** در بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه چین‌های جنوب خاور زاگرس، مشاهده می‌شود که یک دست تاقدیس به صورت چین گنبدی (Pericline) متقارن با محورهای دوپلانژی و شیب ملایم در پهلوهای خود تشکیل شده‌اند و ناحیه لولایی آنها در منطقه مورد مطالعه گسترش چندانی ندارد و به همین دلیل وسعت چین خوردگی قابل توجهی را نسبت به بقیه چین‌های زاگرس نشان نمی‌دهند.

شواهدی از چین خوردگی ملایم در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر دیده می‌شود:

- چین خوردگی ملایم در شمال تاقدیس بویون (شکل ۲ الف)، در شمال چین خوردگی مزبور نیز چین کم شیبی دیده می‌شود که با تاقدیس شو تداخل محوری دارد، تاقدیس نمک و چین جنوبی آن.

واحدهای سنگی رخنمون یافته در نواحی لولایی تمامی چین‌های مذکور، بیشتر مربوط به بخش سنگ آهک گوری با سن میوسن میانی است.

- چین کم شیب گنبدی شکل در جنوب باختر تاقدیس چمپه (شکل ۳ الف) که در هسته این تاقدیس واحدهای سازند میشان برونزد دارد، دو راستای چین خورده در جنوب تاقدیس نخ که رخنمون واحدهای سنگی

در نواحی لولایی این دو چین بیشتر مربوط به سازند گچساران می‌باشد، فراخاست بسیار ملایم و باریک در ادامه شمال باختری تاقدیس گاویست که رخنمون واحدهای سنگی آن در بخش لولا از سازندهای میشان و گچساران تشکیل شده است، چین خوردگی ملایم در جنوب باختر تاقدیس شو که برونزد واحدهای سنگی در ناحیه لولایی این چین مربوط به سازند جهرم است.

بر پایه شواهد ارائه شده از راستاهای متفاوت چین خورده و تداخل محور چین‌ها و نیز شواهد چین خوردگی کم شیب در منطقه جنوب خاور زاگرس، ملاحظه می‌شود که برخی از شواهد ذکر شده، در منطقه مشترک و یکسان است.

علت این شباهت و همچنین دلیل زایش راستاهای متفاوت چین خوردگی، تداخل محور چین‌ها و نیز چین خوردگی‌های ملایم در منطقه مورد مطالعه، در بخش‌های بعد توضیح داده می‌شود.

### ۳) گنبد‌های نمکی (توده‌های نمکی بیرون زده - Breached Salt Plug)

گنبد‌های نمکی منطقه، از نظر محل قرارگیری در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس، شکل و اندازه، تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند. اما آنچه که به طور کلی در مورد بیشتر این گنبد‌ها اهمیت دارد قرارگیری آنها در محل خمیدگی ناحیه لولایی چین‌ها و یا با کمی فاصله از محل انحناست. مسئله دیگری که در مورد گنبد‌های نمکی قابل ذکر است و در تصاویر

هسته‌های نمکی به وجود آورده‌اند. در نتیجه، این تاقدیس‌ها در راستاهای ساختاری با فواصل آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  و  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  دیده می‌شوند. پس از تشکیل تاقدیس‌های کم شیب منطقه، با فعالیت بیشتر ساختارهای زیرسطحی و مسطح شدن و فرسایش چینه‌ها، این توده‌های نمکی به سطح رسیده و به صورت گنبد‌های نمکی آشکار شده‌اند.

خطواره شماره ۲۷، که عملکرد ساختاری آن به صورت خمیدگی راستگرد در نواحی لولایی تاقدیس‌ها قابل مشاهده است (شکل ۳ الف). در راستای این خطواره ساختاری، سه گنبد نمکی رخنمون دارد. از محل بیرون زدگی این توده‌های نمکی، خطواره‌های شمال خاوری - جنوب باختری دیگری نیز عبور کرده‌اند.

در محل عبور خطواره ساختاری شماره ۲۷ بر روی شواهد زیرسطحی (شکل ۳ ب)، امتداد گسل احتمالی  $340^\circ$  به طور آشکار انحنای راستگردی را نشان می‌دهند. ترازهای پی سنگی  $9000$  تا  $12000$  متری زیر سطح دریا نیز در محل عبور این خطواره، هندسه‌ای از خمیدگی راستگرد را نمایش می‌دهند. تراز  $12000$  متری این خمیدگی را آشکار مشخص می‌کند.

بر پایه مشاهدات گفته شده در محدوده این تصویر نیز، بروز سطحی بیشتر توده‌های نمکی در محل برخورد خطواره‌های ساختاری در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  صورت گرفته است. در حالی که گنبد‌های نمکی در امتداد گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  رخنمون کمتری دارند و دلیل ظهور برخی از توده‌های نمکی در راستای آنها (با توجه به مشاهدات) احتمالاً قرارگیری در محل تلاقی این خطواره‌های ساختاری با خطواره‌هایی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  است. با توجه به این موارد و شواهد ارائه شده در این زمینه، به نظر می‌رسد گسل‌های زیر سطحی با امتدادی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  نسبت به گسل‌های زیرسطحی با امتدادی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  احتمالاً باید توانایی بیشتری در دی‌پیرسم و بیرون زدگی توده‌های نمکی داشته باشند.

- تاقدیس‌های کم شیب شکل ۳ الف در صورتی که به علت دی‌پیری شدن در امتداد گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  تشکیل شده باشند ممکن است در تداخل محوری با تاقدیس‌های دیگر قرار گیرند.

چین خوردگی ملایم گنبدی شکل در جنوب باختر تاقدیس چمپه نیز احتمالاً می‌تواند نتیجه دی‌پیری شدن توده‌ای نمکی در محل تلاقی گسل‌های زیرسطحی باشد (که اثر سطحی آنها با امتداد شمال خاوری - جنوب باختری و شمال باختری - جنوب خاوری در شکل ۳ الف مشخص شده است).

۶۱ و خاور امتداد دو توده مغناطیسی شمالی و جنوبی این ناودیس، هندسه‌ای از خمیدگی چپگرد را نمایش می‌دهند. همچنین این خمیدگی چپگرد در محل عبور این خطواره ساختاری در جنوب گسل عادی احتمالی ۲۲، در ترازهای پی سنگی  $5000$  تا  $11000$  متری زیر سطح دریا مشاهده می‌شود.

خطواره شماره ۱۰ (شکل‌های ۲ الف و ۳ الف)، آشکارا هندسه خمیدگی چپگرد را در نواحی لولایی تاقدیس‌ها ایجاد کرده است. در امتداد این خطواره و یا در مجاورت راستای آن، سه گنبد نمکی برونزد دارند.

