

## تحلیل ساختاری گسل ایذه در بخش مرکزی زاگرس با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور

مهران عزیززاده\* - استادیار پژوهشکده اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت  
فاطمه ملامهرعلی‌زاده - کارشناس ارشد سنجش از دور، سازمان فضایی ایران

پذیرش مقاله: ۸۹/۱۰/۴      تأیید نهایی: ۸۸/۸/۴

### چکیده

مورفولوژی کمربند چین-راندگی زاگرس، به دلیل عملکرد گسل‌های مختلف در طی کوهزایی، پیچیدگی‌های خاصی یافته است. گسل ایذه (با روند N-S) یکی از این عناصر ساختمانی بنیادی است که حرکات آن در دوره‌های زمین‌شناسی، آثار زیادی را در الگوی رسوب‌گذاری و سیمای مورفوتکتونیکی زاگرس بر جای گذاشته است. در این مقاله، یافته‌های جدید در خصوص سبک و سازوکار دگرشکلی سیستم گسلی ایذه، در بخش مرکزی زاگرس مورد بحث قرار گرفته است. این پژوهش به کمک تکنیک‌های سنجش از دور و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و IRS-PAN، و مدل رقومی ارتفاع (DEM) ناحیه انجام شده است. برای تصحیح هندسی، پردازش داده‌ها و بارزسازی عوارض ساختاری و آثار شکستگی در تصاویر ماهواره‌ای، از نرم‌افزار ER Mapper 6.4 استفاده شد. به علاوه، برای بررسی دقیق‌تر سیمای دگرشکلی و آثار شکستگی در واحدهای رسوبی، از انواع مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر DEM نیز کمک گرفته شد. مشاهدات سنجش از دور حاکی از آن‌اند که حرکات گسل ایذه باعث تغییرات زیادی در ویژگی‌های زمین‌ساختی بخش مرکزی زاگرس شده است. آثار دگرشکلی ناشی از گسل ایذه عمدتاً به صورت کشیدگی و چرخش راستگرد محور چین‌ها، و یا گسیختگی و جابه‌جایی طبقات نمایان شده‌اند. حرکات این گسل، الگوی جهت‌گیری و شدت شکستگی در واحدهای زمین‌شناسی را نیز متأثر کرده است. تحلیل ساختاری دسته‌های شکستگی در مناطق مختلف این را مطرح می‌سازد که برخی از آنها احتمالاً بر اثر سیستم بُرشی ناشی از حرکات راستگرد گسل ایذه تشکیل شده‌اند. در مجموع، شواهد زمین‌ساختی نشان می‌دهند که حرکات گسل ایذه در طی فازهای مختلف کوه‌زایی، به واسطه سازوکارهای متفاوت، موجب تغییر الگوی دگرشکلی ناحیه‌ای و یا تعدیل سیمای مورفوتکتونیک بخش مرکزی زاگرس شده است. به علاوه، برخی از شواهد دلالت بر آن دارند که این گسل در طی فازهای جوان آلبی نیز فعال بوده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل ساختاری، زاگرس، گسل ایذه، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع، سنجش از دور.

### مقدمه

تصاویر ماهواره‌ای به دلیل دارا بودن دید منطقه‌ای وسیع، از سودمندترین ابزارهای دورسنجی برای مطالعات ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی محسوب می‌شوند. به کمک تصاویر ماهواره‌ای می‌توان ابعاد، گستردگی و روابط هندسی انواع ساختمان‌های زمین‌شناسی محلی و ناحیه‌ای را تعیین کرد. از جمله کاربردهای مهم تصاویر ماهواره‌ای، کمک به

شناسایی عوارض خطی پوسته زمین است (مثلاً: کویک<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۸؛ خان<sup>۲</sup> و گلن<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). در موزائیک این تصاویر به خوبی می‌توان خطواره‌های<sup>۴</sup> ساختاری بزرگ و ناحیه‌ای را - که مشاهده یا برداشت مستقیم آنها از طریق پیمایش صحرایی ممکن نیست - تشخیص داد (پروست<sup>۵</sup>، ۱۹۹۴، ۲۴۷؛ سابینز<sup>۶</sup>، ۱۹۹۷، ۹۴). این قبیل سیمای خطی غالباً با مناطق ضعف پوسته زمین (نظیر درزه‌های سیستماتیک<sup>۷</sup> و شکستگی‌های<sup>۸</sup> بزرگ مقیاس) یا نواحی جابه‌جایی ساختاری (گسلش) مرتبط اند. در تصاویر ماهواره‌ای، سیمای سطحی پدیده‌های شکستگی و گسلش ناحیه‌ای معمولاً به صورت انواع اشکال زمینی<sup>۹</sup> خطی (نظیر گودی‌ها، گنبد‌ها، پشته‌ها، پرتگاه‌ها، درّه‌ها و آبراهه‌ها)، و یا کشیدگی<sup>۱۰</sup> و چرخش محور چین‌ها در روند خاصی نمایان می‌شود. در مواردی نیز از طریق وارض طبیعی خطی یا خطی-منحنی (نظیر پوشش گیاهی و تغییر تن خاک) می‌توان این قبیل آثار دگرشکلی<sup>۱۱</sup> را تشخیص داد (عزیززاده<sup>۱۲</sup>، ۱۳۸۶، ۵۱).

شناسایی و برداشت آثار شکستگی / گسلش از روی تصاویر ماهواره‌ای معمولاً به دو طریق مستقیم (روش تفسیر بصری) و یا غیرمستقیم (استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری) انجام می‌شود. به کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور برای تهیه نقشه آثار شکستگی و گسلش از روش‌های معمول و متداول است و پژوهشگران زیادی در سرتاسر جهان از این تصاویر برای بررسی‌های مورفوتکتونیک<sup>۱۳</sup> و نئوتکتونیک<sup>۱۴</sup> (مثلاً: واکر<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۶)، تحلیل‌های ساختاری<sup>۱۶</sup> و زمین‌ساختی<sup>۱۷</sup> (مثلاً: مصطفی<sup>۱۸</sup> و ذاکر<sup>۱۹</sup>، ۱۹۹۶؛ آرلگوی<sup>۲۰</sup> و سوریانو<sup>۲۱</sup>، ۱۹۹۸)، مطالعات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی (مثلاً: ادت<sup>۲۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۸؛ ساندر<sup>۲۳</sup>، ۲۰۰۷)، و کاوش‌های معدنی و اکتشاف منابع هیدروکربوری (مثلاً: پروست، ۱۹۹۴؛ وودال<sup>۲۴</sup>، ۱۹۹۴) استفاده کرده‌اند.

در دهه‌های اخیر، به کمک داده‌های ماهواره‌ای مطالعات زمین‌شناسی متعددی در نواحی مختلف رشته کوه‌های زاگرس انجام شده است (مثلاً: میلیارسیس<sup>۲۵</sup>، ۲۰۰۱؛ عزیززاده، ۱۳۸۶؛ شه‌ریاری<sup>۲۶</sup> و همکاران، ۱۳۸۶؛ عزیززاده<sup>۲۷</sup> و

1. Koike
2. Khan
3. Glenn
4. Lineament
5. Prost
6. Sabins
7. Systematic Joints
8. Fractures
9. Landforms
10. Drag
11. Deformation
12. Azizzadeh
13. Morphotectonic
14. Neotectonic
15. Walker
16. Structural
17. Tectonic
18. Mostafa
19. Zakir
20. Arlegui
21. Soriano
22. Edet
23. Sander
24. Woodall
25. Miliarisis
26. Shahriyari
27. Azizzadeh

همکاران، ۲۰۰۸؛ مبشر<sup>۱</sup> و بابایی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، از تکنیک‌های سنجش از دور برای مطالعه ساختاری گسل ایذه (واقع در بخش مرکزی کمربند چین - راندگی زاگرس<sup>۳</sup>) استفاده شده است. در طی این مطالعه تلاش شده است تا بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع<sup>۴</sup> (DEM)، شمایی از سبک ساختاری<sup>۵</sup> و سازوکار (مکانیسم) حرکات گسل ایذه، و تأثیر آن در تکوین زمین‌ساختی بخش مرکزی زاگرس ارائه شود. از آنجا که سیستم‌های شکستگی ناشی از گسل ایذه احتمالاً مهاجرت و انباشت مواد هیدروکربوری در ساختمان‌های نفتگیر حوضه زاگرس را نیز متأثر کرده‌اند (عزیززاده، ۱۳۸۶، ۲۴۳)، لذا تحلیل ساختاری این گسل می‌تواند کارایی زیادی در مدل‌سازی مخازن هیدروکربوری گستره جنوب باختری ایران داشته باشد.

