

## تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال تاقدیس اناران، جنوب باختر ایران

حسین حاجی‌علی‌بیگی<sup>(۱)\*</sup>، سید احمد علوی<sup>۲</sup>، جمشید افتخار نژاد<sup>۳</sup> و محمد مختاری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری تکتونیک گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (تهران)

۴. استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۲۸

### چکیده

تاقدیس اناران در حاشیه گسل جبهه کوهستانی قرار دارد و از جمله تاقدیس‌های کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس می‌باشد. گسل جبهه کوهستانی به عنوان یک جبهه توپوگرافیک، کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس را به چندین منطقه شامل ایذه، فارس، لرستان و فروافتادگی دزفول تقسیم می‌کند. منطقه گسلی بالارود که به صورت یک گسل راندگی مدفون، بخشی از گسل جبهه کوهستانی است، حد فاصل منطقه لرستان (جنوب) و منطقه فروافتادگی دزفول (شمال) قرار دارد. منطقه گسلی بالارود با عبور از حاشیه جنوبی تاقدیس اناران، این تاقدیس و تاقدیس‌های هم جوار را تحت تاثیر عملکرد خود قرار داده است. برداشت‌های صحرایی و تجزیه و تحلیل پارامترهای هندسی تاقدیس و مقایسه آنها با مدل‌های ارائه شده برای انواع چین‌های مرتبط با گسلش، حکایت از آن دارد که می‌توان تاقدیس اناران را به عنوان یک نمونه از چین خم گسلی نوع II که دچار برش متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود شده، پیشنهاد نمود.

کلمات کلیدی: اناران، بالارود، راندگی مدفون، زاگرس

### مقدمه

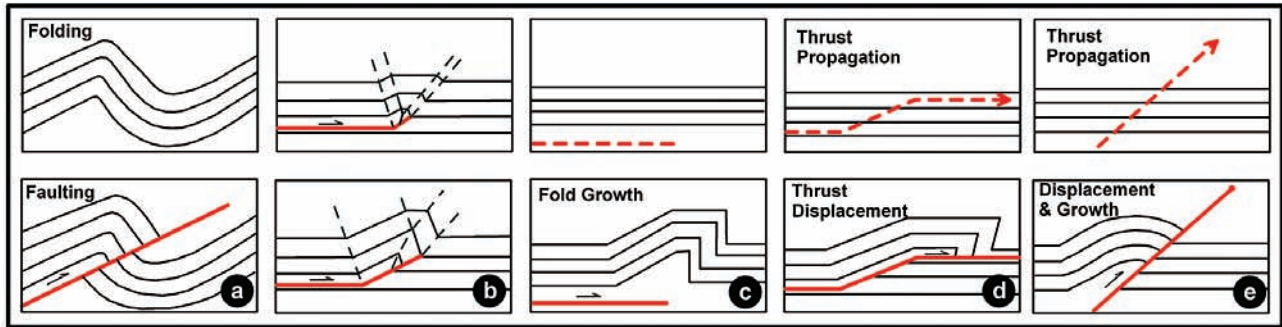
آنها محسوب می‌گردند (Dahlstrom, 1969; Laubscher, 1977; Suppe, 1983; Jamison, 1987). هدف اصلی این مقاله بکارگیری و استفاده از مدل‌های هندسی ارائه شده و برش عرضی تهیه شده (بر اساس برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده)، برای تعیین سبک چین خوردگی تاقدیس اناران (شکل ۲) است.

در نهایت سعی شده است، سبک چین خوردگی این تاقدیس بر اساس تحلیل‌های انجام شده و در چهارچوب مدل هندسی ارائه شده تعیین گردد.

چین خوردگی مرتبط با گسلش<sup>۱</sup> (شکل ۱)، یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و تجزیه و تحلیل هندسی چین‌های کمربندهای چین خورده-رانده شده استفاده می‌شود. این نوع چین خوردگی به صورت مدل‌های هندسی متنوعی تقسیم بندی شده‌اند (Thorbjornsen & Dunne, 1997) (شکل ۱). این مدل‌ها، علاوه بر آنکه موجب درک بهتر چین خوردگی می‌شوند، ابزار مهمی برای ترسیم برش‌های عرضی و موازنه نمودن

1. Fault-Related Folding  
2. Fold-Thrust Belt

\* نویسنده مرتبط



شکل ۱- انواع چین های مرتبط با گسلش: a: چین رانده گسلی، b: چین انتشار گسلی، c: چین جدایشی، d: چین خم گسلی، e: چین مانده گسلی. (برگرفته از Throbrjnsen & Dunne, 1997).

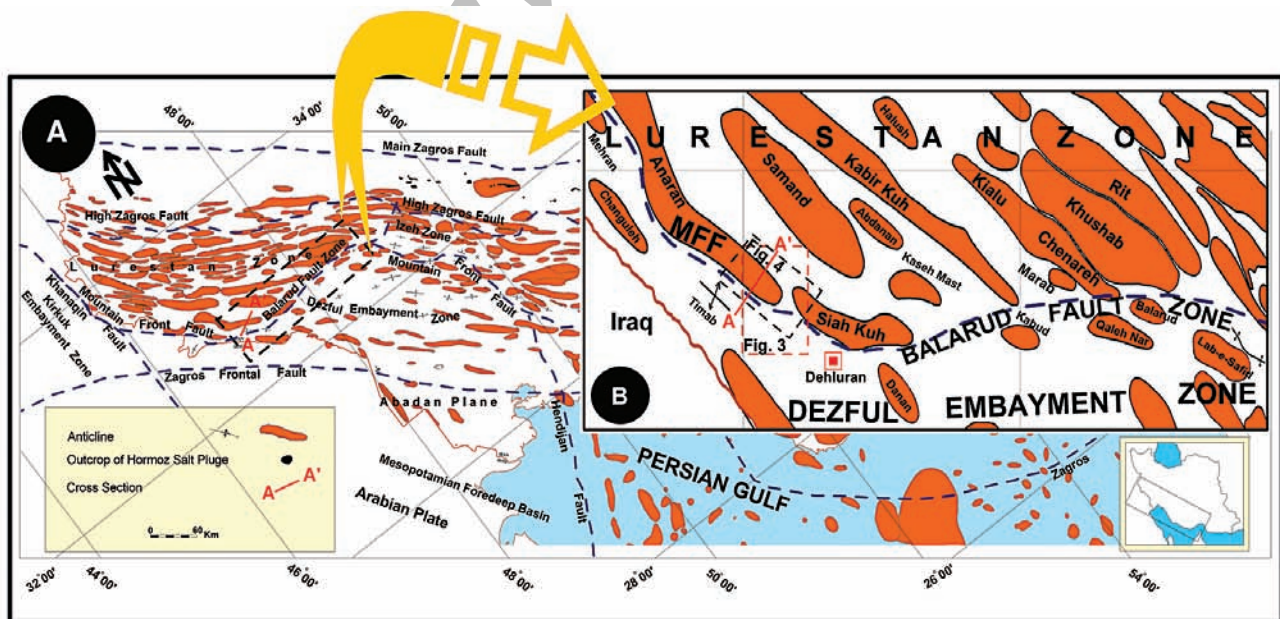
### جایگاه تکتونیکی

تاقدیس اناران در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهر دهلران در کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس واقع شده است. گسل جبیه کوهستانی<sup>۲</sup> با شیب به سمت شمال و سازوکار اصلی راندگی کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس را به چندین منطقه تقسیم می کند (Berberian, 1995) (شکل ۲). منطقه گسلی بالاورد که بخشی از گسل جبیه کوهستانی است، آن را از منطقه فروافتادگی دزفول جدا می کند (Pattinson & Takin, 1971). تاقدیس اناران در منطقه لرستان قرار دارد. این منطقه از دیدگاه زمین شناسی یک پیش آمدگی<sup>۳</sup> (Talbot & Alavi, 1996) در کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس بشمار می آید. تاقدیس اناران در غرب تاقدیس سیاه کوه و جنوب غرب تاقدیس سمند قرار گرفته و تاقدیس های تیماب، چنگوله، در جنوب غرب این تاقدیس قرار گرفته اند. تعداد زیادی از تاقدیس های منطقه از