در تطابق خطواره شماره ۱۰ بر روی داده‌های زیرسطحی در شکل ۲-ج مشخص می‌شود که در محل عبور این خطواره، محور تاقدیس ۴۱ و امتداد توده مغناطیسی جنوبی آن به صورت چپگرد خمیده شده است.

به گونه‌ای که در محدوده تصویر ماهواره‌ای ۴۱-۱۶۰ دیده می‌شود بیشتر گنبد‌های نمکی حدوداً در محل برخورد خطواره‌هایی برونزد دارند که در فاصله آزیموتی  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  استخراج شده‌اند. البته در پاره‌ای موارد، در برخوردگاه خطواره‌ها، بر روی سطوح بیرون زده گنبد‌های نمکی، خطواره‌های با راستای شمال باختری - جنوب خاوری نیز مشاهده می‌شود.

برخی تاقدیس‌های کم شیب در محدوده این تصویر، امتدادی متفاوت از راستای عمومی این بخش از زاگرس دارند و در تداخل محوری با تاقدیس‌های منطقه می‌باشند. همان گونه که دیده می‌شود خطواره‌هایی به موازات ناحیه لولایی این تاقدیس‌های کم شیب از آنها می‌گذرد.

به نظر می‌رسد که ارتباطی منطقی بین خطواره‌های ساختاری، گنبد‌های نمکی و تاقدیس‌های کم شیب منطقه وجود داشته باشد. با انطباق خطواره‌های استخراج شده بر روی شواهد و داده‌های زیرسطحی مشخص می‌شود که بیشتر این خطواره‌ها (به عنوان اثر ساختارهای زیرسطحی در سطح) تا ژرفایی معادل پی سنگ منطقه نیز تأثیر داشته و باعث دگرشکلی مشابه در ساختارهای سطحی و زیرسطحی منطقه گردیده‌اند. بر پایه این یافته‌ها، می‌توان ارتباط تاقدیس‌های کم شیب، گنبد‌های نمکی و خطواره‌های عبور کرده از آنها را ارتباطی منطقی دانست. بدین صورت که احتمالاً عامل این خطواره‌ها، در ابتدای تشکیل خود، باعث شکافته شدن لایه‌های نمکی سری هرمز (اینفراکامبرین) شده و سپس در ادامه فعالیت خود (اثر فعالیت دوباره این ساختارهای زیرسطحی با توجه به بررسی شواهد دگرشکلی زیرسطحی، در ژرفایی کمتر از پی سنگ نیز دیده می‌شود)، باعث حرکت صعودی توده‌های نمکی سری هرمز و تشکیل دی‌پیرهایی از نوع دیواره نمکی (Salt-Wall) در راستای این خطواره‌ها شده‌اند. این توده‌های نمکی با ادامه حرکت صعودی به چینه‌های پوشاننده خود فشار آورده و تاقدیس‌های کم شیبی را با

## تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر

### ماهواره‌های

#### ۱- تحلیل آماری کل خطواره‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه:

همان گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود: درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها به طور کلی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  بیشتر است که از این میان، فاصله آزیموتی  $40^\circ$  تا  $60^\circ$  حائز اهمیت است. پس از آن، فاصله آزیموتی  $60^\circ$  تا  $90^\circ$  در درجه بعدی اهمیت قرار دارد. در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$ ، درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌هایی که در فاصله آزیموتی  $350^\circ$  تا  $360^\circ$  قرار دارند، با بسیار بیشتر از دیگر فواصل آزیموتی است. با نگاهی دقیق‌تر ملاحظه می‌شود که زاویه بین بیشترین درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  و بیشترین درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$ ،  $50^\circ$  تا  $60^\circ$  می‌باشد.

#### الگوی ساختاری از تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری کل منطقه

##### مورد مطالعه: با توجه به مشاهدات صورت گرفته در دگرشکلی

ساختارهای سطحی منطقه، مبنی بر وجود مؤلفه راستالغز در راستای خطواره‌های ساختاری اشاره شده به عنوان اثر سطحی گسل‌های زیرسطحی، احتمال می‌رود که زاویه تقریبی اشاره شده، نزدیک به زاویه آرمانی میان دو سامانه از گسل‌های برشی با مؤلفه راستالغز در منطقه است ( $2\phi = 60^\circ$ ) که  $\phi$  زاویه میان بزرگ‌ترین محور اصلی تنش ( $\sigma_1$ ) و صفحه گسل برشی در نظر گرفته شده است (مؤلفه حرکتی این گسل‌ها، بر فشارش به موازات  $\sigma_1$  دلالت می‌کند). به نظر می‌رسد یک بیشینه تنش ( $\sigma_1$ ) با آزیموت تقریبی  $20^\circ$  در منطقه حاکم بوده و یا هست و عملکرد آن به صورت ایجاد دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج (با مؤلفه چیره راستالغز)، در خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه نمایان است. مؤلفه راستالغز چپگرد مشاهده شده در امتداد گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  و همچنین مؤلفه راستالغز راستگرد مشاهده شده در امتداد گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  در منطقه مورد مطالعه توجیهی بر این احتمال است.

#### ۲- تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری منطقه جنوب خاور زاگرس

##### در چند محدوده انتخابی: شواهد ساختاری ارائه شده از تصاویر

ماهواره‌ای مبنی بر وجود دو سامانه از گسل‌های زیرسطحی در دو امتداد شمال خاوری - جنوب باختری (با سازوکار راستالغز چپگرد) و شمال باختری - جنوب خاوری (با سازوکار راستالغز راستگرد) در منطقه مورد مطالعه است. تحلیل آماری داده‌های حاصل از امتداد این ساختارهای زیرسطحی نیز بیان از وجود دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج (با مؤلفه چیره راستالغز) دارد. لذا برای بررسی بیشتر هر یک از سامانه‌های مربوط

به این زوج برشی، سه محدوده برای تحلیل آماری داده‌های ساختاری در نظر گرفته و سه محدوده هر یک با مساحت تقریبی  $140$  کیلومتر مربع انتخاب شده است. در این انتخاب، یک محدوده در بخش جنوب خاوری (A) و یک محدوده نیز در بخش شمال باختری منطقه مورد مطالعه (B) بررسی گردیده و همان گونه که در شکل ۱ مشخص شده، محدوده‌ای نیز در بین این دو محدوده (C) برای توجیه این الگوی ساختاری در نظر گرفته شده است (سه منطقه با مربع‌هایی در شکل ۱ مشخص شده‌اند).

#### تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در محدوده انتخابی A از

##### منطقه مورد مطالعه

همان گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها به طور کلی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  بیشتر است که از این میان، فاصله آزیموتی  $20^\circ$  تا  $70^\circ$  حائز اهمیت است. با توجه به این نمودار که مربوط به جنوب خاور منطقه مورد مطالعه است، مشاهده می‌شود که در این محدوده، سامانه گسل‌های برشی چپگرد به عنوان یکی از دو سامانه زوج گسل برشی پیشنهاد داده شده، اهمیت بیشتری دارد.

#### تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در محدوده انتخابی B از

##### منطقه مورد مطالعه

با نگاهی به شکل ۶ مشخص می‌شود که درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها در فاصله آزیموتی  $350^\circ$  تا  $360^\circ$  نسبت به دیگر فواصل آزیموتی بسیار بیشتر است. با توجه به این نمودار که مربوط به شمال باختر منطقه مورد مطالعه است مشاهده می‌شود که در این محدوده از منطقه، سامانه گسل‌های برشی راستگرد به عنوان یکی از دو سامانه زوج گسل برشی پیشنهادی دارای برتری آشکاری است.

همچنین درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  بیش از فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $350^\circ$  است. این نکته نشان دهنده این است که پس از سامانه چیره گسل‌های برشی راستگرد در این محدوده (B)، خطواره‌های ساختاری در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  از نظر مجموع درازای خطواره‌ها، فراوان‌تر هستند. با توجه به این مشاهدات می‌توان نتیجه گرفت که در شمال باختر منطقه مورد مطالعه همچون جنوب خاور منطقه، سامانه گسل‌های برشی چپگرد به عنوان یکی از دو سامانه گسل‌های برشی مزدوج، اهمیت دارند.

#### تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در محدوده انتخابی C از

##### منطقه مورد مطالعه

از شکل ۷ می‌توان دریافت که درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌ها در فاصله آزیموتی  $60^\circ$  تا  $90^\circ$  به طور قابل توجهی بیشتر است. اهمیت این نکته در مقایسه درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های این فاصله آزیموتی با همین فاصله آزیموتی در دو شکل ۵ و ۶ بیشتر مشخص می‌شود. به گونه‌ای که درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌ها در دو

### تحلیل خاستگاه دو سامانه گسل‌های برشی مزدوج در منطقه مورد

**مطالعه:** با توجه به تفسیر بصری خطواره‌های ساختاری و همچنین شواهد سطحی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دگرشکلی‌های ساختاری فرانهاد در منطقه مورد مطالعه و با توجه به ارتباط آنها با داده‌های زیرسطحی به دست آمده از نقشه‌های مغناطیس هوایی، می‌توان به نتیجه رسید که این خطواره‌های ساختاری، به عنوان اثر سطحی گسل‌های برشی با مؤلفه راستالغز، افزون بر عملکرد ساختاری در سطح منطقه تأثیرات ژرفی نیز نشان داده‌اند. تأثیر و عملکرد چیره این گسل‌های برشی با توجه به شواهد موجود زیرسطحی (که از جمله مهم‌ترین آنها خمیدگی مرتبط با آنها در ترازهای پی‌سنگی است)، تا ژرفایی معادل پی‌سنگ منطقه نیز مشاهده می‌شود.

همچنین توجه به بیشتر توده‌های نمکی که سنگهای پوششی را شکافته و بروز آنها به صورت گنبد‌های نمکی به طور منظم و عموماً در راستای این خطواره‌ها (بویژه در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$ ) مشهود است، می‌تواند توجیه دیگری بر ژرف و پی‌سنگی بودن خاستگاه این گسل‌های برشی باشد که پس از بردن چینه‌های سری هرمز پوشاننده پی‌سنگ، منجر به صعود توده‌های نمکی با سن اینفراکامبرین شده است.

بر همین اساس، زایش تاقدیس‌های کم شیب منطقه با هسته‌های دیواره نمکی در راستای این خطواره‌ها، می‌تواند دلیل دیگری بر فعالیت این زوج سامانه از گسل‌های برشی باشد که در ارتباط با پی‌سنگ ناحیه هستند.

### تحلیل زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه: در عربستان سعودی،

ساختارهای چین‌خورده اندکی با کمربند چین‌خورده زاگرس موازی است (اگرچه هر دو این مناطق ساختاری با راستای عمومی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری کشیده شده‌اند).

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، زایش تاقدیس‌های کم شیب با هسته‌های دیواره نمکی در کمربند چین‌خورده - رانده منطقه که می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج پیشنهادی در ارتباط با پی‌سنگ ناحیه باشد، از نظر امتداد ساختاری مشابه دو امتداد از گسل‌های پی‌سنگی در عربستان سعودی هستند. در نتیجه، شباهت راستای چین‌های کم شیب منطقه با راستای ساختارهای تاقدیسی کم شیب بخش شمال‌خاوری صفحه عربی در عربستان سعودی، می‌تواند عملکرد گسل‌های برشی مزدوج پی‌سنگی را بر رسوبات فانروزویک جنوب‌خاور زاگرس با احتمال قوی‌تری اثبات کند.

مطالعات تفصیلی میدان پتانسیل گرانش در میدانهای نفتی عربستان سعودی، امتداد گسل‌های عمده پی‌سنگی را مشخص کرده است. راستای عربی (Arabian Trend) در این نواحی آزیموت  $17^\circ$  دارد و به علت ایجاد زمین‌ساخت کششی در پی‌سنگ حاصل شده

شکل مذکور و در فاصله آزیموتی اشاره شده از  $60^\circ$  تا  $90^\circ$  کاهش نشان می‌دهد. بنابراین باید عامل یا عواملی در افزایش آزیموت خطواره‌های ساختاری در این فاصله آزیموتی با همین فاصله آزیموتی در دو شکل ۵ و ۶ تاثیر داشته باشد. با فرض پذیرش الگوی ساختاری زوج برشی پیشنهاد داده شده مربوط به گسل‌های زیرسطحی منطقه، محدوده انتخابی C باید در معرض بیشترین کوتاه‌شدگی قرار گرفته باشد.

### برای بررسی بیشتر نتایج تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در منطقه مورد مطالعه (جنوب‌خاور زاگرس)، خطواره‌های ساختاری منطقه شمال‌باختر زاگرس نیز با تفسیر بصری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ - TM (در مقیاس: ۱:۱۰۰۰۰۰۰) استخراج گردید. سپس نمودار آماری از کل خطواره‌های ساختاری، در منطقه شمال‌باختر زاگرس (شکل ۸ الف) و کل منطقه زاگرس (شکل ۸-ب) (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) براساس آزیموت و درازای آنها تهیه شد.

