

## تحلیل ساختاری و میزان کوتاه شدگی تاقدیس دارا، از میدان های نفتی زاگرس

حسین هرمزی مقدم، اکرم علیزاده\*

دانشگاه ارومیه، پردیس نازلو، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

پذیرش ۹۷/۰۴/۲۵

دریافت ۹۶/۱۱/۱۴

### چکیده

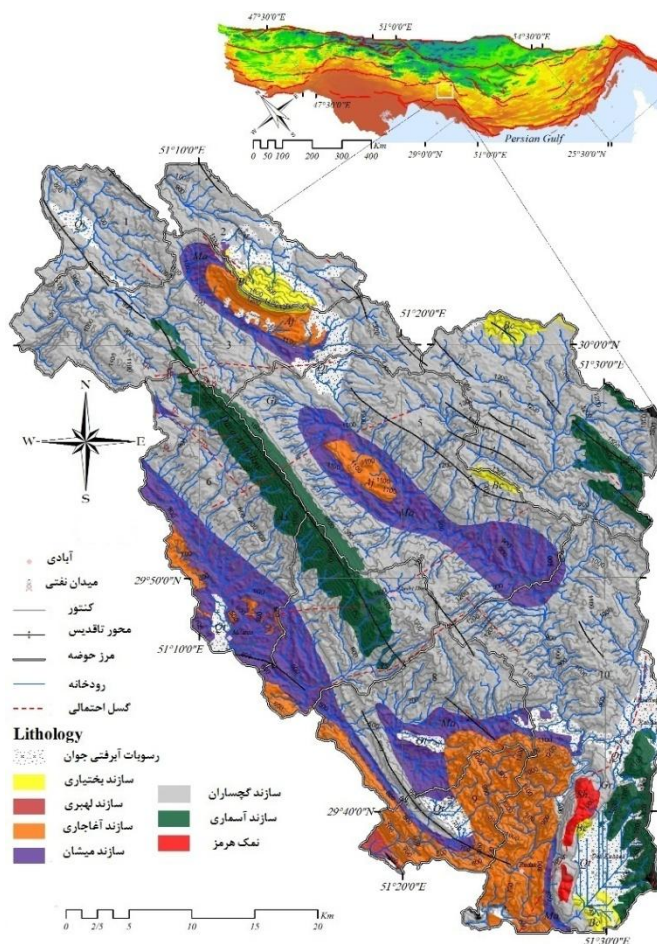
در این پژوهش، تاقدیس دارا به عنوان یکی از میدان های هیدروکربوری کمربند چین-تراست زاگرس در فروافتادگی دزفول (باختر گسل کازرون)، مورد تحلیل و بررسی ساختاری قرار گرفته است. بدین منظور، پس از تعیین روند و نوع چین خوردگی با استفاده از داده های زیرسطحی؛ برش های ساختاری در دماغه شمال باختری، مرکز و دماغه جنوب خاوری تاقدیس ترسیم شده است. تحلیل سبک چین خوردگی تاقدیس دارا، این چین را در محدوده چین های کلاس سه Ramsay قرار می دهد. همچنین می توان این تاقدیس را بر مبنای تقسیم بندی Fleuty در زمره چین های باز قرار داد. شکستگی های موجود در منطقه، دارای سه روند کلی خاوری-باختری، شمالی-جنوبی و شمال باختری-جنوب خاوری هستند. مقاطع عرضی بازسازی شده، مقدار کوتاه شدگی در دماغه شمال باختری (مقطع A-A') را معادل ۶/۵ درصد و در مقطع B-B' را معادل ۸/۴ درصد نشان می دهند که این مقادیر، حاکی از شدت چین خوردگی بیش تر در دماغه جنوب خاوری تاقدیس است.

واژه های کلیدی: تاقدیس دارا، میدان نفتی، چین خوردگی، کوتاه شدگی، زاگرس.

### مقدمه

کوهزاد زاگرس به عنوان قسمتی از کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا، نتیجه همگرایی مایل بین ورق عربی و خرد قاره ایران مرکزی در طی بسته شدن اقیانوس نئوتتیس، باعث ایجاد سیستم فشارش شده است [۱]، [۳]، [۶]، [۷]. این همگرایی امروزه با سرعت تقریبی ۲۲ میلی متر در سال و دارای روند تقریبی شمالی-جنوبی در حال پیش روی است [۲]. تاقدیس دارا با طول حدود ۲۵ کیلومتر و عرض تقریبی ۴ کیلومتر در فروبار دزفول قرار گرفته است. علاوه بر تاقدیس دارا، تاقدیس های: رودک، میلان، چهاربیشه، سولابدر و نرگسی نیز در مجاورت این میدان نفتی قرار دارند. تاقدیس نفتی دارا، از نظر ساختاری بین دو گسل قطر-کازرون در شرق تاقدیس و گسل خارگ-میش در غرب آن قرار دارد. قدیمی ترین واحد رخنمون یافته در این تاقدیس، سازند آسماری است که سازند گچساران به صورت هم شیب روی آن قرار دارد (شکل ۱).

\* نویسنده مسئول ak.alizadeh@urmia.ac.ir



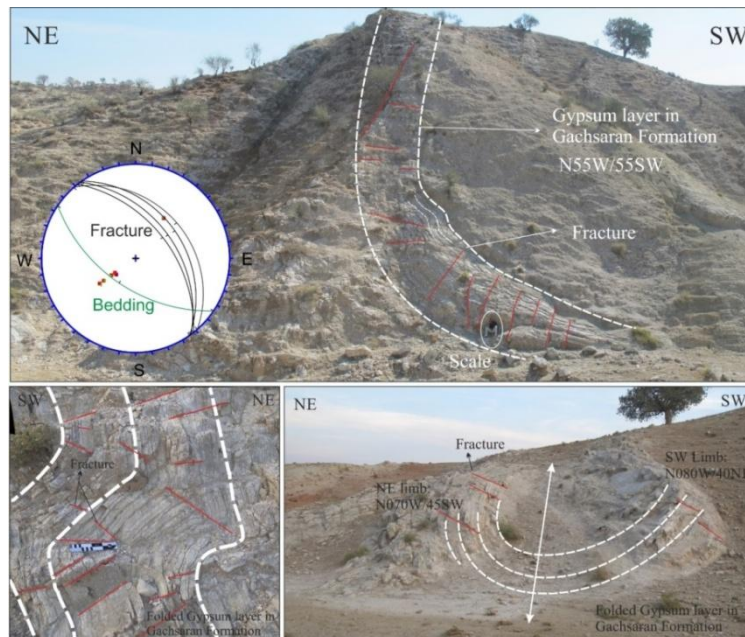
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه

شکل، جهت‌گیری و وسعت چین‌ها در اکتشاف مواد معدنی و منابع نفت و گاز اهمیت ویژه‌ای دارد. منطقه لولای چین می‌تواند محل تشکیل نفت‌گیر یا تجمع مواد معدنی و یا شکستگی‌های موجود در این ناحیه باشد. علاوه بر اهمیت اقتصادی، بررسی چین‌ها می‌تواند به درک حوادث تکتونیکی زمین کمک کند. تنوع وسیع در شکل و اندازه چین‌ها، نشان از تفاوت در شرایط فیزیکی از جمله: تنش، حرارت و فشار و خواص مکانیکی سنگ‌های موجود در زمان دگرشکلی دارد. بنابراین آگاهی از هندسه چین‌خوردگی می‌تواند به تفسیر بهتر شرایط دگرشکلی و مکانیسم توسعه و تکامل چین کمک کند [۱۱]. ویژگی‌های هندسی چین‌ها در بسیاری از پژوهش‌ها نیز بررسی شده است [۴]، [۵]، [۸]، [۱۱].

### ساختارهای زمین‌شناسی

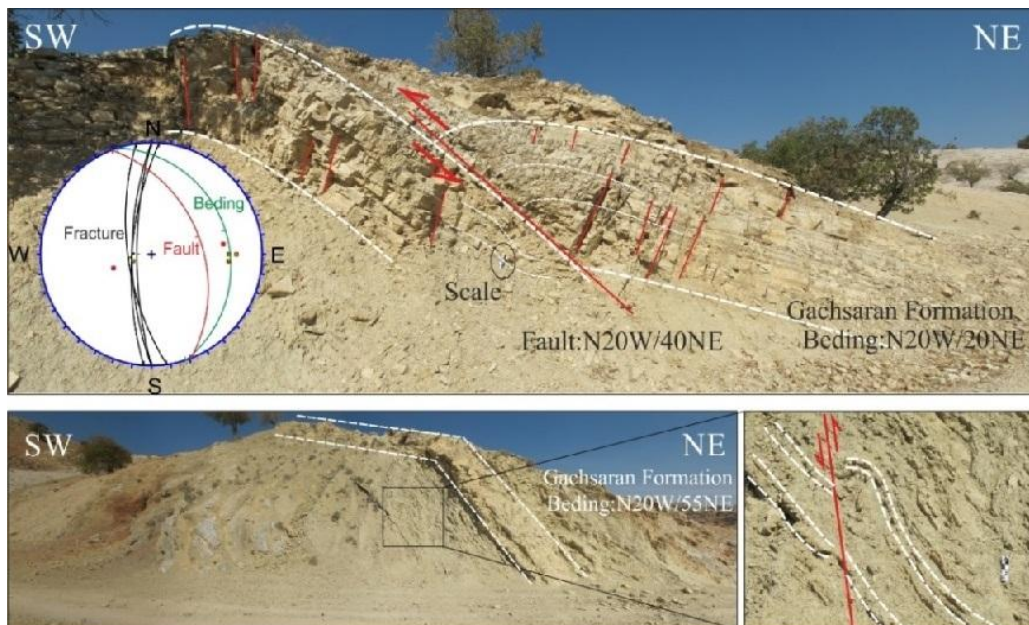
نظر به اهمیت شکل هندسی ساختارها به‌ویژه چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی‌ها در مخازن نفتی، در این پژوهش جهت‌گیری چین‌ها و شکستگی‌ها بررسی شده‌اند. شکل ۲، وضعیت لایه‌بندی و جهت شکستگی‌ها را در سازند گچساران نشان می‌دهد. در برخی قسمت‌ها یک دسته شکستگی با مشخصات N40W/50NE و روند عمومی شمال غربی جنوب شرقی مشاهده می‌شود که موازی روند عمومی تاقدیس دارا و کوهزاد زاگرس است. وضعیت لایه‌بندی

لایه های ژئوپس سازند گچساران در این ایستگاه N60W/55SW است که به شدت چین خورده و در برخی مناطق نیز به صورت قائم درآمده اند.