جمله تاقدیس اناران متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالاورد هستند (شکل های ۲ و ۳). در قسمت های شرقی تر، این منطقه گسلی تاقدیس چناره (شکل ۲) را هم متأثر نموده است (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۶).

### چینه شناسی

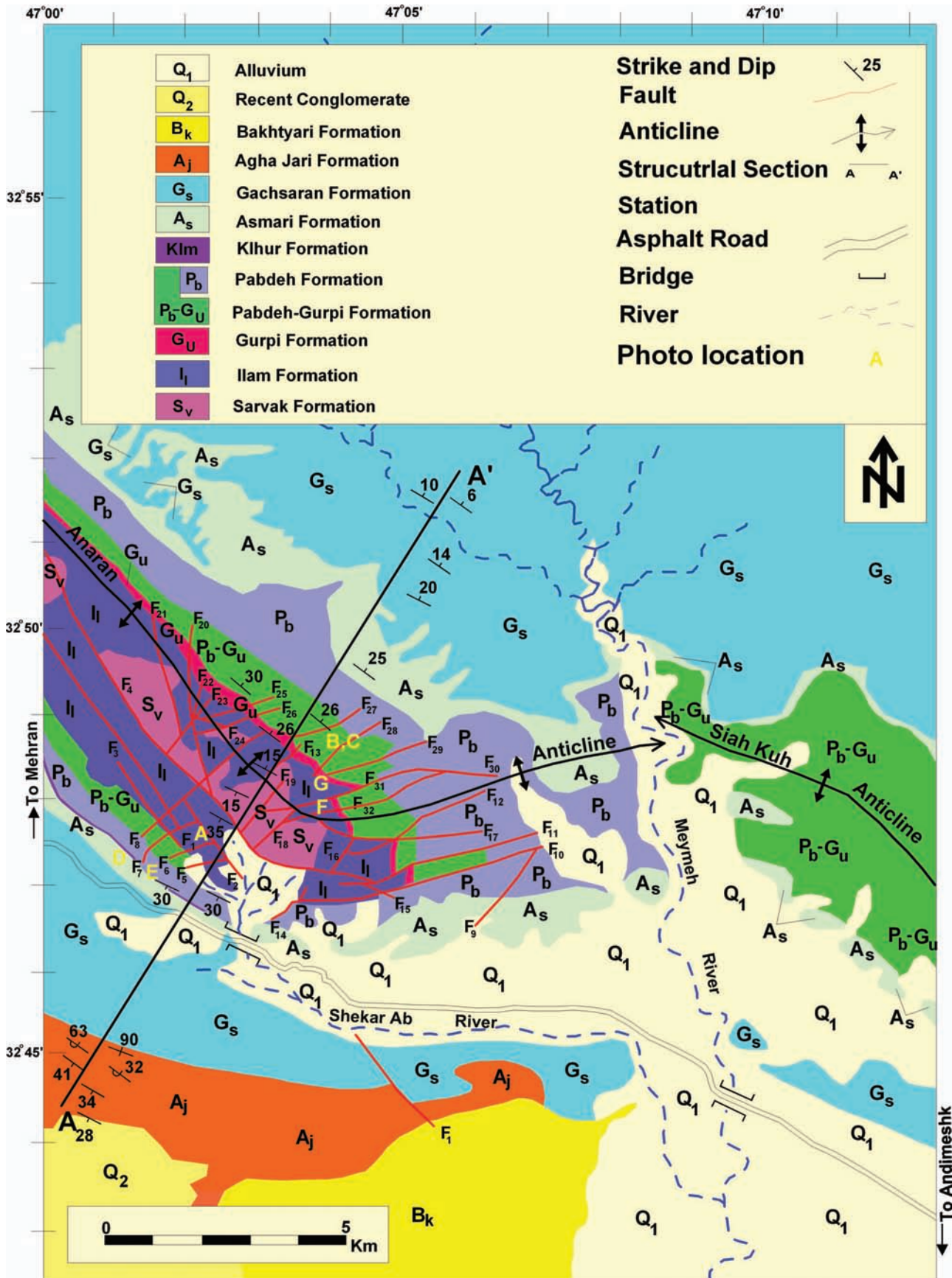
نهشته های رسوبی و واحدهای سنگ شناسی تاقدیس اناران (شکل ۳) به ترتیب از جدید به قدیم (براساس مطیعی، ۱۳۷۴، James & Wynde, 1965; Alavi, 2004) به طور مختصر شرح داده می شود. جوان ترین واحد سنگ شناسی تاقدیس اناران (شکل ۳) سازند بختیاری (شامل کنگلومرا با سن پلیوسن بالایی) است که در جنوب این تاقدیس مشاهده شده است. سازند آغاچارای (شامل تناوبی از آهک، ماسه سنگ، سیلتستون با سن میوسن-پلیوسن) نیز در باختر و خاور یال جلویی (یال جنوب



شکل ۲- A: نقشه کمربند ساده چین خورده زاگرس و ایالت های زمین شناسی آن (برگرفته از N.I.O.C, 1969)، موقعیت تاقدیس اناران و شکل های ۳ و ۴ در این نقشه مشخص شده است. B: نمایی بزرگ تر از تاقدیس اناران و تاقدیس های هم جوار متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالاورد.

1. Zagros Folded-Thrust Belt  
2. Mountain Front Fault

3. Salient



شکل ۳- نقشه زمین شناسی بخشی از تاقدیس اناران. موقعیت این نقشه در شکل ۲ مشخص شده است. برش عرضی زمین شناسی AA' که موقعیت آن در این نقشه درج شده، در شکل ۶- نمایش داده شده است.



همچنین در این نوع چین ها سطح محوری ناودیس جلویی به نقطه راسی در رمپ فرودپواره محدود می شود. در این نوع چین خوردگی در صورتی که زاویه بین دو یال ناودیس جلویی فشرده تر شود (و به حدود  $60^{\circ}$  تا  $70^{\circ}$  برسد)، در این صورت چین به علت مسئله کمبود فضا در هسته ناودیس جلویی قفل می شود. در نتیجه ممکن است حالت های مختلفی رخ دهد. یکی از این حالت های خاص، تشکیل چین های انتشار گسلی انتقال یافته است. بعد از تشکیل چین های انتشار گسلی در صورتی که راندگی از ساختار چین خورده عبور کند، چین انتشار گسلی انتقال یافته<sup>۴</sup> تشکیل می گردد (Suppe & Medwedeff, 1990; Chester & Chester, 1990).