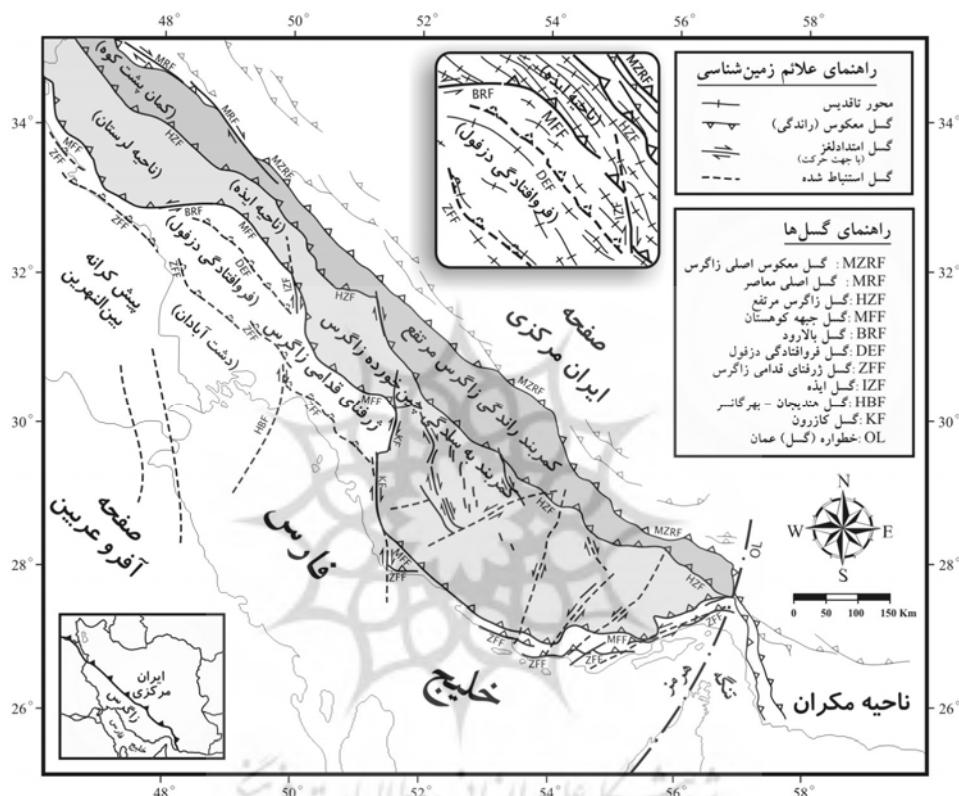
### جایگاه زمین‌شناسی

کمربند چین - راندگی زاگرس در جنوب باختری ایران، بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیاست که در طی کوهزایی نئوژن<sup>۶</sup> و بر اثر بسته شدن اقیانوس نئوتتیس<sup>۷</sup> و برخورد صفحه افریقایی - عربی<sup>۸</sup> با صفحه ایران مرکزی تشکیل شده است (بربریان<sup>۹</sup>، ۱۹۹۵، ۱۹۴). مورفولوژی و سبک ساختاری زاگرس، به دلیل تغییرات چینه‌شناسی محلی و ناحیه‌ای، و نیز تغییر رفتار مکانیکی رخساره‌های رسوبی دارای پیچیدگی‌های خاصی شده است. اطلاعات مغناطیسی هوایی<sup>۱۰</sup> و چینه‌شناسی ناحیه‌ای، و لرزه‌خیزی معاصر دلالت بر آن دارند که سطح پی‌سنگ<sup>۱۱</sup> زاگرس بسیار ناهموار است و گسل‌های متعددی - که غالباً مرز واحدهای زمین‌ساختی را تعیین می‌کنند - بر نواحی مختلف آن تأثیر نهاده‌اند (کوپ<sup>۱۲</sup> و استانلی<sup>۱۳</sup>، ۱۹۸۲، ۱۶۶؛ بربریان، ۱۹۹۵، ۲۲۲) (شکل ۱). در طی زمان زمین‌شناسی، تجدید حرکت در طول این گسل‌های پی‌سنگی، در رسوب‌گذاری تأثیر گذاشته، و دگرشکلی ساختاری را تعدیل و یا کنترل کرده است (عزیززاده، ۱۳۷۵، ۸۶).

کمربند کوهزایی زاگرس دارای تنوعی از ساختارهایی با اندازه و هندسه متفاوت است که شدت دگرشکلی (چین‌خوردگی / گسلش) آنها از شمال‌خاوری به سمت جنوب‌باختری کاهش یافته است (بربریان، ۱۹۹۵، ۲۱۷). در بخش مرکزی زاگرس، دو واحد زمین‌ساختی فرعی تحت عناوین ناحیه ایذه<sup>۱۴</sup> و فروافتادگی دزفول<sup>۱۵</sup> مشخص شده‌اند که مرز آنها به وسیله گسل جبهه کوهستان<sup>۱۶</sup> (با روند NW-SE) رقم خورده است (شکل ۱). سازوکار دگرشکلی ساختمان‌های

1. Mobasher
2. Babaie
3. Zagros Fold-thrust belt
4. Digital Elevation Model (DEM)
5. Structural Style
6. Neogene
7. Neo-Tethys
8. Afro-Arabian plate
9. Berberian
10. Aeromagnetic
11. Basement
12. Koop
13. Stoneley
14. Izeh Zone
15. Dezful Embayment
16. Mountain Front Fault

واقع در ناحیه ایزه بسیار پیچیده است، و از چین خوردگی سطح جدایش<sup>۱</sup> تا چین خوردگی انتشار گسلی<sup>۲</sup> تغییر کرده است. در مقابل، تاقدیس‌های ناحیه فروافتادگی دزفول به صورت ساختمان‌های کمتر دگرشکل شده‌ای هستند که فواصل زیادی از یکدیگر دارند. این ساختمان‌ها در بر گیرنده بیشتر میدان‌های هیدروکربوری عظیم ایران هستند (شرکتی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۶۹۵).



شکل ۱. عناصر ساختاری و واحدهای زمین‌ساختی کمربند چین-راندگی زاگرس، در گستره جنوب باختری ایران<sup>۴</sup>

در بخش مرکزی زاگرس تعدادی گسل عرضی<sup>۵</sup> وجود دارد، که مشهورترین آنها گسل هنديجان - بهرگانسر است (شکل ۱). این گسل امتدادلغز<sup>۶</sup>، بخشی از روندی شمالی - جنوبی است که ظاهراً بلندی‌های قدیمی<sup>۷</sup> میدان‌های نفتی بهرگانسر، هنديجان، رگه سفید، و نیز تاقدیس کوه بنگستان بر اثر حرکات آن به وجود آمده‌اند (مطیعی، ۱۳۷۴، ۸، ۴۱۹).

1. Detachment folding
2. Fault propagation folding
3. Sherkati

۴- موقعیت عناصر ساختاری بر اساس نقشه زمین‌شناسی ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۵)، نقشه تکتونیک ایران ایران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰ (شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۶)، و بربریان (۱۹۹۵) ترسیم شده است. در کادر بالایی مرکز تصویر، جزئیات ساختاری محدوده پیرامون گسل ایزه (IZF) مشخص شده است.

۵. Transversal fault: گسل‌هایی که نسبت به روند اصلی کمربند کوهزایی، به صورت آرپ یا کمابیش عمودی عمل کرده‌اند.

6. Strike-slip fault
7. Paleo-high
8. Motiei

گسل هندیجان - بهرگانسر از نظر لرزه‌ای فعال است، و سازوکار کانونی<sup>۱</sup> زمین‌لرزه‌های آن دلالت بر وقوع حرکات راستگرد<sup>۲</sup> در پی‌سنگ زاگرس دارند (حسامی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۱، ۱۱). این گسل بر روی نقشه مغناطیس‌هوایی ناحیه نیز مشخص است و آثار آن را تا حوالی گسل ایذه (واقع در بخش مرکزی کمر بند به‌سادگی چین‌خورده زاگرس) به توان تشخیص داد (بربریان، ۱۹۹۵، ۲۱۶). بررسی نقشه‌های هم‌ضخامت<sup>۴</sup> زمان ژوراسیک تا کرتاسه پایانی حوضه زاگرس، نشان می‌دهد که لبه سکوی<sup>۵</sup> حوضه‌های رسوب‌گذاری گروه خامی (ژوراسیک آغازی - کرتاسه میانی) و سازند سروک (کرتاسه پایانی) از روند این گسل تبعیت کرده است (مک‌کوئیلن<sup>۶</sup>، ۱۹۹۱، ۴۵۸). حرکات این گسل، روابط سنگ‌رخساره‌ای<sup>۷</sup> زمان الیگو-میوسن (سازند آسماری) حوضه زاگرس را نیز متأثر کرده است (موریس<sup>۸</sup>، ۱۹۸۰، ۶۱۲). تغییر ضخامت و رخساره رسوبات طرفین این گسل شاهدهی بر شکل‌گیری آن در زمان پیش از چین‌خوردگی زاگرس<sup>۹</sup> است. در کل، به لحاظ زمین‌ساختی، گسل هندیجان - بهرگانسر و گسل ایذه، بخش‌های مختلفی از روندی فراناچی‌ای<sup>۱۰</sup> اند که می‌توان آن را خطواره هندیجان - بهرگانسر - ایذه نامید. روند این خطواره فراناچی‌ای (N-S) مغایر با روند عمومی زاگرس (NW-SE) است، و احتمالاً خاستگاه آن را می‌توان به گروهی از گسل‌های قدیمی پی‌سنگ نسبت داد که به روندهای عربی<sup>۱۱</sup> مشهورند (عزیززاده، ۱۳۸۶، ۳۲).

