

## 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 زمین‌شناسی

دریافت ۹۶/۱۱/۱۴ پذیرش ۹۷/۰۴/۲۵

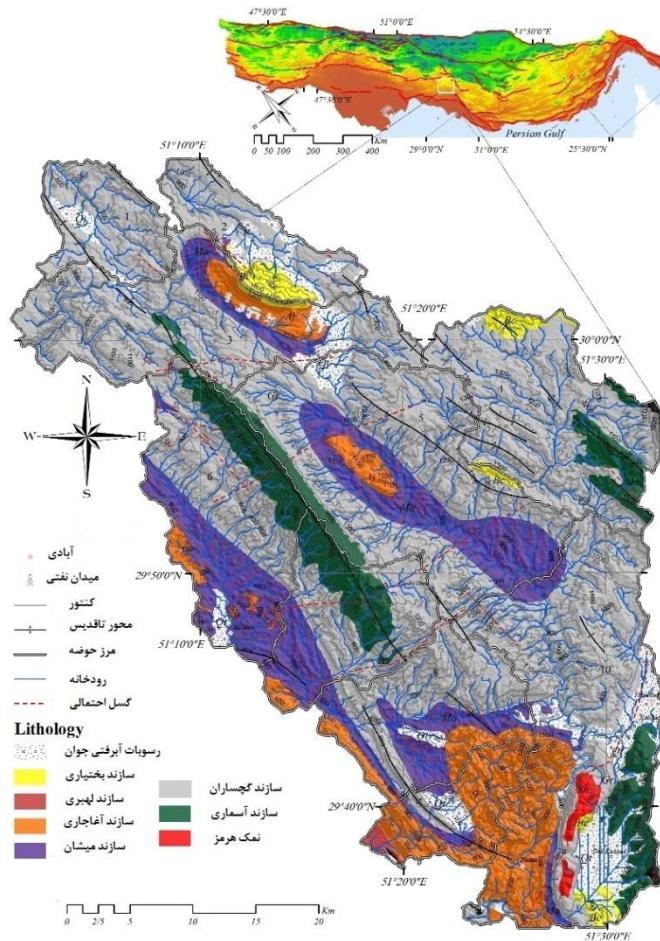
### چکیده

در این پژوهش، تاقدیس دارا به عنوان یکی از میدان های هیدرولیکی 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 زیر سطحی؛ 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 قرار می دهد. همچنین می توان این تاقدیس را بر مبنای تقسیم بندی Fleuty در زمرة 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 (مقاطع 'A-A') را معادل  $6/5$  درصد و در مقاطع 'B-B' را معادل  $8/4$  درصد نشان می دهند که این مقادیر، حاکی از شدت چین خوردگی بیشتر 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 آپ-هیمالیا، نتیجه همگرایی مایل بین ورق عربی و خرد قاره ایران مرکزی در طی بسته شدن اقیانوس نئو تیس، باعث ایجاد سیستم فشارش شده است [۱، [۲، [۳، [۶، [۷]. این همگرایی امروزه با سرعت تقریبی ۲۲ میلی متر در سال و دارای روند تقریبی شمالی-جنوبی در حال پیشروی 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، میلاتون، 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).



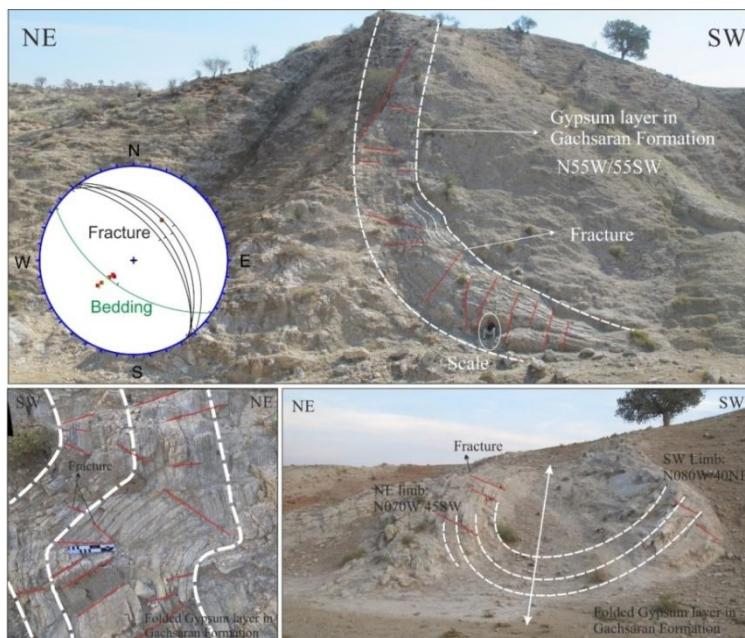
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه

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 کند [۱]. ویژگی‌های هندسی چین‌ها در بسیاری از پژوهش‌ها نیز بررسی شده است [۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷].

### ساختمان‌های زمین‌شناسی

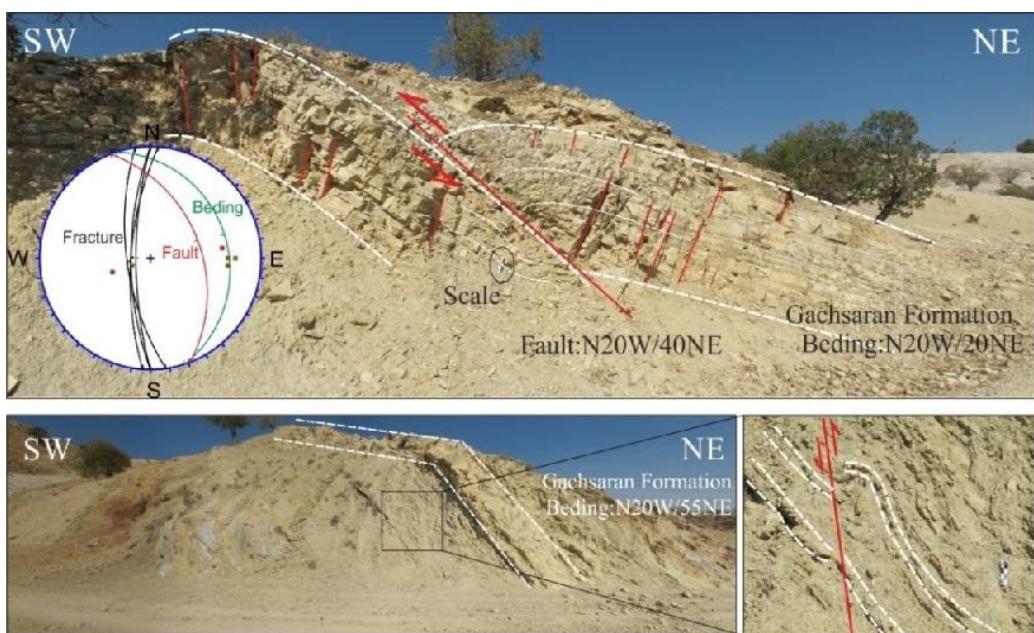
نظر به اهمیت شکل هندسی ساختارها به‌ویژه چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی‌ها در مخازن نفتی، در این پژوهش جهت‌گیری چین‌ها و شکستگی‌ها بررسی شده‌اند. شکل ۲، وضعیت لایه‌بندی و جهت شکستگی‌ها را در سازند گچساران نشان می‌دهد. در برخی قسمت‌ها یک دسته شکستگی با مشخصات N40W/50NE و روند عمومی شمال غربی جنوب شرقی مشاهده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