چین خم گسلی (شکل ۱-d) معمولاً به وسیله دگرریختی فرادپواره که بر روی سطح پلکانی یک راندگی حرکت می کند ایجاد می شود (Jamison, 1987). این چین خوردگی با دو نوع مختلف (I و II Mode) شناخته می شود. نوع I چین های خم گسلی واجد یک رمپ منفرد در سطح راندگی (معمولاً با شیب  $30^{\circ}$  یا کمتر) بین دو نقطه راندگی موازی با لایه (یا همان پله ها) است. در این نوع چین ضخامت و شیب لایه های یال جلویی با شیب رمپ فرودپواره برابر باقی می ماند. در نوع II چین های خم گسلی، تاقدیس جلویی زاویه بین دو یال فشرده تری دارد و شیب آن نیز بیشتر است (Jamison, 1987). تعیین این دو نوع چین خم گسلی بر اساس نمودار ارائه شده توسط Jamison, 1987, 1992 امکان پذیر است.

بر اساس عقیده Suppe, et al., 2004 در چین خوردگی خم گسلی با برش ساده وجود یک لایه ضعیف یا افق جدایش ضعیف<sup>۵</sup> که در قاعده رمپ گسلی قرار گرفته ممکن است بیش از آنکه به عنوان یک سطح گسلی محض عمل کند می تواند به عنوان یک منطقه برشی عمل کند. اصول این چین، شباهت زیادی با چین خوردگی خم گسلی محض دارد. طول لایه ها و ضخامت آنها تقریباً یکسان باقی می ماند. سطح گسل راندگی خلاف جهت تمایل چین زاویه دار قرار گرفته و چین بر روی سطح گسل لولا می شود (Suppe, 1983; Suppe et al., 2004).

### بحث

تاقدیس اناران تاقدیس سینوسی شکل با تحدب به سوی جنوب خاور است، که در حاشیه گسل جبهه کوهستانی حدفاصل منطقه لرستان و منطقه فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل های ۲ و ۴). دماغه تاقدیس در کرانه باختری رودخانه میمه در جهت  $S65^{\circ}E$  در حدود  $5^{\circ}$  پلانژ می شود (شکل ۴). انتهای محور تاقدیس سیاه کوه با یک فاصله  $500$  متری در شمال خاور پلانژ محور تاقدیس اناران و در کرانه خاور رودخانه میمه قرار گرفته است (شکل ۳). در حالی که شیب طبقات یال شمال خاوری

(باختری) مشاهده شده است. رخنمون کوچکی از بخش لهری در جنوب خاور جاده دهلران-مهران قابل مشاهده است (شکل ۳). سازند گچساران (شامل تناوبی از ژیس، نمک و سیلتستون با سن میوسن) نسبتاً گسترده ترین سازندی است که در منطقه مطالعاتی این تاقدیس وجود دارد. گسترش این سازند در یال جلویی نسبت به یال عقبی (یال شمال خاوری) بسیار کمتر است. سازند آسماری (شامل نهشته های آهکی و ماسه ای با سن الیگومیوسن) با گسترش متفاوت در هر دو یال رخنمون شده است. این سازند در یال جلویی به صورت بخش های کوچک و مجزا رخنمون شده ولی در یال عقبی به صورت نواری با ضخامت نسبتاً متغیر رخنمون دارد. بخش کلهر (شامل نهشته های تبخیری قاعده سازند آسماری) در یال جلویی این تاقدیس دیده می شود.

سازند پابده (شامل آهک های مارنی با سن ائوسن-پالئوسن) در هر دو یال رخنمون شده است. سازند گورپی (شامل شیل های کربناته با سن کرتاسه بالایی) و بخش آهکی امام حسن در یال جلویی رخنمون شده اند. این سازندها، سازندهای گروه بنگستان مشتمل بر سازندهای سروک (شامل آهک های ضخیم لایه با سن کرتاسه بالایی) و ایلام (شامل آهک های نازک لایه و گاهی شیلی با سن کرتاسه بالایی) را در بر گرفته اند. سازند سروک (از گروه بنگستان) قدیمی ترین سازندی است که در هسته این تاقدیس رخنمون دارد.

با توجه به مناطق اطراف و چاه های حفاری شده در تاقدیس های هم جوار، در زیرگروه بنگستان، سازند گرو (شامل شیل های آهکی با سن کرتاسه پائینی) قرار گرفته است. در زیر سازند گرو به ترتیب نهشته های پیش از تریاس و پیش از پرمین قرار گرفته اند.

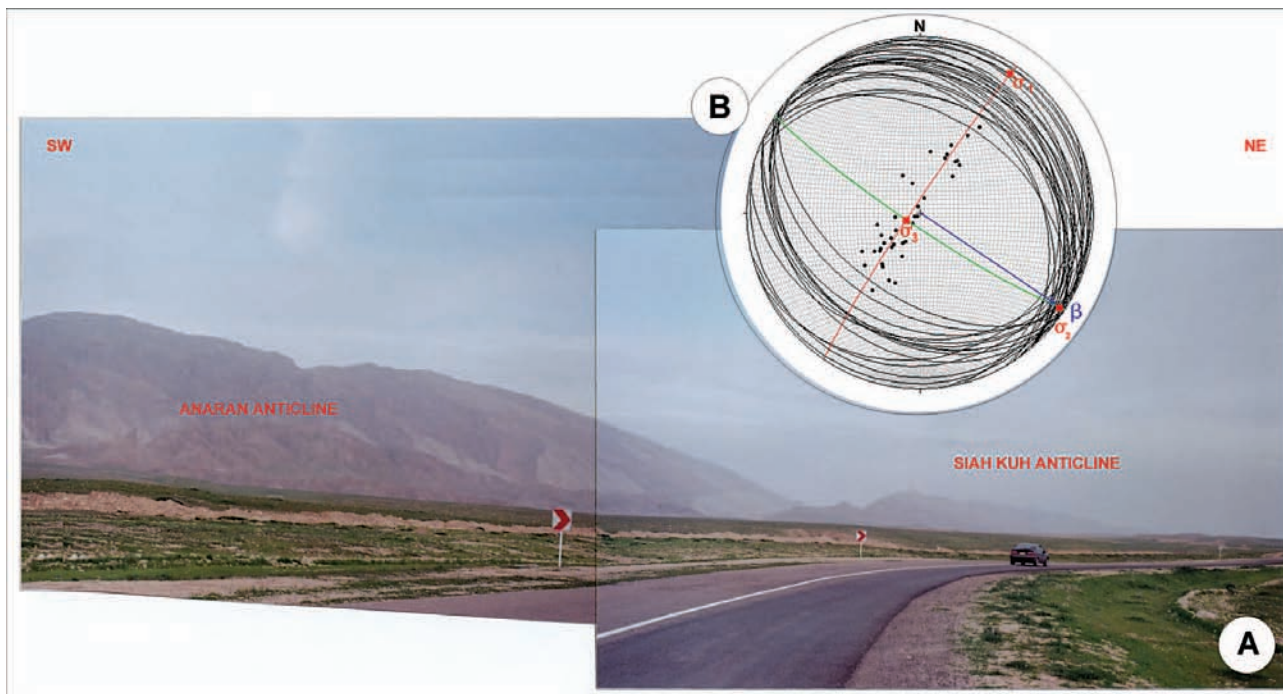
### مدل های هندسی

دو نوع از مدل های هندسی که برای چین های مرتبط با گسلش ارائه شده عبارتند از: الف: چین انتشار گسلی<sup>۱</sup> (Jamison, 1987; Chester & Chester, 1990; Suppe & Medwedeff, 1990; Thorbjornsen & Dunne, 1997; Erickson et al., 2001; Wallace & Homza, 2004) و ب: چین خم گسلی<sup>۲</sup> (Suppe, 1985; Jamison, 1987; Poblet & McClay, 1996; Tamagawa et al., 1998; Suppe et al., 2004).

