

بررسی هندسه ساختاری و سطوح جدایشی تاقدیس دره‌بانه‌خاوری در پهنه لرستان، باختر زاگرس

رضا علی‌پور*، نسیم رحمانیان، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، گروه زمین‌شناسی
عارف شمس‌زاده، دانشگاه شیراز، گروه زمین‌شناسی

پذیرش ۹۷/۰۲/۰۵

دریافت ۹۶/۰۷/۱۷

چکیده

تاقدیس دره‌بانه‌خاوری در پهنه ساختاری لرستان و در باختر کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس واقع شده است. در این پهنه گسل‌های راندگی و سطوح جدایشی نقش مهمی در هندسه و جنبش‌شناختی ساختارهای چین‌خورده ایفا می‌کنند. در این پژوهش با استفاده از تفسیر پنج نیمرخ لرزه‌نگاری دوبعدی، ترسیم نیمرخ‌های ساختاری، اطلاعات چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های هم‌جوار و تجزیه و تحلیل‌های مربوط، الگوی دگرریختی و هندسه ساختاری تاقدیس دره‌بانه‌خاوری بررسی شده است. بر اساس این تاقدیس دره‌بانه‌خاوری از نوع چین‌های جدایشی است که دو سطح جدایشی بالایی و میانی هندسه ساختاری آن را تحت تاثیر قرار داده است. سازند شیلی گرو به‌عنوان سطح جدایش میانی و سازند فلیشی امیران به‌عنوان سطح جدایش بالایی باعث دگرریختی منطقه شده است. ضخامت زیاد سطح جدایش بالایی باعث تشکیل تاقدیس‌هایی با طول موج و دامنه کوتاه در سطح و هم‌چنین باعث تشکیل چین‌خوردگی‌های ناهماهنگ سطحی روی تاقدیس‌های عمقی شده است. هم‌چنین تجزیه و تحلیل مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه نشان می‌دهد که این تاقدیس یک چین نامتقارن و استوانه‌ای و از نظر فشردگی باز و ملایم با نسبت ابعادی پهن است.

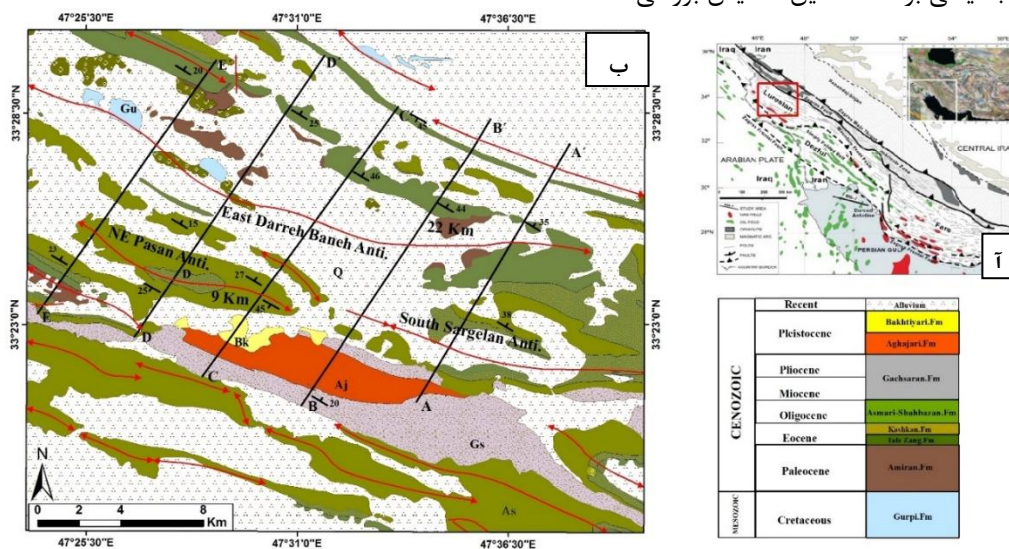
واژه‌های کلیدی: دره‌بانه، زاگرس، لرستان، تاقدیس، نیمرخ ساختاری

مقدمه

کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس به طول حدود ۱۸۰۰ کیلومتر از شمال باختر به وسیله گسل راست‌الغز چپ‌بر خاور آناتولی در ترکیه و در جنوب‌خاوری به وسیله خط عمان در بر گرفته شده است [۳]، [۵]، [۸]، [۱۶]، [۲۰]، [۲۳]، [۳۴]، [۵۴]. این کمربند کوهزایی در ایران به وسیله سلسله چین‌هایی که شامل پوشش رسوبی پروتروزوئیک تا عهد حاضر است با ضخامت ۷-۱۲ کیلومتری تشکیل شده [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶] و یکی از غنی‌ترین ایالت‌های هیدروکربن در جهان است [۵۹]. در کمربند زاگرس وجود سطوح جدایش متعدد و گسلش راندگی در طی مراحل مختلف دگرشکلی پیش‌رونده، هندسه چین‌های مرتبط با گسل را پیچیده کرده‌اند [۳۳]-[۴۹]. به‌طور کلی در کمربندهای چین‌خورده-رانده گسل‌های راندگی باعث تشکیل انواع متفاوتی از چین‌ها می‌شوند [۴۰]. و مدل‌های هندسی متفاوتی ارتباط بین گسلش راندگی و چین‌خوردگی مرتبط با گسل را با موازنه طول و حجم نشان داده‌اند [۲۹]. بررسی نیمرخ‌های عرضی ترازمند نشان می‌دهد که وجود لایه‌های ضعیف مکانیکی و افق‌های جدایشی تاثیر زیادی بر ساختار چین‌خوردگی‌های زاگرس دارند [۴]. هم‌چنین رسوب‌گذاری همزمان با زمین‌ساخت در حوضه پیش‌بوم نقش زیادی در تغییر زیاد دگرشکلی در کمربندهای چین‌خورده-رانده دارد [۲۵].

*نویسنده مسئول rezaalipoor116@gmail.com

یکی از مهم‌ترین حوضه‌های پیش‌بوم در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس حوضه پیش‌بوم امیران است که بین گسل زاگرس مرتفع در شمال‌خاور و تاقدیس کبیرکوه در جنوب‌باختر و در ناحیه لرستان واقع شده است [۴۵]. نقشه‌های هم‌ضخامت و بازسازی حوضه امیران [۱۲]-[۱۸]، مشخص می‌کند که این حوضه با پهنای ۱۴۵ و بیشینه ضخامت ۲ کیلومتر در لرستان از زمان کامپانین (۷۰/۶ تا ۸۳/۵ میلیون سال قبل) و همراه با نهشته‌های سازند امیران تشکیل شده است [۴۵]. پهنه لرستان که بخشی از کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس است در زمان کرتاسه یک محیط دریایی عمیق بر آن حاکم بوده است [۲]. هم‌چنین پهنه لرستان دارای سابقه طولانی در تولید و اکتشاف هیدروکربن بوده است و سازند ایلام و سروک سنگ مخزن اصلی این پهنه را تشکیل می‌دهند. این سازندها شامل کربنات‌های دریایی عمیق با نفوذپذیری کم هستند و داده‌های چاه‌ها نشان می‌دهد که شکستگی‌ها نقش مهمی را در ذخیره‌سازی و تولید هیدروکربن دارند [۳۹] با توجه به اهمیت سبک و هندسه چین‌خورده‌گی‌ها و گسلش راندگی و ابهامات ساختاری متعدد در هندسه چین‌خورده‌گی پهنه لرستان، در این پژوهش الگوی هندسی تاقدیس دره‌بانه‌خاوری با استفاده از ترسیم نیمرخ‌های عرضی ساختاری بررسی شده است (شکل ۱). هم‌چنین وجود سطوح ساختارهای کوچک سطحی و تاثیر سطوح جدایشی بر هندسه این تاقدیس بررسی شده است.



شکل ۱. (آ) نقشه ساختاری منطقه زاگرس و حوضه پیش‌بوم همراه با ورقه عربی که موقعیت منطقه بررسی شده با چهار گوش قرمز مشخص شده است [۵۸]، (ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده [۳۲]-[۵۵] که بیش‌تر رخنمون‌های سطحی را سازندهای آسماری و جوان‌تر پوشانده‌اند.

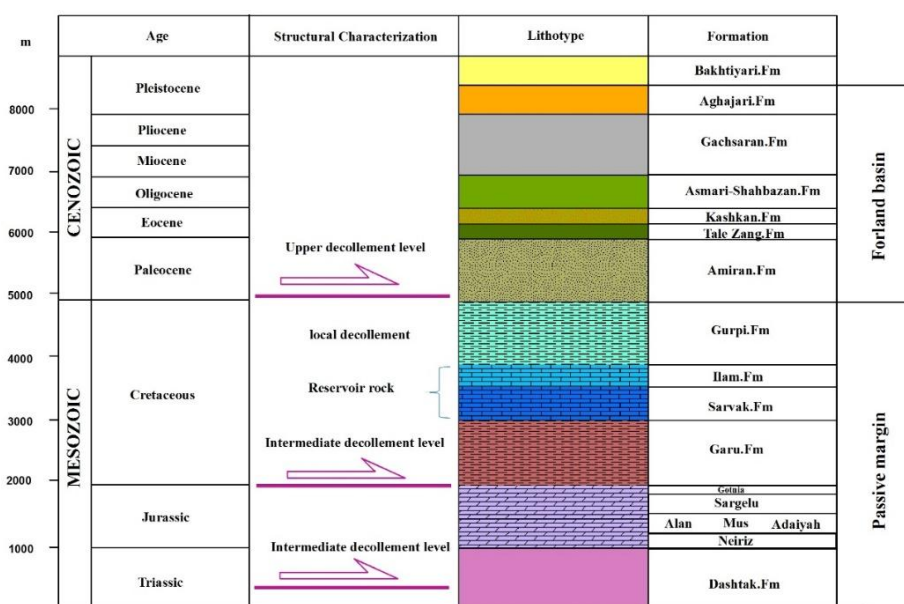
جای‌گاه زمین‌ساختی منطقه بررسی شده

کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری نتیجه برخورد بین ورق عربی و ایران بوده است و واحدهای زمین‌ساختی این کمربند به‌وسیله گسل‌های رانده بزرگ از هم جدا شده‌اند [۵]، [۸]، [۱۷]، [۲۵]، [۵۲]. کمربند زاگرس از خاور به باختر به پهنه‌های فارس، ایذه، فروافتادگی دزفول و لرستان تقسیم می‌شود و گسل بالارود جداکننده حد جنوب‌خاوری ناحیه لرستان از فروافتادگی دزفول است [۹]-[۲۴]. پهنه لرستان براساس ویژگی‌های ساختاری و چین‌شناسی و در راستای شمال‌خاوری-جنوب‌باختری به سه قسمت شمال‌خاوری، مرکزی و