برای مطالعه سبک و سازوکار دگرشکلی گسل ایذه، محدوده بین  $30^{\circ}$  و  $31^{\circ}$  تا  $52^{\circ}$  و  $31^{\circ}$  عرض شمالی، و  $30^{\circ}$  و  $49^{\circ}$  تا  $53^{\circ}$  طول خاوری، واقع در جنوب‌باختری شهرستان ایذه (استان خوزستان) انتخاب گردید (شکل ۲). توپوگرافی این منطقه بسیار ناهموار است، و دامنه پستی و بلندی آن بین ۵۴۸ متر تا ۱۴۹۹ متر (نسبت به سطح دریا) تغییر کرده است. این محدوده، در مرز ناحیه ایذه با فروافتادگی دزفول واقع شده، و عمدتاً با رسوبات دوران‌های دوم و سوم زمین‌شناسی پوشیده شده است (شکل ۲).

## مواد و روش‌ها

برای مطالعه سنجش از دور آثار دگرشکلی گسل ایذه، از داده‌ها و روش‌های زیر استفاده شده است.

(۱) تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه:

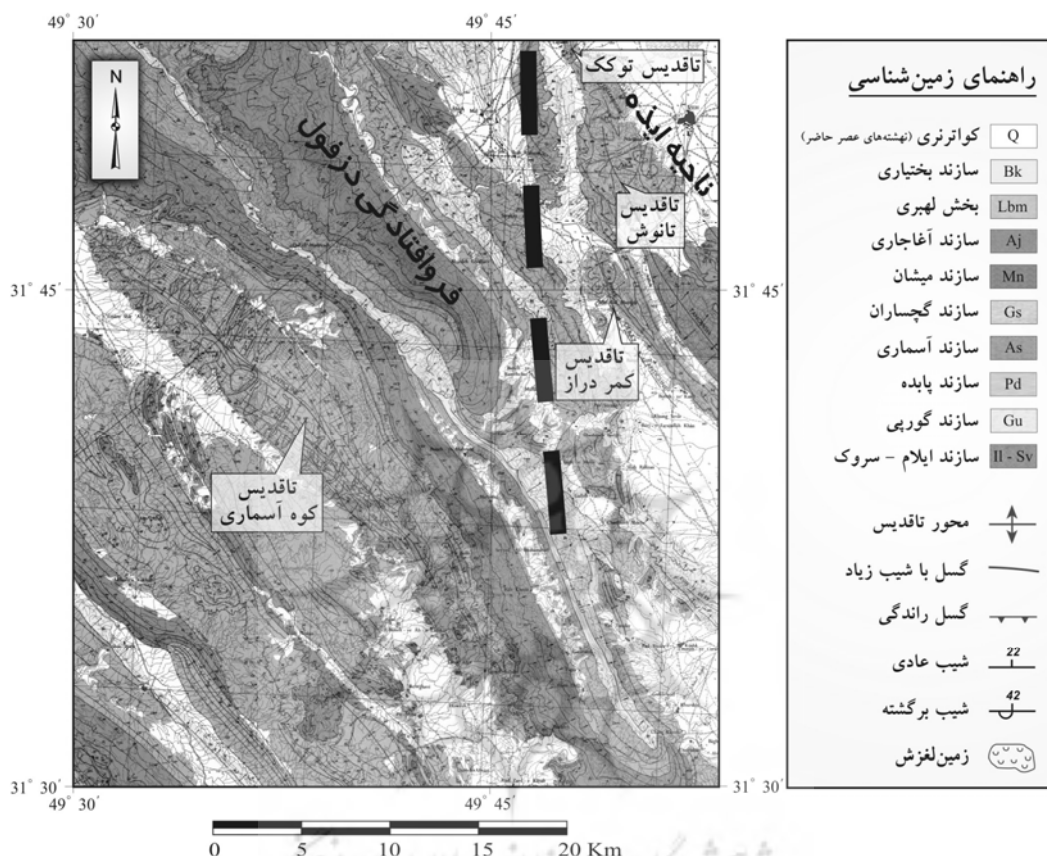
- داده‌های رقومی سنجنده ASTER از ماهواره TERRA، به شماره‌های ردیف و گذر 310301/316 (مارس

۲۰۰۱ میلادی).

- داده‌های رقومی سنجنده PAN (از ماهواره IRS-1D، به شماره‌های 68/49a و 68/49c) (ژوئیه ۲۰۰۱ میلادی).

1. Focal Mechanism
2. Right lateral
3. Hessami
4. Isopach maps
5. Shelf-edge
6. McQuillan
7. Litho-facies
8. Murriss
9. Pre-Zagros folding
10. Supra regional
11. Arabian trend

- نقشه زمین‌شناسی کوه آسماری با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (شرکت خدمات نفت ایران، ۱۹۶۶).  
 - نقشه‌های توپوگرافی رقومی بخش مرکزی ناحیه ایزده (در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰)، تهیه شده به وسیله سازمان نقشه‌برداری ایران.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت عناصر ساختاری اصلی گستره مورد مطالعه<sup>۲</sup>

## ۲) روش پژوهش

در شکل ۳، نمودار فرایند مطالعات سنجش از دور سیستم گسل ایزده نشان داده شده است. نخستین مرحله این فرایند، عملیات آماده‌سازی و تصحیح هندسی نقشه‌های مختلف و تصاویر ماهواره‌ای است. تصحیح هندسی یکی از عملیات پیش‌پردازش است که باید قبل از هرگونه استخراج اطلاعات از نقشه‌ها یا تصاویر انجام شود (نجفی‌دیسفانی<sup>۳</sup>، ۱۳۷۷، ۱۷۱؛ ریچاردز<sup>۴</sup> و جیازیوپینگ<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹، ۶۶). در طی این پژوهش، پس از اسکن کردن نقشه‌ها و آماده‌سازی مقدماتی تصاویر، تصحیح هندسی آنها به کمک روش نقاط کنترل زمینی<sup>۶</sup> انجام گرفت. در این خصوص، نقاط کنترل

1. Iranian Oil Operation Companies (IOOC)

۲- محل تقریبی گسل ایزده با خط‌چین مشخص شده است.