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



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

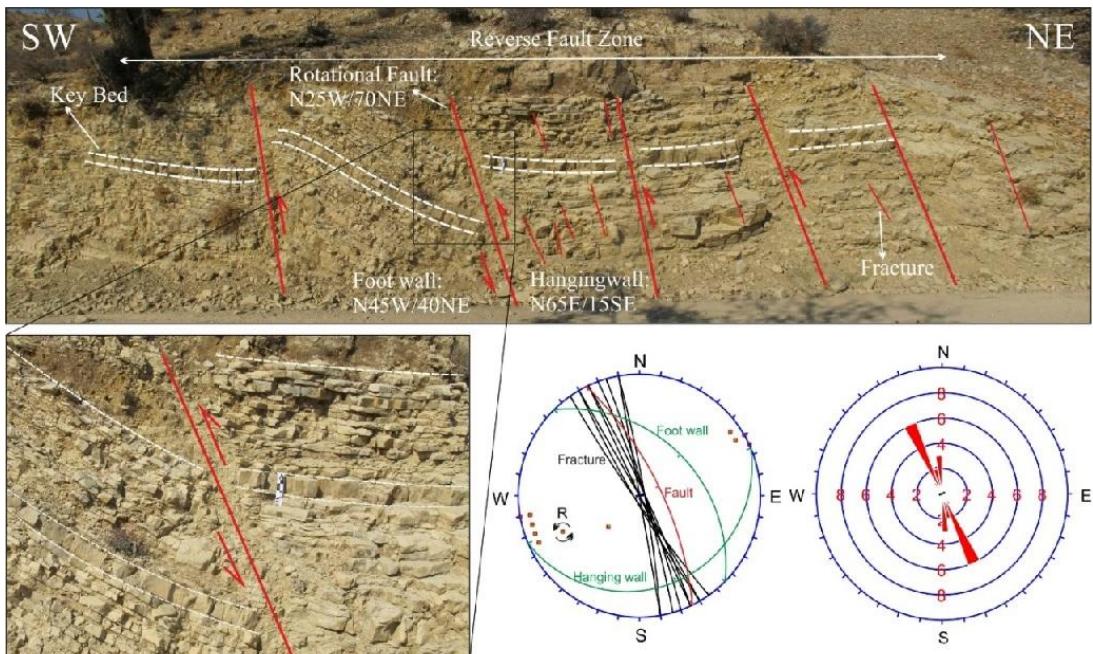
هم چنین یک دسته شکستگی با روند تقریبی شمالی-جنوبی و گسل معکوس با مشخصات N20W/40NE برداشت شده است. به نظر می رسد ساختار دوپلکس، از عملکرد این گسل ایجاد شده باشد. هم چنین چین خورده‌گی هایی که در اثر گسلش تکامل یافته‌اند نیز در این ایستگاهها قابل مشاهده است (شکل ۳).



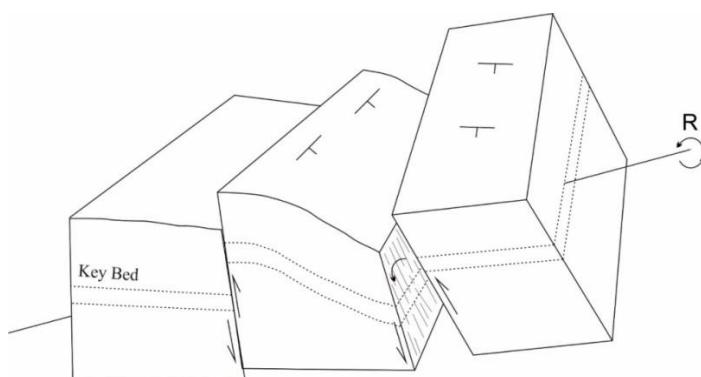
شکل ۳. وضعیت لایه بندی و شکستگی ها در سازند گچساران

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. بدلیل قابلیت انحلال پذیری سازند گچساران و مقاومت کم آن در برابر فرسایش، شواهد محکمی از جمله خشنگی یا صفحه گسلی، که معرف شواهد حرکتی این شکستگی باشد، دیده نمی‌شود.

یک زون گسلی که متشكل 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 N45W/40NE است و مشخصات لایه‌بندی در فرادیواره این گسل N65E/15SE و در فرودیواره N25W/70NE 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، بلوك دیاگرام بهصورت سه‌بعدی تهیه شده است (شکل ۵).