جنوب‌باختری تقسیم شده است. منطقه بررسی شده در ناحیه لرستان مرکزی قرار گرفته و به‌علت وجود تاقدیس‌های مرتفع و مواد هیدروکربوری از دیرباز مورد توجه کاوشگران نفتی بوده است. تاقدیس دره‌بانه‌خاوری یکی از تاقدیس‌های مهم در منطقه است که با راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری در بخش مرکزی ناحیه لرستان واقع شده است. در ازای این تاقدیس حدوداً ۲۲ کیلومتر است و هم‌چنین تاقدیس‌های سرگلان جنوبی و پاسان در جنوب‌باختری، تاقدیس سرگلان در جنوب‌خاوری و تاقدیس چهارقلعه در شمال‌خاوری آن قرار گرفته است (شکل ۱). رخنمون سطحی این تاقدیس را سازندهای آسماری کشکان و نهشته‌های عهد حاضر تشکیل می‌دهند.

چینه‌شناسی و سطوح جدایشی

در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس تنوع ضخامت و رخساره سازندها احتمالاً مربوط به فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی یا مهاجرت حوضه پیش‌بوم از زمان کرتاسه‌پسین تا میوسن‌پسین بوده است [۸]، [۱۸]، [۲۴]، [۳۰]، [۴۹]. این تغییرات سنگ‌شناسی در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس باعث تشکیل سطوح جدایش متعددی شده است که هندسه چین‌ها را در طی مراحل مختلف دگرریختی پیش‌رونده، پیچیده کرده‌اند [۷]، [۲۸]، [۴۷]، [۴۹]. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که سطوح جدایشی بر رفتار مکانیکی لایه‌ها در طی چین‌خوردگی تأثیر زیادی داشته و باعث تغییرات طول‌موج و دامنه چین‌ها می‌شوند [۲۷]، [۵۶]، [۴۳]. در ناحیه لرستان چندین سازند دارای رخساره نامقاوم تبخیری و پلاژیک به‌صورت سطح جدایش عمل می‌کنند (شکل ۲).



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی دوران مزوزوییک و سنوزوییک پهنه لرستان که سطوح جدایشی و ضخامت رخساره‌های رسوبی را نشان می‌دهد. (ضخامت‌ها بر اساس میانگین ضخامت چاه‌های مختلف در لرستان به‌دست آمده است) [۱].

در واقع سه سطح جدایش اصلی سبک چین‌خوردگی را هم در جهت جانبی و هم عمودی کنترل می‌کنند. رسوبات شیلی پالئوزوییک، به‌صورت سطح جدایش قاعده‌ای، تبخیری‌های تریاس و سازند دشتک سطح جدایش میانی و

نهشته‌های کرتاسه بالایی - پالئوسن (سازندهای پابده و گورپی) سطح جدایش بالایی هستند [۱۹]. تغییر در ضخامت و رخساره بعضی سازندها از شمال به جنوب لرستان منجر به تغییر الگوی چین خوردگی شده است مثلاً رخساره نریتیکی سازند سروک باعث ایجاد تاقدیس‌هایی با طول موج بزرگ و راندگی در یال جنوبی شده است و رخساره پلاژیک این سازند در شمال باعث تشکیل تاقدیس‌هایی با طول موج کم‌تر و معمولاً بدون راندگی در یال شده است [۱۱]، [۱۹]. پژوهش‌گران متعددی هندسه تاقدیس‌های ناحیه لرستان را با ترسیم نیمرخ‌های عرضی بررسی کرده‌اند [۵۵]، [۳۲]، [۴۸]. بیش‌تر این پژوهش‌ها با استفاده از برداشت‌های سطحی بوده است و تغییرات هندسه ساختارها ناشی از چین‌شناسی مکانیکی به‌خوبی بررسی نشده است و باعث حفاری ناموفق بسیاری از چاه‌ها شده است. البته در پژوهش‌های اخیر نقش چین‌شناسی مکانیکی در کنترل هندسه ساختارهای ناحیه لرستان بررسی شده است [۹]، [۱۹]، [۲۵]، [۳۱]، [۳۸]، [۴۷]، [۵۰]، [۵۸]. هم‌چنین تغییرات رخساره‌ای و ساختاری در راستای شمالی-جنوبی و شمال‌باختری-شمال‌خاوری در ناحیه لرستان می‌تواند به فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی قدیمی نسبت داده شود [۶]. به‌طور کلی بیش‌ترین رخنمون در منطقه بررسی شده نهشته‌های عهد حاضر و سازند آهکی آسماری به سن میوسن‌زیرین، سازند کشکان شامل ماسه‌سنگ و سیلتستون به سن ائوسن‌میانی، سازند تله‌زنگ به سن پالئوسن-ائوسن-میانی و هم‌چنین سازند امیران شامل آهک شیلی و ماسه‌سنگ به سن پالئوسن است و سازند گورپی که رخنمون کمی دارد قدیمی‌ترین سازند در محور تاقدیس دره‌بانه‌خاوری است. با توجه به اطلاعات چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های مجاور و به‌ویژه تاقدیس سرکان سازندهای گروه بنگستان که شامل سازندهای ایلام با آهک‌های نازک‌لایه و سورگاه حاوی شیل‌های پیریت‌دار و سروک با لایه‌بندی نازک سنگ آهک است قرار دارند. در زیر گروه بنگستان گروه خامی که شامل سازندهای فهلپان، گدون و سنگ‌آهک‌های داریان است که در لرستان به سازند شیلی گرو تبدیل می‌شوند؛ گروه کازرون شامل سازند شیلی دشتک به سن تریاس بالایی و سازند نیریز است. هم‌چنین در ناحیه لرستان گروه دهرم شامل سازندهای دالان به سن پرمین‌میانی و کنگان به سن دونین-پرمین‌زیرین و فراقان به سن دونین-پرمین‌زیرین است. واحدهای پالئوزوئیک‌زیرین شامل شیل و کربنات و سری هرمز به سن پروتروزوئیک واحد زیرین گروه دهرم است.

روش پژوهش

در این پژوهش به‌منظور بررسی سبک ساختاری، هندسه چین خوردگی و سطوح جدایشی تاقدیس دره‌بانه‌خاوری از داده‌های سطحی و زیرسطحی استفاده شده است. داده‌های پایه در این پژوهش شامل نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس یک‌صد هزار، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های مدل ارتفاع رقومی (DEM)، اطلاعات چاه‌ها و نیمرخ‌های لرزه‌نگاری دوبعدی است که برای ترسیم نیمرخ‌های عرضی ساختاری استفاده شده است. نیمرخ‌های عرضی ترسیم شده در جهت عمود بر روند عمومی تاقدیس دره‌بانه‌خاوری و با استفاده از روش کینک [۵۳] و حفظ ضخامت لایه‌ها ترسیم شده و در نهایت از این نیمرخ‌ها برای بررسی هندسه ساختاری، سطوح جدایشی و سبک چین خوردگی استفاده شده است. هم‌چنین برای ترسیم نیمرخ‌های ساختاری تعداد پنج نیمرخ لرزه‌نگاری دوبعدی از منطقه بررسی شده با روند عمومی شمال‌خاوری-جنوب‌باختری تفسیر شده است که به‌دلیل محدودیت استفاده از اطلاعات زیرسطحی ناگزیر شکل تصویری از این نیمرخ‌ها در این مقاله نشان داده شده است. بنابراین با استفاده از اطلاعات سطحی و زیرسطحی پنج نیمرخ ساختاری

عمود بر محور تاقدیس دره‌بانه‌خاوری ترسیم و هم‌چنین برای تحلیل و درستی نیمرخ‌ها، تعیین هندسه ساختاری تاقدیس و برآورد کوتاه‌شدگی بازگرداندن نیمرخ‌ها به‌حالت قبل انجام گرفته است. بدین‌منظور برای بازگرداندن نیمرخ‌های ساختاری ترسیم شده خط ثابت^۱ در محور ناودیس‌های مجاور قرار گرفته و با در نظر گرفتن طول ثابت لایه‌ها به‌حالت قبل از دگرشکلی بازگردانده شده و مقادیر کوتاه‌شدگی محاسبه شده است.