شکل ۲. وضعیت لایه بندی و شکستگی لایه ژئوپس در سازند گچساران

هم چنین یک دسته شکستگی با روند تقریبی شمالی- جنوبی و گسل معکوس با مشخصات N20W/40NE برداشت شده است. به نظر می رسد ساختار دوپلکس، از عملکرد این گسل ایجاد شده باشد. هم چنین چین خوردگی هایی که در اثر گسلش تکامل یافته اند نیز در این ایستگاه ها قابل مشاهده است (شکل ۳).

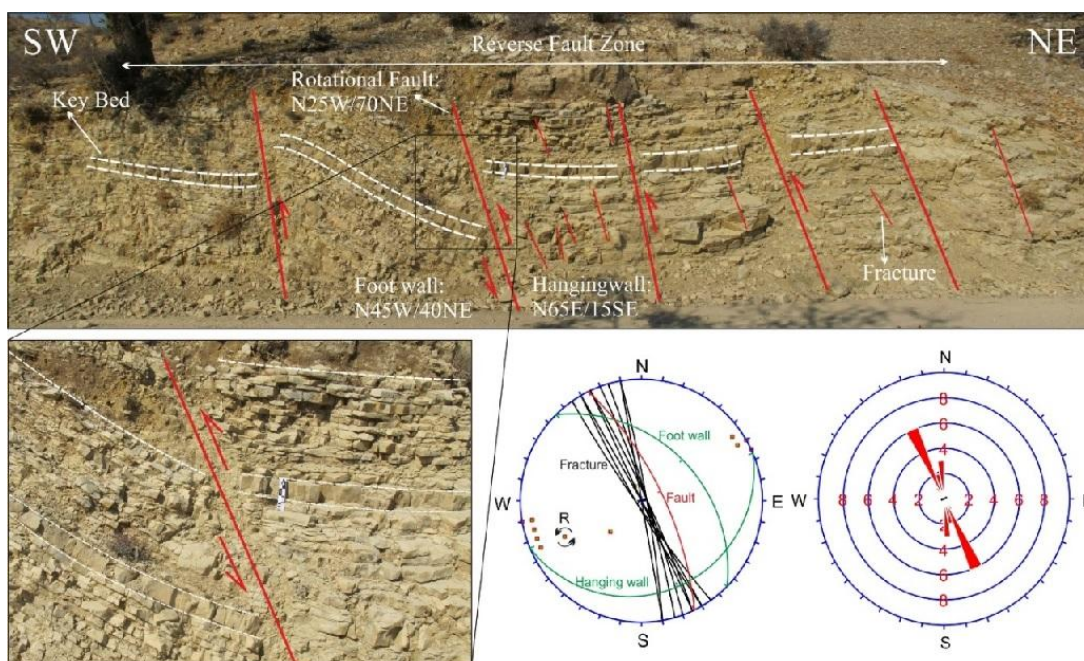


شکل ۳. وضعیت لایه بندی و شکستگی ها در سازند گچساران

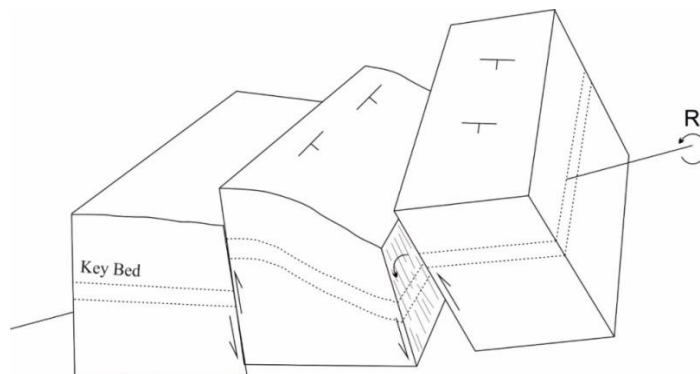


در قسمت‌های دیگری از سازند گچساران، یک شکستگی با روند عمومی شمال باختری- جنوب خاوری که همروند با تاقدیس دارا و کوهزاد زاگرس است، برداشت شده است. به دلیل قابلیت انحلال پذیری سازند گچساران و مقاومت کم آن در برابر فرسایش، شواهد محکمی از جمله خش‌لغز یا صفحه گسلی، که معرف شواهد حرکتی این شکستگی باشد، دیده نمی‌شود.

یک زون گسلی که متشکل از چندین گسل معکوس با شیب نسبتاً زیاد است در این منطقه دیده می‌شود که در یکی از این گسل‌ها علاوه بر جابه‌جایی معکوس، جابه‌جایی چرخشی راست‌گرد نیز دیده می‌شود. مشخصات این گسل N25W/70NE است و مشخصات لایه‌بندی در فرادیواره این گسل N65E/15SE و در فرودیواره N45W/40NE است. روند شکستگی‌های برداشت شده در این ایستگاه شمال غربی- جنوب شرقی و همروند با روند عمومی زاگرس و تاقدیس دارا است (شکل ۴). برای درک بهتر نحوه حرکت گسل‌های برداشت شده در این ایستگاه، بلوک دیاگرام به صورت سه‌بعدی تهیه شده است (شکل ۵).

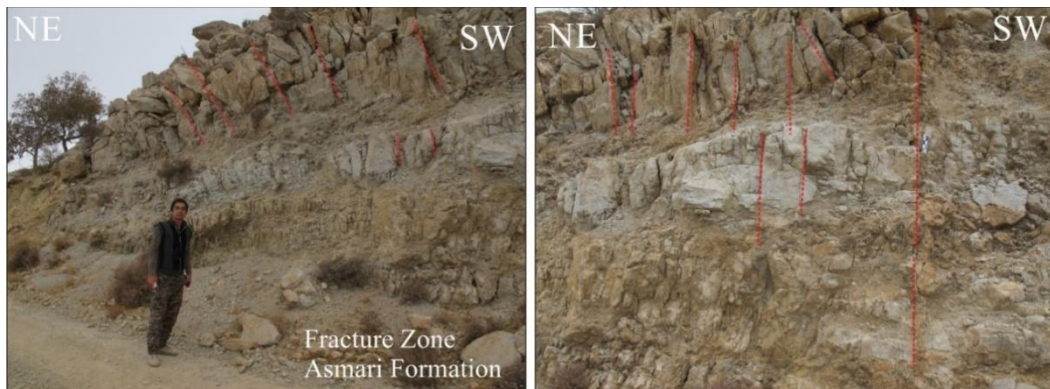


شکل ۴. وضعیت لایه‌بندی و ساختارهای برداشت شده

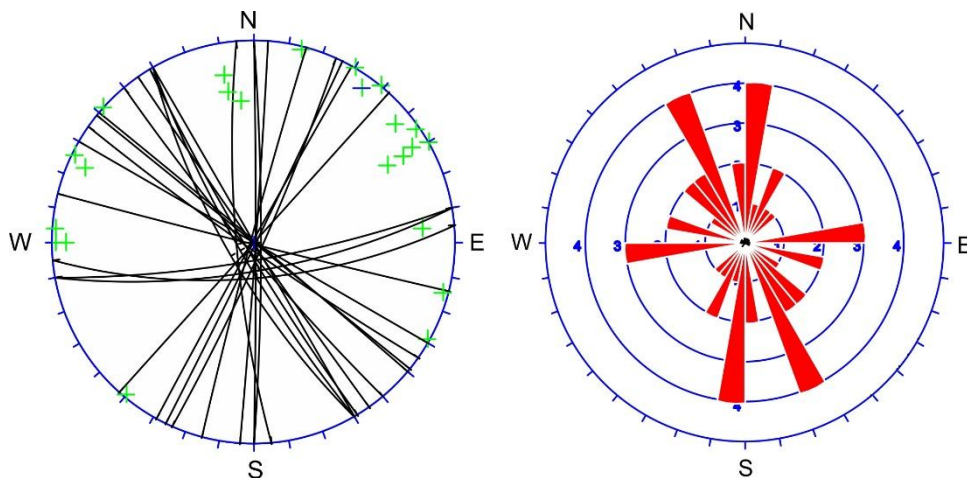


شکل ۵. بلوک دیاگرام تهیه شده از گسل چرخشی

شیب سازند آسماری و هم‌چنین مرز این سازند با سازند گچساران در یال شمال شرقی تاقدیس دارا اندازه‌گیری شده است. سازند گچساران به‌صورت هم‌شیب روی سازند آسماری قرار گرفته است. مشخصات لایه‌بندی N55W/45NE است. برداشت‌های صورت گرفته بر محور تاقدیس دارا شامل زون شکستگی در محدوده لولای تاقدیس است. این شکستگی‌ها روند عمومی شمال باختری - جنوب خاوری دارد که موازی روند تاقدیس دارا است و در رده شکستگی‌های محوری جای می‌گیرد (شکل ۶). در این منطقه سه روند غالب در شکستگی‌های سازند آسماری مشاهده می‌شود. روند اول؛ موازی محور دارا، روند دوم؛ عمود بر محور دارا و روند سوم؛ با زاویه مورب نسبت به روند عمومی تاقدیس دارا و به‌صورت شمالی - جنوبی تشکیل شده است (شکل ۷).