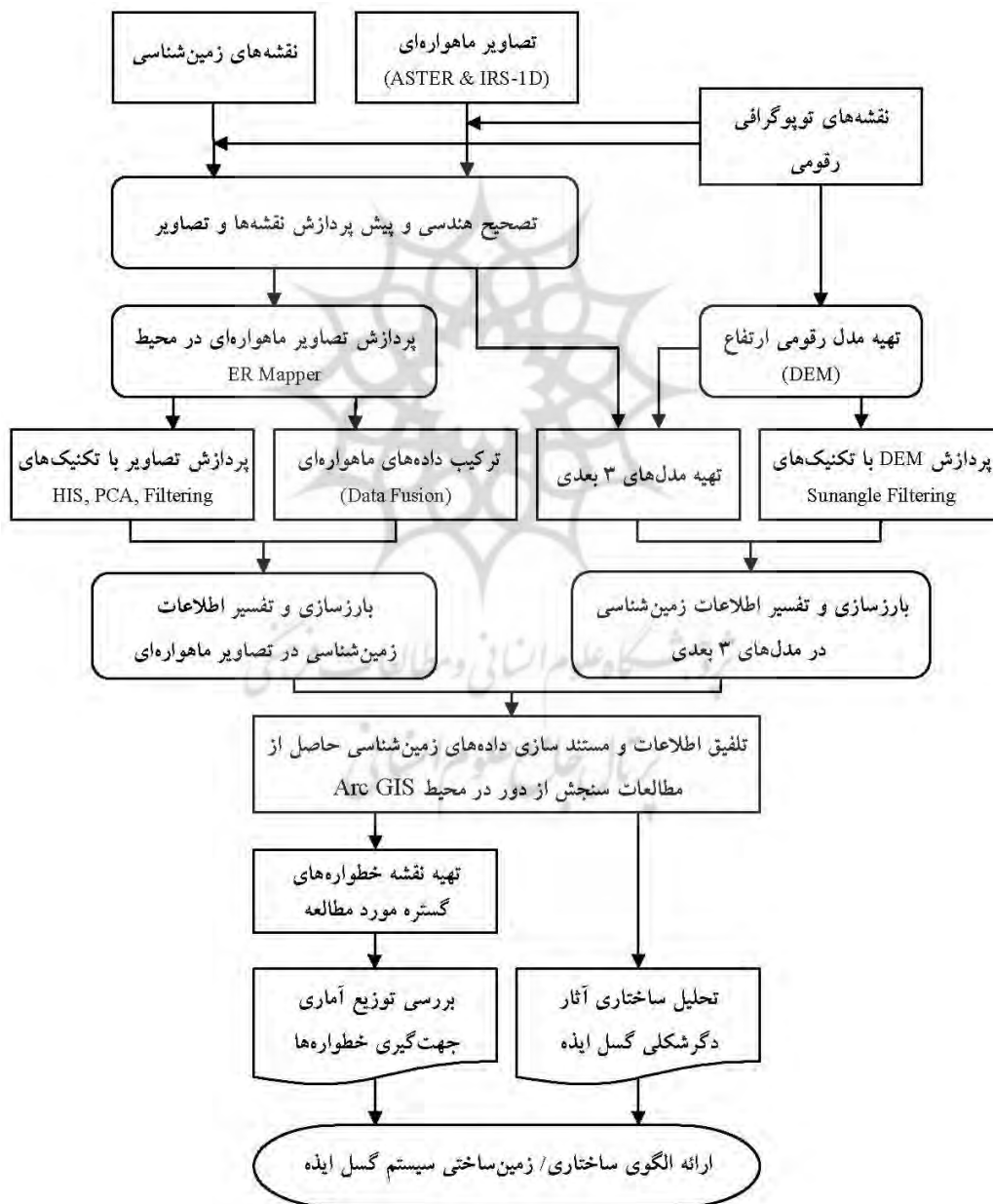
3. Najafi Disfani

4. Richards

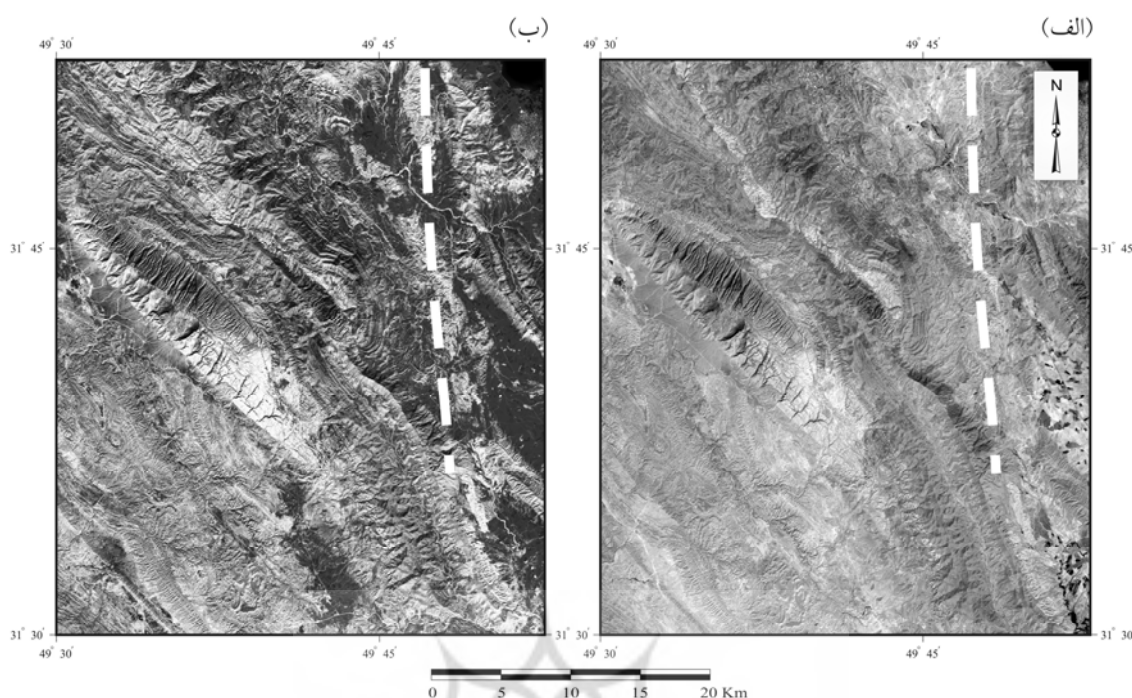
5. Jia Xiuping

6. Ground Control Points

زمینی از روی نقشه‌های توپوگرافی رقومی منطقه (مقیاس ۲۵۰۰۰ : ۱) انتخاب شدند، و سپس در محیط نرم‌افزار ER Mapper 6.4، مبنای تصحیح هندسی نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای قرار گرفتند. برای تصحیح هندسی تصویر ASTER، و تصاویر IRS-PAN به ترتیب تعداد ۳۰، ۲۰ و ۲۰ نقطه کنترل زمینی انتخاب گردید، که مقادیر جذر میانگین مربع خطای<sup>۱</sup> آنها به ترتیب برابر با ۰/۶۱، ۰/۷۶، و ۰/۵۷ بود. تصاویر IRS-PAN گستره مورد مطالعه، پس از تصحیح هندسی با یکدیگر موزائیک شدند. در شکل ۴، تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده گستره مورد مطالعه ارائه گردیده‌اند.



شکل ۳- نمودار فرایند مطالعات سنجش از دور دگرشکلی سیستم گسلی ایذه



شکل ۴. (الف) موزائیک تصاویر IRS-PAN با توان تفکیک ۵/۶ متر. (ب) ترکیب باندهای تصویر ASTER با توان تفکیک ۱۵ متر. در هر دو تصویر، موقعیت تقریبی گسل ایذه با خطچین مشخص شده است.

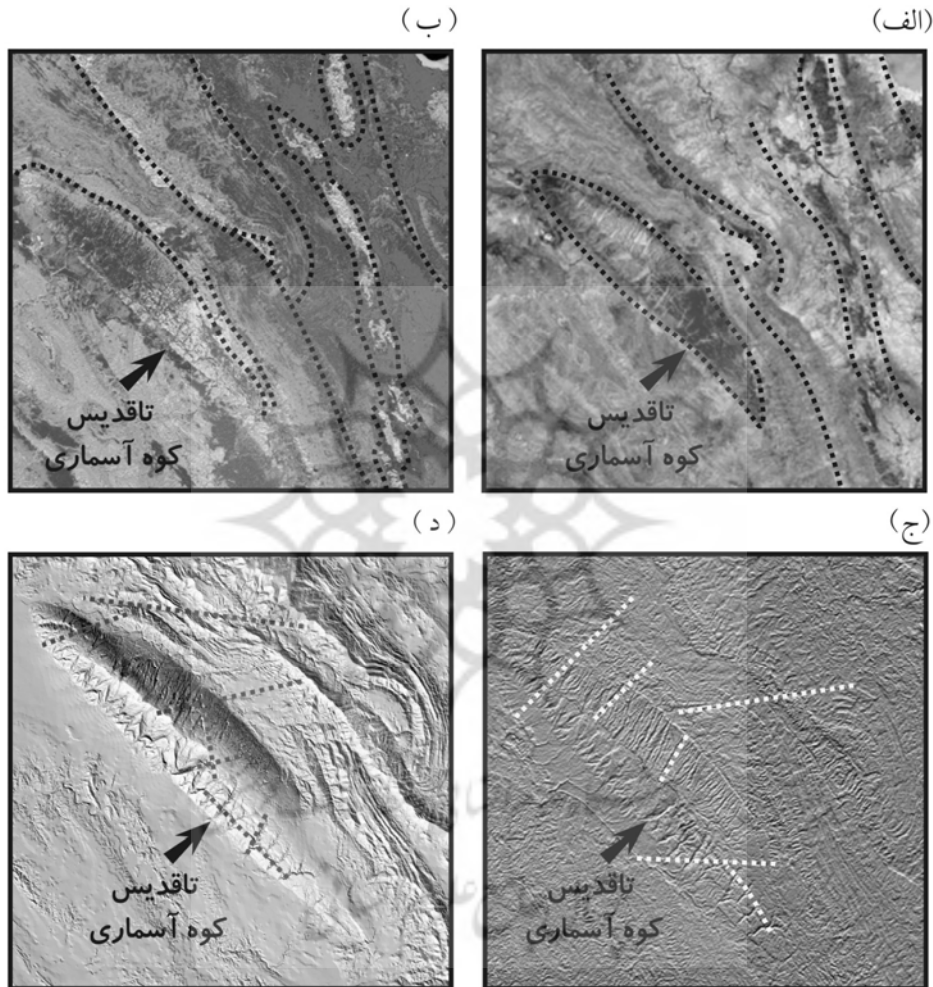
در مراحل بعدی، به منظور شناسایی و استخراج آثار دگرشکلی گسل ایذه، تصاویر ماهواره‌ای گستره مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ER Mapper 6.4 مورد پردازش و بارزسازی (آشکارسازی) قرار گرفتند (شکل ۳). به طور کلی، بارزسازی به معنای استفاده از تمامی تکنیک‌هایی است که از طریق تغییر درجات روشنایی پیکسل‌ها<sup>۱</sup> باعث افزایش مغایرت<sup>۲</sup> عوارض موجود در تصویر می‌شوند، و مفسر را قادر می‌سازند تا اطلاعات مورد نیاز را با سهولت بیشتری از تصویر ماهواره‌ای استخراج کند (ساینز، ۱۹۹۷، ۲۶۶؛ ریچاردز و جیازیوپینگ، ۱۹۹۹، ۸۹؛ علوی پناه<sup>۳</sup>، ۱۳۸۲، ۱۴۴). در پژوهش حاضر، برای بارزسازی عوارض موجود در تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی آثار دگرشکلی در آنها از تکنیک‌های HIS<sup>۴</sup> و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) ۵ استفاده شد (شکل ۵). همچنین، از آنجا که در اغلب مطالعات زمین‌شناسی - به ویژه استخراج خطوطها -، تکنیک ترکیب داده‌ها<sup>۵</sup> کارایی زیادی دارد، لذا در طی پردازش تصاویر، به منظور بارزسازی بیشتر سیماهای دگرشکلی در پیرامون گسل ایذه، داده‌های ماهواره‌ای ASTER (دارای توان تفکیک طیفی بالا<sup>۶</sup>) با داده‌های ماهواره‌ای IRS-PAN (دارای توان تفکیک مکانی بالا<sup>۸</sup>) ترکیب شدند<sup>۹</sup>.