نیمرخ‌های عرضی و هندسه ساختاری

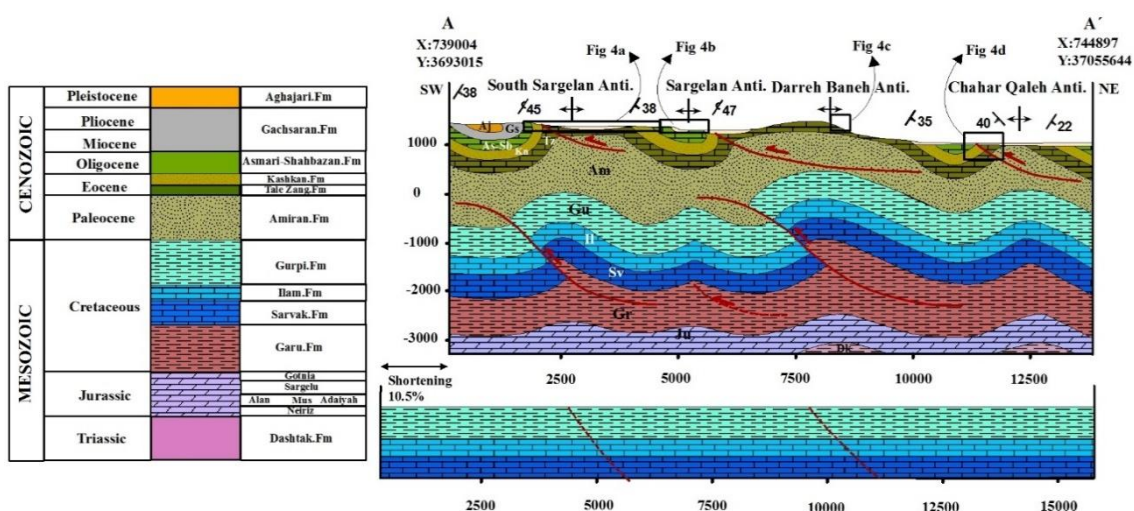
در این پژوهش برای تحلیل هندسی-جنبشی تاقدیس دره‌بانه پنج نیمرخ ساختاری عرضی و عمود بر محور تاقدیس ترسیم شده است. مسیر این نیمرخ‌های ساختاری طوری انتخاب شده است که منطبق بر محل نیمرخ‌های لرزه‌نگاری دوبعدی و یا نزدیک به مسیر این نیمرخ‌ها باشند تا بتوان از اطلاعات زیرسطحی برای تصحیح نیمرخ‌ها استفاده کرد. هم‌چنین در این پژوهش با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی یک سطح چین‌خورده [۵۷] و ترسیم نمودار استریوگرافیک، مشخصه‌های چین‌خوردگی به‌صورت مقادیر عددی نشان داده شده است (جدول ۱). در واقع مشخصه نسبت ابعادی نسبت دامنه چین به خطی است که دو نقطه عطف چین را به هم وصل می‌کند و مشخصه فشردگی به‌وسیله اندازه‌گیری زاویه بین یالی به‌دست می‌آید. هم‌چنین مشخصه کندی چین نیز از نسبت شعاع خمیدگی بستگی چین به شعاع دایره مماس بر نقاط عطف یال‌های چین به‌دست می‌آید [۵۷]. با توجه به داده‌های به‌دست آمده تاقدیس دره‌بانه نامتقارن است و عدم تقارن آن به‌دلیل تفاوت در شیب و طول یال‌هاست. مقادیر به‌دست آمده برای زاویه بین‌یالی نشان می‌دهد که این دو تاقدیس از نظر فشردگی از نوع چین‌های باز و ملایم هستند. محاسبات لازم برای به‌دست آوردن کندی چین در پنج برش ساختاری نشان می‌دهد که $0/8 < b < 0/4$ است و اصطلاح توصیفی آن نیمه‌گرد شده است. هم‌چنین مقادیر به‌دست آمده برای نسبت ابعادی و لگاریتم آن که در تمام برش‌ها در محدوده $0/25 < p < 0/1$ و $-1 \leq \log p < -0/6$ است، نشان‌دهنده عریض یا پهن بودن چین است. به‌طور کلی پنج نیمرخ AA' تا EE' در منطقه بررسی شده عمود بر امتداد تاقدیس‌ها ترسیم شد که بدین شرح هستند:

نیمرخ ساختاری AA'

نیمرخ AA' با درازای حدوداً ۱۴ کیلومتری (شکل ۳) عمود بر راستای تاقدیس‌های چهارقلعه و دره‌بانه‌خاوری و ناودیس سولابه ترسیم شده است (شکل ۱). در امتداد این نیمرخ رخنمون سطحی تاقدیس دره‌بانه را بیش‌تر سازند آهکی تله‌زنگ و نهشته‌های عهد حاضر تشکیل داده‌اند (شکل ۴) و جوان‌ترین رخنمون‌های سطحی مربوط به سازندهای آجاجاری و گچساران (جنوب‌باختر تاقدیس سرگلان جنوبی) است. با توجه به مشخصه‌های هندسی و ترسیم استریوگراف چین (شکل ۵)، در امتداد این نیمرخ موقعیت محوری تاقدیس دره‌بانه ۰ و ۱۲۰ درجه و شیب سطح محوری آن ۸۲ و ۰۳۰ درجه است و شیب یال جنوبی زیاد تا برگشته است. در رخنمون سطحی و در یال جنوب‌باختری تاقدیس دره‌بانه در امتداد این نیمرخ ساختاری، ساختار ناودیسی سولابه در عمق به‌صورت یک ساختار تاقدیسی تشکیل شده است. تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌نگاری بازتابی دوبعدی در امتداد این نیمرخ ساختاری نشان می‌دهد که در

1. Pine line

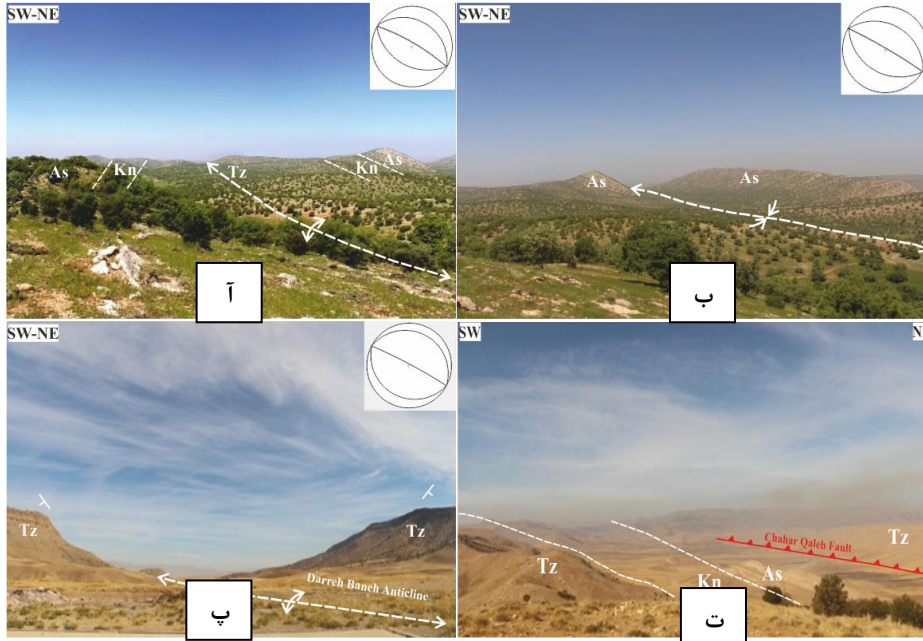
عمق و زیر سطح جدایش بالایی (سازند امیران) ساختار تاقدیسی عمقی در واحدهای کرتاسه و قدیمی تر تشکیل شده و در سطح و بالای سطح جدایش به صورت ناودیس رخمون دارد (شکل ۳). در امتداد این نیمرخ ساختاری به دلیل این که سازند امیران از واحدهای نامقاوم تشکیل شده است به عنوان سطح جدایش بالایی در نظر گرفته می شود و به دلیل تاثیر راندگی ها بر روی این سازند ضخامت ها در مکان های مختلف متفاوت است و در ساختار ناودیسی سولابه در جنوب باختر تاقدیس دره بانه بیش ترین ضخامت را دارد. هم چنین در امتداد این نیمرخ گسل چهارقلعه و دره بانه باعث رانده جدایش امیران با بریدن لایه ها به سمت بالا منتشر شده و در منطقه بین دو تاقدیس چهارقلعه و دره بانه باعث رانده شدن سازند تله زنگ روی سازند آسماری شده است (شکل ۴). در امتداد این نیمرخ به دلیل این که سازند امیران از واحدهای نامقاوم تشکیل شده است به عنوان سطح جدایش بالایی در نظر گرفته می شود و به دلیل تأثیر راندگی ها روی این سازند ضخامت ها در مکان های مختلف متفاوت است و در ساختار ناودیسی در یال جنوبی تاقدیس دره بانه بیش ترین ضخامت را دارد. سطح جدایش در این بخش از منطقه بررسی شده سازند گرو است که راندگی ها با ریشه در این سازند به سمت بالا منتشر شده و در سازند امیران حالت هموار پیدا کرده است. هم چنین مقدار کوتاه شدگی به دست آمده از این نیمرخ حدود ۱۰/۵ درصد است (شکل ۳).



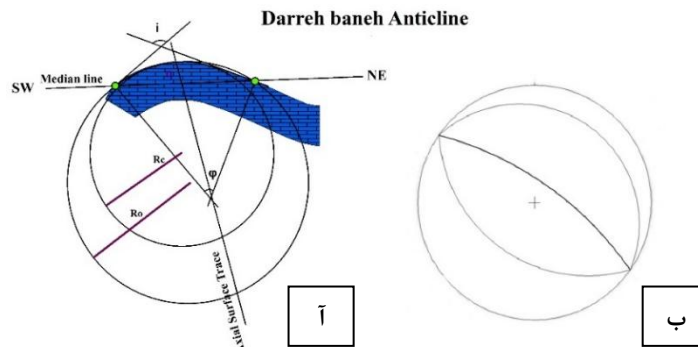
شکل ۳. مقطع ساختاری AA' که عمود بر روند تاقدیس های دره بانه و چهارقلعه و تاقدیس سرگلان (ناودیس سولابه) ترسیم شده است. راندگی ها عمقی با ریشه در سطح جدایش میانی (سازند گرو) به سمت بالا منتشر شده و راندگی کم عمق بالایی با ریشه در سطح جدایش بالایی (سازند امیران) باعث دگرریختی شده اند.