شکل ۶. زون شکستگی در قسمت محوری تاقدیس دارا

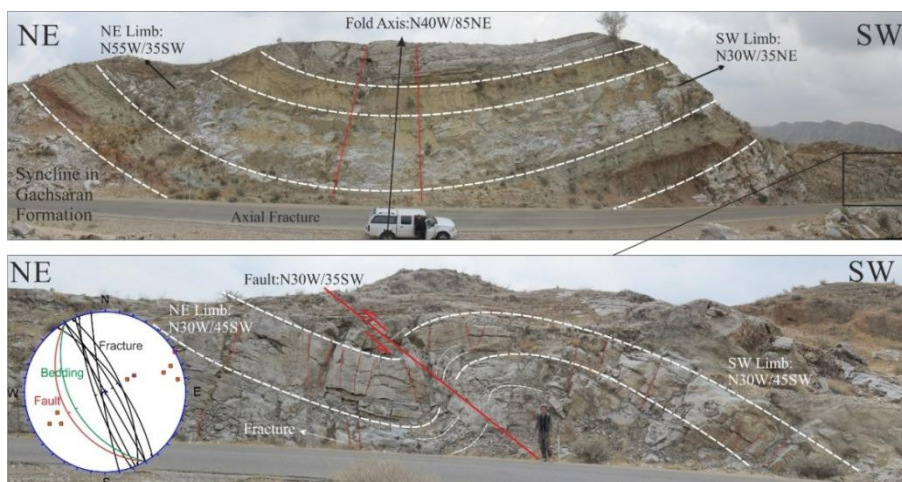


شکل ۷. رزدياگرام جهت‌گیری شکستگی‌های اندازه‌گیری شده در محور تاقدیس دارا

در سایر مناطق نیز شکستگی در مقیاس بزرگ‌تر نسبت به قبل اندازه‌گیری شده است. روند عمومی این شکستگی N30E/85NW است، که به‌صورت عمود بر محور دارا قرار گرفته است و در رده شکستگی‌های عمود بر محور قرار می‌گیرد.

روی رخنمونی از سازند گچساران و در خارج از محدوده تاقدیس دارا، چین‌خوردگی‌هایی برداشت شده است که دارای روندی مشابه با روند عمومی زاگرس و تاقدیس دارا است. روند غالب شکستگی‌ها در این ایستگاه نیز شمال

باختری- جنوب خاوری بوده که از چین خوردگی‌ها و شکستگی‌های کلی منطقه پیروی کرده است. هم‌چنین در این ایستگاه، چین خوردگی‌های مرتبط با گسلش نیز مشاهده شده است (شکل ۸).

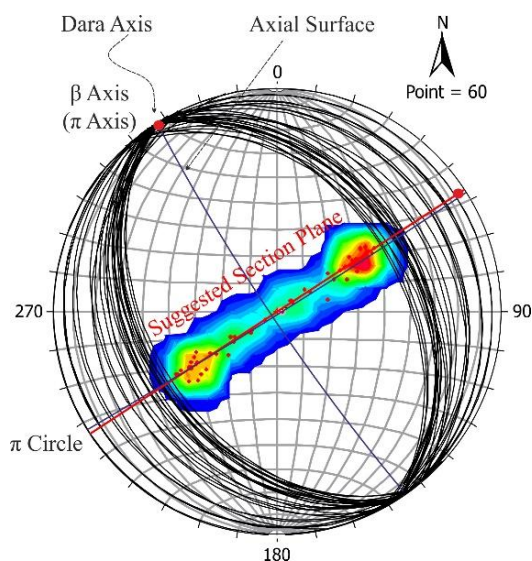


شکل ۸. چین خوردگی‌ها و شکستگی‌های برداشت شده در شمال غرب دماغه شمال غربی

### بحث و نتایج

#### رده‌بندی تاقدیس دارا بر مبنای طبقه‌بندی Ramsay (1967)

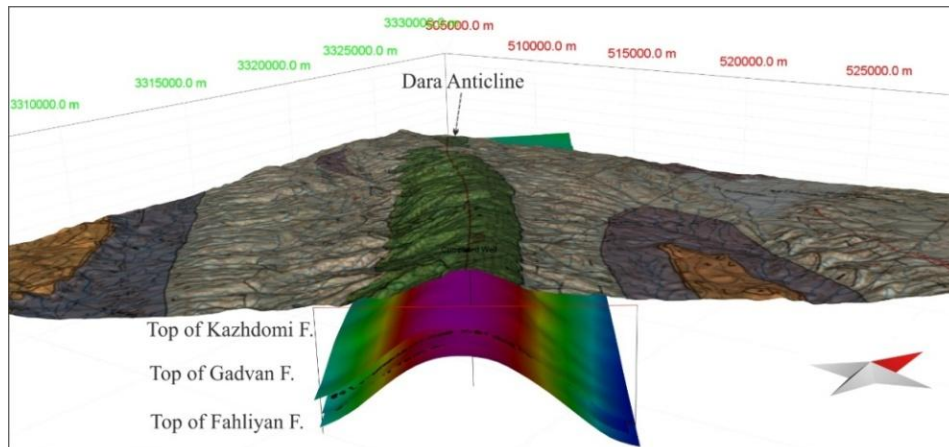
تحلیل استریوگرافی زیرسطحی از تاقدیس دارا نشان می‌دهد که مشخصات صفحه محوری این تاقدیس، در زیر سطح زمین و در عمق سازند گدوان، حدود N33W/85SW است که مشابه جهت‌گیری محور آن در سطح زمین و سازند آسماری است. این بدان معنی است که صفحه محوری تاقدیس دارا از عمق به سطح تغییری نمی‌کند. هم‌چنین، با استفاده از وضعیت لایه‌بندی در یال‌های تاقدیس دارا، بهترین روند برای ایجاد مقاطع ساختاری نیز تعیین شده است که حدود N56E است (شکل ۹).



شکل ۹. تحلیل استریوگرافی انجام شده بر سطح سازند گدوان

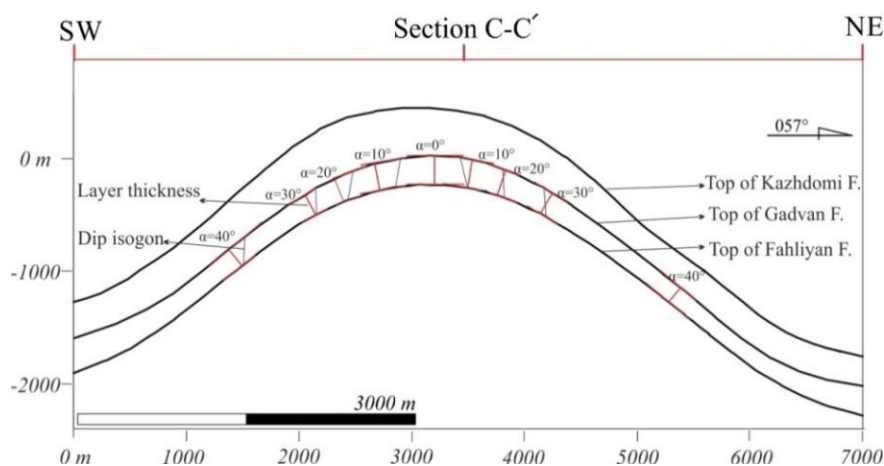


به منظور ارزیابی پارامترهای هندسی تاقدیس دارا، مقطعی با روند عمومی SW-NE و عمود بر روند عمومی تاقدیس دارا تهیه شده است (شکل ۱۰). سازند گدوان در عمق تقریبی ۱۵۹۵ متر از سطح زمین، در منطقه لولای تاقدیس، به منظور ارزیابی پارامترهای هندسی انتخاب شده است. زیرا اطلاعات زیرسطحی موجود برای ارزیابی پارامترهای هندسی چین خوردگی، تنها در این سازند کافی بوده و نمایانگر ضخامت دقیق آن است.



