

مدل سازی ساختاری و برآورد تنش های تکتونیکی میدان نفتی لالی در فروافتادگی دزفول

نسرین کیانی زاده*^۱، بهزاد زمانی^۲، علی کدخدائی^۲، حسین طالبی^۳

^۱ کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه تبریز

^۲ دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

^۳ کارشناس مناطق نفت خیز جنوب

*Nasrin_kianizadeh@yahoo.com

دریافت خرداد ۱۳۹۵، پذیرش اردیبهشت ۱۳۹۶

چکیده

مطالعات زمین شناسی ساختاری از مهمترین مراحل اکتشاف و بهره برداری از میادین نفتی می باشد. چرا که آشنایی با ساختارهای موجود می تواند نقش اساسی در توسعه ی میدان نفتی داشته باشد. هدف اصلی این مطالعه ایجاد یک مدل سه بعدی ساختاری و آگاهی از جهت تنش های تکتونیکی با استفاده از داده های ژئوفیزیکی زیرسطحی میدان نفتی لالی است. منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب ایران و در استان خوزستان واقع شده است. جهت تهیه مدل سه بعدی مخزن، روش زمین آمار در قالب نرم افزار پترل به کار گرفته شده است. از طریق داده های لاگ چگالی و با استفاده از فرمول نویسی در نرم افزار اکسل، ضرایب الاستیک مخزن محاسبه و سپس با استفاده از روابط پروالاستیک، حداکثر و حداقل تنش افقی محاسبه شدند. نتایج مدل سازی گسل ها نشان می دهد که با افزایش عمق و به سمت مرکز میدان مقدار شیب گسل افزایش می یابد. مقدار تنش هایی بدست آمده با روابط پروالاستیک نشان می دهد $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$ که تایید کننده سیستم تنش معکوس در منطقه است و با مطالعات قبلی در این منطقه همخوانی دارد. همچنین مقدار نسبت شکلی تنش $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ ، که از روابط پروالاستیک به دست آمده و مقدار نسبت شکلی تنش که با روش تحلیل وارون بدست آمده، انطباق خوبی در این ناحیه با هم نشان می دهد. نهایتا میانگین آزیموت گسل های معکوس یال جنوبی مدل شده با نرم افزار پترل و شکستگی های بدست آمده از تصاویر FMI و مغزه ها، N305 و N315 (میانگین N310) می باشد، بنابراین میانگین جهت حداکثر تنش، N40E استنباط شده و در نتیجه حداکثر تنش عمدتا در جهت NE-SW یعنی عمود بر امتداد عمومی کوهزاد زاگرس بوده که احتمالا حاصل عملکرد جوان ترین فاز کوهزایی زاگرس می باشد. تطابق بین جهت حداکثر تنش بدست آمده از شکستگی ها و گسل ها و مکانیزم کانونی زمین لرزه در پایگاه نقشه جهانی تنش (WSM)، اعتبار این تحقیق را تایید می کند.

کلمات کلیدی: مدل سازی گسل، پترل، جهت یابی تنش، شکستگی، لاگ چگالی، میدان نفتی لالی، روابط پروالاستیک.