نیمرخ ساختاری BB'

نیمرخ ساختاری BB' با درازای حدوداً ۱۵ کیلومتری در بخش های میانی تاقدیس دره بانه و در فاصله حدوداً ۴ کیلومتری شمال باختر نیمرخ AA' قرار گرفته است (شکل ۶). رخمون سطحی تاقدیس دره بانه در این نیمرخ را سازند تله زنگ و نهشته های کواترنری تشکیل می دهند (شکل ۶) و نسبت به نیمرخ AA' تاقدیس دره بانه در عمق کمتری قرار گرفته است. در این نیمرخ تاقدیس دره بانه با موقعیت محوری ۰ و ۱۱۸ درجه و سطح محوری ۸۲ و ۰۳۰ درجه مشخص می شود (شکل ۸) که در نزدیکی آن چشمه های نفتی به دلیل وجود شکستگی ها و ذخایر هیدروکربوری به سطح زمین راه پیدا کرده اند (شکل ۷).

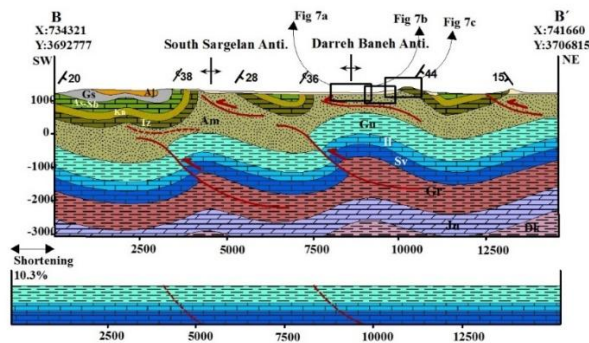


شکل ۴. آ) هسته تاقدیس سرگلان جنوبی با رخنمونی از سازندهای تله‌زنگ، کشکان و آسماری، ب) ناودیس تنگ شکل گرفته بین تاقدیس‌های دره‌بانه و سرگلان جنوبی (ناودیس سولابه)، پ) منطقه میل محور جنوب‌خاوری تاقدیس دره‌بانه با رخنمون سازند تله‌زنگ در هر دو یال، ت) گسل بین تاقدیس‌های چهارقلعه و دره‌بانه. Tz، Kn و As به ترتیب تله‌زنگ، کشکان و آسماری را نشان می‌دهند.



شکل ۵. آ) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه، ب) تصویر استریوگرام تاقدیس دره‌بانه

CENOZOIC	Pleistocene	Aghajari.Fm
	Pliocene	Gachsaran.Fm
	Miocene	
	Oligocene	Asumari-Shahbaza.Fm
	Eocene	Knigan.Fm Fah.Zenab.Fm
MESOZOIC	Palaeocene	Amiran.Fm
	Cretaceous	Garpi.Fm
		Ham.Fm
		Sarvak.Fm
		Gara.Fm
	Jurassic	Gedala
		Sargala
		Alm
		Mis. Adirah
	Triassic	NHR
	Dashak.Fm	

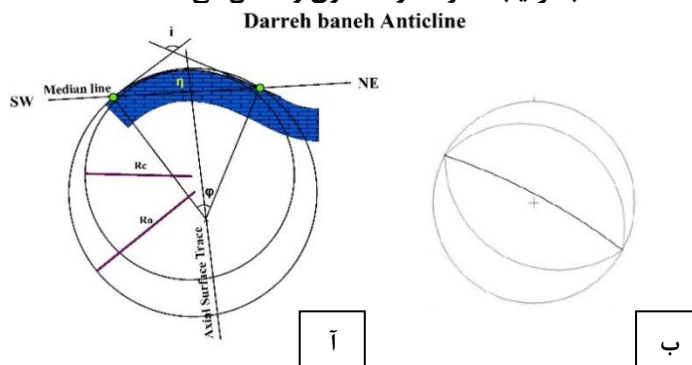


شکل ۶. مقطع ساختاری BB' که عمود بر محور تاقدیس دره‌بانه ترسیم شده است. به علت جابه‌جایی بیش‌تر راندگی عمقی تاقدیس دره‌بانه به سطح نزدیک شده است. وجود گسل‌های سطحی باعث افزایش ضخامت در سطوح جدایش بالایی می‌شود.

در این نیمرخ مقدار جابه‌جایی راندگی عمقی در تاقدیس دره‌بانه نسبتاً زیاد است و این راندگی عمقی که در سطح جدایشی گرو ریشه دارند، باعث دگربختی توالی‌های بین سطوح جدایش بالایی و پایینی شده است. همچنین در این بخش از منطقه بررسی شده سازند امیران در منطقه محوری تاقدیس دره‌بانه به سطح نزدیک شده و راندگی کم-عمق سطحی با ریشه در سازند امیران باعث دگرشکلی و برگشته شدن یال جنوبی تاقدیس سطحی دره‌بانه شده است. عملکرد راندگی کم‌عمق بالایی و تنگ‌شدن چین باعث مهاجرت بخش‌هایی از سازند امیران از منطقه لولای تاقدیس به ناودیس‌های حاشیه‌ای شده است. مقدار کوتاه‌شدگی در این نیمرخ حدود $10/3$ درصد است که با بازگرداندن آن به حالت قبل از چین‌خوردگی به‌دست آمده است.



شکل ۷. آ) هسته تاقدیس دره‌بانه در امتداد نیمرخ BB' ، ب) تشکیل چشمه‌های نفتی و گازی در نزدیکی یال شمالی تاقدیس دره‌بانه، پ) محور تاقدیس دره‌بانه با رخنمونی از سازندهای آسماری و تله‌زنگ در بال‌ها. As و Tz به ترتیب تله‌زنگ و آسماری را نشان می‌دهند.

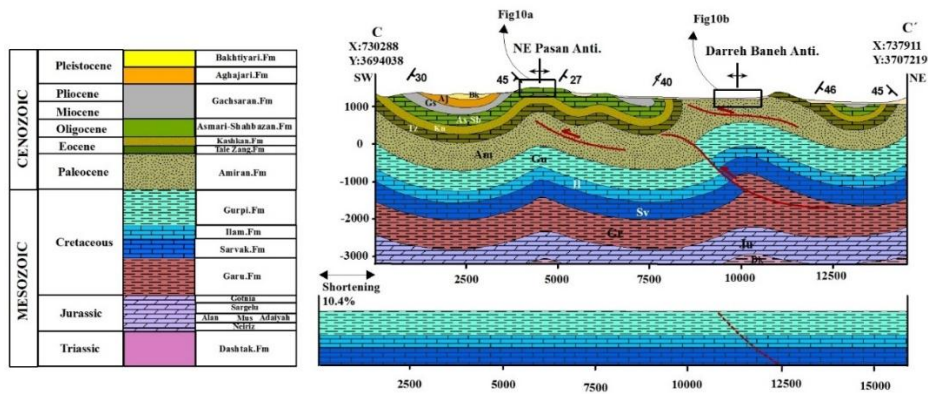


شکل ۸. آ) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه، ب) تصویر استریوگرام تاقدیس دره‌بانه

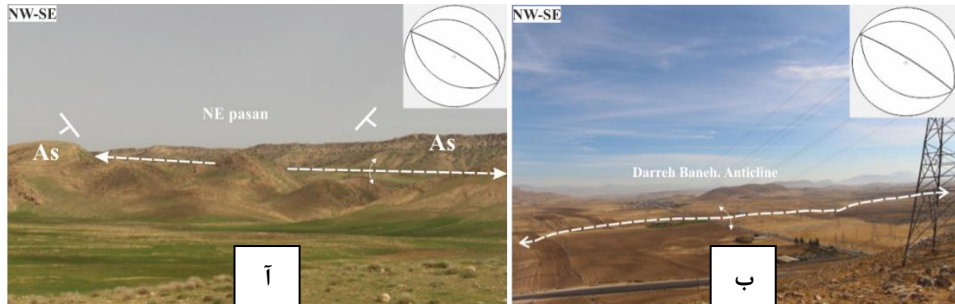
نیمرخ ساختاری CC'

نیمرخ CC' با طولی حدود ۱۵ کیلومتر در ۴ کیلومتری شمال‌باختری نیمرخ BB' قرار گرفته است و عمود بر راستای تاقدیس‌های دره‌بانه و پلانژ تاقدیس پاسان شمال‌خاور ترسیم شده است (شکل ۹). رخنمون سطحی تاقدیس

پاسان شمال خاور را سازند آسماری، تبخیری‌های گچساران و هم‌چنین سازند بختیاری تشکیل می‌دهد و تاقدیس پاسان شمال خاور در این نیمرخ نسبت به نیمرخ DD' در عمق بیش‌تری قرار گرفته است. در این نیمرخ ساختاری و در امتداد محور تاقدیس دره‌بانه رخنمون سطحی را رسوبات کواترنری (شکل ۱۰) و در یال شمالی تاقدیس سازند تله‌زنگ تشکیل می‌دهند. هم‌چنین در رخنمون سطحی ناودیس شکل گرفته در یال جنوب‌باختری تاقدیس دره‌بانه سازندهای جوان‌تر و بویژه آهک‌های آسماری، تبخیری‌های گچساران تشکیل می‌دهد. موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس دره‌بانه به‌ترتیب ۰ و ۱۲۱ و ۸۳ و ۰۳۰ درجه است (شکل ۱۱). با توجه به تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌نگاری دوبعدی تاقدیس دره‌بانه برخلاف تاقدیس پاسان شمال شرق دارای راندگی عمقی است که با ریشه در سازند گرو به‌سمت بالا انتشار یافته و در سازند امیران (سطح جدایش بالایی) حالت هموار پیدا کرده است (شکل ۹).



شکل ۹. مقطع ساختاری CC' عمود بر محور تاقدیس‌های پاسان شمال خاور و دره‌بانه ترسیم شده است. تاثیر گسل‌های رانده در سطوح جدایش باعث ایجاد تغییراتی در ضخامت آن‌ها و هم‌چنین برگشتگی یال جنوبی دره‌بانه می‌شود. راندگی عمقی در یال جنوبی تاقدیس دره‌بانه باعث دگرریختی شده است.