چین های انتشار گسلی (شکل ۱-b) در بخش بالایی رمپ و در بالای نقطه راسی<sup>۳</sup> توسعه می یابند. در این نقطه جابه جایی صفر است و تغییر شکل نهایی به صورت یک ساختار چین خورده در فرادپواره گسل راندگی تشکیل می شود. شناسایی این نوع چین ها با وجود یال عقبی به موازات رمپ فرودپواره، یال جلویی پرشیب تا برگشته و ناودیس های گسل خورده امکان پذیر است. اغلب ناودیس های یادشده در فرودپواره هستند.

1. Fault-propagation fold  
2. Fault-bend fold  
3. Tip Line

4. Transported Fault-Propagation Fold  
5. Simple-Shear Fault-Bend Folding  
6. Weak Decollement Layer



شکل ۴-۱: نمایی از تاقدیس اناران، در محل دماغه جنوب خاوری تاقدیس، از جاده مهران به اندیمشک. دید به سوی شمال باختر. موقعیت عکس بر روی شکل ۲-B مشخص شده است. B: تحلیل استریوگرافی تاقدیس اناران.

های لرزه ای بازتابی شرکت ملی نفت ایران مراجعه شده است. تغییرات ضخامت واقعی طبقات هر دو یال در این برش عرضی به خوبی قابل مشاهده است. این برش عرضی به روش موازنه خط با طول ثابت و در راستای عمود بر محور تاقدیس، به حالت پیش از دگرریختی برگردانده شده است (شکل B-۵). هنگام ترسیم و موازنه، هندسه ساختارهای تحت الارضی بخصوص نحوه عملکرد منطقه گسلی بالارود مورد توجه بوده است. خط سوزن<sup>۱</sup> در شمال خاور برش عرضی در ناودیس بلافصل ساختار تاقدیس اناران قرار داده شده است (شکل ۵). محاسبات انجام شده برای تعیین میزان کوتاه شدگی در این تاقدیس، مقدار کوتاه شدگی را ۲۶/۷ نشان می دهد.

پارامترهای هندسی تاقدیس اناران (بر اساس روش Twiss & Moores, 1992) از روی این برش عرضی (شکل A-۵) محاسبه و در جدول ۱ درج شده است. بر اساس پارامتر فشردگی<sup>۱</sup> و واژه توصیفی انتخابی برای تاقدیس باز<sup>۲</sup> خواهد بود. مراجعه به برش عرضی، واژه توصیفی برای هارمونی<sup>۴</sup> و تقارن<sup>۵</sup> تاقدیس را به ترتیب غیرهارمونیک<sup>۶</sup> و نامتقارن<sup>۷</sup> نشان خواهد داد. بر اساس این برش عرضی، پارامتر تقارن سطح محوری<sup>۸</sup> تاقدیس نوع پیچیده<sup>۹</sup> را برای تاقدیس نشان می دهد. بر اساس پارامترهای نسبت ابعادی<sup>۱۰</sup> و کندی<sup>۱۱</sup> اندازه گیری شده برای این تاقدیس، واژه های توصیفی انتخاب شده برای این تاقدیس به

کمتر (بین ۶۰ تا ۲۶۰) و شیب طبقات یال جنوب باختری بیشتر (بین ۱۵° تا ۳۵°) است، نحوه رخنمون طبقات هر دو یال در نقشه قابل بررسی است. به طوری که ضخامت رخنمون شده از طبقات در یال شمال خاوری بیشتر از یال جنوب باختری است. تغییرات شیب طبقات یال ها در تصویر استریوگرافی تهیه شده برای تاقدیس نیز قابل مشاهده است (شکل B-۴). بر این اساس یال جنوب باختری این تاقدیس به مراتب پرشیب تر از یال شمال خاوری آن بوده و تاقدیس نامتقارن است. محور چین در جهت S65°E در حدود ۵۰ میل دارد. سطح محوری تاقدیس در جهت N63°W به اندازه ۸۳۰ شیب دارد (شکل B-۴).