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت مطالعه ساختارهای تکتونیکی و نقش آنها در اکتشاف، تولید و بهره برداری ذخایر هیدروکربنی شناخت کامل این ساختارها و تنش های بوجود آورنده آنها می تواند تفاسیر روشنی از وضعیت تکتونیکی منطقه ارائه دهد. در دو سه دهه اخیر پیشرفت های روزافزون سخت افزار منتج به طراحی و ارائه نرم افزارهای پیشرفته ای شده است که خود پشتیبان تولید و ساخت خودکار مدل های سه بعدی از مخزن هستند. به طوری که استفاده از این نرم افزارها و مدل سازی های حاصل به ویژه مدل سازی زمین آماری، امکان جمع آوری داده های موجود برای یک پروژه معین در یک مدل را فراهم ساخته و به دنبال آن انجام هرگونه تحلیلی بر روی داده ها در محیط نرم افزار ممکن می شود [۲۲]. مدلسازی زمین آماری یکی از روش های پیچیده در مخازن است که به دلیل تمایل برای درک بهتر از ساختار مخزنی، ایجاد مدل های واقع بینانه تر و در نهایت بهبود و مدیریت سرمایه و طرح توسعه میدان، به عنوان یک گزینه مطلوب مورد استفاده شرکت ها قرار گرفته است. صنعت نفت و گاز از منابعی است که علم زمین آمار با سرعت بسیاری در آن همه گیر شده و رشد وسیعی داشته است. نرم افزارهای تخصصی کنونی، مدل سازی ساختارهای پیچیده و نامنظم زمین شناسی را در سه بعد ممکن می سازند که این عمل با استفاده از نقشه های زمین شناسی و اطلاعات ساختاری به منظور دسترسی به یک مدل صحیح صورت می پذیرد [۲۳]. موضوع شناخت هر چه بیشتر مخازن نفت و گاز و پیش بینی عملکرد مخزن، جهت برنامه ریزی دقیق، توسعه و بهره برداری از میدان امری اجتناب ناپذیر است. با اکتشاف مخزن جدید، اولین موضوعی که پس از ارزیابی سیال در جای آن اهمیت پیدا می کند، نحوه تولید و طرح توسعه آن است. مدل سازی میدان از جمله ابزارهای مهمی است که در این زمینه به کار گرفته می شود. تعیین پارامترهای ژئومکانیکی در میادین هیدروکربوری با استفاده از داده های موجود، از جایگاه ویژه ای در پروژه های اکتشاف و بهره برداری در صنعت نفت برخوردار است. تعیین جهت و بزرگی تنش های درجا در اعماق زیاد برای متخصصان علوم زمین و همچنین مهندسان به خصوص مهندسان نفت از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. در چند دهه گذشته مطالعات زیادی در رابطه با نحوه اندازه گیری این تنش ها و یا اهمیت و تاثیر آنها در پیشرفت و توسعه صنعت نفت انجام شده است [۱۱]. تنش های درجا معمولاً در قالب یک تانسور با چند مولفه بیان می شوند. اما در مطالعات میادین نفتی، تنش فقط برای حالت ۳ مولفه تنش اصلی (یک مولفه قائم: σ_v و دو مولفه تنش افقی حداقل: σ_h و حداکثر: σ_H) تعیین می گردد. بر همین اساس امروزه چندین روش مستقیم و غیرمستقیم (روابط تجربی) برای تعیین بزرگی تنش در مخازن نفتی و در اعماق زیاد ارائه شده است. اما همچنان تعیین دقیق تنش های اصلی افقی یک چالش اساسی در مطالعات ژئومکانیکی می باشد. روش های مستقیم اندازه گیری تنش شامل آزمون شکست هیدرولیکی، نشتی و تزریق هستند. اما به دلیل هزینه زیاد و سختی اجرا به خصوص در اعماق زیاد، این آزمون ها معمولاً کم انجام می شوند و در برخی موارد نیز ممکن است با شکست همراه باشند. علاوه بر این وضعیت تنش را به صورت یک نمودار پیوسته ارائه نمی دهند. یک روش جایگزین مناسب برای تعیین پروفیل وضعیت تنش نسبت به عمق، استفاده از روش های غیرمستقیم مانند تئوری گسلش آندرسون و روابط پرولاستیک است [۱۹]. با توجه به پیچیدگی شرایط زمین ساختی در نقاط مختلف پوسته زمین،

نتایج حاصل از این روش‌ها نیاز به صحت‌سنجی دارند.

در این مطالعه، پروفیل تنش برای میدان نفتی لالی در دو حلقه چاه از این میدان محاسبه گردید. روشی که برای محاسبه استفاده گردید، روش پروالاستیک می‌باشد. در مطالعات نفتی معمولاً از این روش استفاده می‌گردد. مهمترین عامل بوجود آورنده گسیختگی در دیواره چاه‌های نفتی، اختلاف بین تنش‌های موجود در دیواره چاه و ساختگاه دربرگیرنده چاه است [۳۵]. جیمز و همکاران در سال ۲۰۰۷ پایداری دیواره چاه را در یکی از چاه‌های اکتشافی واقع در رودخانه ماگدالنا^۱ را بررسی کردند [۲۲]. آنها برای بدست آوردن پارامترهای ژئومکانیکی از روابط تجربی استفاده کرده‌اند [۲۲]. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۰ پایداری دیواره چاه در سازندهای سروک- کژدمی و داریان در میدان نفتی سلمان مورد مطالعه قرار دادند [۱۹].