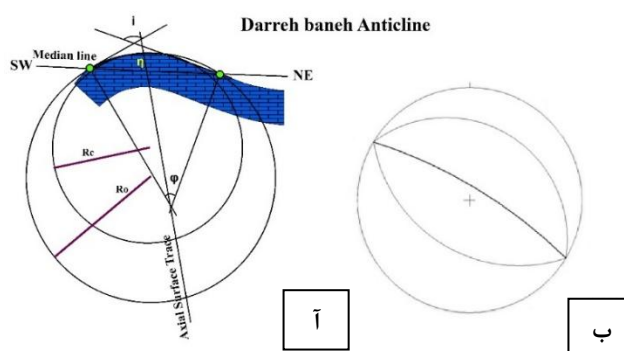
شکل ۱۰. تصاویر صحرایی از منطقه بررسی شده، (آ) منطقه محوری تاقدیس پاسان شمال خاور با رخنمونی از سازندهای آسماری (As)، (ب) منطقه محوری تاقدیس دره‌بانه با رخنمون نهشته‌های عهد حاضر

راندگی کم‌عمق بالایی با ریشه در سازند امیران در تاقدیس‌های دره‌بانه و پاسان شمال‌خاوری باعث دگرریختی شده است و هم‌چنین لایه‌های شکل‌پذیر سازند امیران از راس تاقدیس به‌سمت ناودیس‌های حاشیه‌ای حرکت کرده‌اند. این جابه‌جایی مواد نسبتاً شکل‌پذیر باعث شده است که در ناودیس عمقی یال جنوب‌باختری تاقدیس دره‌بانه توالی بسیار ضخیمی از سازند امیران تشکیل شود که محل مناسبی برای حد بالایی و افقی شدن راندگی اصلی عمقی شده است.

مقدار کوتاه‌شدگی محاسبه شده در این نیمرخ ساختاری حدود ۱۰٫۴ درصد است که با بازگرداندن چین‌خوردگی به حالت اولیه به‌دست آمده است.

نیمرخ ساختاری DD'

نیمرخ DD' با طول حدود ۱۵ کیلومتر در راستای سه تاقدیس دره‌بانه، پاسان شمال‌خاور و پلانژ پاسان ترسیم شده است و در حدود ۴ کیلومتری شمال‌باختر نیمرخ ساختاری CC' قرار گرفته است (شکل ۱۲). این نیمرخ ساختاری نیز مشابه نیمرخ‌های قبلی دارای روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری است و رخنمون سطحی تاقدیس پاسان و پاسان شمال‌خاور را به‌ترتیب سازند آهکی آسماری (شکل ۱۳) و سازند تله‌زنگ تشکیل می‌دهند و تداخل سازند آسماری در یال جنوبی پاسان شمال‌خاور و یال شمالی تاقدیس پاسان دیده می‌شود. ساختار واژگون^۱ در لایه‌های شکننده سازند آسماری در یال جنوبی تاقدیس پاسان شمال‌شرقی تشکیل شده که این ساختار به‌دلیل شیب زیاد لایه‌ها و قرار گرفتن روی افق‌های نامقاوم گورپی و امیران و لغزش و فرسایش به‌وجود آمده‌اند (شکل ۱۳).

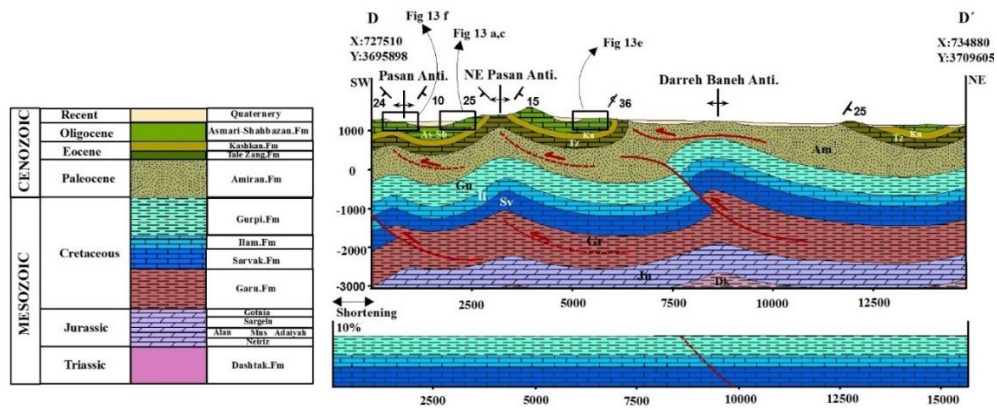


شکل ۱۱. آ) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه، ب) تصویر استریوگرام تاقدیس دره‌بانه

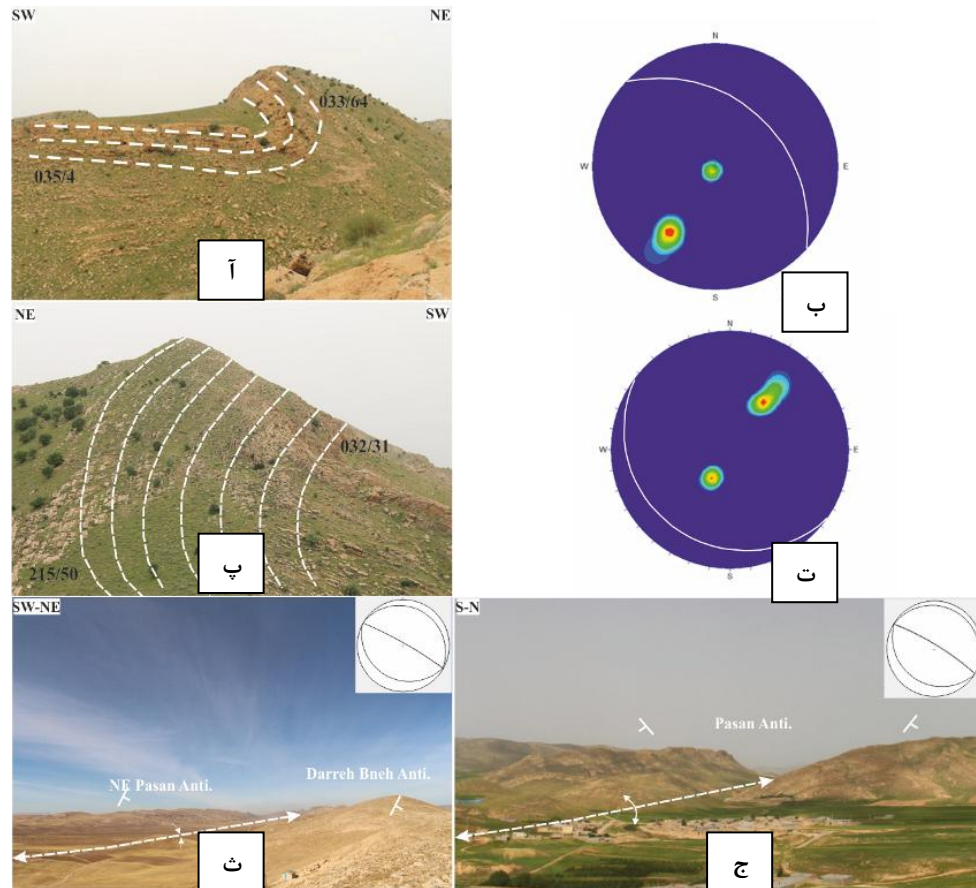
ساختارهای واژگون کاملاً گرانشی و ناشی از فروپاشی یال‌ها هستند [۵۱] که در منطقه لایه‌های مقاوم سازندهای تله‌زنگ، کشکان و آسماری که در بین لایه‌های نامقاوم (شیل‌ها و مارن‌های سازندهای گورپی، امیران و تبخیری‌های سازند گچساران) قرار دارند شروع به لغزش و برگشتگی می‌کنند و ساخت‌های ثقلی مانند ساختار واژگون شکل می‌گیرند (شکل ۱۳). راندگی کم‌عمق بالایی با ریشه در سازند امیران و راندگی عمیق پایینی با ریشه در سازند گرو باعث دگرریختی تاقدیس دره‌بانه شده است و ادامه دگرریختی و چین‌خوردگی باعث جابه‌جایی سازند گچساران از تاقدیس به سمت ناودیس حاشیه‌ای شده است (شکل ۱۲). موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس دره‌بانه به‌ترتیب ۰ و ۱۱۹ و ۸۴ و ۰۳۰ درجه است (شکل ۱۴). مقدار کوتاه‌شدگی در امتداد این نیمرخ ساختاری حدود ۱۰ درصد برآورد شده است.

نیمرخ ساختاری EE'

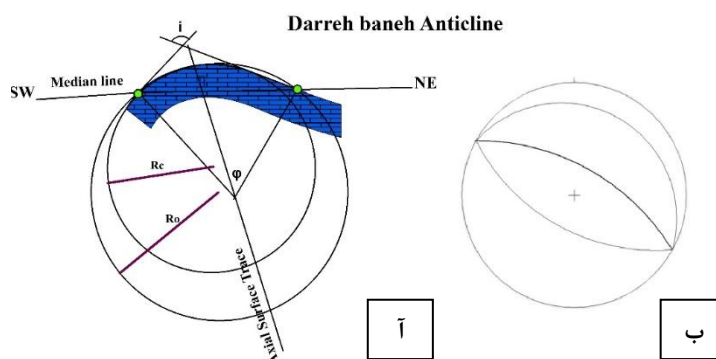
این نیمرخ با طول حدود ۱۴ کیلومتر و در انتهای شمال‌باختری تاقدیس دره‌بانه‌خاوری و در راستای تاقدیس‌های پاسان و پاسان شمال‌خاور قرار گرفته است. این تاقدیس نسبت به نیمرخ قبلی در عمق بیش‌تری قرار گرفته (شکل ۱۵) و رخنمون سطحی تاقدیس پاسان شمال‌خاور را سازند آسماری، رخنمون سطحی تاقدیس پاسان را سازندهای امیران، تله‌زنگ، کشکان و آسماری و رخنمون سطحی ناودیس شکل گرفته (شکل ۱۶) در یال جنوب‌باختری تاقدیس دره‌بانه را سازند آسماری تشکیل می‌دهد.