به‌گونه‌ای که در شکل ۸ الف دیده می‌شود، در منطقه شمال‌باختر زاگرس، درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها در دو فاصله آزیموتی صفر تا  $10^\circ$  و  $60^\circ$  تا  $70^\circ$  بسیار بیشتر از دیگر فواصل آزیموتی است. با نگاهی دقیق‌تر ملاحظه می‌شود که زاویه میان بیشترین درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها در این دو فاصله آزیموتی نیز همانند منطقه جنوب‌خاور زاگرس  $50^\circ$  تا  $60^\circ$  است. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، فواصل آزیموتی با بیشترین درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها، با آنچه که در شکل ۸-الف دیده می‌شود تغییر کرده است. احتمال دارد که تغییر آزیموت ذکر شده در دو منطقه جنوب‌خاور و شمال‌باختر زاگرس، مربوط به امتداد حاشیه برخوردی صفحه آفریقا - عربستان و صفحه اوراسیا باشد.

همان‌گونه که در شکل ۸-ب دیده می‌شود به‌طور کلی درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها، در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  بیشتر است که از این میان، فاصله آزیموتی  $40^\circ$  تا  $70^\circ$  حائز اهمیت است. در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$ ، درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌هایی که در فاصله آزیموتی  $350^\circ$  تا  $360^\circ$  قرار دارند، بسیار بیشتر از دیگر فواصل آزیموتی است.

با نگاهی دقیق‌تر ملاحظه می‌شود که این نمودار آماری (شکل ۸ ب) و نمودار آماری خطواره‌های ساختاری منطقه جنوب‌خاور زاگرس (منطقه مورد مطالعه) (شکل ۴) شباهت‌های بسیاری دارند. لذا الگوی ساختاری ارائه شده در منطقه مورد مطالعه را احتمالاً می‌توان برای کل زاگرس در نظر گرفت که البته اطمینان از این مسئله با بررسی‌های بیشتر حاصل می‌شود.

شمال عراق و جنوب خاوری زاگرس به عنوان بخشی از صفحه عربستان شباهت‌های بسیاری با الگوی زمین ساخت پی‌سنگی در عربستان سعودی دارند. این نکته می‌تواند تأیید دیگری بر احتمال پی‌سنگی بودن دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج تحلیل شده در منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس) باشد.

### دلایل احتمالی مبنی بر توزیع غیریکنواخت گنبد‌های نمکی در منطقه مورد مطالعه

همان گونه که پیش از این گفته شد، که بیرون زدگی گنبد‌های نمکی در منطقه جنوب خاور زاگرس توزیع یکنواختی ندارد. گسترش چینه‌های نمکی هرمز (پروتروزیویک بالایی) در منطقه مورد مطالعه در شکل ۹ نشان داده شده است.

گسترش حوضه نمکی هرمز با توزیع غیریکنواخت گنبد‌های نمکی در جنوب خاور زاگرس همخوانی ندارد. با توجه به الگوی ساختاری پیشنهاد داده شده در منطقه مورد مطالعه، یکی از دلایل احتمالی این توزیع غیریکنواخت، توانایی بیشتر دیاپیرسم نمکی در راستای سامانه گسل‌های برشی چپگرد نسبت به سامانه گسل‌های برشی راستگرد در این زوج برشی پی‌سنگی است و به گونه‌ای که اشاره شد، در بخش جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه که تجمع و تراکم بیشتری از گسل‌های راستالغز چپگرد دیده می‌شود، بروز توده‌های نمکی در سطح آشکارتر است. برخورد گسل‌های پی‌سنگی مربوط به سامانه راستالغز چپگرد در فاصله آزیموتی صفر تا ۹۰° نیز که موجب سهولت دیاپیرسم نمک هرمز در راستای مسیرهای ستونی به وجود آمده می‌شود، دلیلی بر این احتمال است.

اما همان گونه که اشاره شد در بخش شمال باختری منطقه مورد مطالعه، در راستای سامانه گسل‌های راستالغز راستگرد این زوج برشی پی‌سنگی، توده‌های نمکی کمتری ظهور دارند، که این تعداد هم بیشتر در محل برخورد با سامانه گسل‌های راستالغزی چپگرد است.

احتمال می‌رود که ظهور کمتر توده‌های نمکی در راستای سامانه برشی راستگرد نسبت به سامانه برشی چپگرد به علت شیوه قرارگیری امتداد این سامانه ساختاری و امتداد حاشیه برخوردی دو صفحه عربستان و ایران مرکزی باشد. به این صورت که سامانه ساختاری مزبور پس از تشکیل، همانند گسل اصلی معکوس زاگرس، با در نظر گرفتن راستای همگرایی، علاوه بر مؤلفه راستالغز راستگرد، دارای مؤلفه شیب لغز معکوس نیز شده است. در نتیجه، با در نظر گرفتن این سامانه ساختاری به عنوان سامانه ترافشارشی (Transpression) راستگرد، احتمال داده می‌شود که فشارش ایجاد شده، مانع سهولت حرکت صعودی توده‌های نمکی به سطح شده است.

است (Edgell, 1992). لازم به یادآوری است که راستای عربی یکی از چهار راستای گسل خوردگی پی‌سنگ و کنترل کننده میدان نفتی عربستان سعودی است (Hensin, 1951).

با توجه به شکل ۴،  $\sigma_1$  که به عنوان بزرگ‌ترین محور اصلی تنش و نیمساز زاویه حاده دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج در منطقه مورد مطالعه، با آزیموت تقریبی ۲۰° معرفی شده، می‌تواند با راستای عربی همخوانی داشته باشد. بنا بر این می‌توان این گونه پیشنهاد داد که راستای  $\sigma_1$  با آزیموت تقریبی ۲۰° و راستای عربی هر دو می‌توانند نشان دهنده جهت همگرایی کنونی صفحه عربی به سمت صفحه ایران مرکزی باشند. وجود زمین ساخت کششی در پی‌سنگ و عمود بر راستای عربی نیز توجیهی بر این احتمال است.

بر این اساس، بر پایه نظر (Edgell, 1992) E. dgell به علت همگرایی، یک زوج برشی از گسل‌های راستالغز، توسط بزرگ‌ترین محور اصلی تنش با راستای شمال شمال خاوری، در پی‌سنگ شمال خاوری عربستان سعودی ایجاد شده است. به گونه‌ای که دیده می‌شود سامانه‌های تحلیل شده از گسل‌های برشی مزدوج با مؤلفه چپره راستالغز (با در نظر گرفتن راستای همگرایی در منطقه مورد مطالعه به عنوان لبه شمال خاوری صفحه عربی) با توجه به شباهت‌های موجود با ساختارهای پی‌سنگی شمال خاوری عربستان سعودی می‌تواند خاستگاه پی‌سنگی داشته باشند.