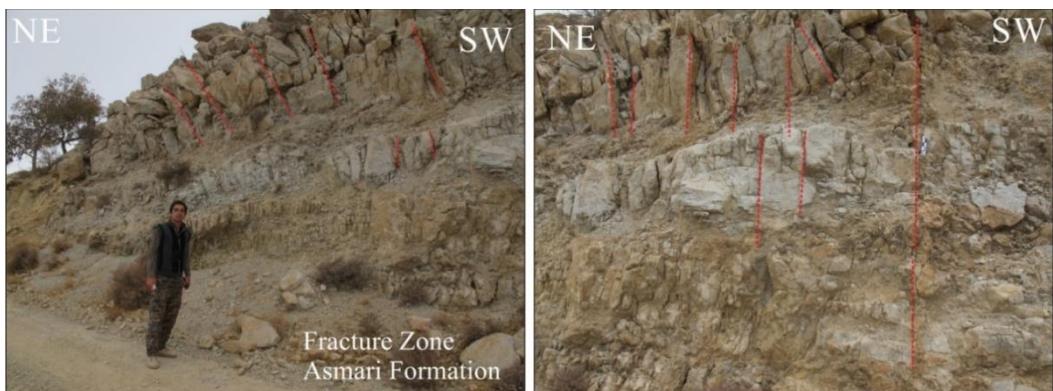


شکل ۴. وضعیت لایه‌بندی و ساختارهای برداشت شده

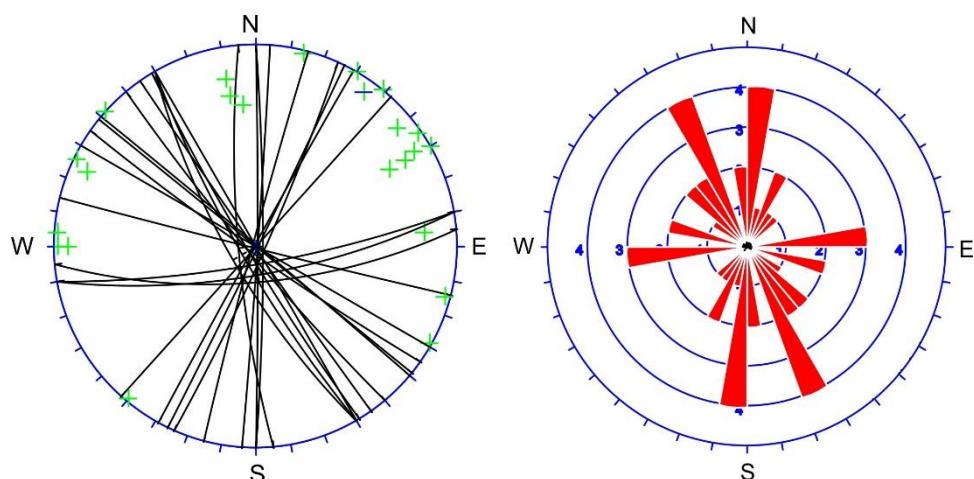


شکل ۵. بلوك دیاگرام تهیه شده از گسل چرخشی

شیب سازند آسماری و همچنین مرز این سازند با سازند گچساران در یال شمال شرقی تاقدیس دارا اندازه‌گیری شده است. سازند گچساران به صورت 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 به صورت شمالی-جنوبی تشکیل شده است (شکل ۷).



شکل ۶. زون شکستگی در قسمت محوری تاقدیس دارا

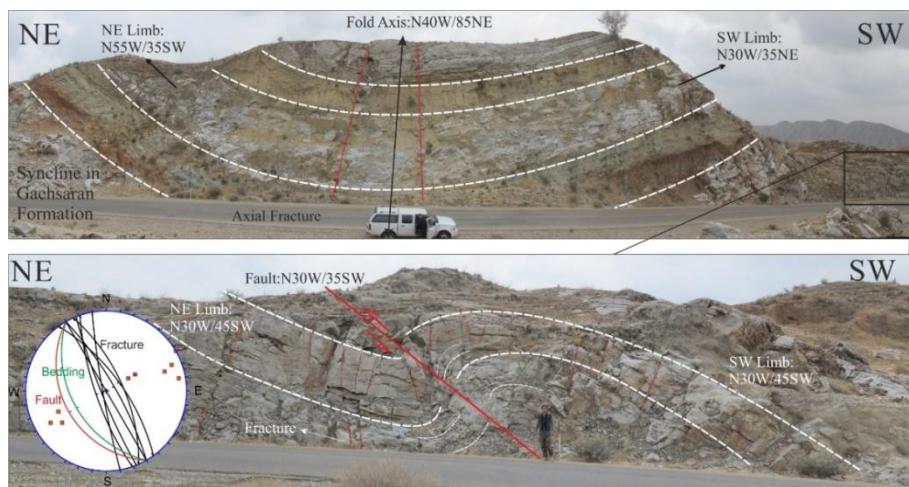


شکل ۷. رزدیاگرام جهت‌گیری شکستگی‌های اندازه‌گیری شده در محور تاقدیس دارا

در سایر مناطق نیز شکستگی در مقیاس بزرگ‌تر نسبت به قبل اندازه‌گیری شده است. روند عمومی این شکستگی N30E/85NW است، که به صورت 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).

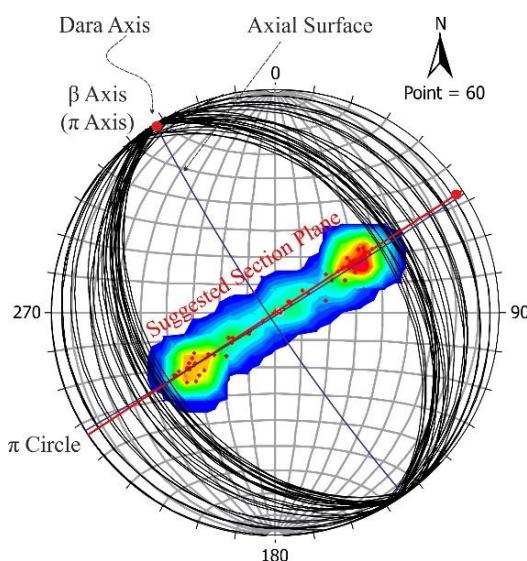


شکل ۸. چین خوردگی‌ها و شکستگی‌های برداشت شده در شمال غرب دماغه شمال غربی

## بحث و نتایج

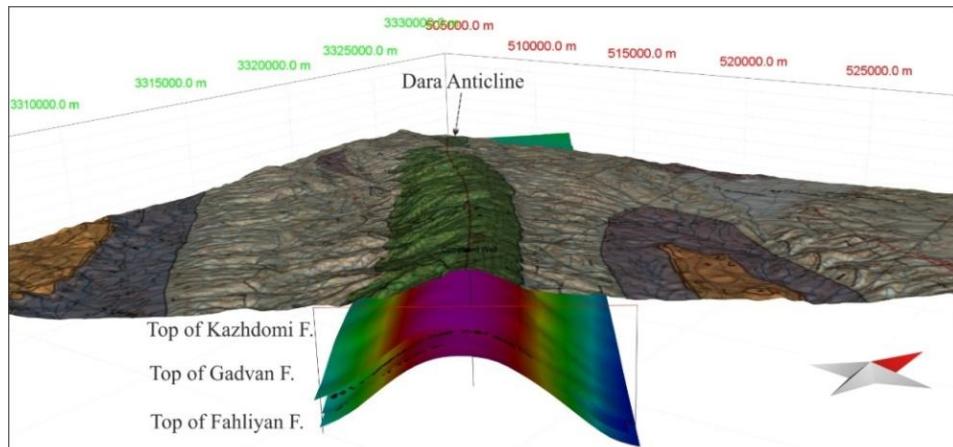
### رده‌بندی تاقدیس دارا بر مبنای طبقه‌بندی (Ramsay 1967)

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).



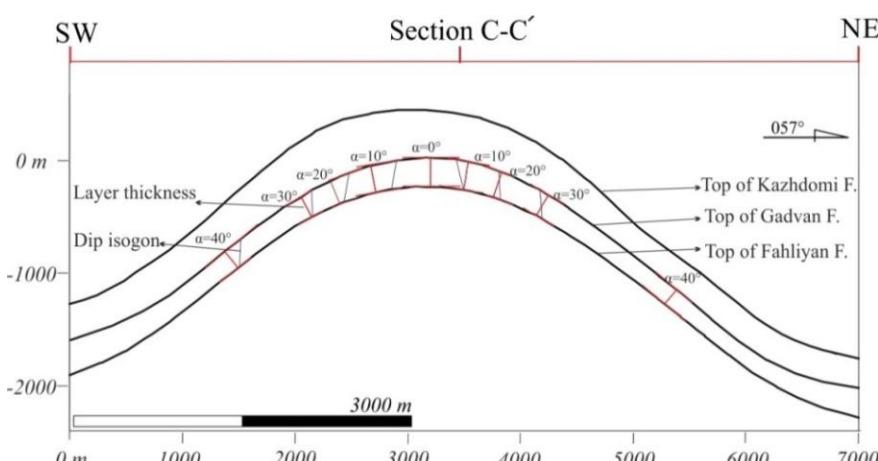
شکل ۹. تحلیل استریوگرافی انجام شده بر سطح سازند گدوان

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 گدون 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 نمایان گر ضخامت دقیق آن است.