شکل ۱۰. مدل لایه‌های زیرسطحی در محدوده تاقدیس دارا

در مقطع مذکور، خطوط هم‌شیب برای زوایای مختلف ترسیم شده و ضخامت‌ها در این ناحیه‌ها اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۱). تحلیل‌های صورت گرفته با استفاده از نمودار ضخامت واقعی و ضخامت موازی اثر محوری نشان می‌دهد که تاقدیس دارا در محدوده Class ۳ قرار می‌گیرد. هم‌چنین الگوی خطوط هم‌شیب نیز در این سازند به صورت واگرا است. ضخامت سازند گدوان، از منطقه لولا به سمت نقطه عطف و یال‌ها کاهش می‌یابد؛ به گونه‌ای که مقدار ضخامت واقعی این سازند، در منطقه لولا معادل ۲۵۶ متر و در نقطه عطف یال جنوب غربی (شیب ۴۰ درجه)، معادل ۱۸۲ متر و در نقطه عطف یال شمال شرقی (شیب ۴۰ درجه)، معادل ۱۶۲ متر است. سایر ضخامت‌های مربوط به شیب‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. مقطع عرضی تهیه شده برای انجام رده‌بندی Ramsay به همراه خطوط هم‌شیب و ضخامت‌های واقعی در شیب‌های مختلف

## جدول ۱. نتایج محاسبات هندسی طبقه‌بندی Ramsay بر اساس ضخامت واقعی

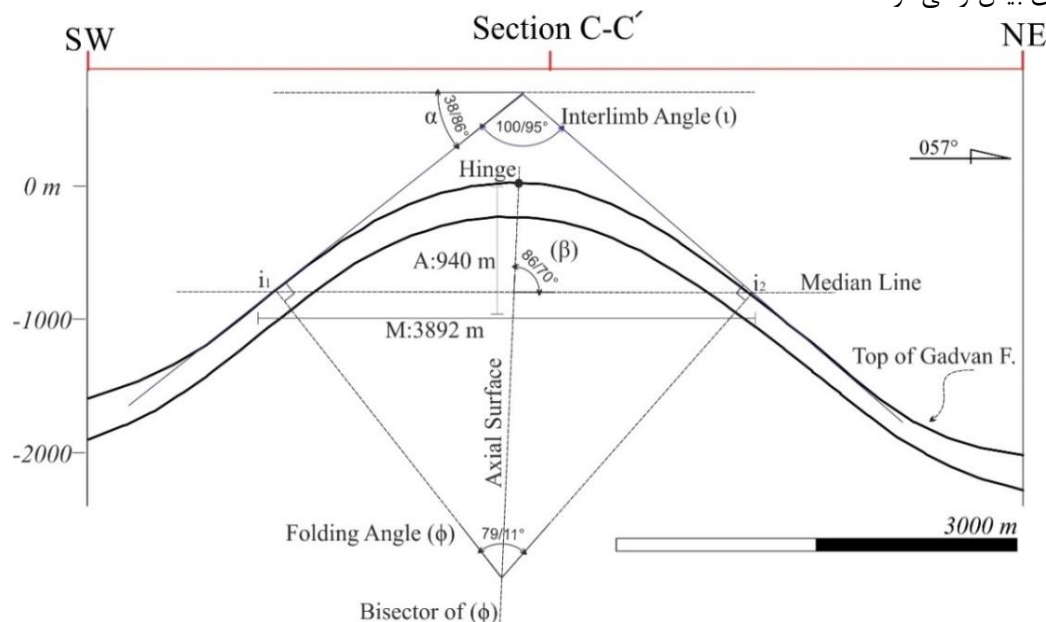
SW Limb ( $t_0 = 256$ m)			NE Limb ( $t_0 = 256$ m)		
$\alpha$ (°)	$T\alpha$ (m)	$t'$	$\alpha$ (°)	$T\alpha$ (m)	$t'$
۱۰	۲۴۴	۰/۹۵	۱۰	۲۵۱	۰/۹۸
۲۰	۲۲۵	۰/۸۷	۲۰	۲۳۵	۰/۹۱
۳۰	۲۰۶	۰/۸۰	۳۰	۲۱۴	۰/۸۳
۴۰	۱۸۲	۰/۷۰	۴۰	۱۶۷	۰/۶۵

جدول ۲ تغییرات ضخامت را در شیب‌های متفاوت و موازی اثر محوری تاقدیس دارا نشان می‌دهد. ضخامت‌های محاسبه شده با استفاده از این روش نیز حاکی از کاهش ضخامت سازند گدوان از منطقه لولا به سمت یال‌های تاقدیس و نقطه عطف یال‌ها است، به گونه‌ای که ضخامت در منطقه لولا معادل ۲۵۶ متر و در نقطه عطف یال جنوب غربی (شیب ۴۰ درجه)، معادل ۲۳۸ متر و نقطه عطف یال شمال شرقی (شیب ۴۰ درجه)، معادل ۲۱۸ متر است.

## جدول ۲. نتایج محاسبات هندسی طبقه‌بندی Ramsay بر اساس ضخامت موازی روند محوری

SW Limb ( $T_0 = 256$ m)			NE Limb ( $T_0 = 256$ m)		
$\alpha$ (°)	$T\alpha$ (m)	$T'$	$\alpha$ (°)	$T\alpha$ (m)	$T'$
۱۰	۲۴۸	۰/۹۷	۱۰	۲۵۵	۱
۲۰	۲۴۰	۰/۹۴	۲۰	۲۵۰	۰/۹۸
۳۰	۲۳۸	۰/۹۳	۳۰	۲۴۸	۰/۹۷
۴۰	۲۳۸	۰/۹۳	۴۰	۲۱۸	۰/۸۵

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که، ستمبرشدگی در یال شمال خاوری، تا شیب ۳۰ درجه، بیش‌تر از یال جنوب باختری است. این درحالی است که در نقطه عطف یال‌ها و شیب حدود ۴۰ درجه، شرایط به‌صورت عکس است و تنها در این نقطه از تاقدیس، ضخامت سازند گدوان، در یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری بیش‌تر می‌شود.



شکل ۱۲. مقطع عرضی زیرسطحی از سازند گدوان در محل تاقدیس دارا به‌همراه اندازه‌گیری پارامترهای هندسی

## پارامترهای هندسی

سایر پارامترهای هندسی محاسبه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، زاویه بین‌یالی تاقدیس دارا ۱۰۰/۹۵ درجه محاسبه شده است، زاویه چین‌خوردگی در این تاقدیس معادل ۷۹/۱۱ است (شکل ۱۲). بنابراین این



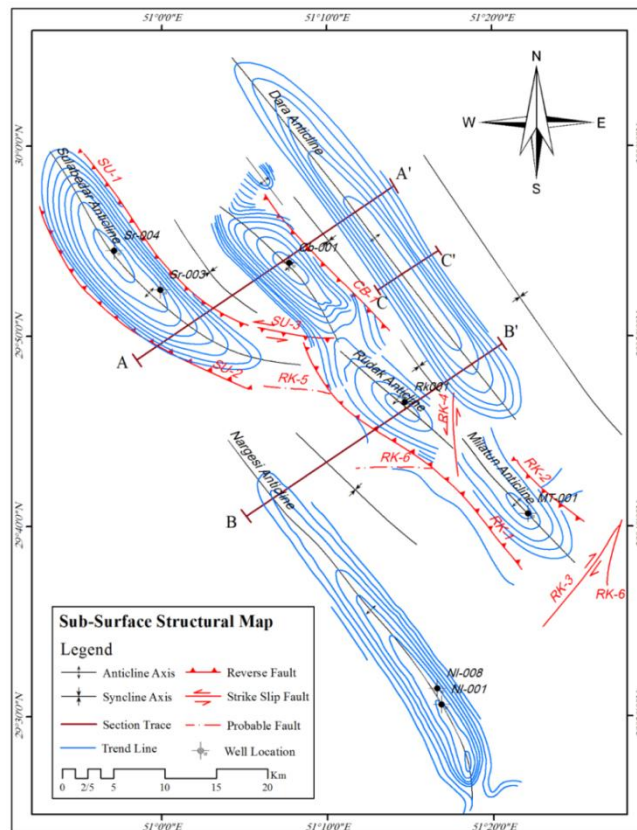
تاقدیس را می توان در زمره چین های باز بر مبنای تقسیم بندی Fleuty (1964) طبقه بندی کرد. اندازه گیری نسبت ابعادی تاقدیس دارا نشان می دهد که مقدار عددی این پارامتر معادل ۰/۲۴ است، که واژه توصیفی مناسب برای این رده، واژه ی پهن است. هم چنین این تاقدیس، براساس گردشگی منطقه لولا، که مقدار عددی این پارامتر ۰/۵ محاسبه شده، در رده نیمه گردشده جای می گیرد.