1. Pixel
2. Contrast
3. Alavi Panah
4. Hue-Intensity-Saturation (HIS)
5. Principle Component Analysis (PCA)
6. Data Fusion
7. High Spectral Resolution
8. High Spatial Resolution

۹. برای اطلاعات بیشتر در باب تکنیک‌های بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای، ن.ک. ساینز (۱۹۹۷)، ریچاردز و جیازیوپینگ (۱۹۹۹) و علوی پناه (۱۳۸۲).



به همین ترتیب، پس از آزمودن انواع شیوه‌های فیلترگذاری مکانی<sup>۱</sup>، برای تشخیص جزئیات عوارض زمینی در واحدهای سنگی منطقه از فیلتر بالاگذر<sup>۲</sup> و فیلتر تشخیص لبه<sup>۳</sup> استفاده گردید. به علاوه، چون خطواره‌های عمود بر جهت تابش خورشید وضوح بیشتری دارند (ساینز، ۱۹۹۷، ۱۰۱)، از فیلترهای زاویه تابش نور خورشید<sup>۴</sup> برای آشکارسازی روندهای مختلف شکستگی/گسلش کمک گرفته شد (شکل ۵-ج).

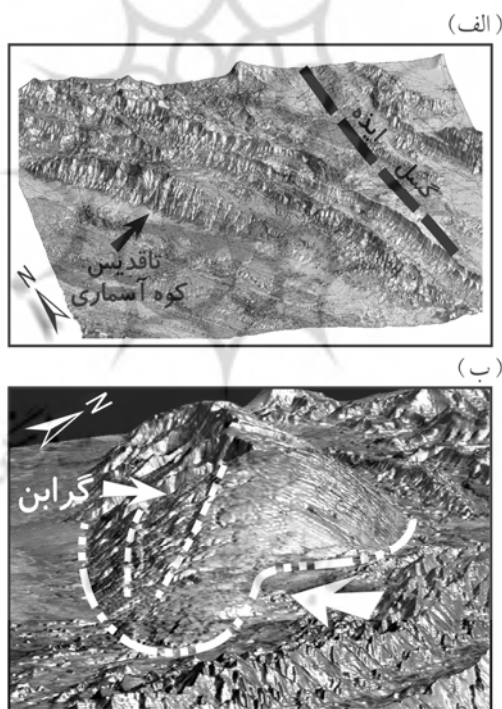


شکل ۵. مثالهایی از بارزسازی آثار دگرشکلی گسل ایذه در تصاویر گستره مورد مطالعه.

(الف) تفکیک واحدهای سنگی و آشکارسازی آثار جابه‌جایی طبقات، با اعمال تکنیک PCA بر روی تصویر ASTER (ترکیب بانندی ۳۲۱). (ب) تفکیک واحدهای سنگی و آشکارسازی آثار جابه‌جایی طبقات، با اعمال تکنیک HIS بر روی تصویر ASTER. (ج) آشکارسازی برخی آثار شکستگی در تصویر IRS-PAN، به وسیله اعمال فیلتر زاویه تابش نور خورشید در راستای N-S. (د) آشکارسازی برخی آثار شکستگی در تصویر سایه‌دار مبتنی بر DEM (در این تصویر، زوایای ارتفاع و آزیموت<sup>۵</sup> خورشید به ترتیب برابر با ۳۱۵ و ۴۵ درجه انتخاب شده‌اند).

1. Spatial Filtering
2. High pass Filter
3. Edge detection Filter
4. Sun angle Filter
5. Azimuth

همچنین، به منظور بررسی دقیق‌تر آثار دگرشکلی سیستم گسل ایذه، مدل رقومی ارتفاع گستره مورد مطالعه (با طبقات ارتفاعی ۱۰ متر) بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰) تهیه گردید. مدل‌های رقومی ارتفاع کارایی زیادی در شناسایی خطواره‌های توپوگرافی و آثار شکستگی، و تولید انواع مدل‌های ساختاری سه‌بُعدی دارند (عزیززاده، ۱۳۸۶، ۵۰). در مدل رقومی ارتفاع نواحی کوهستانی، معمولاً تشخیص آثار خطواره‌های واقع در بستر دره‌های پهن دشوار است؛ لیکن در دره‌های تنگ - که بسترشان به‌سختی روئیت شدنی است -، به سادگی می‌توان موقعیت خطواره‌های ساختاری را شناسایی کرد (کویک و همکاران، ۱۹۹۸). در این خصوص، فیلترهای زاویه تابش نور خورشید کارایی زیادی دارند. در این پژوهش، با تغییر آزمون و ارتفاع جهت تابش خورشید بر روی DEM، تصاویر رنگ‌پوشیده<sup>۱</sup> و تصاویر سایه‌دار<sup>۲</sup> متعددی ایجاد شدند که از آنها برای شناسایی آثار شکستگی / گسلش استفاده گردید (شکل ۵-د). به علاوه، با ترکیب DEM با پوشش نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، انواع مدل‌های سه‌بُعدی ایجاد شدند، و به کمک آنها جزئیات سیماهای دگرشکلی نواحی پیرامون گسل ایذه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶).



شکل ۶. آشکارسازی آثار دگرشکلی گسل ایذه به کمک مدل‌های سه‌بُعدی مبتنی بر DEM. (الف) مدل سه‌بُعدی حاصل از پوشش DEM با نقشه زمین‌شناسی. (ب) مدل سه‌بُعدی حاصل از پوشش DEM با تصویر ASTER<sup>۳</sup>

در طی این مطالعه، علاوه بر تکنیک‌های نرم‌افزاری پیش گفته، از روش تفسیر بصری نیز برای بررسی آثار

1. Color draped Image
2. Shadow Image (2D DEM)

۳- در این تصویر، آثار گسل ایذه در دماغه «پلانژ» (Plunge) جنوب‌خاوری تاقدیس کوه آسماری، به صورت باریک‌شدگی محلی دماغه (پیکان سمت راست) و توسعه ساختار گراین (فروزمین) (Graben) (پیکان سمت چپ) مشخص شده است.

دگرشکلی گسل ایذه استفاده گردید. در مجموع، به کارگیری تکنیک‌های مختلف سنجش از دور، اطلاعات زیادی را در مورد سیستم دگرشکلی گسل ایذه فراهم ساخت، که نتایج و دستاوردهای آن در قالب مدل زمین‌ساختی، نقشه آثار شکستگی / گسلش، و نمودارهای آماری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

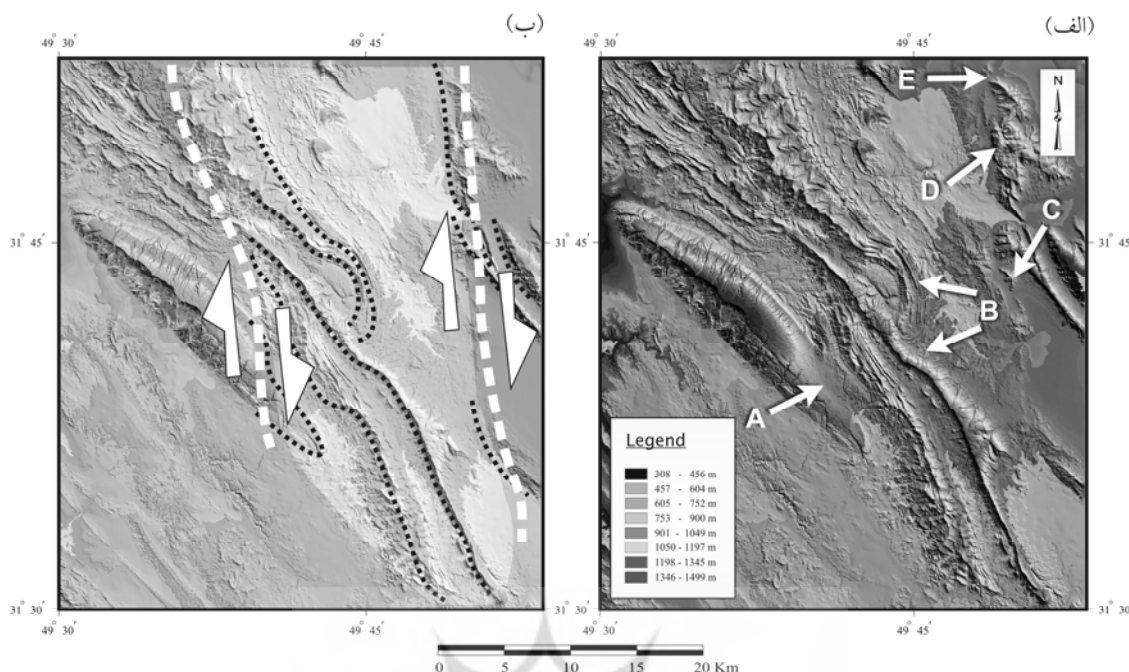
### یافته‌های پژوهش

مشاهدات سنجش از دور نشان داده است که در پیرامون گسل ایذه، سیمای مورفوتکتونیک کمربند چین-راندگی زاگرس به طور محلی دستخوش تغییر شده است (شکل ۷). در سرتاسر منطقه برشی<sup>۱</sup> این گسل، آثار دگرشکلی طبقات و واحدهای زمین‌شناسی در گستره‌ای نسبتاً وسیع (به طول بیش از ۴۰ کیلومتر، و پهنای حدود ۲۰ کیلومتر) توسعه یافته است.<sup>۲</sup> بررسی‌های مورفوتکتونیک نشان می‌دهد که بر اثر حرکات امتدادلغز گسل ایذه، برخی از رخنمون‌های سازند آسماری (مثلاً در تاقدیس‌های کمردراز، تانوش، و توکک) در جهتی که تداعی گر جابه‌جایی راستگرد است، کشیده شده و به صورت شمالی-جنوبی در آمده‌اند (شکل ۷). بر اثر فعالیت این گسل، دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس کوه آسماری نیز به طور محلی باریک شده، و در آن یک ساختار گرابن ایجاد گردیده است (شکل ۶ ب، و شکل ۷). این حرکات همچنین با کشیدگی، گسیختگی و یا جابه‌جایی طبقات گروه فارس (سازندهای گچساران، میشان، و آغاچاری) و سازند بختیاری همراه شده‌اند (شکل ۷). جابه‌جایی و راندگی طبقات گروه فارس (میوسن- پلیوسن) و سازند بختیاری (پلیستوسن بالایی) شاهد خوبی بر تجدید فعالیت گسل ایذه در طی فازهای جوان کوهزایی آپی است.