شکل ۱۰. مدل لایه های زیرسطحی در محدوده تاقدیس دارا

در مقطع مذکور، خطوط هم شیب برای زوایای مختلف ترسیم شده و ضخامت ها در این ناحیه ها اندازه گیری شده است (شکل ۱۱). تحلیل های صورت گرفته با استفاده از نمودار ضخامت واقعی و ضخامت موازی اثر محوری نشان می دهد که تاقدیس دارا در محدوده ۳ Class قرار می گیرد. همچنین الگوی خطوط هم شیب نیز در این سازند به صورت واگرا است. ضخامت سازند گدون، از منطقه لولا به سمت نقطه عطف و یال ها کاهش می یابد؛ به گونه ای 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 ضخامت های مربوط به شیب های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. مقطع عرضی تهیه شده برای انجام رده بندی Ramsay به همراه خطوط هم شیب و ضخامت های واقعی در شیب های مختلف

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

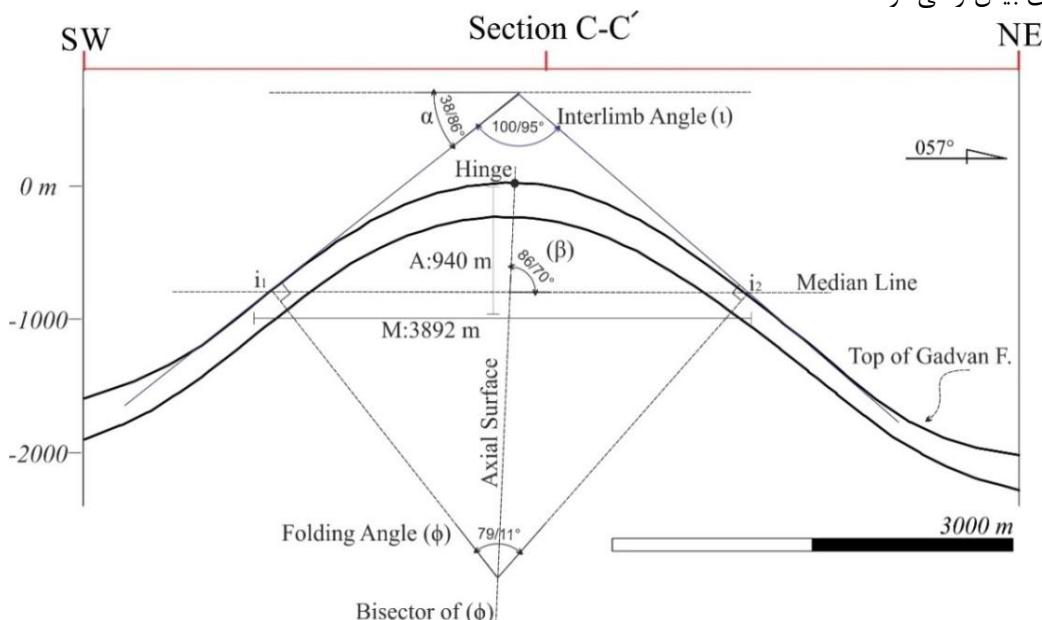
$\alpha$ (°)	SW Limb ( $t_0 = 256$ m)		NE Limb ( $t_0 = 256$ m)	
	T $\alpha$ (m)	t'	T $\alpha$ (m)	t'
۱۰	۲۴۴	۰/۹۵	۲۵۱	۰/۹۸
۲۰	۲۲۵	۰/۸۷	۲۳۵	۰/۹۱
۳۰	۲۰۶	۰/۸۰	۲۱۴	۰/۸۳
۴۰	۱۸۲	۰/۷۰	۱۶۷	۰/۶۵

جدول ۲ تغییرات ضخامت را در شبکه‌های متفاوت و موازی اثر تاقدیس دارا نشان می‌دهد. ضخامت‌های محاسبه شده با استفاده از این روش نیز حاکی از کاهش ضخامت سازند گدوان از منطقه لولا به‌سمت یال‌های تاقدیس و نقطه عطف یال‌ها است، به‌گونه‌ای که ضخامت در منطقه لولا معادل ۲۵۶ متر و در نقطه عطف یال جنوب غربی (شبکه ۴۰ درجه)، معادل ۲۳۸ متر و نقطه عطف یال شمال شرقی (شبکه 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، ستبرشدنگی در یال شمال خاوری، تا شبکه ۳۰ درجه، بیشتر از یال جنوب باخته است. این درحالی است که در نقطه عطف یال‌ها و شبکه حدود ۴۰ درجه، شرایط به‌صورت عکس است و تنها در این نقطه از تاقدیس، ضخامت سازند گدوان، در یال جنوب باخته 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 بین یالی تاقدیس دارا ۱۰۰/۹۵ درجه محاسبه شده است، زاویه چین خوردگی در این تاقدیس معادل ۷۹/۱۱ است (شکل ۱۲). بنابراین این

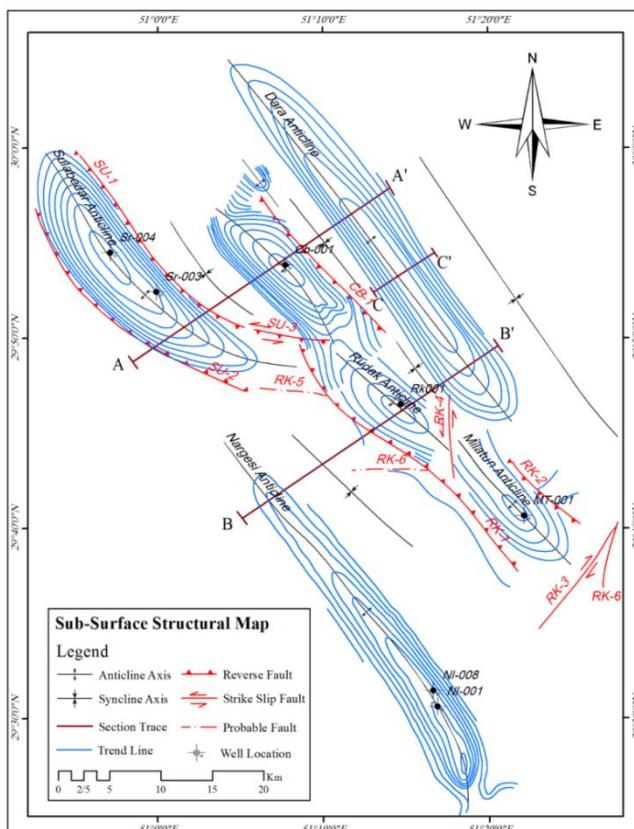
تاقدیس را می‌توان در زمرة چین‌های باز بر مبنای تقسیم بندی Fleuty (1964) طبقه‌بندی کرد. اندازه‌گیری نسبت ابعادی تاقدیس دارا نشان می‌دهد که مقدار عددی این پارامتر معادل  $0.24 \pm 0$  است، که واژه توصیفی مناسب برای این رده، واژه‌ی پهن است. هم‌چنین این تاقدیس، براساس گردشگی منطقه لولا، که مقدار عددی این پارامتر  $0.5 \pm 0$  محاسبه شده، در رده نیمه‌گردشده جای می‌گیرد.