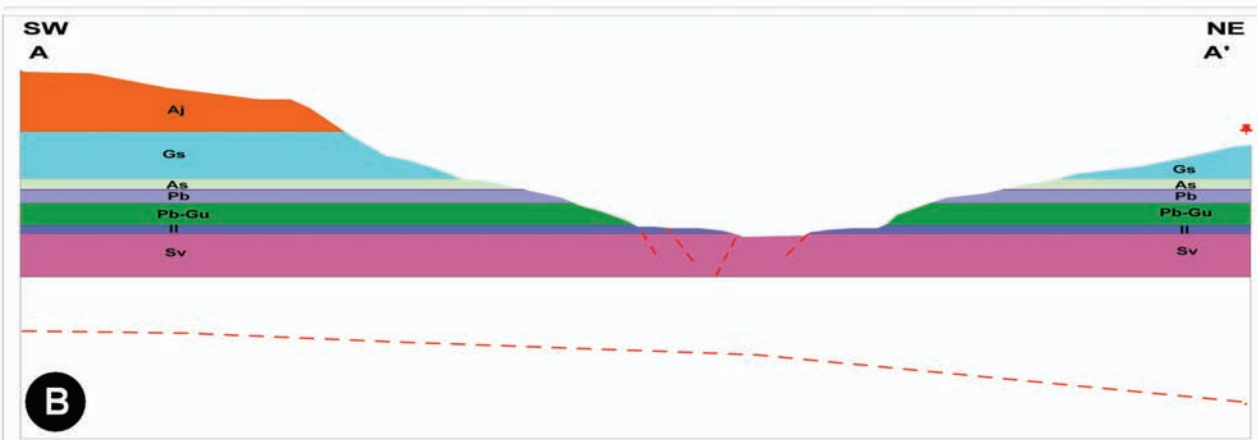
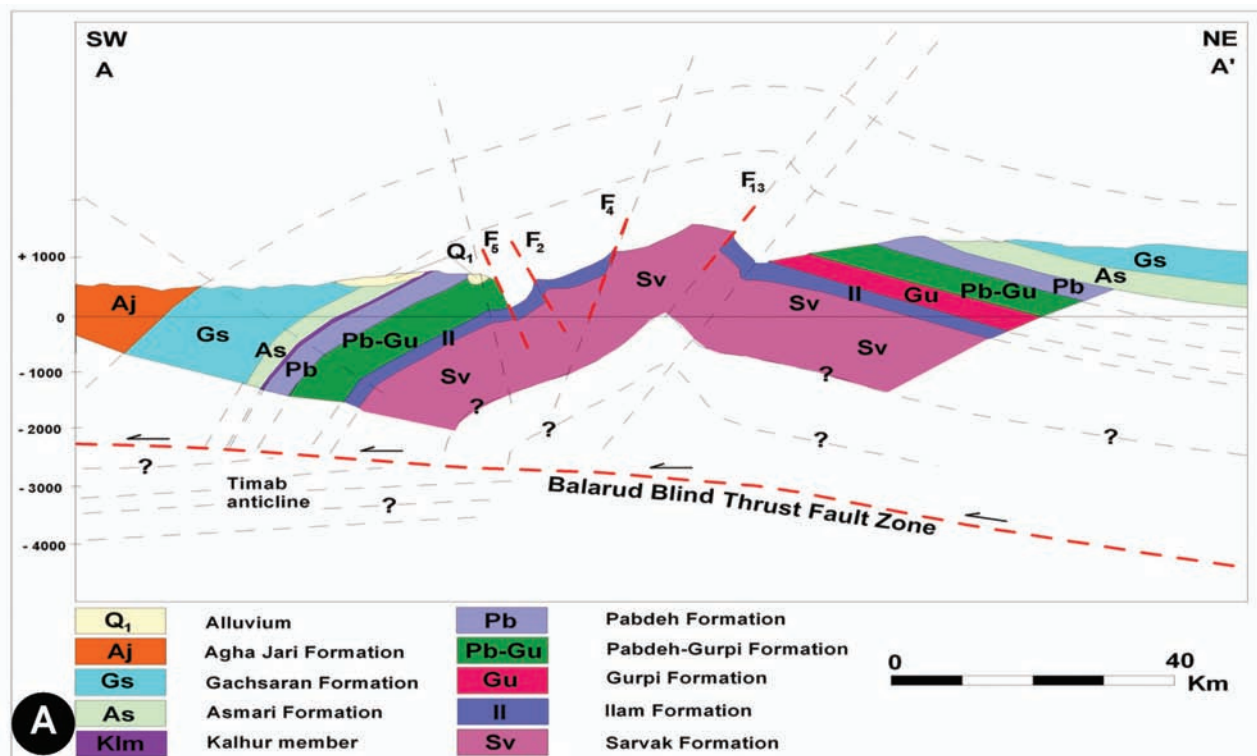
همچنین برای تفسیر و بررسی تحولات تکتونیکی صورت گرفته در تاقدیس اناران، یک برش عرضی از این تاقدیس ترسیم شده است (شکل A-۵). از این برش عرضی برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان تاقدیس اناران و پیش بینی هندسه آن در بخش های عمیق تر این تاقدیس و مقایسه آن با انواع چین های مرتبط با گسلس و تعیین سبک چین خوردگی تاقدیس استفاده شده است. این برش عرضی با طول ۲۰ کیلومتر و روند N40°E تقریباً عمود بر امتداد عمومی طبقات و یا محور چین ترسیم شده است. در ترسیم این برش عرضی به اطلاعاتی از قبیل مشاهدات صحرایی و داده های برداشت شده از نقشه های زمین شناسی (N.I.O.C, 1969)، داده های بدست آمده از چاه های حفاری شده و برش

1. Pine Line
2. Tightness
3. Open
4. Harmony
5. Symmetry
6. Disharmonic

7. Asymmetric
8. Axial Surface Geometry
9. Convolute
10. Aspect Ratio
11. Bluntness

شکستگی‌ها در یال شمال باختری هم دیده می‌شوند ولی تعداد آنها خیلی کمتر از یال جنوب خاوری است. ویژگی‌های هندسی این گسل‌ها (امتداد، طول و نوع آنها) در جدول ۲ درج شده است. در طی مطالعات صحرایی و یا از روی عکس‌های هوایی و نقشه، نوع این گسل‌ها به صورت گسل‌های نرمال (شکل ۷-۱) و امتداد لغز (شکل‌های ۷-۲ و ۷-۳) تعیین شده است. تهیه تصویر استریوگرافی و دیاگرام گل سرخی از جهت گیری روند این شکستگی‌ها حکایت دارد.

ترتیب پهن<sup>۱</sup> و زاویه‌دار<sup>۲</sup> خواهد بود. محاسبات و اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تعیین رده<sup>۳</sup> تاقدیس بر اساس طبقه‌بندی (Ramsay & Huber, 1987) رده این تاقدیس IC تعیین شده است (جدول ۱). در این تاقدیس شکستگی‌ها به صورت گسل‌های متعددی وجود دارند (شکل ۶). این گسل‌ها از  $F_1$  تا  $F_{32}$  نامگذاری شده‌اند (جدول ۲). این گسل‌ها در هر دو یال دیده می‌شوند. یال جنوب خاوری به علت پیچش بیش از حد ساختار، دچار شکستگی‌های متعددی شده است. هر چند این

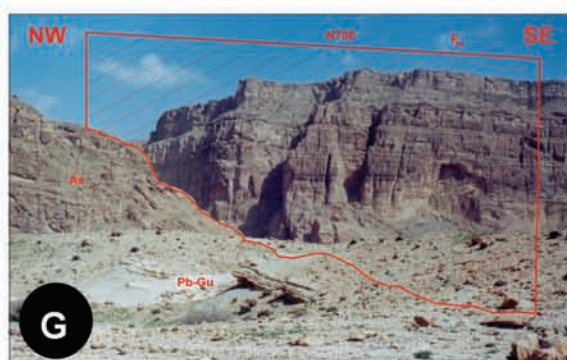
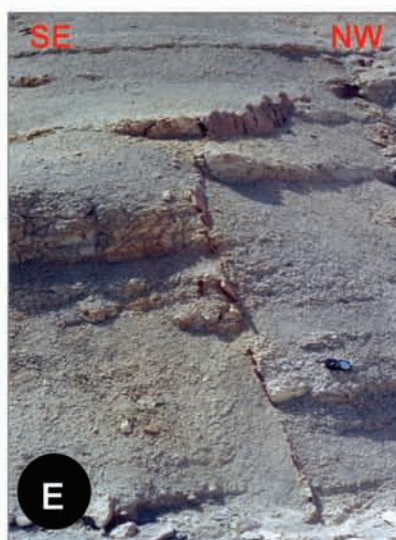


شکل ۵- برش عرضی (A) و موازنه شده (B) تهیه شده برای تاقدیس اناران، بر اساس داده‌های روسطوحی و زیرسطوحی (شامل اطلاعات چاه‌ها و برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده). موقعیت برش عرضی در شکل‌های ۲ و ۴ نشان داده شده است.