جدول ۳. نتایج محاسبات پارامترهای هندسی تاقدیس دارا بر سازند گدوان

Section C-C' of Dara Anticline							
Geometric Parameter	Interlimb angle (l)	Folding angle (φ)	Cylindricity	Symmetry	Fold shape	Tightness	Harmony
	100.95°	79.11°	Cylindrical	Symmetric	M-Shape	Open	Harmonic
Aspect Ratio (P)	Amplitude (A)	940 m	Wide	Bluntness (b)	r <sub>c</sub>	1481 m	Subrounded
	Distance (M)	3892 m			r <sub>0</sub>	2950 m	
	P = A/M	0.24 (Wide)			b = r <sub>c</sub> / r <sub>0</sub>	0.50	

### نقشه ساختاری زیرسطحی

به منظور ارائه تصویری روشن از ساختارهای زیرسطحی و موقعیت ساختارها نسبت به یکدیگر، نقشه ساختارهای زیرسطحی تهیه شده است (شکل ۱۳). در این نقشه موقعیت تاقدیس های دارا، رودک، میلان، چهاربیشه، سولابدر و نرگسی و گسل های موجود در این میداين نشان داده شده است. هم چنین موقعیت برش های ساختاری نیز در این نقشه قابل مشاهده است.

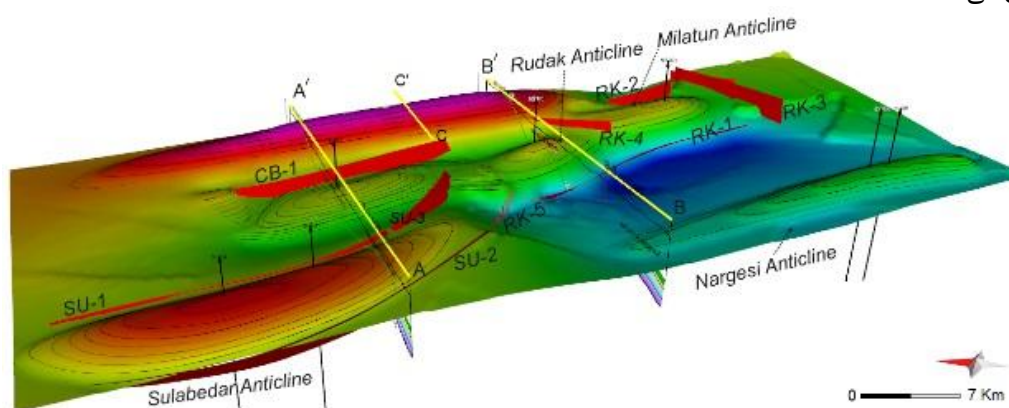


شکل ۱۳. نقشه ساختاری زیرسطحی از میداين و ساختارهای زیرسطحی منطقه بررسی شده

## گسل‌ها در مدل ساختاری سه‌بعدی

براساس مدل سه‌بعدی و نقشه ساختاری زیرسطحی در محدودهٔ تاقدیس دارا، گسل اصلی دیده نمی‌شود که بتوان تشکیل و چین‌خوردگی این تاقدیس را مرتبط با گسلش در نظر گرفت. در یال شمال خاوری تاقدیس میلانون، گسل RK-2، با مکانیسم عمل معکوس و با روند عمومی شمال باختری- جنوب خاوری و هم‌روند با روند کلی کوهزاد زاگرس مشاهده و مدل شده است. شیب این گسل در زیر سطح سازند آسماری نزدیک به ۸۰ درجه محاسبه شده است و جهت آن نیز به سمت جنوب باختر است (شکل ۱۴).

گسل RK-1 نیز در یال جنوب باختری تاقدیس میلانون قرار دارد. این گسل تقریباً از ابتدای دماغه جنوب خاوری تاقدیس میلانون تا دماغهٔ جنوب خاوری تاقدیس چهاربیشه ادامه دارد و در برخی از مناطق، در روند عمومی انحنا دارد که این تغییر روند، با تغییر روند محور تاقدیس‌ها مشابه است. گسل RK-4 بین تاقدیس میلانون و تاقدیس رودک قرار دارد. شیب این گسل نزدیک به ۸۵ تا ۹۰ درجه محاسبه شده است. اندازه‌گیری‌هایی که در سطح سازند آسماری و دیگر سازندها صورت گرفته است، بالاتر بودن سطح سازندها را به صورت نامحسوس، در میدان میلانون نشان می‌دهد. این بدان معنی است که احتمالاً شیب گسل RK-4، به سمت تاقدیس میلانون و جنوب خاور است و باعث بالاتر قرار گرفتن سطح لایه‌ها در این محل شده است. اما نکته‌ای که مشهود و قابل توجه است، انحنا در محورهای تاقدیس‌های رودک و میلانون، در نزدیکی این گسل و جابه‌جا شدن چین‌خوردگی به صورت چپ‌گرد است، که حاکی از غالب بودن مکانیسم امتدادلغز چپ‌گرد بر این گسل و این قسمت از محدوده است. گسل CB-1 در یال شمال خاوری تاقدیس چهاربیشه قرار دارد. شیب این گسل حدود ۷۵ درجه و به سمت جنوب باختری است، که هم‌روند با ساختارهای اصلی زاگرس است. هم‌چنین رابطهٔ هندسی قرارگیری این گسل نسبت به گسل کازرون، احتمال آنتی ریدل بودن این گسل را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۴. مدل سه‌بعدی از سطح سازند آسماری و ساختارهای موجود در محدودهٔ بررسی شده

تاقدیس سولابدر در شمال غرب منطقهٔ بررسی شده، توسط سه گسل احاطه شده است. گسل SU-1 در یال شمال خاوری تاقدیس سولابدر قرار دارد. شیب این گسل حدود ۵۵ درجه و به سمت جنوب باختر است. این گسل در انتهای تاقدیس سولابدر و در محل دماغه جنوب خاوری به گسل SU-3 می‌رسد که علاوه بر گسلش معکوس، گسلش امتدادلغز نیز در آن دیده می‌شود. با توجه به انحنا محور تاقدیس‌های سولابدر، رودک و چهاربیشه، احتمالاً گسلش

امتداد لغز، از نوع چپ گرد است. احتمالاً این گسل، یکی از گسل های آنتی ریدل نسبت به گسل اصلی کازرون باشد. گسل SU-2 نیز در یال جنوب خاوری تاقدیس سولابدر، با شیب نزدیک به ۵۵ درجه قرار دارد، که چین خوردگی تاقدیس سولابدر را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۴).

از آن جاکه اطلاعاتی از سازندهای بالاتر از سازندهای آسماری در اختیار نیست و گسل های RK-6 و RK-5 تنها در سازند آسماری مشاهده شده اند و در سازندهای زیرین دیده نشده اند، از این رو، در نقشه تهیه شده این سازندها، به صورت احتمالی در نظر گرفته شده اند. احتمال این موضوع هم وجود دارد که، این گسل ها جوان تر و کم عمق تر از سایر گسل ها بوده اند و تا سازند آسماری ادامه داشته اند. گسل های RK-3 و RK-6 نیز در دماغه جنوب خاوری تاقدیس میلان قرار دارند. این گسل ها نیز تنها در سازند آسماری مشاهده شده اند. مکانیسم عمل این گسل در داده های موجود، امتداد لغز راست گرد مشخص شده است. اطلاعاتی از سایر مشخصات این ها در دسترس نیست. اما از لحاظ ساختاری احتمال دارد که یکی از گسل های ریدل، نسبت به گسل پی سنگی کازرون باشد (شکل ۱۴).

### مقاطع ساختاری

به منظور تحلیل چین خوردگی و محاسبه مقدار کوتاه شدگی در زیر سطح توپوگرافی، اقدام به ترسیم دو برش ساختاری با روند N56E و تقریباً عمود بر تاقدیس دارا و میادین اطراف شده است. مقطع A-A' در دماغه شمال باختری و مقطع B-B' در دماغه جنوب خاوری تاقدیس دارا ترسیم شده است.

#### مقطع ساختاری A-A'

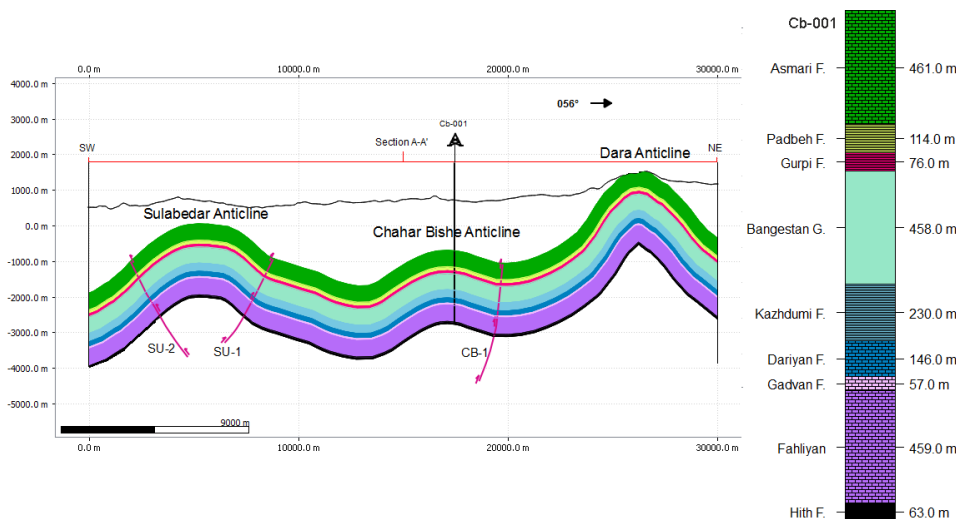
این مقطع در محدوده دماغه شمال غربی تاقدیس دارا و به طول ۳۰ کیلومتر ترسیم شده است. تاقدیس هایی که در مسیر این مقطع قرار دارند، شامل تاقدیس های: دارا، چهاربیشه و سولابدر هستند (شکل ۱۵). چنان که از مقطع نیز مشخص است، در نزدیکی یال شمال خاوری تاقدیس چهاربیشه گسل معکوس با شیب تقریباً زیاد و نزدیک به ۷۵ درجه قرار دارد که چین خوردگی در این قسمت را تشدید کرده است. این گسل در نقشه ساختاری زیرسطحی و مقطع عرضی با نام CB-1 نشان داده شده است. وجود این گسل در این ناحیه دلیلی بر مرتبط بودن تاقدیس چهاربیشه با گسل خوردگی است. در محدوده تاقدیس سولابدر نیز دو گسل معکوس مشاهده می شود، که به SU-1 و SU-2 نام گذاری شده اند. گسل SU-1 در یال شمال خاوری و گسل SU-2 در یال جنوب باختری قرار دارد. مقدار شیب این دو گسل نیز تقریباً مساوی و معادل ۵۵ درجه است. با توجه به این مقطع ساختاری، در محدوده تاقدیس دارا گسلی وجود ندارد که نشان دهد این تاقدیس در ارتباط با گسل بوده است.