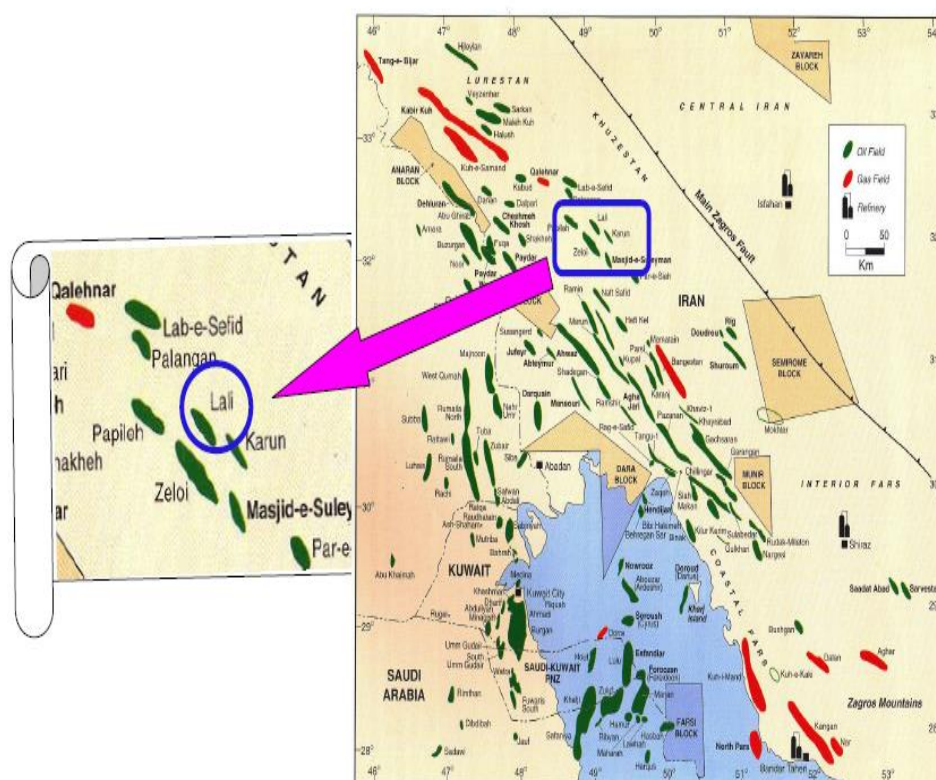
اهداف این پژوهش ایجاد یک مدل سه بعدی ساختاری و آگاهی از جهت تنش‌های تکتونیکی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی میدان نفتی است، که از روابط تجربی با استفاده از فرمول‌نویسی در نرم افزار اکسل، برای تعیین ضرایب الاستیک و از روابط پروالاستیک برای بدست آوردن تنش‌های افقی استفاده شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه میدان نفتی لالی که بخشی از کمربند ساده چین خورده زاگرس می‌باشد، بر اساس تقسیم بندی مطیعی [۸]، در فروفاتادگی دزفول قرار گرفته است. زون زاگرس چین خورده دارای پهنای حدود ۱۵۰ الی ۲۵۰ کیلومتر است و مشتمل بر تاقدیس‌هایی است که در اکثر آنها سطح محوری در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی دارند. این میدان در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال غرب مسجد سلیمان واقع و رخنمون‌های سطحی میدان از سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری و بختیاری تشکیل شده است و به سمت پایین شامل سازندهای آسماری، پابده، گورپی، گروه بنگستان، گروه خامی، سازند دشتک و رسوبات پالئوزوییک زیرین می‌باشد. این میدان از سمت شمال شرق به میدان کمرشاه، از سمت غرب به میدان لب سفید، از جنوب به میدان زیلایی، از جنوب شرق به میدان کارون محدود می‌شود (شکل ۱). سنگ مخزن نفتی در دو چاه ۲۴ و ۲۶ میدان نفتی لالی، سازند آسماری و گروه بنگستان می‌باشد. در مخزن بنگستان میدان لالی به دلیل تراکم و فشردگی سنگ‌های آهکی و تعداد کم چاه‌های حفاری شده و محدودیت نمودارهای الکتریکی رانده شده و همچنین نداشتن اطلاعات کافی از رفتار سیالات مخزنی به دلیل عدم وجود چاه‌های مشاهده‌ای نفت- گاز و آب- نفت، اطلاعات کمی در اختیار می‌باشد و به همین دلیل زون بندی آن با پیچیدگی بیشتری همراه بوده است. سازند آسماری در میدان لالی عمدتاً از سنگ‌های آهکی، آهک‌های دولومیتی و لایه‌های نازکی از شیل و لایه‌هایی از انیدریت می‌باشد که در بخش‌های میانی سازند آسماری مشاهده گردیده‌اند. مخزن آسماری در میدان لالی به هفت زون تقسیم می‌شود. زون ۱ و ۲ شامل آسماری فوقانی و بقیه زون‌ها آسماری میانی را در بر می‌گیرند. در مطالعات دیرینه‌شناسی وجود آسماری تحتانی تأیید نگردیده است. هر یک از این زون‌ها با شروع یا پایان یافتن یک لایه شیلی- مارنی آغاز گردیده است [۷]. گروه بنگستان در این میدان به ۱۰ زون و زیر زون تقسیم می‌شود که ۳ زون و زیرزون در سازند ایلام و ۷ زون و زیرزون در سازند سروک قرار دارند [۷]. دو چاه ۲۴ و ۲۶ میدان نفتی لالی در یال جنوبی و نزدیک گسل یال جنوبی واقع شده‌اند. برای بدست آوردن پارامترهای ژئومکانیکی از داده‌های لاگ این دو چاه استفاده شده است.