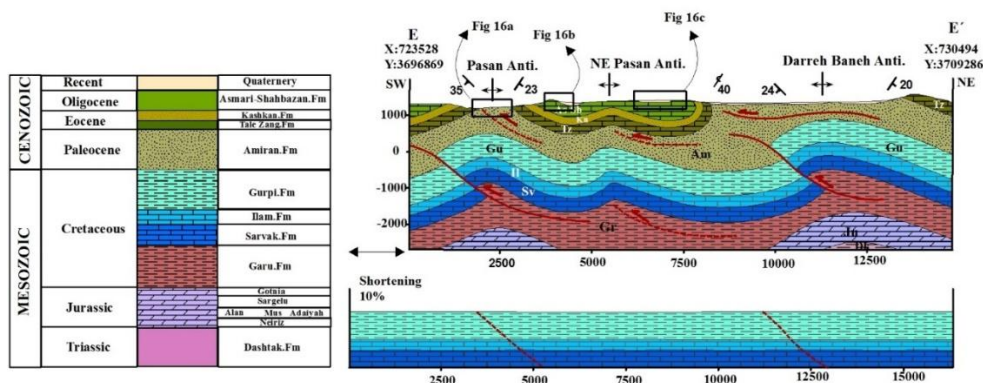
شکل ۱۲. مقطع ساختاری DD' عمود بر محور تاقدیس‌های پاسان، پاسان شمال شرق و دره‌بانه ترسیم شده است. راندگی‌های سطحی و عمقی با ریشه در سطوح جدایشی باعث دگرریختی تاقدیس دره‌بانه شده است.



شکل ۱۳. آ، ب) ساختار واژگون تشکیل شده در یال جنوبی تاقدیس پاسان شمال خاور به همراه تصویر استریوگرام تهیه شده آن، پ، ت) ساختار واژگون تشکیل شده در یال جنوبی تاقدیس پاسان شمال خاور به همراه تصویر استریوگرام آن، ث) محور ناودیس بین دو تاقدیس دره‌بانه و پاسان شمال خاور، ج) محور تاقدیس پاسان با رخنمون سازندهای آسماری (AS)

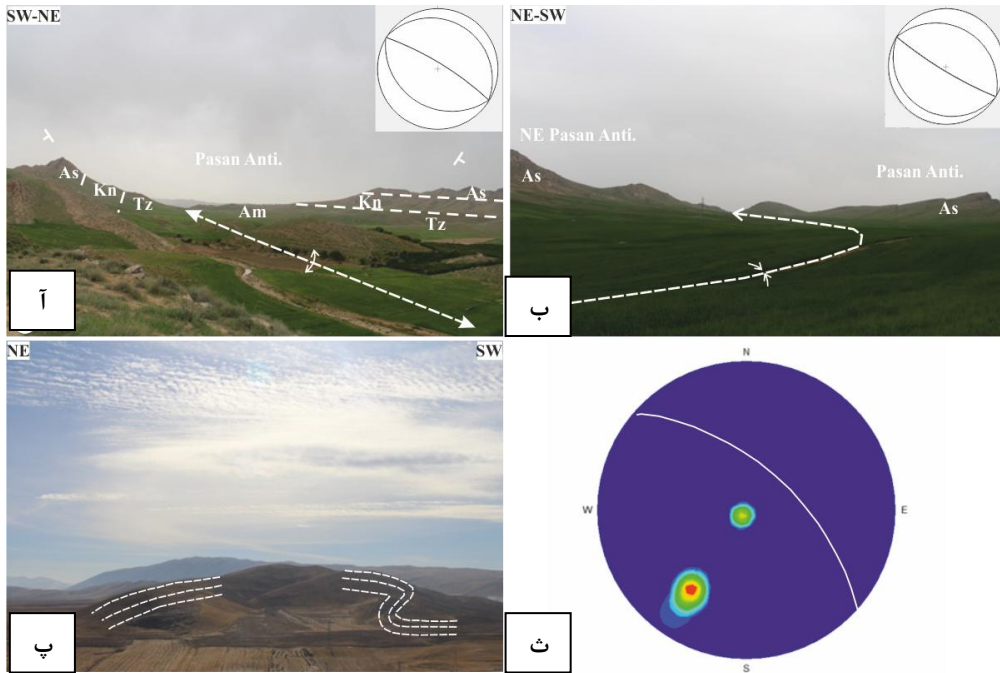


شکل ۱۴. (آ) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه، (ب) تصویر استریوگرام تاقدیس دره‌بانه



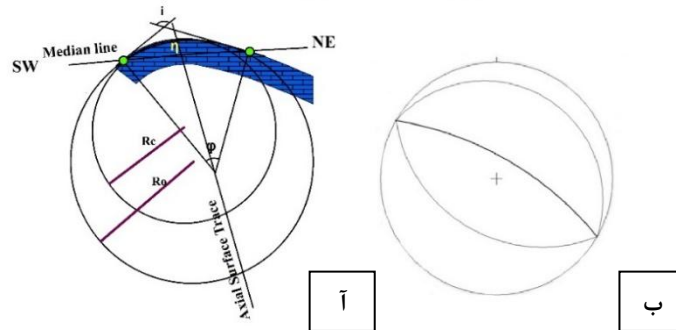
شکل ۱۵. مقطع ساختاری EE' عمود بر محور تاقدیس‌های پاسان، پاسان شمال خاور و دره‌بانه ترسیم شده است. افزایش شیب یال جنوبی دره‌بانه باعث برگشتگی آن و در نهایت ایجاد ساختار واژگون در سازند آسماری شده است. راندگی‌های عمقی و کم‌عمق در تاقدیس دره‌بانه باعث دگرریختی شده و عملکرد راندگی کم عمق سطحی باعث برگشته شدن یال جنوب‌باختری تاقدیس دره‌بانه شده است. هم‌چنین شیب زیاد تا برگشته یال جنوبی تاقدیس دره‌بانه باعث برگشته شدن سازند آسماری و تشکیل ساختار واژگون در امتداد این نیمرخ ساختاری شده است (شکل ۱۶). مهاجرت مواد شکل‌پذیر سازند امیران از منطقه محوری تاقدیس به سمت ناودیس حاشیه‌ای ادامه داشته و ضخامت بسیار زیادی از این سازند در ناودیس عمقی شکل گرفته است. در یال شمال‌خاوری تاقدیس فقط سازند تله‌زنگ رخنمون داشته و موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس دره‌بانه به ترتیب ۰ و ۱۲۰ و ۸۲ و ۰۳۰ درجه است (شکل ۱۷). با بازگردانی به حالت قبل از چین‌خوردگی مقدار کوتاه‌شدگی در امتداد این نیمرخ حدود ۱۰ درصد برآورد شده است.

به‌طورکلی بررسی پنج نیمرخ ساختاری ترسیم شده و مقایسه آن‌ها با الگوهای هندسی نشان می‌دهد که تاقدیس دره‌بانه‌خاوری از نوع چین‌های مرتبط با گسل و از نوع چین‌های جدایشی است. دگرشکلی کلی در منطقه بررسی شده به‌وسیله گسل‌های راندگی و چین‌خوردگی مرتبط کنترل شده که گسل‌های رانده تقریباً بدون شواهد سطحی و پوشیده هستند. سازندهای امیران و گرو به‌ترتیب از سطوح جدایش بالایی و میانی اساسی در منطقه بررسی شده هستند که سبک چین‌خوردگی سطحی را کنترل می‌کنند. هم‌چنین در این پژوهش قطب داده‌های سطوح چین‌خورده در پنج نیمرخ ساختاری ترسیم شده است (شکل ۱۸). با توجه به قرار گرفتن قطب یال‌ها بر روی یک دایره بزرگ تاقدیس دره‌بانه از نوع چین‌های استوانه‌ای است.

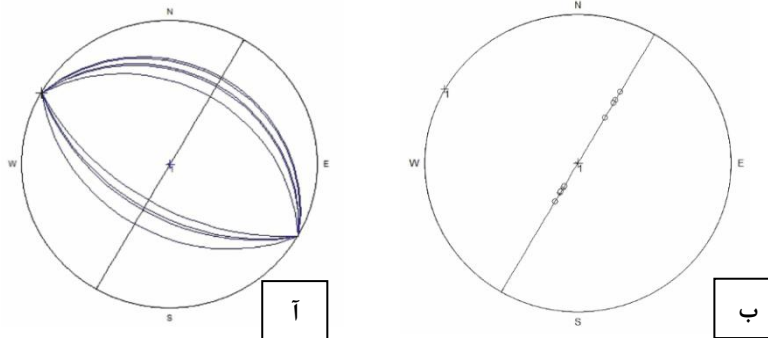


شکل ۱۶. آ) محور تاقدیس پاسان با رخنمون توالی سازندهای آسماری، کشکان، تله‌زنگ و امیران، ب) یال شمالی تاقدیس پاسان و یال جنوبی تاقدیس پاسان شمال خاور و ناودیس شکل گرفته بین این دو ساختار، پ، ت) ساختار واژگون تشکیل شده روی یال جنوبی تاقدیس دره‌بانه و تصویر استریوگرام تشکیل شده برای این ساختار. Kn, Tz و As به ترتیب تله‌زنگ، کشکان و آسماری را نشان می‌دهند.