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

Section C-C' of Dara Anticline							
Geometric Parameter	Interlimb angle ( $\iota$ )	Folding angle ( $\phi$ )	Cylindricity	Symmetry	Fold shape	Tightness	Harmony
Aspect Ratio (P)	100.95°	79.11°	Wide	Symmetric	M-Shape	Open	Harmonic
	Amplitude (A)	940 m			Bluntness (b)	$r_c$	1481 m
	Distance (M)	3892 m				$r_0$	2950 m
	P = A/M	0.24 (Wide)			$b = r_c / r_0$	0.50	Subrounded

### 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 تاقدیس‌های دارا، رودک، میلاتون، چهاربیشه، سولابر و نرگسی و گسل‌های موجود در این میادین نشان داده شده است. هم‌چنین موقعیت برش‌های ساختاری نیز در این نقشه قابل مشاهده است.

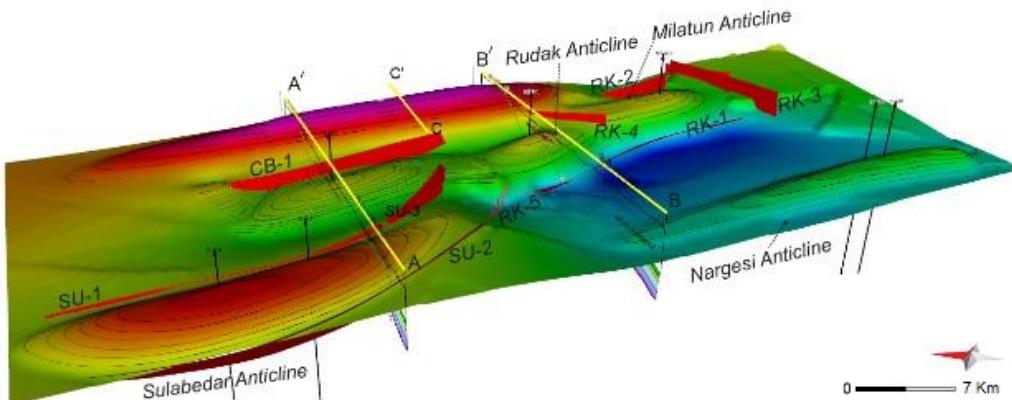


شکل ۱۳. نقشه ساختاری زیرسطحی از میادین و ساختارهای زیرسطحی منطقه بررسی شده

### گسل‌ها در مدل ساختاری سه‌بعدی

براساس مدل سه‌بعدی و نقشه ساختاری زیرسطحی در محدوده 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 میلاتون، گسل RK-2، با مکانیسم عمل معکوس و با روند عمومی شمال باختری-جنوب خاوری و هم‌رونده با روند کلی کوهزاد زاگرس مشاهده و مدل شده است. شبیه 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 میلاتون قرار دارد. این گسل تقریباً از ابتدای دماغه جنوب خاوری تاقدیس میلاتون تا دماغه 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 میلاتون و تاقدیس رودک قرار دارد. شبیه 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 میلاتون نشان می‌دهد. این بدان معنی است که احتمالاً شبیه گسل RK-4، به سمت تاقدیس میلاتون 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 میلاتون، در نزدیکی این گسل و جایه‌جا 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. شبیه این گسل حدود ۷۵ درجه و به سمت جنوب باختری است، که هم‌رونده با ساختارهای اصلی زاگرس است. همچنین رابطه 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 محدوده بررسی شده

تاقدیس سولابدر در شمال غرب منطقه بررسی شده، توسط سه گسل احاطه شده است. گسل SU-1 در یال شمال خاوری تاقدیس سولابدر قرار دارد. شبیه 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 انحنای محور تاقدیس‌های سولابدر، رودک و چهاربیشه، احتمالاً گسل‌ش

امتدادلغز، 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 خورده‌گی تاقدیس سولابدر را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۴).

از آن جاکه اطلاعاتی از سازندهای بالاتر از سازندهای آسماری در اختیار نیست و گسل‌های RK-6 و 5 RK-5 تنها در سازند آسماری مشاهده شده‌اند و در سازندهای زیرین دیده نشده‌اند، از این رو، در نقشه تهیه شده این سازندهای به صورت احتمالی در نظر گرفته شده‌اند. احتمال این موضوع هم وجود دارد که، این گسل‌ها جوان‌تر و کم‌عمق‌تر از سایر گسل‌ها بوده‌اند و تا سازند آسماری ادامه داشته‌اند. گسل‌های RK-3 و 6 RK-6 نیز در دماغه جنوب خاوری تاقدیس میلاتون قرار دارند. این گسل‌ها نیز تنها در سازند آسماری مشاهده شده‌اند. مکانیسم عمل این گسل در داده‌های موجود، امتدادلغز راست‌گرد مشخص شده است. اطلاعاتی از سایر مشخصات این‌ها در دسترس نیست. اما از لحاظ ساختاری احتمال دارد که یکی از گسل‌های ریدل، نسبت به گسل پی‌سنگی کازرون باشد (شکل ۱۴).

## مقاطع ساختاری

به‌منظور تحلیل چین خورده‌گی 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.

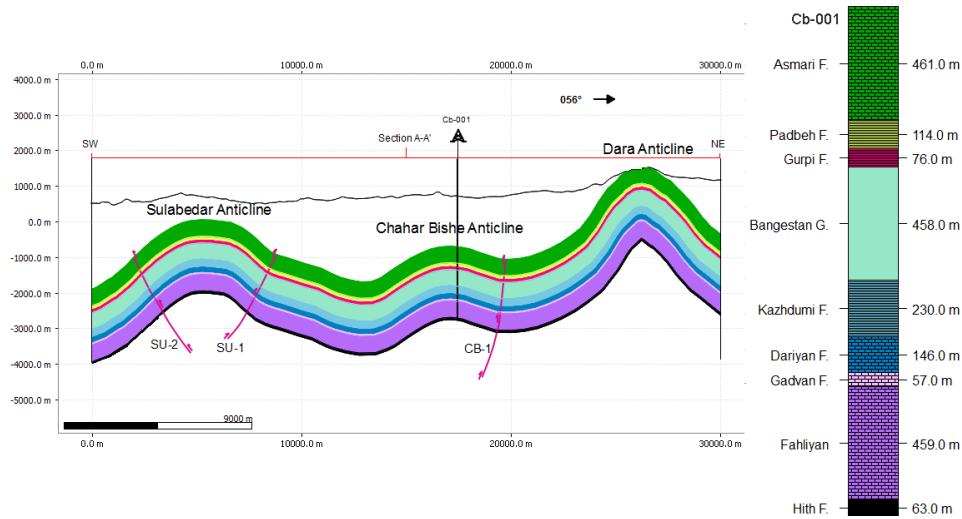
### A-A'

این مقطع در محدوده دماغه شمال غربی تاقدیس دارا و به طول ۳۰ کیلومتر ترسیم شده است. تاقدیس‌هایی که در مسیر این مقطع قرار دارند، شامل تاقدیس‌های: دارا، چهاربیشه و سولابدر هستند (شکل ۱۵). چنان‌که 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 خورده‌گی در این قسمت را تشیدید 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 خورده‌گی است. در محدوده تاقدیس سولابدر نیز دو گسل معکوس مشاهده می‌شود، که به ۱ SU و 2 SU گسل خورده‌گی شده‌اند. گسل ۱ SU در یال شمال خاوری و گسل ۲ SU 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.