1. Wide  
2. Angular

3. Class





شکل ۶- نمونه ای از تصاویر برداشت شده در صحرا. موقعیت تصاویر در نقشه (شکل ۴) مشخص شده است. A: نمایی از یال جنوب باختری تاقدیس اناران. در تصویر گسل های  $F_7$  (با امتداد  $N70^{\circ}E$  و از نوع امتداد لغز) و  $F_2$  (با امتداد  $N40^{\circ}W$  و از نوع نرمال) دیده می شود. B: نمای دور و C: نمای نزدیک از عملکرد نمونه ای از گسل های امتداد لغز در یال شمال خاوری تاقدیس اناران (گسل  $F_{27}$  با امتداد  $N70^{\circ}E$ ). D: نمای نزدیک از گسل  $F_8$  (با امتداد  $N50^{\circ}E$  و از نوع امتداد لغز). E: نمایی از عملکرد نمونه ای از گسل های نرمال در تاقدیس اناران (گسل  $F_6$  با امتداد  $N70^{\circ}E$ ). F: نمایی از عملکرد نمونه ای از گسل نرمال در یال شمال خاوری تاقدیس اناران (گسل  $F_{32}$  با امتداد  $N70^{\circ}E$ ). G: نمایی از یال شمال خاوری تاقدیس اناران برای نمایش گسل  $F_{29}$  (با امتداد  $N70^{\circ}E$  و از نوع امتداد لغز)

تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال تاقدیس اناران، جنوب باختر ایران

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هندسی تاقدیس اناران. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.

AA'	مقطع پارامترهای هندسی	
	۱۰۰	زاویه بین دو یال (α) (درجه)
۸۰	زاویه چین خوردگی (φ) (درجه)	
غیراستوانه‌ای	استوانه‌ای شکل	
نامتقارن	تقارن	
۴۷	(درجه) (η) زاویه تمایل	
شکل Z	شکل چین	
SW	تمایل	
باز	(T) فشردگی	
غیرهارمونیک	هارمونی	
پیچیده	هندسه سطح محوری	
۰/۱۲۵	P=A/M	نسبت ابعادی (P)
-۰/۹	LogP	
پهن	واژه توصیفی	
۰/۸	r <sub>c</sub> (سانتی متر)	کندی (b)
۴/۷	r <sub>o</sub> (سانتی متر)	
۰/۱۷	r <sub>c</sub> /r <sub>o</sub> = b	
زاویه دار	واژه توصیفی	
۴۷	α (درجه)	طبقه بندی رمزی وهوبر Ramsay & Huber (1987)
۱	T <sub>a</sub> (سانتی متر)	
۰/۴	T <sub>o</sub> (سانتی متر)	
۰/۳	t <sub>a</sub> (سانتی متر)	
۰/۴	t <sub>o</sub> (سانتی متر)	
۲/۵	T' <sub>a</sub> = T <sub>a</sub> /T <sub>o</sub>	
۰/۷۵	t' <sub>a</sub> = t <sub>a</sub> /t <sub>o</sub>	
t <sub>a</sub> < t <sub>o</sub>	t <sub>a</sub> , t <sub>o</sub>	
T' <sub>a</sub> > S <sub>ec α</sub>	T' <sub>a</sub> , S <sub>ec α</sub>	
۱t' <sub>a</sub> <	t' <sub>a</sub>	
IC	رده چین	
۱۷	شیب یال عقبی (δ <sub>b</sub> ) (درجه)	
۱۹	شیب رمپ گسلی (θ) (درجه)	
۸۷	برش (α <sub>c</sub> ) (درجه)	



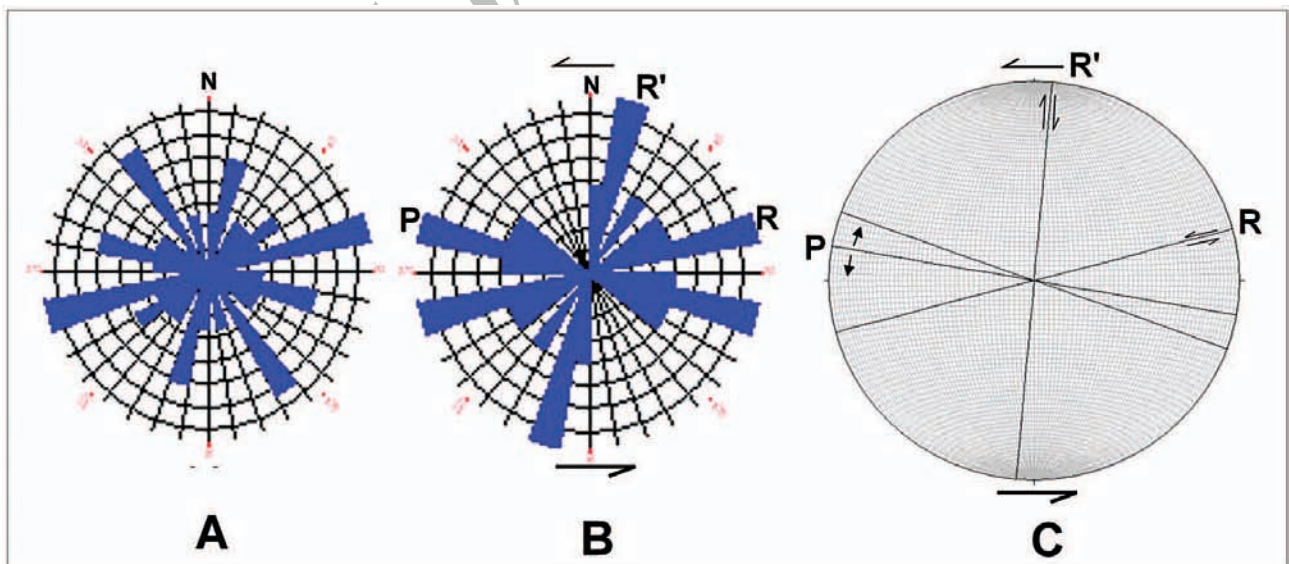
جدول ۲- داده های مربوط به گسل های برداشت شده در تاق‌دیس اناران.

گسل	طول گسل (کیلومتر)	امتداد گسل	نوع گسل
F <sub>1</sub>	۲/۲	N40W	نرمال
F <sub>2</sub>	۲	N40W	نرمال
F <sub>3</sub>	۴/۸	N35W	نرمال
F <sub>4</sub>	۱۰/۸	N80W	نرمال
F <sub>5</sub>	۰/۸	N70E	نرمال
F <sub>6</sub>	۰/۸	N70E	نرمال
F <sub>7</sub>	۱/۹	N70E	امتداد لغز
F <sub>8</sub>	۳/۱	N50E	امتداد لغز
F <sub>9</sub>	۱/۸	N50E	نرمال
F <sub>10</sub>	۵/۵	N75E	امتداد لغز
F <sub>11</sub>	۵/۴	N75E	امتداد لغز
F <sub>12</sub>	۱	N40W	نرمال
F <sub>13</sub>	۱	N45W	نرمال
F <sub>14</sub>	۱	N40W	نرمال
F <sub>15</sub>	۰/۵	N75W	نرمال
F <sub>16</sub>	۱/۰	N65E	نرمال
F <sub>17</sub>	۴/۲	N85E	نرمال
F <sub>18</sub>	۱/۳	N50E	نرمال
F <sub>19</sub>	۱/۴	N50E	نرمال
F <sub>20</sub>	۴	N15E	نرمال
F <sub>21</sub>	۲/۸	N15E	نرمال
F <sub>22</sub>	۱	N5E	نرمال
F <sub>23</sub>	۱/۵	N38E	نرمال
F <sub>24</sub>	۰/۵	N70W	نرمال
F <sub>25</sub>	۱/۵	N70E	نرمال
F <sub>26</sub>	۲/۸	N70E	نرمال
F <sub>27</sub>	۲/۳	N70E	امتداد لغز
F <sub>28</sub>	۲/۱	N45E	امتداد لغز
F <sub>29</sub>	۲/۵	N70E	امتداد لغز
F <sub>30</sub>	۱/۵	N85W	نرمال
F <sub>31</sub>	۵/۵	N70E	امتداد لغز
F <sub>32</sub>	۵	N70E	نرمال