مطالعات سنجش از دور در گستره پیرامون گسل ایذه نشانگر توسعه چندین سیستم شکستگی اصلی است که با دسته‌های شکستگی فرعی متعددی همراه شده‌اند (شکل ۸). در شکل ۸، نقشه پراکندگی آثار شکستگی / گسلش در ناحیه مورد مطالعه ارائه شده است. این نقشه از طریق تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعات آثار شکستگی (حاصل از اعمال تکنیک‌های بارسازی بر تصاویر ماهواره‌ای و DEM) در محیط نرم‌افزار ArcView 3.2a ایجاد شده است. مقایسه این نقشه با نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه به خوبی نشان می‌دهد که برخی از سیستم‌های شکستگی، انواع قلمروها یا واحدهای زمین‌شناسی دارای سن، لیتولوژی (سنگ‌شناسی) و شرایط ساختاری متفاوت را قطع کرده‌اند (شکل ۸؛ نیز ن. ک. به شکل ۵). این قبیل سیستم‌های شکستگی معمولاً با پیچیدگی ساختاری و یا تغییر عمده الگوی دگرشکلی طبقات رسوبی همراه شده‌اند. در مقابل، سیستم‌های شکستگی فرعی و کوچک معمولاً به واحدها یا قلمروهای زمین‌شناسی خاصی محدود شده‌اند (شکل ۸). بنابراین، در سرتاسر گستره مورد مطالعه، الگوی شکستگی طبقات رسوبی ثابت نیست و به شدت تابع تغییرات شرایط زمین‌شناسی محلی و یا ناحیه‌ای است.

۱. Shear zone : منطقه برشی، ناحیه عریضی است که سنگ‌ها در آن دچار دگرشکلی برشی - اعم از برش ساده یا برش محض - شده‌اند. این دگرشکلی معمولاً در سنگ‌های شکننده به صورت شکستگی و گسلش، و در سنگ‌های شکل‌پذیر به صورت انواع ساختارهای سینوسی ظاهر می‌شود.

۲. منطقه دگرشکلی گسل ایذه، با حدود ۳۰ کیلومتر جابه‌جایی راستگرد در عرض گسل جبهه کوهستانی نیز همراه شده است (عزیززاده، ۱۳۸۶، ۹۹).



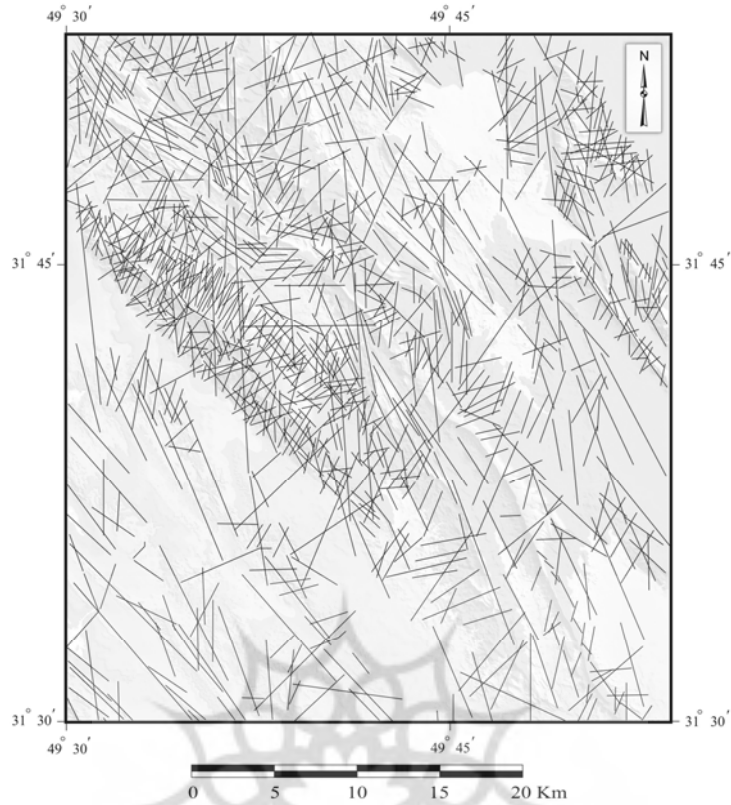
شکل ۷. تحلیل ساختاری آثار دگرشکلی گسل ایذه در بخش مرکزی زاگرس.

(الف) در طی کوهزایی زاگرس، حرکات راستگرد گسل ایذه باعث باریک‌شدگی محلی دماغه جنوب خاوری تاقدیس کوه آسماری (پیکان A)، و خمیش ساختاری و راندگی سازندهای گروه فارس و سازند بختیاری (پیکان‌های B) شده است. حرکات بُرشی این گسل، همچنین با کشیدگی و چرخش طبقات آسماری در تاقدیس کمردراز (پیکان C)، تاقدیس تانوش (پیکان D) و تاقدیس توکک (پیکان E) همراه شده است. تصویر زمینه، مدل DEM ناحیه است، که طبقات ارتفاعی آن به کمک رنگ‌های مختلف مشخص شده‌اند (برای اسامی سازندها و واحدهای زمین‌شناسی، ن.ک. شکل ۲). (ب) مدل زمین‌ساختی فرایند دگرشکلی در منطقه بُرش ساده ناشی از حرکات راستگرد گسل ایذه. تصویر زمینه، طرحی سایه‌دار از مدل DEM است.

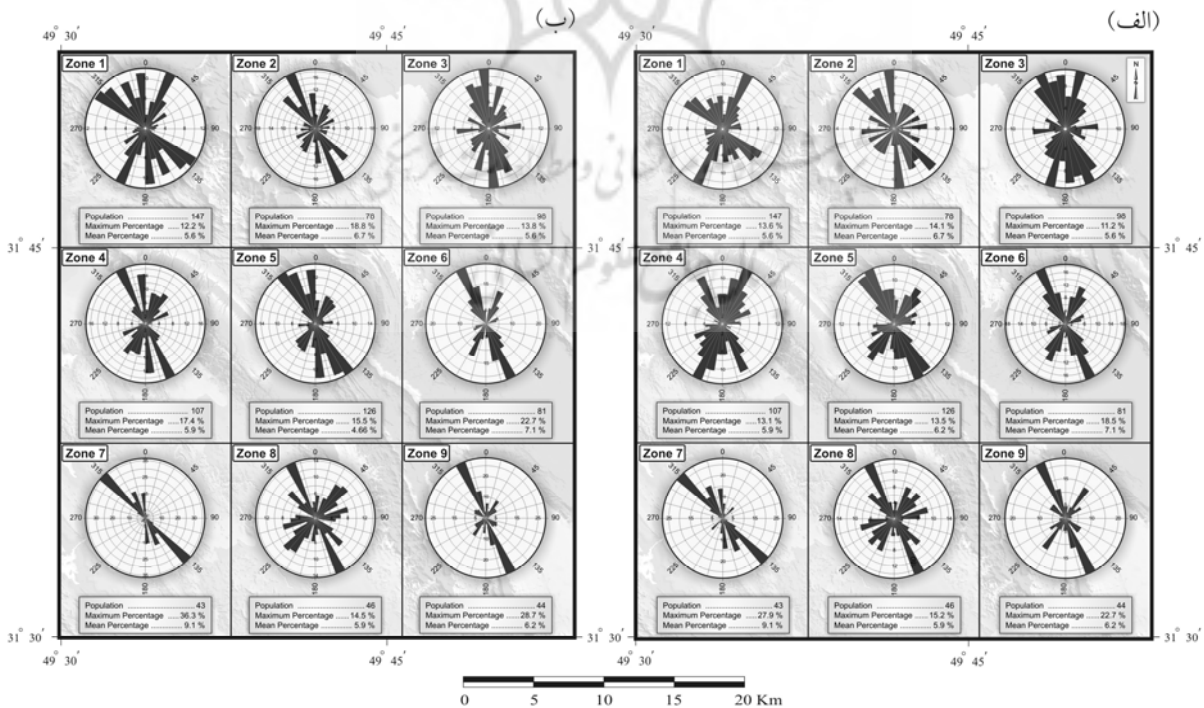
به منظور بررسی تأثیر حرکات گسل ایذه در تغییر الگوی شکستگی واحدهای زمین‌شناسی، گستره مورد مطالعه به ۹ قلمرو (زون) چهارگوش کوچک تقسیم گردید (شکل ۹). ابعاد این قلمروها با توجه به میانگین طول آثار شکستگی انتخاب شد. در هر یک از این قلمروها، مشخصات ساختاری (شامل آزمون و طول) تمام آثار شکستگی اندازه‌گیری گردید. در مجموع، مشخصات ساختاری ۷۷۰ اثر شکستگی در قلمروهای مختلف برداشت شد، که توصیف آماری و تحلیل ساختاری آنها به کمک روش گرافیکی نمودار گُل سرخی<sup>۲</sup> و در محیط نرم‌افزار Rockworks (2006) انجام گرفته است. در شکل ۹، نمودارهای گُل سرخی توزیع آماری شکستگی‌ها بر حسب فراوانی<sup>۳</sup> (شکل ۹-الف) و طول تجمعی<sup>۴</sup> (شکل ۹-ب) ارائه شده است.