¹ Magdalena Basin

میدان نفتی لالی یک تاکدیس زیرسطحی است و شواهد زمین شناسی زیادی از آن وجود ندارد و به دلیل ناهماهنگ بودن چین ها و وجود و عملکرد سازند شکل پذیر گچساران و تفاوت در نحوه عملکرد فازهای چین خوردگی در منطقه مورد مطالعه بخصوص آخرین فازهای کوهزایی آلپی [۱۷]، هندسه ساختار سطحی و زیر سطحی این تاکدیس کاملاً متفاوت می باشد. مطالعات قبلی انجام شده در این منطقه بیان می نماید که یال جنوبی بسیار پر شیب شده و به حالت قائم تا برگشته نزدیک شده است و یا اینکه در اثر عملکرد گسلش راندگی در امتداد یال جنوبی، گسیختگی رخ داده است ([۵] و [۷]). یال شمال خاوری این تاکدیس چندان پر شیب نیست و شیب قائم و برگشتگی نیز در آن مشاهده نمی شود.



شکل ۱- تصویر موقعیت میدان نسبت به میادین هم جوار (برگرفته از [۱۶]).

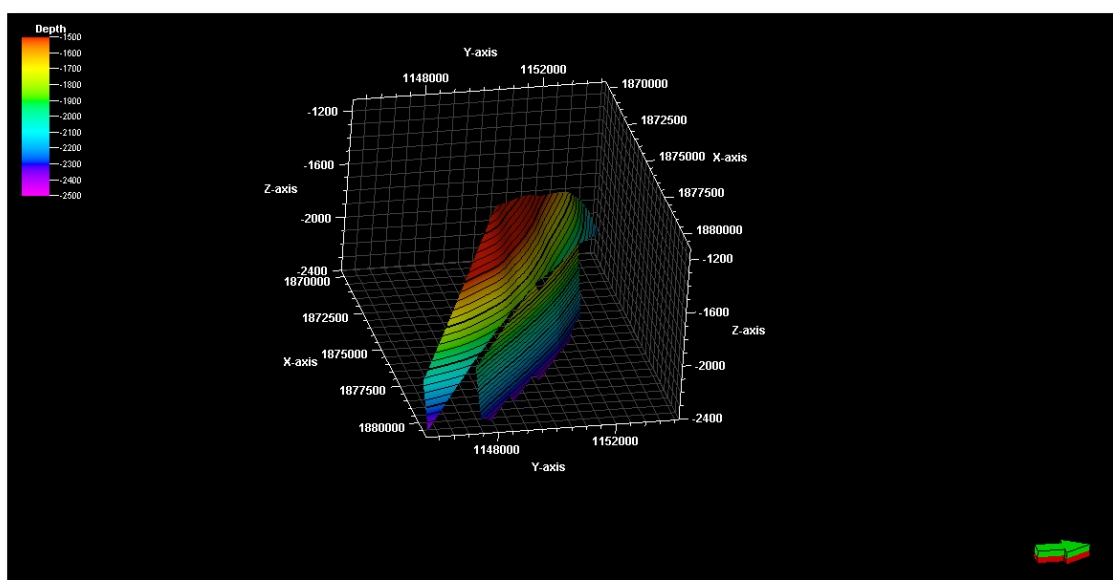
۳- مدل سازی

تهیه مدل ساختاری مخزن به طور معمول، نقطه شروع یک مدل مخزنی می باشد [۲۶]. در این قسمت، مدل سازی مربوط به ساختار مخزن به همراه خصوصیات زمین شناسی از جمله خصوصیات تکتونیکی و گسل خوردگی را می توان انجام داد. منابع اصلی موجود در این تحقیق عبارتند از: نقشه های UGC مخزن، داده های صفحات گسلی و داده های دو حلقه چاه در میدان لالی و مقاطع لرزه ای. هر کدام از این موارد، مقیاس خاصی از مشاهده را در اختیار کاربر قرار می دهند. با استفاده از نقشه های UGC و داده های صفحات گسلی، به عنوان ورودی های نرم افزار، صفحات گسلی این میدان توسط نرم افزار پترل طراحی شده و میزان جابجایی سازندها تحت تاثیر گسل ها مورد بررسی قرار گرفته است. پترل یکی از نرم افزارهای رایانه ای توانا برای تفسیر و مدل سازی ساختارهای زیرزمینی است که توسط شرکت شلومبرژر به دنیای صنعت نفت