دگرشکلی‌های جوان (هولوسن) گزارش شده در سه حاشیه صفحه عربستان (سه حاشیه صفحه عربستان شامل: ۱) حاشیه شمال خاوری، ۲) گسل ترادیس بحرالمت، ۳) دریای سرخ) با انتقال و حرکت صفحه عربی سازگاری دارد.

برای اطمینان بیشتر از ارتباط ساختاری پی‌سنگی اشاره شده در عربستان سعودی با منطقه مورد مطالعه، مشاهداتی در مورد زمین ساخت پی‌سنگی شمال عراق ارائه می‌شود. شمال و شمال خاوری عراق بخشی از کمربند توروس - زاگرس است که در اثر برخورد قاره آفریقا - عربستان به قاره اوراسیا در حاشیه غیرفعال صفحه عربی شکل گرفته است.

با توجه به بررسی‌های (Ameen, 1992) می‌توان به این نتیجه رسید که شمال عراق به عنوان حاشیه شمالی صفحه عربستان و به عنوان بخشی از کمربند توروس - زاگرس که ادامه شمال باختری رشته کوه‌های زاگرس به‌شمار می‌آید، از نظر الگوی زمین ساخت پی‌سنگی شباهت‌های زیادی را با الگوی ساختاری (به ویژه الگوی ساختاری دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج ارائه شده) در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. (اختلاف ساختاری اندک میان توروس و زاگرس ممکن است ناشی از اختلاف در جهت نسبی و آهنگ حرکت صفحه آفریقا - عربستان و صفحه اوراسیا، پهنای پوسته اقیانوسی تیس و یا شکل مرز قاره‌های برخوردی باشد).

بیشتر توده‌های نمکی، به‌طور منظم و عموماً هم راستا با خطواره‌های ساختاری (به‌ویژه در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$ ) ظاهر شده‌اند. بروز خطی توده‌های نمکی نشان دهنده این است که: (۱) یک عامل زیرسطحی و به احتمال قوی پی سنگی منجر به صعود توده‌های نمکی با سن اینفراکامبرین (سری هرمز) شده است، و (۲) این عامل دارای جنبش دوباره بوده که موجب بیرون زدگی توده‌های نمکی به صورت گنبد نمکی شده است.

به‌طور کلی، خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه که آزیموتی بین صفر تا  $90^\circ$  دارند، موجب جابجایی چپگرد ساختارها و ایجاد هندسه‌ای از خمیدگی چپگرد در نواحی لولایی چین‌ها شده‌اند. همچنین بیشتر خطواره‌های ساختاری به دست آمده در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  نیز موجب جابجایی راستگرد ساختارها شده و هندسه‌ای از خمیدگی راستگرد را در نواحی لولایی چین‌ها ایجاد کرده‌اند.

با انطباق خطواره‌های ساختاری استخراج شده بر روی شواهد و داده‌های زیرسطحی مشخص می‌شود که بیشتر این خطواره‌ها (به‌عنوان اثر ساختارهای زیرسطحی در سطح) تا ژرفایی معادل پی‌سنگ منطقه نیز تأثیر داشته و باعث دگرشکلی مشابه در ساختارهای سطحی و زیرسطحی منطقه شده‌اند.

بر پایه مشاهدات این مطالعه، بروز سطحی بیشتر توده‌های نمکی در محل برخورد خطواره‌های ساختاری در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  صورت گرفته است. در حالی که گنبد‌های نمکی در امتداد گسل‌های زیرسطحی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$  رخمون کمتری دارند. دلیل ظهور برخی از توده‌های نمکی در امتداد آنها، احتمالاً قرارگیری در محل برخورد این خطواره‌های ساختاری با خطواره‌هایی در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  است.

با توجه به این موارد و شواهد ارائه شده در این زمینه، به نظر می‌رسد گسل‌های زیر سطحی با امتداد آزیموتی صفر تا  $90^\circ$  نسبت به گسل‌های زیرسطحی با امتدادی در فاصله آزیموتی  $270^\circ$  تا  $360^\circ$ ، احتمالاً باید توانایی بیشتری در دی‌پیرسم و بیرون زدگی توده‌های نمکی داشته باشند. ارتباطی منطقی بین تاقدیس‌های کم شیب، گنبد‌های نمکی و خطواره‌های عبور کرده از آنها وجود دارد.

بروز سطحی توده‌های نمکی در بیشتر موارد در محل برخورد خطواره‌ها و بر روی نواحی لولایی یا پهلوی تاقدیس‌ها رخ داده است و این مسئله، احتمالاً افزون بر سهولت حرکت صعودی توده‌های نمکی در محل برخورد گسل‌های زیرسطحی، به فضای ایجاد شده در هسته تاقدیس‌ها نیز مربوط می‌شود.

همچنین در منطقه مورد مطالعه مناطقی عاری از نمک‌های هرمز دیده می‌شوند که یکی از این نواحی در محدوده‌ای تقریبی بین طول جغرافیایی:  $53^\circ 40'$  تا  $52^\circ 00'$  خاوری و خط ساحلی تا عرض جغرافیایی:  $28^\circ 30'$  شمالی قرار دارد. در انطباق این محدوده با شکل ۹ مشخص می‌شود که این ناحیه بر روی لایه‌های نمکی هرمز واقع نشده است و نبود گنبد‌های نمکی هرمز را در این محدوده می‌توان به این مسئله نسبت داد. یکی دیگر از این نواحی فاقد گنبد نمکی در محدوده‌ای تقریبی بین طول جغرافیایی:

$54^\circ 00'$  تا  $52^\circ 00'$  خاوری و عرض جغرافیایی:  $29^\circ 40'$  شمالی تا گسل اصلی معکوس زاگرس قابل تشخیص است که در انطباق با شکل ۹ حالت قبل دیده نمی‌شود و چینه‌های نمکی هرمز در زیر این ناحیه گسترش دارد. با در نظر گرفتن الگوی ساختاری پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه، علت احتمالی این مسئله، این است که ناحیه اشاره شده در بخشی از منطقه، در بین دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج پی‌سنگی قرار دارد که دارای بیشترین واتنش از نظر کوتاه شدگی (عمود بر Z: محور بیشینه کوتاه شدگی) است و این مسئله احتمالاً موجب می‌شود دی‌پیرهای نمکی هرمز از راهیابی به سطح باز بمانند.