۱. عمده‌ترین مشخصات ساختاری آثار شکستگی که می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرد، عبارت‌اند از: آزمون، طول، فاصله، و روابط هندسی. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری آزمون و طول آثار شکستگی از *Distance/ Azimuth Tools v. 1.6 extension* (در محیط نرم‌افزار ArcView 3.2a) استفاده شد. این برنامه الحاقی در پایگاه اینترنتی [http://www.jennessent.com/arcview/arcview\\_extensions.htm](http://www.jennessent.com/arcview/arcview_extensions.htm) در دسترس است.

2. Rose diagram  
3. Frequency  
4. Cumulative length



شکل ۸. نقشه پراکندگی آثار شکستگی در گستره مورد مطالعه. تصویر زمینه، طرحی سایه‌دار از مدل DEM است.



شکل ۹. نمودارهای گل‌سرخ توزیع آماری شکستگی‌ها در قلمروهای منتخب در گستره مورد مطالعه. (الف) نقشه نمودار توزیع فراوانی آثار شکستگی. (ب) نقشه نمودار توزیع طول تجمعی آثار شکستگی. تصویر زمینه نقشه‌ها، طرح سایه‌داری از مدل DEM است.

در تحلیل ساختاری جهت‌گیری روندهای شکستگی، مطرح می‌شود که تجدید فعالیت سیستم بُرشی ناشی از حرکات راستگرد گسل ایذه، نقش عمده‌ای در تغییرات محلی الگوی شکستگی واحدهای مختلف زمین‌شناسی داشته است<sup>۱</sup> (شکل ۹). همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، الگوی جهت‌گیری روندهای شکستگی در قلمروهای مختلف، تفاوت‌های زیادی را با الگوی شکستگی متعارف در تاق‌دیس‌های زاگرس (یعنی شکستگی‌های طولی موازی با محور، و شکستگی‌های عرضی عمود بر محور تاق‌دیس) نشان می‌دهد. در اغلب این قلمروها، علاوه بر شکستگی‌های طولی (روند NW-SE) و عرضی (روند NE-SW)، برخی روندهای دیگر (نظیر روندهای N-S و E-W در قلمروهای ۲ و ۳ و ۵، روند NNW-SSE در قلمروهای ۳ و ۶ و ۹، و جز اینها) نیز دیده می‌شوند که مستقل از سازوکارهای چین‌خوردگی زاگرس‌اند<sup>۲</sup> و احتمالاً با حرکات امتداد لغز گسل ایذه مرتبط‌اند (شکل ۹). به علاوه، اگر چه شکستگی‌های طولی در همه قلمروها دارای بیشترین شدت (فراوانی و طول تجمعی) هستند، لیکن الگوی جهت‌گیری و شدت انواع شکستگی‌های موجود در قلمروهای مختلف - واقع در امتداد طول (از شمال به جنوب) و یا عرض (از باختر به خاور) گسل ایذه - دچار تغییرات زیادی شده‌اند که بی‌ارتباط با سازوکار حرکات متعدد این گسل نیست (شکل ۹).

## بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، آثار دگرشکلی گسل ایذه واقع در بخش مرکزی کمربند چین - راندگی زاگرس، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و DEM مورد بررسی قرار گرفت. در طی این مطالعه به کمک تکنیک‌های سنجش از دور، برداشت‌های مورفوتکتونیک و اندازه‌گیری‌های ساختاری متعددی بر روی سیمای دگرشکلی موجود در پیرامون این سیستم گسلی انجام گردید.

مشاهدات سنجش از دور نشان داد که آثار دگرشکلی گسل ایذه، در ناحیه‌ای نسبتاً وسیع توسعه یافته است. بررسی‌های ساختاری حاکی از آن است که سیستم گسلی ایذه، از واحدهای مختلف زمین‌شناسی (دارای سنّ و یا جایگاه ساختاری متفاوت) عبور کرده، و سیمای مورفوتکتونیک ناحیه‌ای آن با پدیده‌های کشیدگی و چرخش راستگرد محور ساختمان‌های چین‌خورده، و یا گسیختگی و جابه‌جایی طبقات رسوبی مشخص شده است. مطالعات سنجش از دور در گستره پیرامون گسل ایذه، همچنین حضور چند سیستم شکستگی اصلی را آشکار کرده است که با دسته‌های شکستگی فرعی متعددی همراه شده‌اند. با بررسی ساختاری الگوی جهت‌گیری این سیستم‌های شکستگی، این پیشنهاد مطرح می‌شود که برخی از آنها مستقل از سازوکارهای چین‌خوردگی‌اند، و شکل‌گیری آنها با حرکات امتداد لغز راستگرد گسل ایذه (با روند N-S) ارتباط دارد.

در مجموع، شواهد ساختاری و مورفوتکتونیک در بخش مرکزی زاگرس دلالت بر آن دارند که آثار دگرشکلی ناشی

۱. گسل ایذه موجب تغییرات محلی تراکم شکستگی‌ها نیز شده است، که آثار آن در نقشه‌های خطوط تراز شدت (فراوانی/تراکم) شکستگی منطقه نمایان است. بررسی نقش گسل ایذه در تغییر تراکم شکستگی‌ها، در مقاله دیگر نگارنده در دست تهیه است (همچنین، ن. ک. به عزیززاده، ۱۳۸۶، ۱۰۲ تا ۱۰۵).

۲. برای اطلاعات بیشتر در خصوص انواع سبک و سازوکار شکستگی در کمربند چین - راندگی زاگرس، ن. ک. عزیززاده (۱۳۸۶)، صص ۲۴۱ تا ۲۹۵.

از حرکات گسل ایذه، به واسطه سازوکارهای گوناگون و در طی دوره‌های زمانی متفاوتی ایجاد شده‌اند. در سرتاسر این ناحیه، تغییرات ناگهانی ویژگی‌های ساختاری و یا الگوی شکستگی واحدهای زمین‌شناسی دارای سنین مختلف، نشانگر تجدید فعالیت این گسل در طی فازهای مختلف کوهزایی آپی است. به علاوه، برخی از شواهد مورفوتکتونیکی حاکی از آن‌اند که گسل ایذه در طی فازهای جوان کوهزایی (کواترنر و عهد حاضر) نیز فعال بوده است.

## منابع

- Alavi Panah, S. K., 2003, Application of Remote Sensing in Earth Sciences, Tehran University Pub., Tehran, 462 p., (in Farsi).
- Arlegui, L. E., and Soriano, M. A., 1998, Characterizing Lineaments from Satellite Images and Field Studies in the Central Ebro Basin (NE Spain), International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 16, pp. 3169-3185.
- Azizzadeh, M., 1996, Fracture Analysis of the Qatar-Kazerun Fault and its Influence on Developing of Karstic Aquifers, M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, 281 p. (in Farsi).
- Azizzadeh, M., 2007, Structural Analysis of the Asmari formation Fractures in the Izeh Zone and its Application to Hydrocarbon Reservoir Modeling, Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, 313 p. (in Farsi).
- Azizzadeh, M., Shahriari, S., and Molamehr Alizadeh, F., 2008, Fracture Analysis of the Kuh-e Asmari Anticline Using Remote Sensing Techniques: A Case Study from Zagros Mountain, SW Iran, International Journal of Geoinformatics, Vol. 4, No. 2, pp. 43-50.
- Berberian, M., 1995, Master Blind Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics, Tectonophysics, Vol. 241, pp. 193-224.
- Edet, A.E., C.S. Okereke, S.C. Teme, and Esu, E.O., 1998, Application of Remote-sensing Data to Groundwater Exploration: A Case Study of the Cross River State, Southeastern Nigeria, Hydrogeology Journal, Vol. 6, pp. 394-404.
- Hessami, K., Koyi, H. A., and Talbot, C. J., 2001, The Significance of Strike Slip Faulting in the Basement of the Zagros Fold-Thrust Belt, Journal of Petroleum Geology, Vol. 24, No. 1, pp. 5-28.
- IOOC, 1966, Geological Compilation Map, Sheet No. 20825E: Kuh-e Asmari, scale 1:100,000, Geol. and Explor. Division, Tehran., Iran.
- Khan, S.D. and Glenn, N.F., 2006, New Strike-Slip Faults and Litho-units Mapped in Chitral (in Pakistan) Using Field and ASTER Data Yield Regionally Significant Results, International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, Nos. 18-20, pp. 4495-4512.
- Koike, K., Nagano, S., and Kawaba, K., 1998, Construction and Analysis of Interpreted Fracture Planes Through Combination of Satellite-image Derived Lineaments and Digital Elevation Model Data, Computer & Geosciences, Vol. 24, No. 6, pp. 573-583.
- Koop, W. J., and Stoneley, R., 1982, Subsidence History of the Middle East Zagros Basin, Permian to Recent, Philosophical Transactions of Royal Society of London, A.305, pp. 149-168.