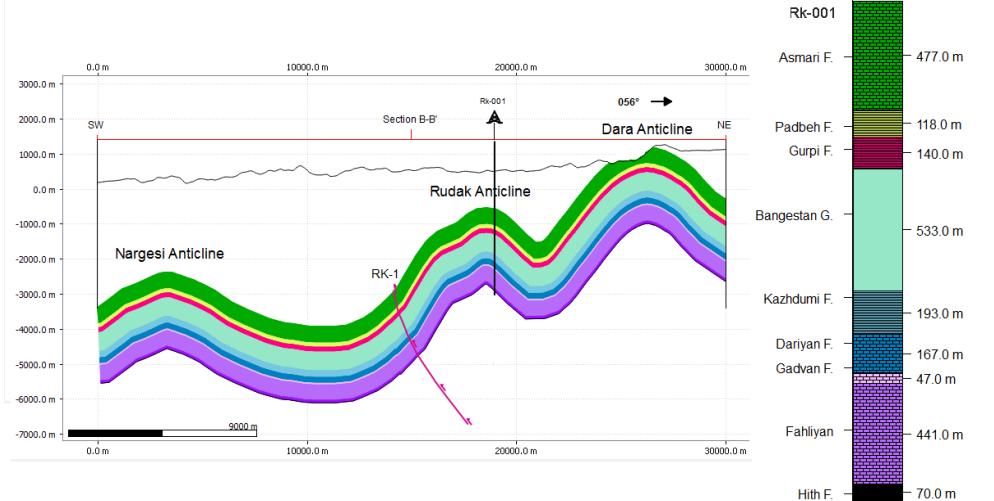
### B-B'

این مقطع در محدوده دماغه جنوب شرقی تاقدیس دارا و به طول ۳۰ کیلومتر ترسیم شده است. تاقدیس‌هایی که در مسیر این مقطع قرار دارند، شامل تاقدیس‌های: دارا، رودک و دماغه شمال باختر تاقدیس نرگسی هستند. چنان‌که 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 خورده‌گی در این قسمت را تشیدید 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> برگداشته 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.

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

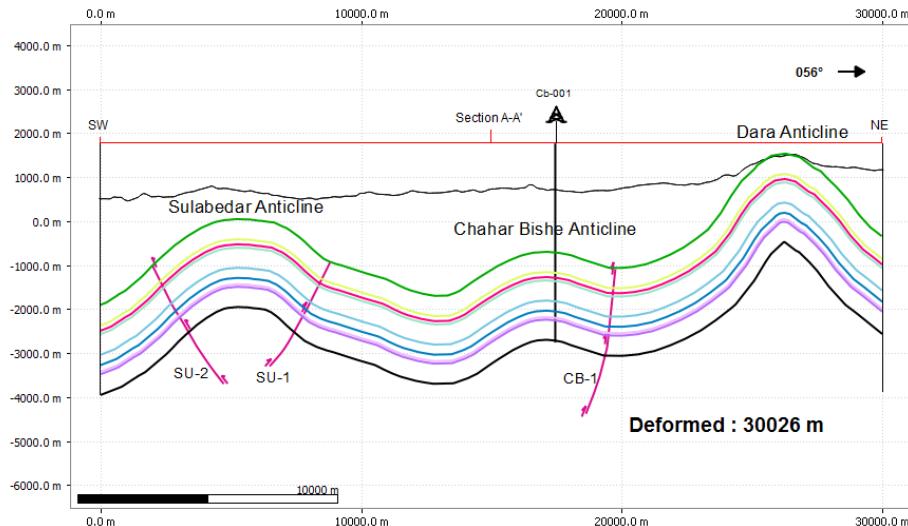
$$\% \Delta L = ((L_{\text{final}} - L_{\text{initial}}) / L_{\text{initial}}) \times 100 \quad (2)$$

1. Deformation  
2. Pre-Deformation

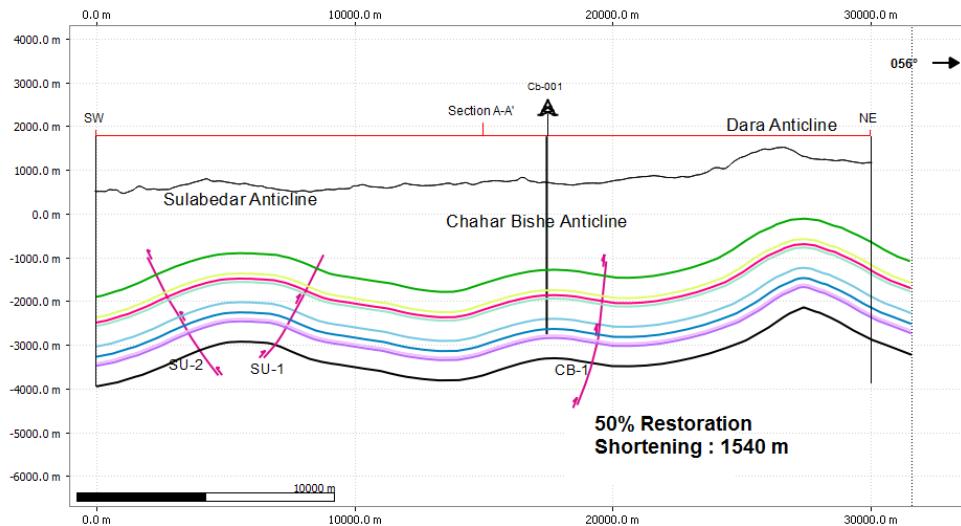
در این رابطه  $\Delta L$  مقدار کوتاه شدگی،  $L_{final}$  طول نهایی<sup>۱</sup> مقطع و  $L_{initial}$  طول اولیه است.

### 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٪ می شود (شکل ۱۹). از این رو کوتاه شدگی در طول مقطع 'A-A' برابر ۶٪ است.