Darreh baneh Anticline



شکل ۱۷. آ) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی، ب) تصویر استریوگرام تاقدیس دره‌بانه



شکل ۱۸. آ) نمودار استریوگرام یال‌ها و ب) نمودار استریوگرام قطب یال‌های تاقدیس دره بانه

تحلیل جنبشی تاقدیس دره‌بانه خاوری

به‌طور کلی چهار مدل هندسی و جنبشی برای توصیف جنبشی چین‌های جدایشی استفاده شده است [۴۲]. در مدل اول شیب یال ثابت و افزایش طول یال منجر به تقویت چین شده است [۳۵]، در مدل دوم طول یال ثابت و شیب آن افزایش می‌یابد و تاقدیس‌ها به‌وسیله چرخش یال رشد می‌کنند [۱۵]. در مدل سوم چین جدایشی با ثابت‌بودن مساحت لایه‌های مقاوم و افزایش طول و شیب یال‌ها شکل می‌گیرد [۱۴] و نهایتاً در مدل چهارم چرخش یال و طول یال باعث تقویت چین می‌شوند [۱۰]. در بیش‌تر کمربندهای چین‌خورده-رانده تکامل جنبشی چین‌های جدایشی عموماً با مدل سوم تفسیر شده است، زیرا به‌دلیل تغییر در مساحت منطقه شکل‌پذیر مدل‌های اول و دوم از نظر تکامل جنبشی امکان‌پذیر نیستند. در واقع در فرایند تکامل چین‌های جدایشی، لایه شکل‌پذیر از پایین‌ترین بخش ناودیس به سمت بالاترین بخش تاقدیس مهاجرت می‌کند تا چین تشکیل شود [۴۲]. برای تحلیل هندسی چین‌های جدایشی نمودارهای متفاوتی ارائه شده است [۴۲] که می‌توان میزان کوتاه‌شدگی را از طریق این نمودارها به‌دست آورد. بنابراین مشخصه‌هایی مثل طول پیش‌یال، طول پس‌یال، شیب پیش‌یال، شیب پس‌یال و نسبت RL برای محاسبه کوتاه‌شدگی مورد نیاز است که این محاسبات در جدول ۱ نشان داده شده است. برای به‌دست آوردن میزان کوتاه‌شدگی واقعی باید مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از نمودار را بر مبنای طول پس‌یال نرمالیزه کرد. مقدار کوتاه‌شدگی واقعی و هم‌چنین نسبت RL از این رابطه محاسبه می‌شود:

$$S = (\text{Calculated Shortening} * L_b) / 10$$

$$RI = \sin(vf / vb)$$

جدول ۱. مشخصه‌های محاسبه‌شده روی مقاطع عرضی ترسیم‌شده از تاقدیس دره‌بانه

نام برش	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'
مشخصات و مشخصه‌های هندسی تاقدیس	دره‌بانه	دره‌بانه	دره‌بانه	دره‌بانه	دره‌بانه
زاویه میان یالی	۱۱۹	۱۲۰	۱۳۰	۱۱۲	۱۲۵
فشردگی	باز	باز	ملایم	باز	ملایم
زاویه تمایل	۸۱	۸۶	۸۲	۷۸	۸۲
تقارن	نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن
Cylindricity	استوانه‌ای	استوانه‌ای	استوانه‌ای	استوانه‌ای	استوانه‌ای
نسبت ابعادی	/۱۴	/۱۴	/۱۲	/۱۵	/۱۲
کندی چین	/۴۹	/۴۷	/۴۱	/۴۹	/۵۵
Subrounded	نیمه‌گرد	نیمه‌گرد	نیمه‌گرد	نیمه‌گرد	نیمه‌گرد
موقعیت فضایی محور	۱۲۰،۰	۱۱۸،۰	۱۲۱،۰	۱۱۹،۰	۱۲۰،۰
سطح محوری	۰،۳۰،۸۲	۰،۳۰،۸۲	۰،۳۰،۸۳	۰،۳۰،۸۴	۰،۳۰،۸۲
طول پس یال	۱۳۲	۱۱۷	۱۳۵	۱۰۹	۱۵۵
طول پیش یال	۱۱۹	۱۲۵	۸۹	۸۲	۱۴۲
شیب پس یال	۲۱	۲۲	۲۰	۲۵	۲۳
شیب پیش یال	۳۸	۳۹	۳۵	۳۸	۴۰
$RI = \sin(vf / vb)$	۱/۷۴	۱/۶۷	۱/۶۷	۱/۴۵	۱/۶۴
کوتاه‌شدگی محاسبه شده از روی نمودار (نرمالیزه شده بر پایه پیش-یال)	۱۰	۱۲/۱۹	۱۲/۱۳	۱۰/۱۵	۱۰/۵۳
کوتاه‌شدگی محاسبه شده از روی برش	۱۰/۵	۱۰/۳	۱۰/۴	۱۰	۱۰

مقادیر کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از روی نمودار باید در معادله بالا جای‌گزین شود تا مقدار کوتاه‌شدگی واقعی به‌دست آید. هم‌چنین این مقدار باید با مقادیر کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از موازنه نیمرخ‌های ساختاری مطابقت داشته باشد و در این صورت می‌توان بیان کرد که هندسه چین مورد نظر منطبق بر مدل است. در این پژوهش برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه، محاسبات و اندازه‌گیری‌ها روی سازند مقاوم سروک انجام شده است. در تشکیل چین‌خوردگی جدایشی یک سطح جدایش قاعده‌ای هندسه چین‌خوردگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲۶]، [۳۶]، [۳۷]. با تفسیر و بررسی پنج نیمرخ لرزه‌نگاری دوبعدی که عمود بر روند تاقدیس‌های منطقه بررسی شده برداشت شده‌اند و هم‌چنین بر اساس بررسی‌هایی که روی هندسه ساختارها و تغییرات ضخامت سازندهای منطقه بررسی شده انجام شده است، دو سطح جدایش اصلی در منطقه بررسی شده معرفی می‌شود. در واقع سازند شیلی‌گرو به‌عنوان سطح جدایش میانی و سازند فلیشی امیران به‌عنوان سطح جدایش بالایی در نظر گرفته شده است. سطوح جدایش میانی و بالایی نقش مهمی در دگرختی تاقدیس‌های منطقه بررسی شده دارند و احتمالاً طی مراحل مختلف چین‌خوردگی و در اثر کم‌تر شدن سطح جدایش پایه‌ای هندسه ساختارها را تحت تاثیر قرار داده‌اند. سازندهای شکل‌پذیر در منطقه بررسی شده علاوه بر این که به‌عنوان سطوح جدایشی میانی و بالایی در دگرختی نقش فعال داشته‌اند، به تشکیل ساختارهای دیگری در یال جلویی تاقدیس‌ها نیز کمک کرده‌اند. یکی از این ساختارهای تشکیل شده در یال جلویی تاقدیس دره‌بانه‌خاوری، ساخت واژگون است (شکل ۱۰). به‌طورکلی ساختارهای واژگون از نوع ساختارهای گرانشی و ناشی از فروریزش یال‌ها به‌سمت دره‌های ناودیس‌ی فرسایش یافته هستند [۲۲]، [۲۱]. به‌طور دقیق ساختارهای واژگون ناودیس‌های خوابیده‌ای هستند که به‌وسیله فروریزش از روی توالی‌های نامقاوم در طول یال جلویی تاقدیس‌ها و مهاجرت به‌سمت لولای ناودیس شکل می‌گیرند [۴۴]. هم‌چنین در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس و در پهنه ایزه، ساختار واژگون در کرنات‌های الیگومیوسن سازند آسماری توسعه یافته‌اند [۵۱]. در یال جلویی تاقدیس دره‌بانه نیز ساختار فروریزشی واژگون در سنگ آهک‌های سازند آسماری شکل گرفته است. در واقع لایه‌های سازند آسماری بدون شکستگی خمیده شده تا به حالتی نزدیک به برگشته تا خوابیده رسیده است.

نتیجه‌گیری

بررسی نیمرخ‌های لرزه‌نگاری و اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی تاقدیس دره‌بانه خاوری نشان می‌دهد که این تاقدیس از نوع چین‌های نامتقارن و استوانه‌ای است. درواقع مشخصه‌های هندسی درلایه چین‌خورده سازند سروک اندازه‌گیری شده و نشان می‌دهد که تاقدیس از نظر فشردگی باز^۱ و ملایم^۲، از نظر نسبت ابعادی^۳ از نوع چین‌های پهن^۴ است و هم‌چنین مقادیر محاسبه شده برای مشخصه کندی چین^۵ نشان می‌دهد که چین در رده نیمه‌گرد شده^۶ قرار می‌گیرد. بررسی پنج نیمرخ لرزه‌نگاری دوبعدی، نیمرخ عرضی ساختاری ترسیم شده، تجزیه و تحلیل‌های مربوط

1. Open
2. Gentle
3. Aspect ratio
4. Wide
5. Bluntness
6. Subrounded

به مشخصه‌های چین خوردگی و الگوهای مطرح شده در مورد چین‌های مرتبط با گسل نشان می‌دهد که تاقدیس دره-بانه خاوری از نوع چین‌های جدایشی است. در طی تکامل ساختار چین‌خورده تاقدیس دره‌بانه خاوری سطوح جدایشی میانی و بالایی نقش مهمی در دگرشکلی کلی به عهده داشته‌اند، چنان‌که ساختارهای بالا و پایین این سطوح جدایشی هندسه متفاوتی را نشان می‌دهند. در منطقه بررسی شده دو سطح جدایش اصلی معرفی می‌شود که سطح جدایشی بالایی سازند فلیشی امیران است که بر هندسه ساختارهای آسماری و جوان‌تر تأثیر گذاشته و سطح جدایشی میانی سازند گرو است که هندسه ساختارهای عمقی و به‌ویژه گروه بنگستان را تحت تأثیر قرار داده است. تفاوت بین ساختارهای سطحی و عمقی و همچنین گسل‌های کم‌عمقی که تا سطح رسیده نشان‌دهنده سطح جدایش قوی و ضخیم در بالا است و اطلاعات چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های مجاور (تاقدیس باباحیب) نشان می‌دهد که ضخامت سازند امیران (سطح جدایش بالایی) به بیش‌تر از هزار متر می‌رسد. بنابراین هندسه ساختارهای سطحی منطقه بررسی شده متأثر از سطح جدایش بالایی است و متفاوت با الگوی چین‌خوردگی عمقی است که در بحث حفاری‌ها و اکتشافات نفتی حائز اهمیت است.