- McQuillan, H., 1991, The Role of Basement Tectonics in the Control of Sedimentary Facies, Structural Patterns and Salt Plug Emplacement in the Zagros Fold Belt of South-west Iran, *Jour. of Southeast Asian Earth Sciences*, No. 5, pp. 453-463.
- Miliaresis, G. Ch., 2001, Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at Regional Scale, *Computers & Geosciences*, Vol. 27, pp. 775-786.
- Mobasher, K., and Babaie, H.A., 2008, Kinematic Significance of Fold- and Fault-related Fracture systems in the Zagros Mountains, southern Iran. *Tectonophysics*, Vol. 451, pp. 156-169.
- Mostafa, M. E., and Zakir, F. A., 1996, New Enhancement Techniques for Azimuthal Analysis of Lineaments for Detecting Tectonic Trends in and Around the Afro-Arabian Shield, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.17, No.15, pp. 2923-2943.
- Motiei, H., 1995, *Petroleum Geology of Zagros (Vol. 1)*, Geological Survey of Iran Publications, Tehran, 590 p. (in Farsi).
- Murris, P., 1980, Middle East: Stratigraphic Evolution and Oil Habitat, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 64, No. 5, pp. 597-618.
- Najafi Disfani, M., 1998, *Computer Processing of Remote Sensing Images (Author: P. M. Mather)*, 1st edition, SAMT Pub., Tehran, 437 p., (in Farsi).
- NIOC, 1975, *Geological Map of Iran, Sheet No. 4 (South-West Iran) and Sheet No. 5 (South-Central Iran)*, at scale 1: 1000,000, Natl. Iran. Oil. Co., Explor. & Prod., Tehran, Iran.
- NIOC, 1976, *Tectonic Map of Iran, Scale 1: 2,500,000*, Natl. Iran. Oil. Co., Explor. & Prod., Tehran, Iran.
- Prost, G. L., 1994, *Interpretation of Remote Sensing Images for the Petroleum Industry: Exploration, Exploitation and Environmental Monitoring*, Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York, 342 p.
- Richards, J. A., and Jia Xiuping, 1999, *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, 3rd edition, Springer Verlag, 363 p.
- Sander, P., 2007, Lineaments in Groundwater Exploration: A Review of applications and Limitations, *Hydrogeology Journal*, Vol. 15, pp. 71-74.
- Sabins, F. F., 1997, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, 3rd edition. W. H. Freeman and Company, New York, 494 p.
- Shahriyari, S., Azizzadeh, M., Shayan, S., and Sajadiyan, V. A., 2007, Remote Sensing Effectiveness in Hydrocarbon Reservoirs Modeling in Southwest of Iran: Asmari Formation as a Case Study, *Modarres Human Sciences Quarterly Journal*, Tome 53, pp. 183-214, (in Farsi).
- Sherkati, S., Molinaro, M., de Lamotte, D. F., and Letouzey, J., 2005, Detachment Folding in the Central and Eastern Zagros Fold-belt (Iran): Salt Mobility, Multiple Detachments and Late Basement Control, *Jour. of Structural Geology*, Vol. 27, pp. 1680-1696.
- Walker, T. R., 2006, A Remote Sensing Study of Active Folding and Faulting in Southern Kerman province SE Iran, *Jour. of Structural Geology*, Vol. 28, pp. 654-668.
- Woodall, R., 1994, Empiricism and Concept in Successful Mineral Exploration, *Australian Journal of Earth Sciences*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-10.



## Structural Analysis of the Izeh Fault in the Central Zagros Using Remote Sensing techniques

**Azizzadeh M.\***

Assistant Prof., Exploration & Production Research Center, Research Institute of Petroleum  
Industry (RIPI)

**Mola Mehr Alizadeh F.**

M.Sc., Remote Sensing expert, Iranian Space Agency (ISA)

Received: 2009/10/26

Accepted: 2010/12/25

### Extended Abstract

#### Introduction

The Zagros fold-thrust belt in SW Iran is a part of the Alpine-Himalayan system which consists of a variety of structures with different sizes or geometries. Morphology of the Zagros Mountains is too complicated, because of impactation of different basement faults during the orogeny. The Izeh fault (N-S trending) is one of these deep-seated faults which its movements had been modified sedimentation patterns and deformation styles of geological units in the Central Zagros. Moreover, it's expected that hydrocarbon migration and accumulation in SW Iran had been affected by this fault system.

This paper presents new findings concerning deformation style and mechanism of the Izeh fault. Inasmuch as the RS (Remote Sensing) imagery is one of the valuable means available to geologists for locating geological/ geomorphological features expressing regional fault or fracture systems, therefore, the satellite images were used for structural analysis of the Izeh fault. The study area lies between latitude 31° 30' to 31° 52' N, and longitude 49° 30' to 49° 53' E. The geological setting of the area is just between the Izeh Zone and the Dezful Embayment. It has rugged topography and elevation ranged between 548 m to 1499 m (from sea level).

#### Materials and Methods

In this research, the ASTER image (with high spectral resolution), IRS-PAN images (with high spatial resolution), and Tectonic & Geological maps covering the study area have been used for structural analysis of the Izeh fault system. Furthermore, in order to 3D analysis of geological structures in the area, a detailed Digital Elevation Model (DEM) has been constructed, using digital Topographical maps (with scale 1:25,000). Geometrical correction and digital image processing techniques have been carried out by ER Mapper 6.4 software. The enhancing techniques (e.g. Data Fusion, Spatial Filtering, etc.) were applied for modification satellite images to highlight structural elements and deformational features of the Izeh fault. Moreover, the Sun angle (Directional) filters were applied for increasing geometrical parameters of

\* E-Mail: azizzadehm@ripi.ir

structural lineaments (e.g. fracture traces) on the images. Also, to increase structural contrast on the DEM and improving visual description of fracture edges, Color dropped images and Shadow images (i.e. 2D DEM) of the area have been prepared. As well, by overlaying the DEM with satellite images and geological maps, 3D Models of the area have been constructed. Then, based on these models, the deformation geometries of the rock units were interpreted and mapped precisely. At last, in order to produce the digital Fracture Trace Map of the study area, all the acquired fracture traces data were integrated in Geographic Information System (GIS) environment by using ArcView 3.2a software.

### Results and Discussion

RS observations show that morphotectonic of the central Zagros has been modified by the Izeh fault system. Throughout the study area, a few Asmari formation outcrops (e.g. in Kamar-Deraz, Tanowsh, and Tukak anticlines) have been dragged and rotated in a way which is implied on right-lateral displacement of the Izeh fault. Moreover, the movements of the Izeh fault system had been associated with rupturing and/ or displacement of the Fars group (Mio-Pliocene) and the Bakhtiari formation (Pleistocene), too.

The Fracture Trace Map of the study area is suggested that the Izeh fault had a great force on fracturing. For investigating about the Izeh fault effects on fracture patterns of geological units, the study area has been divided in 9 subzones. In each subzone, the structural data (e.g. azimuth, length) of the fracture traces were taken from the Fracture Trace Map. This can be done by using Distance/ Azimuth Tools v. 1.6 extension of ArcView 3.2a software. Then, in order to clarify the main fracture trends in each subzone, the Rose Diagrams of orientation data of fracture traces were calculated and plotted by using Rockworks 2006 software. In this matter, to compare the relationships between Number and Length of fracture sets, rose diagrams of orientation data have been plotted based on both Frequency and Cumulative length of fractures. The structural analysis of the fracture trace data are shown several fracture systems with varied lengths and orientations. The rose diagram plots indicated that fracture distributions in different subzones were not the same. Generally, throughout the area there are two main fracture sets (NW-SE and NE-SW trending) which are comparable to fold-related fracture system. However, in each subzone, there are few fracture sets which seem to be independent from folding. These fracture sets usually crossed through rocks with different ages and/ or structural settings. Structural evidences suggested that these sets were related to reactivation of the Izeh fault during the Zagros orogeny.

### Conclusion

The RS observations and surveys in the Central Zagros show that the Izeh fault system is associated with complexity in the structural styles of the deformed rocks. The modification of geological units - with different ages and/ or structural settings - had been occurred through an extensive zone. From a morphotectonic point of view, the Izeh fault zone has been marked by right-lateral dragging and rotation of fold axes, and rupturing and/ or displacement of sedimentary strata, too. Moreover, the Izeh fault movements had been modified fracture patterns of the geological units. Throughout the study area, there are main fracture sets which had been associated with many subsidiary fracture sets. Structural analysis of the fractures suggests that

some fracture sets are independent from folding mechanisms, and are related to reactivation of the Izeh fault during the orogeny.

Consequently, morphotectonic and structural evidences are shown that throughout the Izeh fault zone, there are many structural features which have been created by different mechanisms, along with different stages of the Zagros orogeny. Furthermore, some evidences implied that this fault has been reactivated during juvenile phases of the alpine orogeny.

**Keywords:** *Structural analysis, Zagros, Izeh fault, Satellite Images, Digital Elevation Model, Remote Sensing.*