#### مقطع ساختاری B-B'

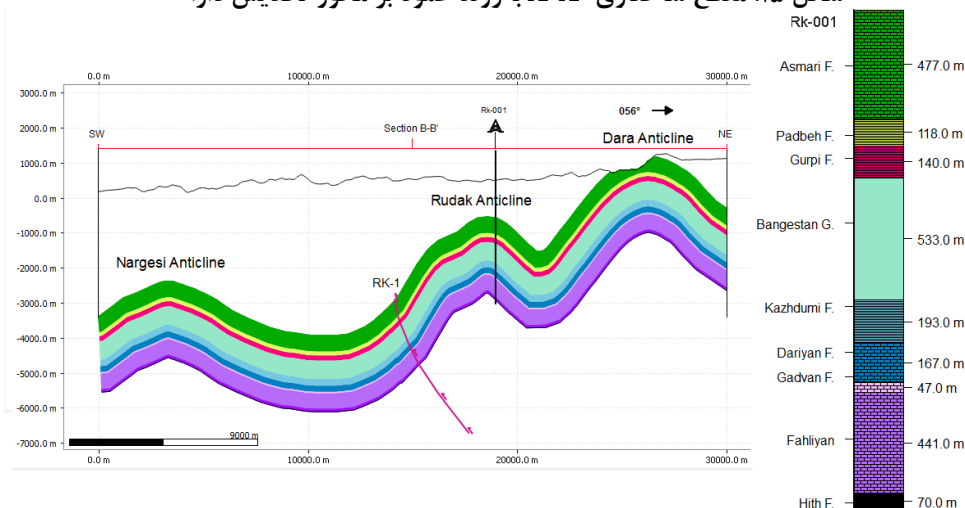
این مقطع در محدوده دماغه جنوب شرقی تاقدیس دارا و به طول ۳۰ کیلومتر ترسیم شده است. تاقدیس هایی که در مسیر این مقطع قرار دارند، شامل تاقدیس های: دارا، رودک و دماغه شمال باختر تاقدیس نرگسی هستند. چنان که از مقطع نیز مشخص است، در نزدیکی یال جنوب باختری تاقدیس رودک گسل معکوس با شیب تقریباً زیاد و نزدیک به ۷۵ درجه قرار دارد که چین خوردگی در این قسمت را تشدید کرده است (شکل ۱۶). این گسل در نقشه ساختاری



زیرسطحی و مقطع عرضی با نام RK-1 نشان داده شده است. وجود این گسل در این ناحیه دلیلی بر مرتبط بودن تاقدیس رودک با گسل خوردگی است. با توجه به این مقطع ساختاری، در محدوده تاقدیس دارا و نرگسی، گسلی وجود ندارد که نشان دهد این تاقدیس‌ها در ارتباط با گسلش بوده‌اند.



شکل ۱۵. مقطع ساختاری A-A' با روند عمود بر محور تاقدیس دارا



شکل ۱۶. مقطع ساختاری B-B' با روند عمود بر محور تاقدیس دارا

### محاسبه مقدار کوتاه‌شدگی در مقاطع ساختاری

مقاطع ساختاری بعد از ترسیم، با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار Move، به حالت قبل از دگرشکلی<sup>۱</sup> برگردانده شده است و مقدار طول اولیه<sup>۲</sup> و کوتاه‌شدگی هریک از مقاطع محاسبه شده است. با مقایسه مقدار کوتاه‌شدگی در مقاطع ساختاری، می‌توان در رابطه با مقدار چین‌خوردگی و تغییر شکل اظهار نظر و بحث کرد. رابطه‌های (۱) و (۲) به ترتیب، نحوه محاسبه مقدار کوتاه‌شدگی و درصد آن را در یک مقطع ساختاری نشان می‌دهد.

$$\Delta L = L_{\text{final}} - L_{\text{initial}} \quad (1)$$

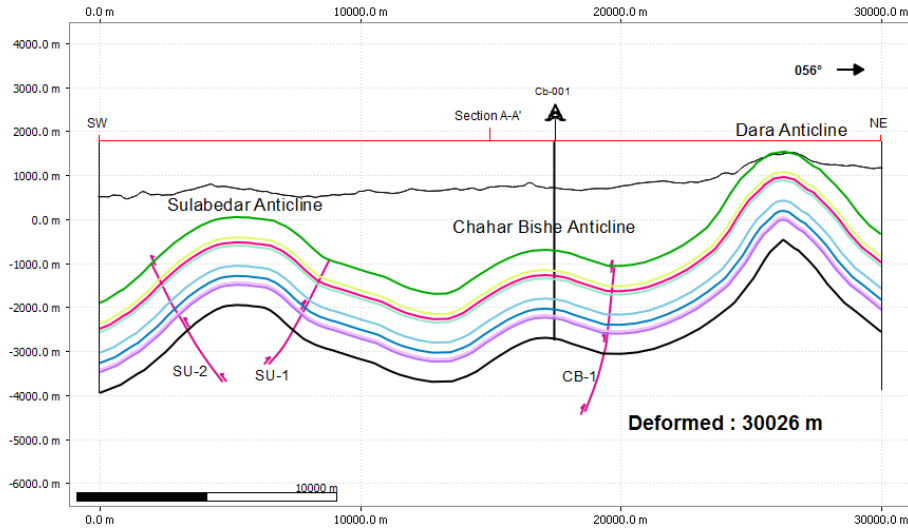
$$\% \Delta L = ((L_{\text{final}} - L_{\text{initial}}) / L_{\text{initial}}) \times 100 \quad (2)$$

1. Deformation
2. Pre-Deformation

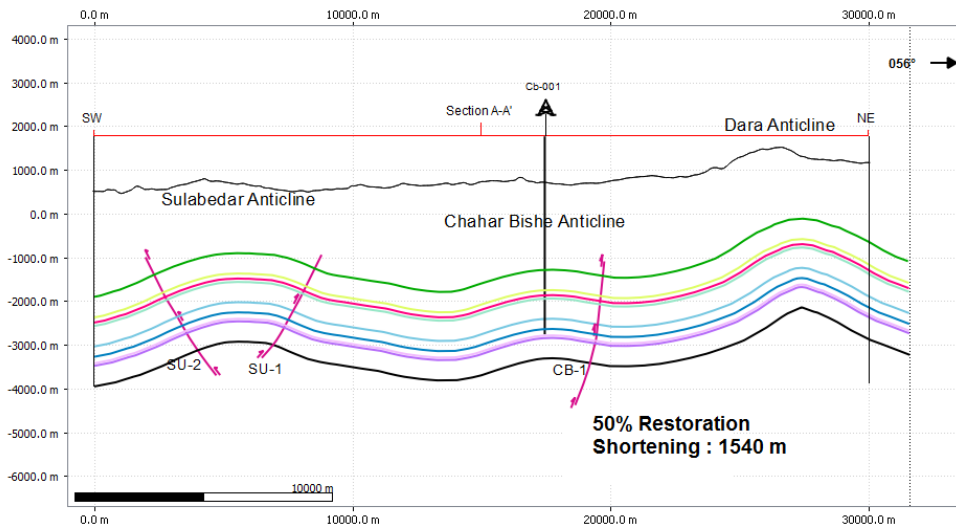
در این رابطه  $\Delta L$  مقدار کوتاه شدگی،  $L_{final}$  طول نهایی<sup>۱</sup> مقطع و  $L_{initial}$  طول اولیه است.

### کوتاه شدگی در مقاطع ساختاری A-A'

مقدار طول نهایی، در مقطع A-A' برابر ۳۰۰۲۶ متر است (شکل ۱۷). طول اولیه برابر ۳۲۱۳۵ متر اندازه گیری شده است. بعد از ۵۰٪ بازسازی<sup>۲</sup>، طول مقطع به ۱۵۴۰ متر می رسد (شکل ۱۸). در نهایت بعد از ۱۰۰٪ بازسازی، مقدار کوتاه شدگی به ۲۱۰۹ متر می رسد، که برابر ۶/۵٪ می شود (شکل ۱۹). از این رو کوتاه شدگی در طول مقطع A-A' برابر ۶/۵٪ است.