### نتیجه‌گیری

به‌کارگیری داده‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای، روش بسیار مناسبی برای تحلیل و ارزیابی ساختارهای زمین‌شناسی ناحیه‌ای به‌شمار می‌آید. با توجه به ساختارهای چین‌خورده در منطقه مورد مطالعه، راستای کلی ناحیه لولایی برخی از چین‌ها، از راستای حاکم بر ساختارهای چین‌خورده در آن منطقه پیروی نمی‌کند. در بیشتر موارد، محور چین‌ها همدیگر را بریده و تداخل ناحیه لولایی چین‌ها مشاهده می‌شود.

در بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه چین‌های جنوب خاور زاگرس دیده می‌شود که یک دسته از تاقدیس به صورت چین گنبدی متقارن با محورهای دوپلانژی و شیب ملایم در پهلوهای خود تشکیل شده‌اند. محدوده سنی واحدهای سنگی رخمون یافته در آنها دوران سنوزویک است. ناحیه لولایی آنها در منطقه مورد مطالعه گسترش چندانی ندارد و به همین دلیل وسعت چین خوردگی قابل توجهی را نسبت به بقیه چین‌های زاگرس نشان نمی‌دهند.

برپایه شواهد ارائه شده از راستاهای متفاوت چین‌خورده و تداخل محور چین‌ها و نیز شواهد چین خوردگی کم شیب در جنوب خاوری زاگرس، ملاحظه می‌شود که برخی از شواهد ذکر شده در منطقه مشترک و یکسان هستند.

تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در شمال باختر منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس) نشان می‌دهد که درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌ها در فاصله آزیموتی  $35^{\circ}$  تا  $36^{\circ}$  نسبت به دیگر فواصل آزیموتی بسیار بیشتر است. در نتیجه، در این بخش از منطقه، سامانه گسل‌های برشی راستگرد به عنوان یکی از دو سامانه زوج گسل برشی پیشنهادی دارای برتری آشکاری است.

با توجه به شباهت‌های بسیار نمودار آماری خطواره‌های ساختاری جنوب خاور و شمال باختر زاگرس، الگوی ساختاری ارائه شده در منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس) را احتمالاً می‌توان برای کل زاگرس در نظر گرفت.

شباهت راستای چین‌های ملایم منطقه با راستای ساختارهای تاقدیسی کم شیب بخش شمال خاوری صفحه عربی در عربستان سعودی، می‌تواند عملکرد گسل‌های برشی مزدوج پی‌سنگی را بر رسوبات فانروزوئیک جنوب خاور زاگرس، با احتمال قوی تری اثبات کند.

شمال عراق و جنوب خاور زاگرس به عنوان بخشی از صفحه عربستان (که در لبه‌های آن واقع شده‌اند)، شباهت‌های بسیاری با الگوی زمین ساخت پی‌سنگی در عربستان سعودی دارند. این مسئله می‌تواند تأیید دیگری بر احتمال پی‌سنگی بودن دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج تحلیل شده در منطقه مورد مطالعه باشد.

یکی از دلایل احتمالی ظهور کمتر توده‌های نمکی در راستای سامانه برشی راستگرد نسبت به سامانه برشی چپگرد، می‌تواند با در نظر گرفتن این سامانه ساختاری به عنوان سامانه ترفشارشی راستگرد توجیه شود.

با در نظر گرفتن الگوی ساختاری پیشنهاد شده، عدم بیرون زدگی توده‌های نمکی بین دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج احتمالاً پی‌سنگی (با وجود طبقات نمکی بر روی پی‌سنگ این ناحیه) می‌تواند ناشی از بیشترین واتنش از نظر کوتاه شدگی در این محدوده باشد.

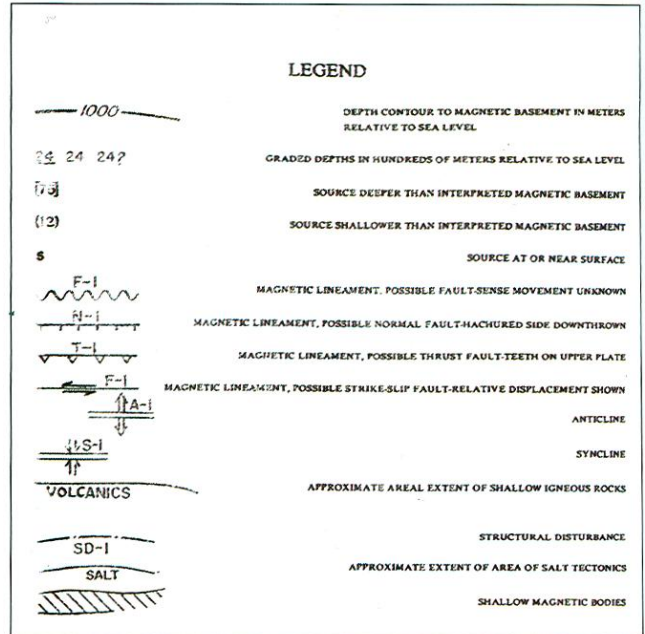
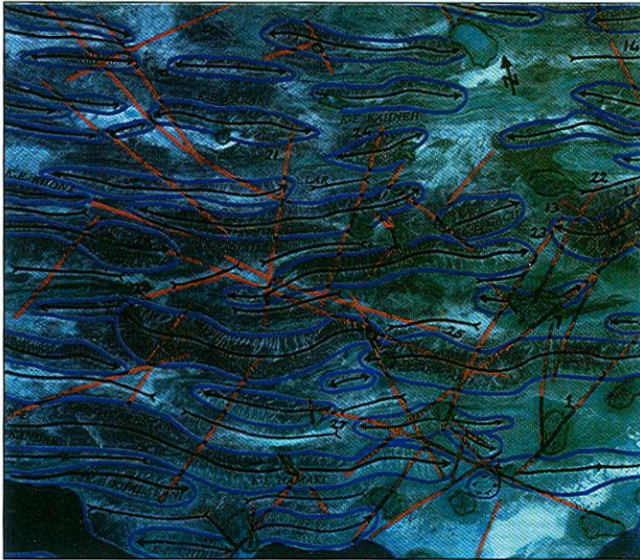
نتایج حاصل از تحلیل آماری کل خطواره‌های ساختاری منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس) نشان می‌دهد که به طور کلی، درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌ها در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^{\circ}$  بیشتر است که از این میان، فاصله آزیموتی  $40^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  حائز اهمیت است. در فاصله آزیموتی  $270^{\circ}$  تا  $360^{\circ}$ ، درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌هایی که در فاصله آزیموتی  $35^{\circ}$  تا  $36^{\circ}$  قرار دارند، بسیار بیشتر از دیگر فواصل آزیموتی است. زاویه بین بیشترین درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌ها در دو فاصله آزیموتی صفر تا  $90^{\circ}$  و  $270^{\circ}$  تا  $360^{\circ}$ ، حدود  $50^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  است.