جنوب باختری تاقدیس مشاهده می شود (شکل های ۶ و ۷). در صورتی که تاقدیس اناران متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود باشد، مقایسه آن با مدل ارائه شده توسط Suppe et al. 2004 برای چین های خم گسلی نوع II که دچار برش شده اند، حکایت از آن دارد که وجه تشابه زیادی بین این مدل و تاقدیس اناران وجود دارد. وجود یک لایه ضعیف یا افق جدایش ضعیف<sup>۲</sup> که در قاعده رمپ گسلی قرار گرفته باشد، از ویژگی های منحصر به فرد چین خوردگی خم گسلی با برش ساده است. در صورتی که چین خوردگی خم گسلی محض تحت تاثیر عملکرد یک منطقه گسلی برشی قرار گیرد، در این صورت لایه ضعیف یا افق جدایش ضعیف ممکن است بیش از آنکه به عنوان یک سطح گسلی محض عمل کند می تواند به عنوان یک منطقه برشی عمل کند (Suppe et al. 2004) و این نوع چین خوردگی ایجاد گردد. بر همین اساس در صورتی که تاقدیس اناران متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود باشد، و سازند گرو(۹) به عنوان افق جدایش ضعیف این ساختمان عمل کند، می توان تاقدیس اناران را به عنوان چین خوردگی خم گسلی با برش ساده در نظر گرفت. در این صورت با استفاده از رابطه ارائه شده توسط Suppe et al. 2004 (معادله I) برای این نوع چین خوردگی مقدار برش (ea) اعمال شده بر ساختمان فرادیواره گسل راندگی بالارود یعنی تاقدیس اناران ( $ea=87^\circ$ ) محاسبه شده است. این مقدار برش ( $ea=87^\circ$ ) در تاقدیس اناران که ناشی از عملکرد برشی با مؤلفه چپ گرد منطقه گسلی راندگی بالارود است، با راستای نسبتاً خاوری-باختری این منطقه گسلی همخوانی

احتمالاً این امکان وجود دارد که بتوان برخی از این شکستگی ها را به عنوان شکستگی های ریدل و آنتی ریدل نسبت به منطقه گسلی با مؤلفه چپ گرد بالارود تفکیک کرد (شکل های ۷-C و ۷-B).

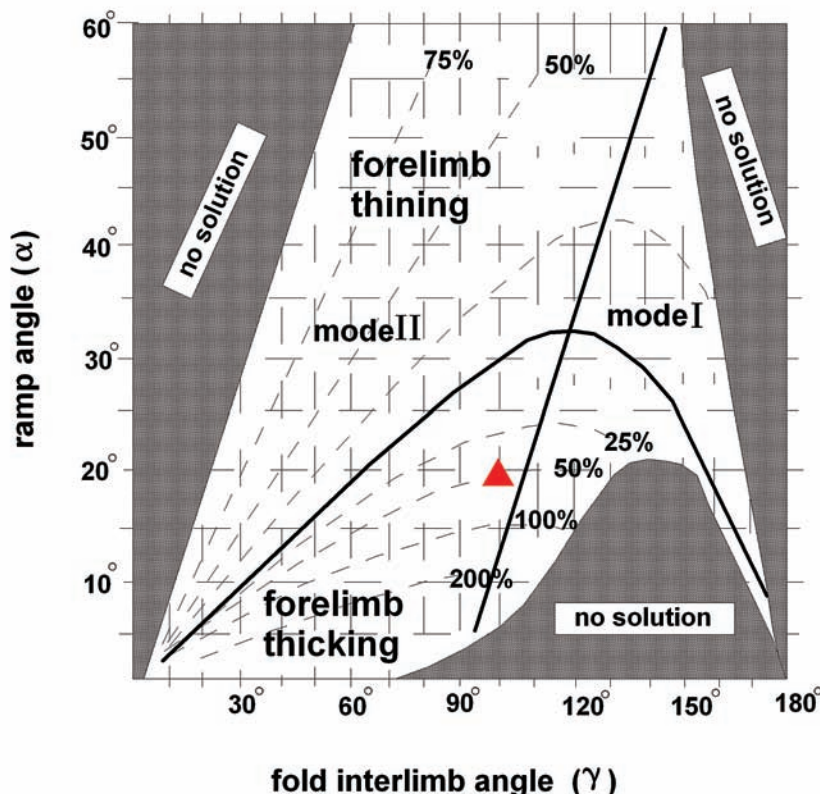
برش عرضی (شکل ۵) نشان می دهد که تاقدیس اناران با تمایل<sup>۱</sup> عمومی به سوی جنوب باختر بر روی تاقدیس تیماب (شکل ۲ و ۵) و متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود رانده شده است. همچنین مطالعه این برش عرضی و مقایسه آن با مدل های هندسی ارائه شده برای چین های مرتبط با گسلش حکایت از آن دارد که تاقدیس اناران یک چین مرتبط با گسلش از نوع خم گسلی<sup>۲</sup> یا چین انتشار گسلی انتقال یافته<sup>۳</sup>، متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود می باشد. مقایسه این برش عرضی و پارامترهای هندسی اندازه گیری شده از آن (جدول ۱)، گزینه اول را مشخص می نماید. چرا که در این صورت بایستی تاقدیس اناران هنوز مستقیماً بر روی رمپ مربوطه قرار گرفته باشد. در حالی که برش عرضی چنین وضعیتی را نشان نمی دهد. بنابراین گزینه اول برای این تاقدیس انتخاب می شود. با ترسیم پارامترهای هندسی مربوطه ( $\theta=100^\circ$  و  $\delta=19^\circ$ ) در نمودار چین خوردگی خم گسلی (ارائه شده توسط Jamison, 1987) می توان نوع (Mode) دو (II) را برای این نوع چین خوردگی در نظر گرفت (شکل ۸). از طرفی مقایسه وضعیت روستحی و زیرسطحی تاقدیس (شکل های ۲ و ۳) حکایت از یک پیچش در روند محور تاقدیس اولیه دارد. ضمن اینکه تفاوت فاحشی در نوع و تعداد شکستگی های یال های شمال خاوری و



شکل ۷- نمودارهای گل سرخی تهیه شده برای نمایش شکستگی های تاقدیس اناران از امتداد (A) کل گسل ها و (B) گسل های ریدل و آنتی ریدل و (C) استریوگرام آنها. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.