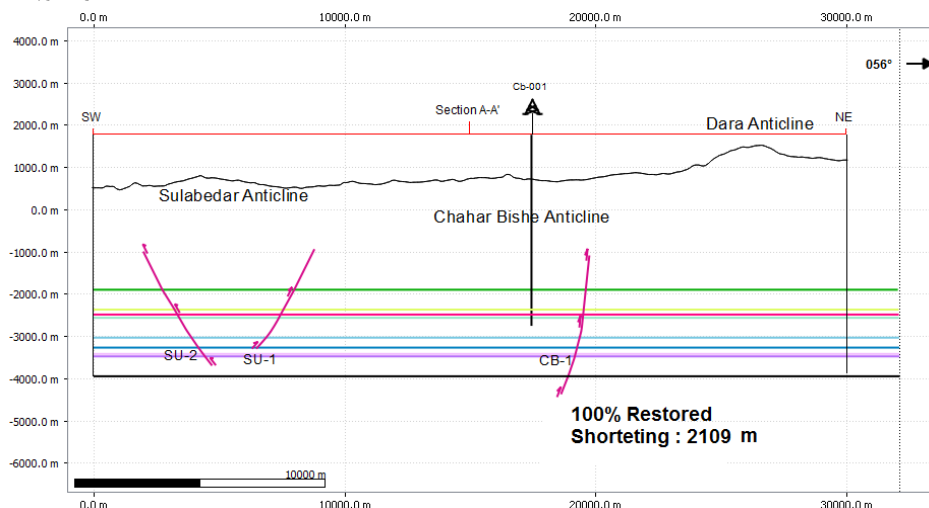


شکل ۱۷. طول نهایی مقطع A-A' در حالت چین خورده و وضعیت چین خوردگی قبل از بازگرداندن لایه ها به مرحله قبل از دگرشکلی



شکل ۱۸. وضعیت چین خوردگی و کوتاه شدگی مقطع A-A' در بازسازی ۵۰٪

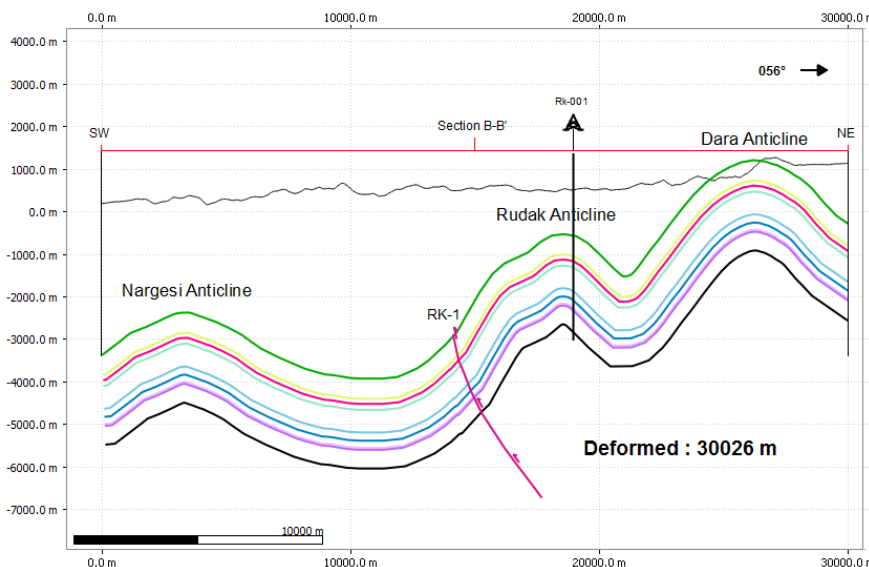
1. Post-Deformation
2. Restoration



شکل ۱۹. وضعیت چین خوردگی و کوتاه‌شدگی مقطع A-A' در بازسازی ۱۰۰٪

### کوتاه‌شدگی در مقاطع ساختاری B-B'

مقدار طول نهایی، در مقطع B-B' برابر ۳۰۰۲۶ متر است (شکل ۲۰). طول اولیه برابر ۳۲۸۰۱ متر اندازه‌گیری شده است. بعد از ۵۰٪ بازسازی، طول مقطع به ۲۰۵۷ متر می‌رسد (شکل ۲۱). در نهایت بعد از ۱۰۰٪ بازسازی، مقدار کوتاه‌شدگی به ۲۷۷۵ متر می‌رسد، که برابر ۸/۴٪ خواهد شد (شکل ۲۲). از این رو، کوتاه‌شدگی در طول مقطع B-B' برابر ۸/۴٪ است.

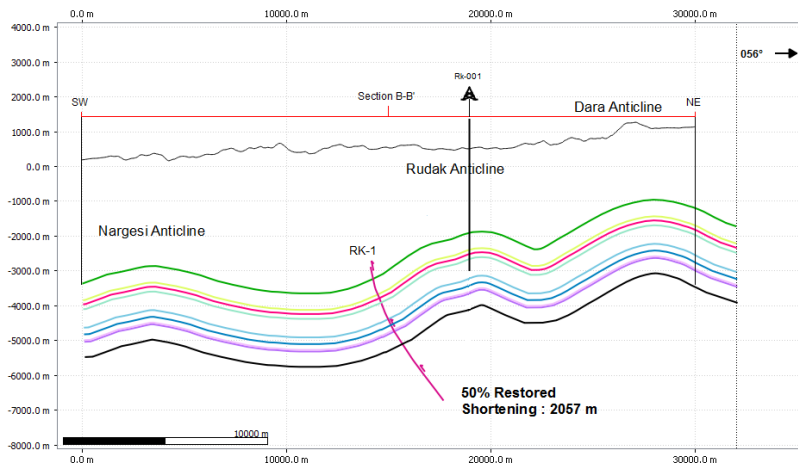


شکل ۲۰. طول نهایی مقطع B-B' در حالت چین خورده و وضعیت چین خوردگی قبل از بازگرداندن لایه‌ها به مرحله قبل از دگرشکلی

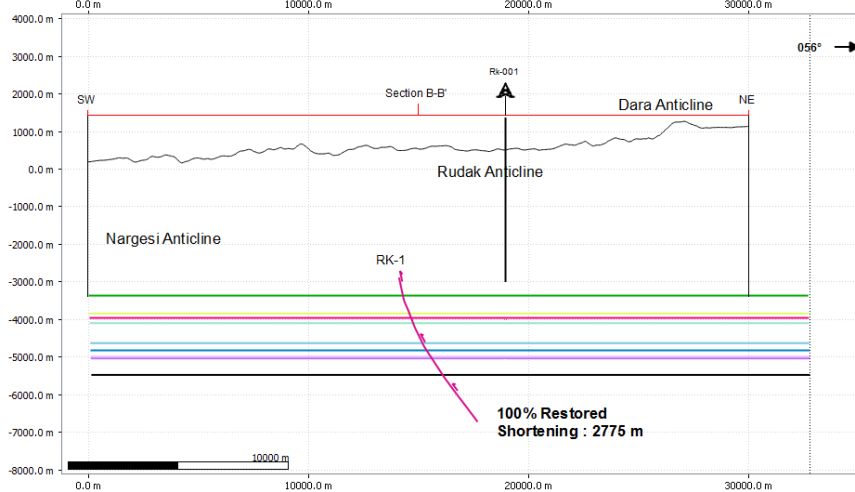
برای مقایسه مقاطع ساختاری و مقدار کوتاه‌شدگی با میزان فعالیت تکتونیکی منطقه، باید این مقاطع ساختاری را به صورت عددی و قابل مقایسه بیان کرد. بدین منظور، برای تحلیل و مقایسه قسمت‌های مختلف مقاطع ساختاری با یکدیگر و تبدیل توصیف کیفی به کمی، نمودارهای بازسازی به جابه‌جایی<sup>۱</sup> برای هر دو مقطع تهیه شده است.

#### 1. Restoration-Displacement Curves





شکل ۲۱. وضعیت چین خوردگی و کوتاه شدگی مقطع B-B' در بازسازی ۵۰٪



شکل ۲۲. وضعیت چین خوردگی و کوتاه شدگی مقطع B-B' در بازسازی ۱۰۰٪

### نمودار بازسازی به کوتاه شدگی<sup>۱</sup>

در این نمودار، محور افقی مقدار بازسازی و محور عمودی نیز مقدار کوتاه شدگی است. بررسی منحنی مقاطع نشان می دهد که همواره در مقدار بازسازی یکسان، مقدار کوتاه شدگی مقطع B-B' بیش تر است. این بدان معنی است که، مقدار جابه جایی افقی مقطع B-B' نسبت به مقطع A-A' بیش تر است (نمودار ۱).

### نمودارهای بازسازی به کاهش ارتفاع<sup>۲</sup>

مقدار جابه جایی عمودی<sup>۳</sup> در مقاطع نیز به صورت منحنی های قابل مقایسه با یکدیگر تهیه شده است. در این نمودارها، محور افقی مقدار بازسازی و محور عمودی، مقدار جابه جایی عمودی یا مقدار کاهش ارتفاع در محل محور تاقدیس ها را نشان می دهد.