منابع

۱. شمس‌زاده، ع؛ ۱۳۹۴، تأثیر سطوح جدایشی بر هندسه چین خوردگی میدان‌های نفتی باباحیب و سرکان (ناحیه مرکزی لرستان، شمال باختر زاگرس)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۸.
۲. مطیعی همایون، "زمین‌شناسی ایران، چین‌شناسی زاگرس"، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۲)، ۵۵۶ صفحه.
3. Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F, "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation", *Int. J. Earth Sci. (geol Rundsch)* (2005) 401-419.
4. Alavi M., "Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran", *Am. J. Sci.* (2007) 1064-1095.
5. Alavi M., "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations", *Tectonophysics*, (1994) 211-238.
6. Bahroudi A., Talbot C. J., "The Configuration of the Basement beneath the Zagros basin", *Journal of Petroleum Geology*, (2003) 257-282.
7. Bahroudi, Abbas, Hemin A. Koyi., "Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin", *Marine and Petroleum Geology* 21.10 (2004): 1295-1310.
8. Berberian M., King G. C. P., "towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply", *Canadian Journal of Earth Sciences*, (1981) 1764-1766.
9. Blanc E. P., Allen M. B., Inger S., Hassani H., "Structural styles in the Zagros simple folded zone, Iran", *Journal of the Geological Society*, (2003) 401-412.

10. Blay P. K., J. W Cosgrove, J. M Summers., "An experimental investigation of the development of structures in multilayers under the influence of gravity", *Journal of the Geological Society of London* (1977) 329-342.
11. Casciello E., Verges J., Hunt D. W., Blanc E., "Fold distribution and multilayer properties, a case study from the Lorestan province of Iran", *Trabajos de Geological*, (2009) 146-150.
12. Casciello E., Verges J., Saura E., Casini G., Fernandez N., Blanc E., Homke S., Hunt D. W., "Fold patterns and multilayer rheology of Lorestan Province, Zagros Simply folded belt", *Journal of the Geological Society*, (2009) 947-959.
13. Colman-Sadd S.P., "Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran", *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* (1978) 984-1003.
14. Dahlstrom C. A. D., "Balanced cross-sections", *Canadian Journal of Earth Science* (1969) 743-757.
15. Desitter L. U., *Structural geology*. McGraw-Hill. London (1956).
16. Falcon N. L., "Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range, Geological Society", London, *Special Publications* (1969) 9-21.
17. Falcon N.L., "Southern Iran: Zagros Mountains. In: Spencer, A. (ed.) *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts*", Geological Society, London, *Special Publications* (1974) 199-211.
18. Farzipour-Saein A., Yassaghi A., Sherkati S., Koyi H., "basin evolution of the Lorestan region in the Zagros fold and thrust belt", *Iran, Journal of Petroleum Geology* (2009b) 5-19.
19. Farzipour-Saein A., Yassaghi A., Sherkati S., Koyi H., "Mechanical stratigraphy and folding style of the Lorestan region in the Zagros Fold Thrust Belt", *Iran, Journal of the Geological Society* (2009a) 1101-1115.
20. Golonka J., "Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic", *Tectonophysics* (2004) 235-273.
21. Harrison J. V., Falcon N. L., "Collapse Structures", *Geological Magazine*, (1934) 529-539.
22. Harrison J.V., Falcon N.L., "Gravity Collapse Structures and Mountain Ranges, As Exemplified in south-western Iran", *Geological Magazine* (1935) 91-102.
23. Haynes S. J., McQuillan H., "Evolution of the Zagros suture zone, southern Iran", *Geological Society of America Bulletin* (1974) 739-744.

24. Hessami K., Koyi H. A., Talbot C. J., Tabasi H., Shabanian E., "Progressive unconformities within an evolving foreland fold–thrust belt, Zagros Mountains", *Journal of the Geological Society* (2001) 969-981.
25. Homke S., Vergés J., Garcés M., Emami H., Karpuz R., "Magnetostratigraphy of Miocene–Pliocene Zagros foreland deposits in the front of the Push-e Kush arc (Lurestan Province, Iran)", *Earth and Planetary Science Letters* (2004) 397-410.
26. Hozma TX, Wallace W. K., "Geometric and kinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths", *Journal of Structural Geology*, (1995) 575-587.
27. Hudleston P. J., Lan L., "Information from fold shapes", *Journal of Structural Geology*, (1993) 253-264.
28. Jahani S., J. P., Callot D., Frizon de Lamotte J., Letouzey and P Leturmy, "The salt diapirs of the eastern Fars province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present, in Thrust Belt and Foreland Basin", edited by O. Lacombe et al. (2007) 287-306, Springer, Berlin.
29. Jamison W. R., "Geometric analysis of fold development in overthrust terranes", *Journal of Structural Geology* (1987) 207-219.
30. Koop W. J., Stoneley R., "Subsidence history of the Middle East Zagros Basin, Permian to recent", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, (1982) 149-168.
31. Koyi H. A., Sans M., Bahroudi A., "Modelling the deformation front of fold-thrust belts containing multiple weak horizons", *Bollettinodi Geofisica Teorica ed Applicata* (2004) 101-103.
32. Macleod J. H., Kabir Kuh geological map, 1:100 000. National Iranian Oil Company, Tehran (1970).
33. McQuarrie N., "Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran", *Journal of Structural Geology* (2004) 519-535.
34. McQuarrie N., Van Hinsbergen D. J., "Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction", *Geology* (2013) 315-318.
35. Mitchel M., and Woodward N.B., "Kink detachment fold in the south-west Montana fold and thrust belt", *Geology* (1988) 162-165.
36. Mitra S., "A unified kinematic model for the evolution of detachment folds", *J. Struct. Geol.*, (2003) 1659-1673
37. Mitra S., "Fold-accomodation faults", *AAPG Bull.* (2002) 671-693.

38. Molinaro, M., et al. "The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics", *Tectonics* 24.3 (2005).
39. Motiee H., "Stratigraphy of Zagros", Geological Survey of Iran Publications [in Persian], (1994).
40. Nemcok M., Schamel S., Gayer R., Thrust belt, Cambridge Press (2005) 541.
41. Nemcok Michal, Steven Schamel, Rod Gayer. Thrustbelts: Structural architecture, thermal regimes and petroleum systems. Cambridge University Press (2009).
42. Poblet J. A., McClay K. R., "Geometry and kinematics of single layer detachment folds", *AAPG Bulletin* (1996) 1085-1109.
43. Ramsay J. G., "Folding and fracturing of rocks", McGraw-Hill Companies (1967).
44. Saint Bezar B., Frizon de Lamotte D., Morel J. L., Mercier J., "Kinematics of large scale tip line folds from the High Atlas thrust belt", *Morocco. J. Struct. Geol.* (1998) 999-1011.
45. Saura E., Garcia-Castellanos D., Casciello E., Parravano V., Urruela A., Verges J., "Modeling the flexural evolution of the Amiran and Mesopotamian foreland basins of NW Zagros (Iran)", *Tectonics* (2015) 19.
46. Saura E., Verges. J., Homke S., Blanc E., Serra-kiel J., Bernaola G., Casciello E., Fernandez N., Romaine I., Casini G., Christophe Embry L., Sharp I. R., Hunt D. W., "Basin architecture and growth folding of the NW Zagros early foreland basin during the late Cretaceous and early Tertiary", *Journal of the Geological Society, London* (2011) 235-250.
47. Sepehr M., Cosgrove. J., Moieni M., "The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt", *Tectonophysics*, (2006) 265-281.
48. Shahabi F., Macleod J. H., Balarud geological map, 1:100 000. National Iranian Oil Company, Tehran (1969).
49. Sherkati S., Letouzey J., "Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment)", *Iran. Marine and Petroleum Geology* (2004) 535-554.
50. Sherkati S., Letouzey. J., Frizon de Lomotte D., "Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling", *Tectonics* (2006) TC4007.
51. Sherkati S., Molinaro M., Frizon de Lamotte D., Letouzey J., "Detachment folding in the central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachment and late basement control", *Journal of the Structural Geology* (2005) 1680-1696.

52. Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", AAPG Bulletin (1968) 1229-1258.
53. Suppe J., "Principles of structural geology", New York: Prentice-Hall (1985).
54. Takin M., "Iranian geology and continental drift in the Middle East.", Nature (1972) 147-150.
55. Takin M., Akbari Y., Macleod J. H., Pul-e-Dukhtar geological map 1:100 000. National Iranian Oil Company, Tehran (1970).
56. Tanner P. G., "The flexural-slip mechanism", Journal of Structural Geology, (1989) 635-655.
57. Twiss, R. J., Moores, E. M., "Structural Geology, W. H. Freeman and Company", New York (1992) 532.
58. Verge J., Goodarzi M. H., Emami H., Karpuz R., Efstathiou J. Gillespie P., "Multiple detachment folding in Pusht-e Kuh arc, Zagros: Role of mechanical stratigraphy. In: McClay, K., Shaw, J. & Suppe, J. (eds) Thrust Fault-related Folding". American Association of Petroleum Geologists, (Memoirs 94 (2009) 1-26.
59. Versfelt P. L., Jr, "Major hydrocarbon potential in Iran (abstract)", In: Downey M.W., Morgan W.A., and Threet J.C., "(eds) Petroleum provinces of the twenty-first century", American Association of Petroleum Geologists", Memoirs (2001) 417-427.