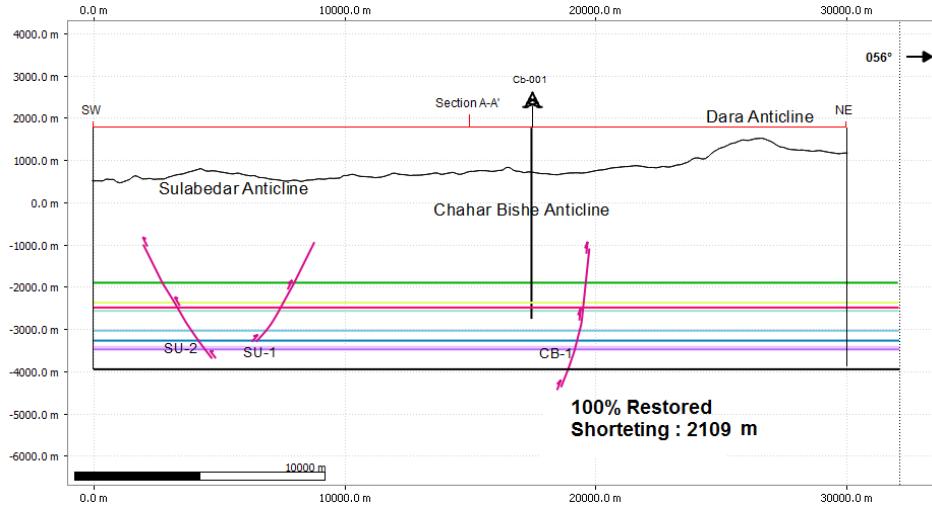


شکل ۱۷. طول نهایی مقطع 'A-A' در حالت چین خورده و وضعیت چین خورده‌ی قبل از بازگرداندن لایه‌ها به مرحله قبل از دگر شکلی



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

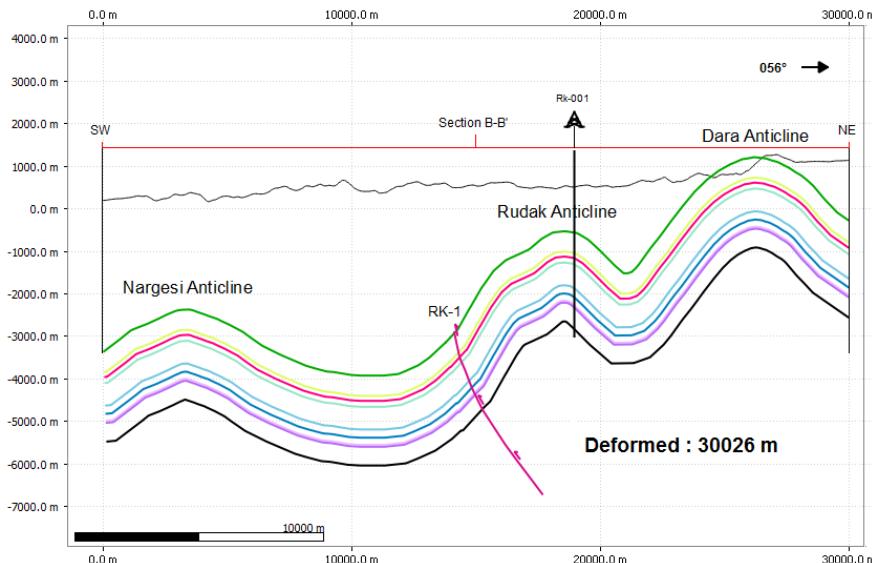
- 
1. Post-Deformation
  2. Restoration



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

#### کوتاهشده در مقاطع ساختاری 'B-B'

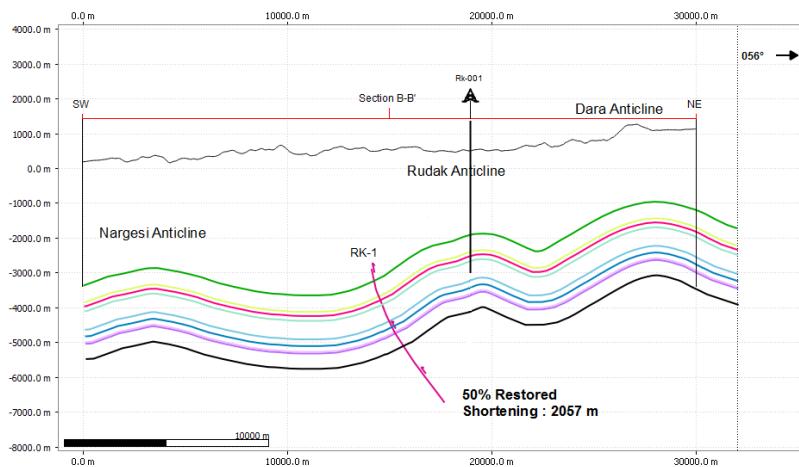
مقدار طول نهایی، در مقطع 'B-B' برابر ۳۰۰۲۶ متر است (شکل ۲۰). طول اولیه برابر ۳۲۸۰۱ متر اندازه‌گیری شده است. بعد از ۵۰٪ بازسازی، طول مقطع به ۲۰۵۷ متر می‌رسد (شکل ۲۱). در نهایت بعد از ۱۰۰٪ بازسازی، مقدار کوتاهشده برابر ۲۷۷۵ متر می‌رسد، که برابر ۸٪ خواهد شد (شکل ۲۲). از این رو، کوتاهشده در طول مقطع 'B-B'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



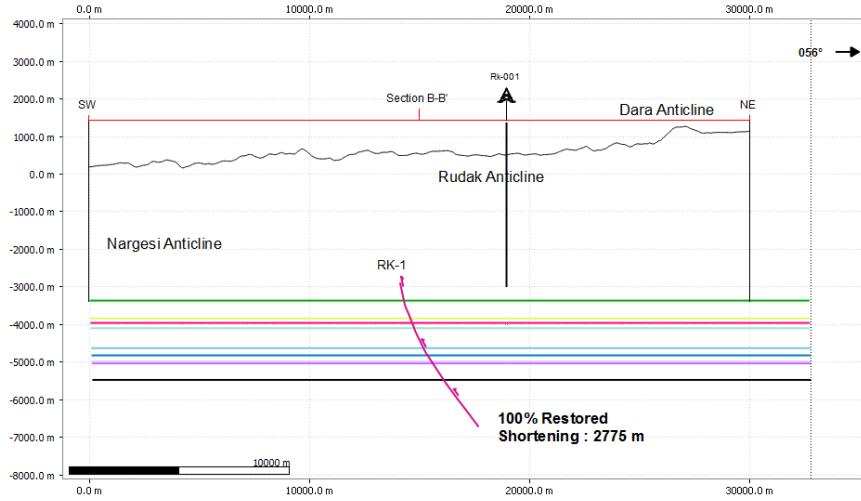
شکل ۲۰. طول نهایی مقطع 'B-B' در حالت چین خورده و وضعیت چین خورده قبل از بازگرداندن لایه‌ها به مرحله قبل از دگرشکلی

برای مقایسه مقاطع ساختاری و مقدار کوتاهشده با میزان فعالیت تکتونیکی منطقه، باید این مقاطع ساختاری را به صورت عددی و قابل مقایسه بیان کرد. بدین‌منظور، برای تحلیل و مقایسه قسمت‌های مختلف مقاطع ساختاری با یکدیگر و تبدیل توصیف کیفی به کمی، نمودارهای بازسازی به جایه‌جایی<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' بیشتر است. این بدان معنی است که، مقدار جابه جایی افقی مقطع 'B-B' نسبت به مقطع 'A-A' بیشتر 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.