با توجه به وجود مؤلفه راستالغز در راستای خطواره‌های ساختاری اشاره شده به عنوان اثر سطحی گسل‌های زیرسطحی، می‌توان احتمال داد که زاویه تقریبی اشاره شده، نزدیک به زاویه آرمانی بین دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج با مؤلفه راستالغزی در منطقه است ( $2\phi = 60^{\circ}$ ) که  $\phi$  زاویه بین بزرگ‌ترین محور اصلی تنش ( $\sigma_1$ ) و صفحه گسل برشی در نظر گرفته شده است.

به نظر می‌رسد یک پیشینه تنش ( $\sigma_1$ ) با آزیموت تقریبی  $20^{\circ}$  در منطقه چیره بوده و یا هست و عملکرد آن به صورت ایجاد دو سامانه از گسل‌های برشی مزدوج (با مؤلفه چیره راستالغز)، در خطواره‌های ساختاری استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه نمایان است.

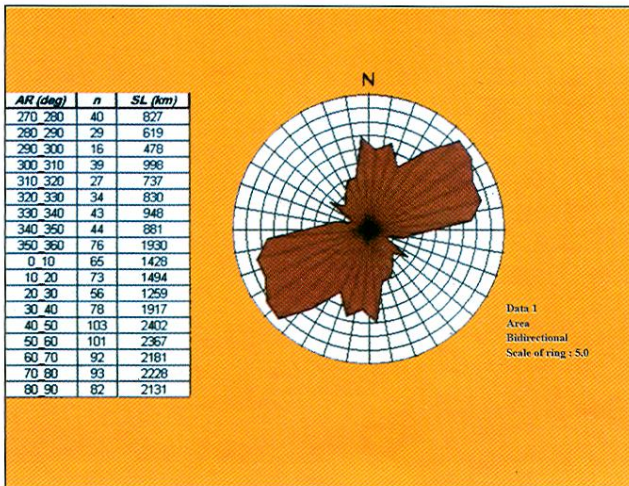
بر اساس تحلیل آماری خطواره‌های ساختاری در جنوب خاور منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس)، به طور کلی درصد فراوانی مجموع طول خطواره‌ها، در فاصله آزیموتی صفر تا  $90^{\circ}$  بیشتر است. در نتیجه در این بخش از منطقه، سامانه گسل‌های برشی چپگرد به عنوان یکی از دو سامانه زوج گسل برشی پیشنهاد شده، اهمیت بیشتری دارد.



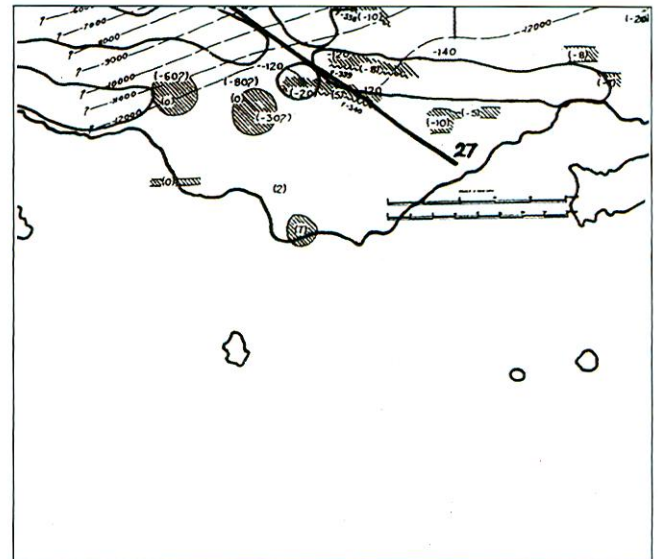


شکل ۳- الف) طرح کلی تفسیر بصری خطواره‌ها و نیز ارائه مجموعه شواهد سطحی به منظور تحلیل ساختاری بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۵-TM، مقیاس: ۱:۱۰۰۰۰۰۰، شماره گذر: ۱۶۱-۰۴۱

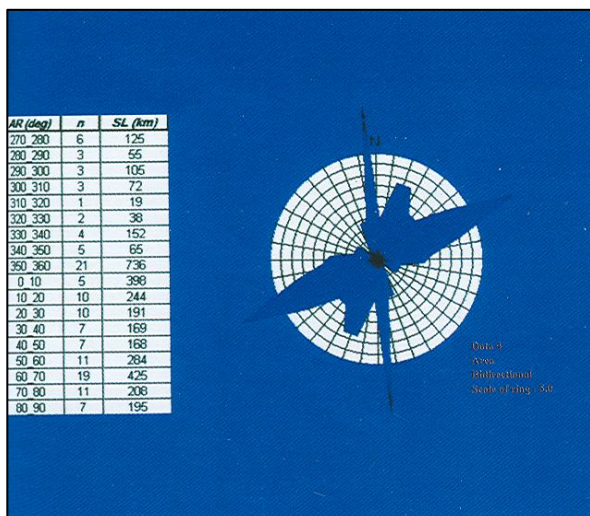
شکل ۲- د) راهنمای نقشه‌های مغناطیس هوایی منطقه مورد مطالعه



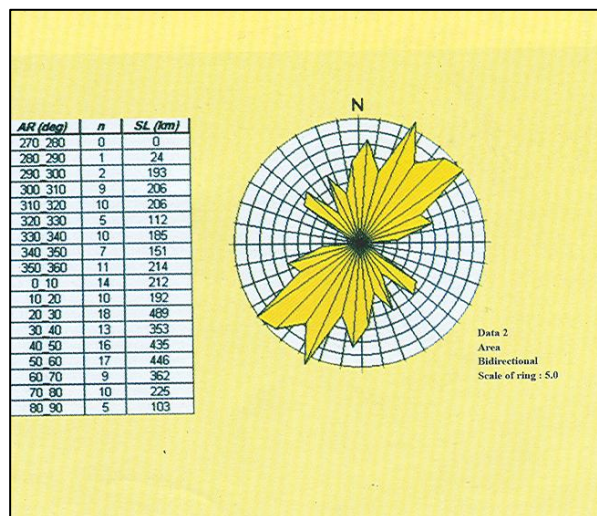
شکل ۴) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری در فواصل آزیموتی  $10^\circ$  (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس:  $57^\circ 00' E - 51^\circ 00' N$  و  $32^\circ 00' N - 26^\circ 00' E$ ): AR: فاصله آزیموتی، n: تعداد خطواره‌ها، SL: مجموع درازای خطواره‌ها