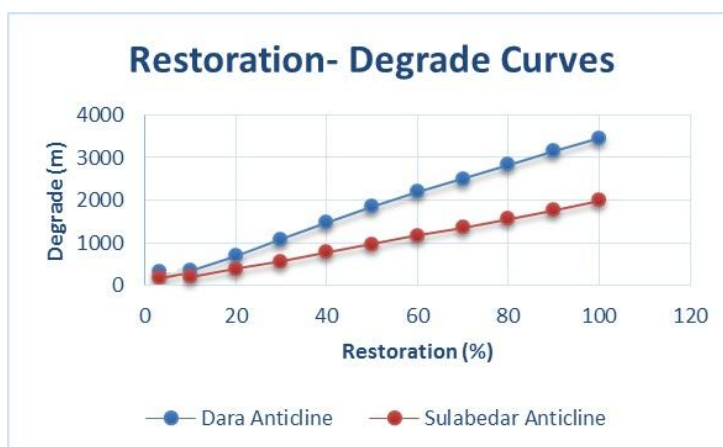
1. Restoration- Shortening Curve
2. Restoration- Degrade Curves
3. Degrade



نمودار ۱. نمودار بازسازی شده کوتاه شدگی برای مقاطع برای مقطع A-A' و B-B'

### نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع A-A'

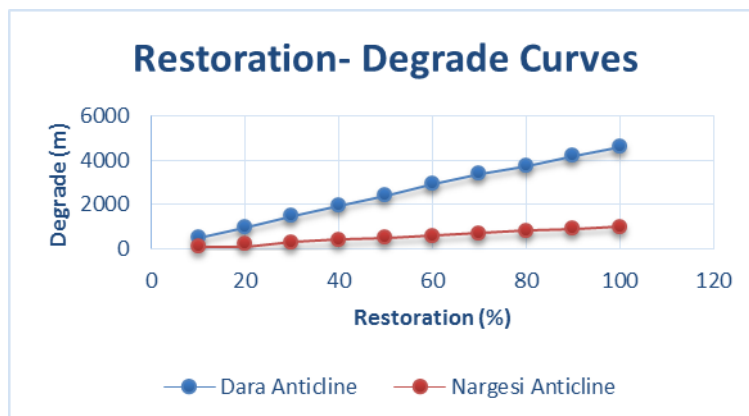
نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع A-A' برای دو منطقه از مقطع ساختاری تهیه شده است. یکی در محل محور تاقدیس دارا، در سمت راست مقطع (A') و دیگری در محل محور تاقدیس سولابدر، در سمت چپ مقطع (A). نمودار نشان می‌دهد که در محل تاقدیس دارا، مقدار کاهش ارتفاع در بازسازی های یکسان، بیش‌تر از تاقدیس سولابدر است. این بدان معنی است که، تاقدیس دارا، با سرعت بیش‌تری نسبت به تاقدیس سولابدر، به حالت اولیه و قبل از چین‌خوردگی خود می‌رسد (نمودار ۲).



نمودار ۲. نمودار بازسازی شده برای مقطع A-A' در محل تاقدیس دارا و تاقدیس سولابدر

### نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع B-B'

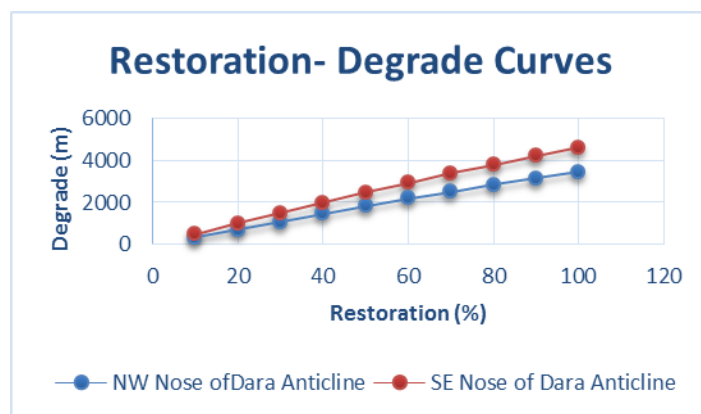
نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع B-B' برای دو منطقه از مقطع ساختاری تهیه شده است. یکی در محل محور تاقدیس دارا، در سمت راست مقطع (B') و دیگری در محل محور تاقدیس نرگسی، در سمت چپ مقطع (B). نمودار نشان می‌دهد که، سرعت بازسازی در طول این مقطع نیز یکسان نبوده است. در محل تاقدیس دارا، مقدار کاهش ارتفاع در بازسازی های یکسان، بیش‌تر از تاقدیس نرگسی است. این بدان معنی است که، تاقدیس دارا، با سرعت بیش‌تری نسبت به تاقدیس نرگسی، به حالت اولیه و قبل از چین‌خوردگی خود می‌رسد (نمودار ۳).



نمودار ۳. بازسازی مقطع B-B' در محل تاقدیس دارا و تاقدیس نرگسی

### نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در دماغه‌های شمال غربی و جنوب شرقی تاقدیس دارا

بعد از مقایسه سرعت بازسازی در طول مقاطع ساختاری، سرعت بازسازی در دماغه‌های تاقدیس دارا نسبت به هم مقایسه شده است. منحنی‌های مربوط به دماغه‌ها نشان می‌دهد که، سرعت بازسازی در دماغه‌های تاقدیس دارا نیز به یک اندازه نبوده و در دماغه جنوب خاوری بیش‌تر از دماغه شمال باختری است (نمودار ۴).



نمودار ۴. بازسازی دماغه‌های شمال باختری و جنوب خاوری تاقدیس دارا

### نتیجه‌گیری

تاقدیس دارا، یکی از ساختارهای مرتبط با میداین هیدروکربوری کمربند چین خوردگی-رانندگی زاگرس است. نقشه‌های به‌دست آمده از خطواره‌های گستره بررسی شده نشان می‌دهد که، تعداد خطواره‌هایی که دارای روند عمود بر تاقدیس دارا هستند، نسبت به سایر جهات بیش‌تر است و خطواره‌هایی که موازی روند عمومی تاقدیس هستند، دارای فراوانی کم‌تری هستند. جهت‌گیری خطواره‌ها در گستره بررسی شده، روند غالب حاکم بر منطقه است و کم‌ترین مقدار خطواره‌ها دارای روندی هم‌جهت با تاقدیس دارا دارند. در محدوده تاقدیس دارا و سطح رخنمون سازند آسماری، چگالی شکستگی‌ها در یال جنوب باختری تاقدیس، نسبت به یال شمال خاوری بیش‌تر است. هم‌چنین چگالی شکستگی‌ها در دماغه جنوب خاوری نسبت به دماغه شمال باختری بیش‌تر است، که احتمالاً به‌دلیل تأثیرپذیری آن از گسل کارزون و گسل‌های کوچک‌تر هم‌روند با آن است.



تحلیل سبک چین خوردگی تاقدیس دارا، این چین را در محدوده چین‌های کلاس سه رمزی قرار می‌دهد. همچنین این تاقدیس را می‌توان در زمره چین‌های سیلندری، متقارن و هارمونیک طبقه‌بندی کرد. مقاطع عرضی بازسازی شده، مقدار کوتاه‌شدگی در دماغه شمال باختری (مقطع A-A') را معادل ۶/۵ درصد و در مقطع B-B' را معادل ۸/۴ درصد نشان می‌دهند که این مقادیر حاکی از شدت چین خوردگی بیش‌تر در محدوده دماغه جنوب خاوری تاقدیس دارد. مقایسه مقاطع ساختاری با پروفیل‌های همگن شده ارتفاعی نشان می‌دهد که، چنان‌که مقدار برافرازش و فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد پروفیل‌های همگن شده ارتفاعی به یک اندازه نبوده، میزان آن نیز در امتداد مقاطع ساختاری به یک اندازه نیست و در محدوده تاقدیس دارا نسبت به سایر میادین بیش‌تر است.

### منابع

1. Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F., "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94:3 (2005) 401-419.
2. Agard P., Omrani J., Jolivet L., Whitechurch H., Vrielynck B., Spakman W., Monie P., Meyer B., Wortel R., "Zagros orogeny: a subduction-dominated proces. *Geological magazine*, 148 (2011) 692-725.
3. Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229 (1994) 211-238.
4. Fleuty M., "The description of folds. *Proceedings of the Geologists' Association*, 75 (1964) 461-492.
5. Hudleston P., "Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development. *Tectonophysics*, 16 (1973) 1-46.
6. Mohajjel M., Behyari M., "Young transpressive positive flower structure along the Zagros collision zone, Nahavand area, west Iran. *New England Orogen*, (2010) 243-252.
7. Mohajjel M., Rasouli A., "Structural evidence for superposition of transtension on transpression in the Zagros collision zone: Main Recent Fault, Piranshahr area, NW Iran. *Journal of Structural Geology*, 62 (2014) 65-79.
8. Ramsay J., Huber M., "Modern structural geology, volume 2: Folds and fractures. Academic Press London (1987) 405-442.
9. Ramsay J., "Folding and fracturing of rocks, McGraw-Hill Companies (1967) 34-50.
10. Thannoun R.G., "Automatic extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic significance in some areas of Northern Iraq using remote sensing techniques and GIS. *International Journal of Enhanced Research In Science Technology & Engineering Bulletin* (2013) 2.
11. Twiss R.J., Moores E., "Structural Geology", WH Freeman, New York, (1992) 217-235.