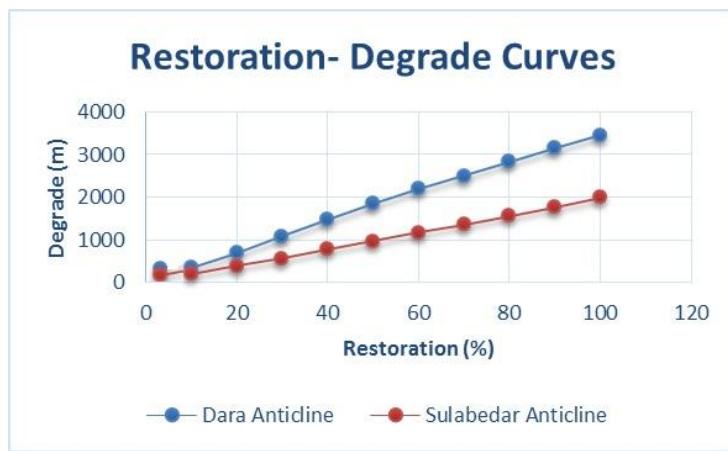
- 
1. Restoration- Shortening Curve
  2. Restoration- Degrade Curves
  3. Degrade



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

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

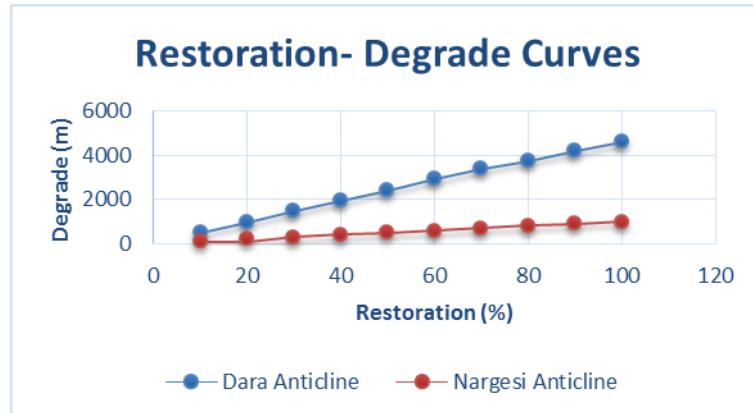
نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع 'A-A' برای دو منطقه از مقطع ساختاری تهیه شده است. یکی در محل محور تاقدیس دارا، در سمت راست مقطع ('A') و دیگری در محل محور تاقدیس سولابدر، در سمت چپ مقطع (A). نمودار نشان می‌دهد که در محل تاقدیس دارا، مقدار کاهش ارتفاع در بازسازی های یکسان، بیشتر از تاقدیس سولابدر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

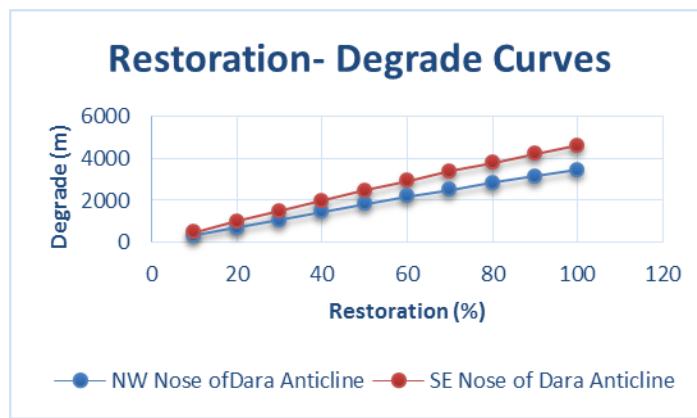
نمودار بازسازی به کاهش ارتفاع در مقطع 'B-B' برای دو منطقه از مقطع ساختاری تهیه شده است. یکی در محل محور تاقدیس دارا، در سمت راست مقطع ('B') و دیگری در محل محور تاقدیس نرگسی، در سمت چپ مقطع (B). نمودار نشان می‌دهد که، سرعت بازسازی در طول این مقطع نیز یکسان نبوده است. در محل تاقدیس دارا، مقدار کاهش ارتفاع 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 چین خوردگی 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 میدین هیدروکربوری کمربند چین خوردگی-راندگی زاگرس است. نفتحه‌های به دست آمده از خطواه‌های گستره بررسی شده نشان می‌دهد که، تعداد خطواه‌هایی که دارای روند عمود بر تاقدیس دارا هستند، نسبت به سایر جهات بیشتر است و خطواه‌هایی که موازی روند عمومی تاقدیس هستند، دارای فراوانی کمتری هستند. جهت‌گیری خطواه‌ها در گستره بررسی شده، روند غالب حاکم بر منطقه است و کمترین مقدار خطواه‌ها دارای روندی هم جهت 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 کازرون و گسل‌های کوچک‌تر همروند با آن است.

تحلیل سبک چین‌خوردگی تاقدیس دارا، این چین را در محدوده چین‌های کلاس سه رمزی قرار می‌دهد. هم‌چنین این تاقدیس را می‌توان در زمرة چین‌های سیلندری، متقارن و هارمونیک طبقه‌بندی کرد. مقاطع عرضی بازسازی شده، مقدار کوتاه‌شدگی در دماغه شمال باختری (مقاطع 'A-A' و 'B-B') را معادل  $6/5$  درصد و در مقاطع 'A-A' و 'B-B' معادل  $8/4$  درصد نشان می‌دهند که این مقادیر حاکی از شدت چین‌خوردگی 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 میدیین بیشتر است.

## منابع

- Agard P., Omrani J., Jolivet L., Moutherneau F., "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. International Journal of Earth Sciences, 94:3 (2005) 401-419.
- 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.
- Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, 229 (1994) 211-238.
- Fleuty M., "The description of folds. Proceedings of the Geologists' Association, 75 (1964) 461-492.
- Hudleston P., "Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development. Tectonophysics, 16 (1973) 1-46.
- Mohajel M., Behyari M., "Young transpressive positive flower structure along the Zagros collision zone, Nahavand area, west Iran. New England Orogen, (2010) 243-252.
- Mohajel 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.
- Ramsay J., Huber M., "Modern structural geology, volume 2: Folds and fractures. Academic Press London (1987) 405-442.
- Ramsay J., "Folding and fracturing of rocks, McGraw-Hill Companies (1967) 34-50.
- 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.
- Twiss R.J., Moores E., "Structural Geology", WH Freeman, New York, (1992) 217-235.