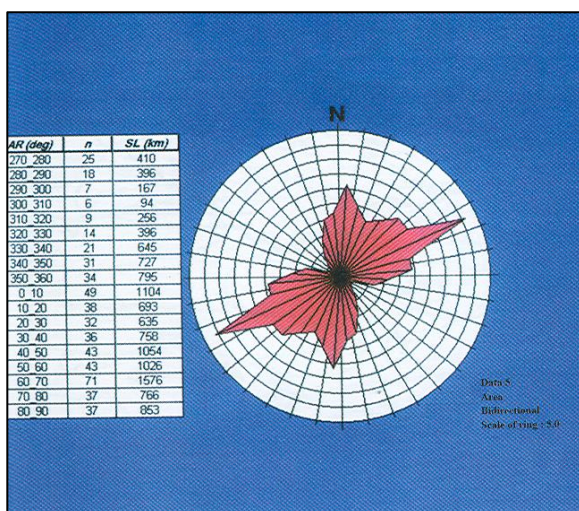
شکل ۳- ب) شواهد زیر سطحی (حاصل از داده‌های مغناطیسی) چهار گوش بندرلنگه ( $54^\circ 30' E - 55^\circ 00' E$ ،  $27^\circ 00' N - 26^\circ 00' N$ ، No. H 14)، نقشه ۲۵ درصد کوچک شده است. موقعیت سطحی این چهار گوش بر روی آن نشان داده شده است.



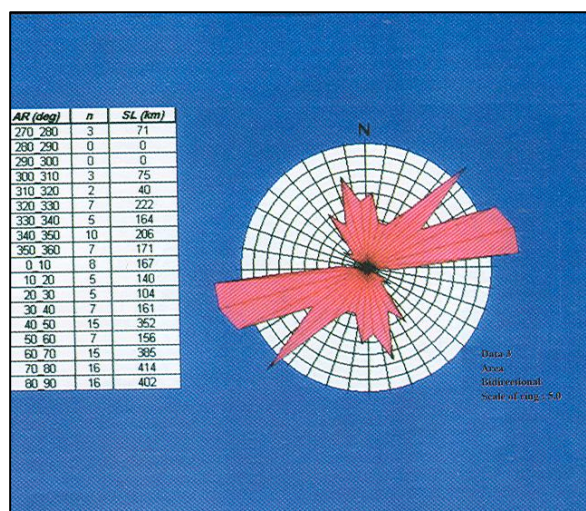
شکل ۶) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در محدوده انتخابی B از منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس)، AR: فاصله آزیموتی، n: تعداد خطواره ها، SL: مجموع درازای خطواره ها



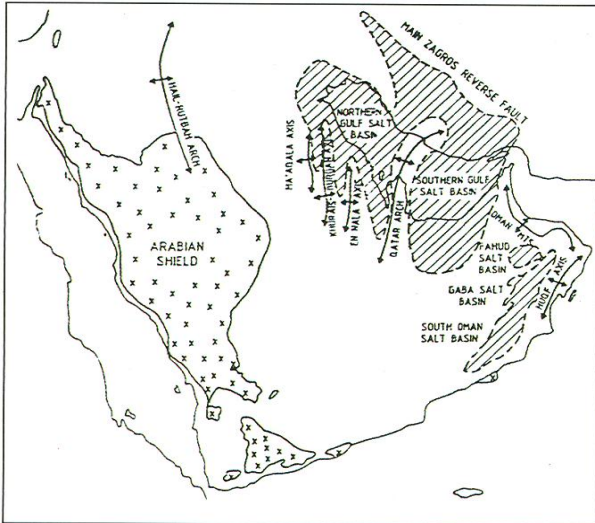
شکل ۵) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در محدوده انتخابی A از منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس)، AR: فاصله آزیموتی، n: تعداد خطواره ها، SL: مجموع درازای خطواره ها



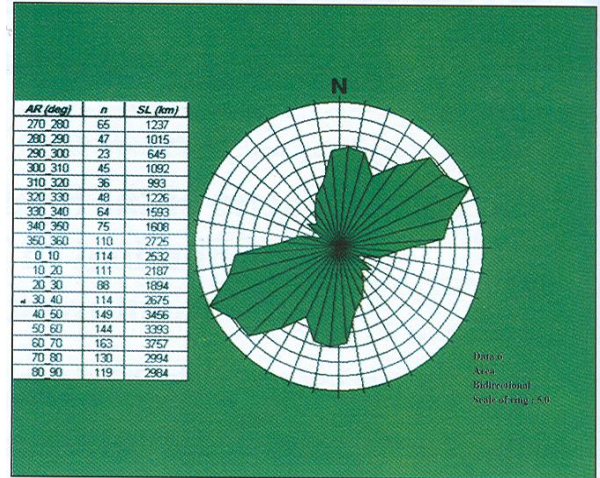
شکل ۸-الف) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در منطقه شمال باختر زاگرس، AR: فاصله آزیموتی، n: تعداد خطواره ها، SL: مجموع درازای خطواره‌ها



شکل ۷) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در محدوده انتخابی C از منطقه مورد مطالعه (جنوب خاور زاگرس)، AR: فاصله آزیموتی، n: تعداد خطواره ها، SL: مجموع درازای خطواره‌ها



شکل ۹) حوضه‌های نمکی پرکامبرین پسین مربوط به خلیج فارس و نواحی اطراف آن (Edgell, 1992)



شکل ۸-ب) نمودار گل سرخی مربوط به درصد فراوانی مجموع درازای خطواره‌های ساختاری (با درازای ۱۰ کیلومتر و بیشتر) در کل منطقه زاگرس، AR: فاصله آزمون‌توی، n: تعداد خطواره ها، SL: مجموع درازای خطواره‌ها

### کتابنگاری

مهادنیا، ف.، ۱۳۸۱- استفاده از رهیافت دورسنجی در شناخت گسل‌های پنهان و دگرریختی‌های آنها در جنوب شرقی زاگرس: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

### References

- Ameen, M.S., 1992, Effect of Basement Tectonics on Hydrocarbon Generation, Migration, and Accumulation in Northern Iraq: The American Association of Petroleum Geologists.  
 Edgell, H.S., 1992, Basement Tectonics of Saudi Arabia as Related to Oil Field Structures: Basement Tectonics, Vol. 9, pp. 169-193.  
 Henson, F.R.S., 1951, Observations on the Geology and Petroleum Occurrences of the Middle East: 3rd World Petroleum Congress, The Hague, Proceedings, Section 1, pp. 118-140.

\* فارغ التحصیل کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس

\* Graduate of the Tarbiat Modarres University