1. Vergence  
2. Fault-Bend Fold

3. Transported Fault-Propagation Fold  
4. Weak Decollement layer



شکل ۸- نمودار Jamison (1987) برای تعیین نوع چین خم گسلی (Jamison, 1987) نماد مثلث موقعیت تاقدیس اناران را نشان می دهد.

$$\cot \alpha_e = \sin \delta_b / (2C) \left[ \left[ 1 / (\sin \delta_b \cot \theta + 1 - \cos \delta_b) \right] 2 - \left[ 1 / (\sin \delta_b \cot \theta + 1 - \cos \delta_b) \right] \right] \quad (I)$$

(در رابطه I: مقدار ثابت  $C = 0.5$ ، شیب رمپ گسلی  $\theta$ ، شیب یال عقبی  $\delta_b$  و برش  $\alpha_e$  است.)

### نتیجه گیری

تاقدیس اناران با محور جنوب خاور و روند متغیر یک چین نامتقارن، غیراستوانه ای با همگرایی به سوی جنوب باختر است. این تاقدیس در رده IC طبقه بندی (Ramsay & Huber, 1987) قرار می گیرد. برای تعیین سبک یا هندسه ساختمان اناران، از نظر فشردگی واژه باز، با توجه به نسبت ابعادی محاسبه شده واژه پهن و برای توصیف خمیدگی نسبی چین واژه زاویه دار پیشنهاد می گردد.

مراجعه به برش عرضی تهیه شده از تاقدیس اناران دو گزینه احتمالی برای نامگذاری و تعیین نوع چین خوردگی مرتبط با گسلش در این تاقدیس را مشخص خواهد کرد. به این ترتیب که تاقدیس اناران ممکن است یک چین مرتبط با گسلش از نوع خم گسلی و یا یک چین از نوع انتشار گسلی انتقال یافته متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالا رود باشد. مقایسه این تاقدیس با مدل های قبلی ارائه شده برای چین های مرتبط با گسلش و تجزیه و تحلیل پارامترهای این نوع چین های برای تاقدیس

خوبی دارد. ضمن اینکه این برش منجر به ایجاد شکستگی های متعددی در یال های تاقدیس شده که روند اغلب آنها همخوانی خوبی با شکستگی های R و R' و P دارند (شکل های C-γ و B-γ).

به اعتقاد Suppe, et al., 2004 چین های برش ساده خم گسلی حتی آنهایی که طی برش خیلی بزرگ ناشی از یک سطح جدایش خیلی کم ضخامت تشکیل شده اند، شباهت ظاهری زیادی با مدل های هندسی ارائه شده برای چین های خم گسلی کلاسیک دارند و تنها شواهد زمین شناسی ساختمانی متوسطی می تواند ویژگی خاص این نوع چین خوردگی را تعیین نماید (Mitra, 1988, 1992). چنین شواهدی برای تاقدیس اناران، شکستگی های متعددی است که تقریباً در هر دو یال دیده می شوند (شکل های ۳ و ۶ و ۷). این چین وضعیت قبلاً بوسیله محققین دیگری نیز معرفی شده است. به عنوان مثال می توان به چین خوردگی حاصل از راندگی (Mitra, 1992) اشاره کرد.



-Mitra, s., 1990. Fault-propagation folds: Geometry, kinematics evolution, and hydrocarbon traps. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 74, 921-945.

-Mitra, S. 1992. Balanced structural interpretation in fold and thrust belts. In S. Mitra and G. W. Fisher (eds), Structural Geology of Fold and Thrust Belts, 33-77.

-N.I.O.C., 1969. Geological map of Iran. South-west Iran, Scale 1:1 000 000, National Iranian Oil Company. Exploration and Production, Tehran.

Pattinson, R. and Takin, M. 1971. Geological significance of the Dezful Embayment- boundaries. Iranian Oil Operation Companies (unpublished).

-Poblet and McClay, 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 80, 1085-1109.

-Ramsay, J. G. and Huber, M. I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology, Vol.1: Strain Analysis. Academic Press, London, 307pp.

-Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. American Journal of Science, 283, 684-721.

-Suppe, J., 1985. Principles of Structural Geology. Prentice Hall, Englewood cliff, New Jersey, 537pp.

-Suppe, J., Connors, Ch. D. and Zhang, Y. 2004. Shear fault-bend folding. In McClay, K. R. ed., Thrust tectonics and hydrocarbon systems. American Association of Petroleum Geologists Bulletin memoir, 82, 303-323.

-Suppe, J. and Medwedeff, D. A., 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. Eclogae Geologicae Helveticae, 83, 409-454.

-Suppe, J., Chou, G. T. And Hook, S. C., 1992. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay, K. R. (ed.), Thrust Tectonics, Chapman and Hall, London 105-122,.

-Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G. I., Blundell, D. J. & Davison, I. (eds.) 1996. Salt Tectonics, Geological Society Special Publication No.100, 89-109.

-Tamagawa, T., Matsuoka, T. and Tamura, Y. 1998. Geometrical shape of fault-bend folding with simple shear deformation in the thrust sheet (in Japanese) Geoinformatics (Joho Chishitsu, Osaka) 9, 3-11.

-Thorbjornsen, K. L. and Dunne, W. M., 1997. Origin of a thrust-related fold: Geometric vs. kinematics tests. Journal of Structural Geology, 19, 303-319.

اناران نشان می دهد که گزینه اول احتمالاً درست تر بوده و این تاقدیس یک نمونه از چین های خم گسلی نوع II است که دچار برش متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود نیز شده است.

## منابع

-حاجی علی بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م. و آدابی، م.ح. ۱۳۸۶. استفاده از شکستگی ها در تفسیر ساختاری یک تاقدیس، مطالعه موردی: تاقدیس چناره، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین. در حال چاپ.

-مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. چینه شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی ایران، ۵۴۰ صفحه.

-Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. 304, 1-20.

-Berberian, M., 1995. Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, V.241, P.193-224.

-Chester, J. S. and Chester, F. M., 1990. Fault-propagation folds above thrust with constant dip. Journal of Structural Geology, 12, 903-910.

-Dahlstrom, C. D. A., 1969. Balanced cross sections. Canadian Journal of Earth Sciences, 6, 743-757.

-Erickson, S. G., Strayer, L. M. and Suppe, J., 2001. Initiation and reactivation of faults during movement over a thrust-fault ramp: numerical mechanical models. Journal of Structural Geology, 23, 11-23.-

-Homza, T. K. and Wallace, W. K., 1995. Geometric and kinematics models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. Journal of Structural Geology, 17, 575-588.-

James, G. S. and Wynd, J. G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil ----- Consortium Agreement Area. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol.49, 2182-2245.

-Jamison, W. R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terrains. Journal of Structural Geology, 9, 207-219.

-Jamison, W. R., 1992. Stress controls on fold thrust stule, In: McClay, K. R. (ed.), Thrust Tectonics, London, Chapman & Hall, 155-164.

Laubscher, H. P., 1977. Fold development in the Jura. Tectonophysics, 37, 337-362.

-Twiss, R. J. and Moores, E. M., 1992. Structural Geology. W. H. Freedman & Co., New York, 532pp.

-Wallace, W. K. and Homza, T. X., 2004. Detachment folds versus fault-propagation folds and their truncation by

thrust faults. In: McClay, K. R. (ed.), Thrust tectonics and hydrocarbon systems. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, memoir, 82, 324-355.

Archive of SID