معرفی شده است. این نرم‌افزار امکانات لازم برای شروع از تفسیر لرزه‌ای تا شبیه‌سازی سه بعدی را در یک بسته نرم‌افزاری فراهم آورده است به همین علت مورد توجه ژئوفیزیست‌ها، زمین‌شناسان و مهندسين نفت قرار گرفته است. در ابتدا مدل‌سازی ساختاری گسل‌ها انجام گرفت و میزان جابجایی گسل‌ها در سرسازندها اندازه‌گیری شد. برای شروع کار با استفاده از مطالعات ساختاری و ضخامت سازندهای میدان لالی [۵]، افق فوقانی سازند آسماری به عنوان سطح مبنای تفسیری، و سپس کلیه سر زون‌های مخزنی و سطوح همسان به عنوان افق‌های محاسباتی، تعریف شدند.

در مرحله بعد مدل‌سازی ساختاری با توجه به مراحل زیر انجام گرفت:

- در اولین مرحله تعریف مدل انجام گرفت.
- مدل‌سازی گسل‌ها در این مرحله نیز اطلاعات مربوط به گسل‌ها (Fault stick) که شامل طول و عرض جغرافیایی و عمق صفحات گسلی می باشد، وارد نرم‌افزار گردید، و صفحات گسلی ساخته شد (شکل ۲).

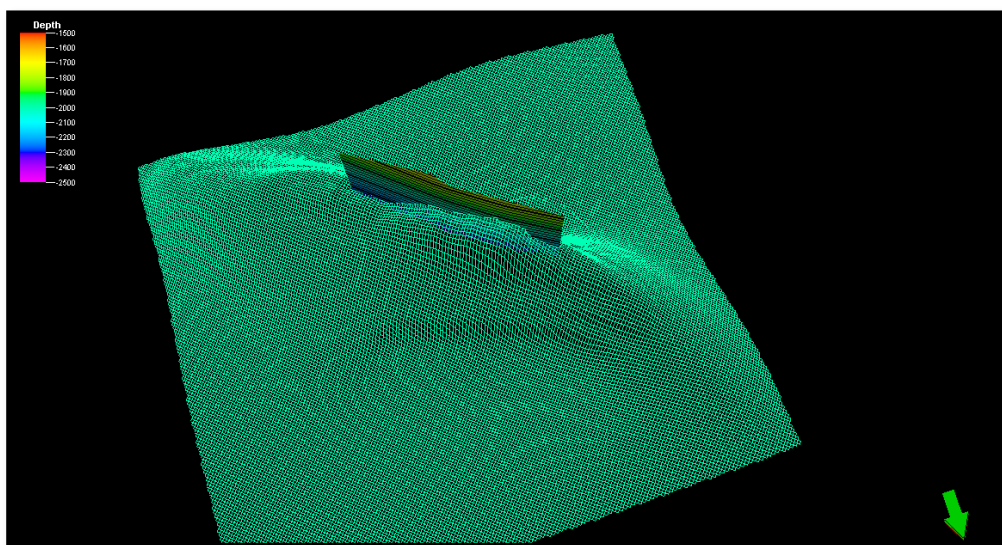


شکل ۲- صفحات گسلی ساخته شده در نرم افزار پترل (محور Z عمق را بر حسب متر نشان می‌دهد).

در این مرحله دو صفحه گسلی در یال جنوبی مشخص شد. یکی از این گسل‌ها به صورت گسل قاشقی (Listric Fault) می‌باشد. به نظر می‌رسد که یکی از این دو گسل اصلی و گسل دیگر گسل فرعی همسویی است که احتمالاً در عمق به آن متصل می‌شود و یکی از گسل‌های فرعی آن می‌باشد.

- ایجاد شبکه‌بندی مخزن^۲، برای ایجاد چهارچوب سه بعدی، ابتدا باید مخزن مورد نظر را براساس موقعیت‌های X, Y و Z به سلول‌هایی تقسیم بندی کرد که جهت توصیف سطح مورد نظر استفاده شود. به این صورت، هر سلول بازگوکننده مشخصات فیزیکی و شیمیایی کلیه نقاط متشکله خود می‌باشد و با سایر سلول‌ها متفاوت است ([۲۹] و [۳۰]). در شکل ۳ شبکه‌بندی سازند سروک در میدان لالی نشان داده شده است.

² Pillar Gridding

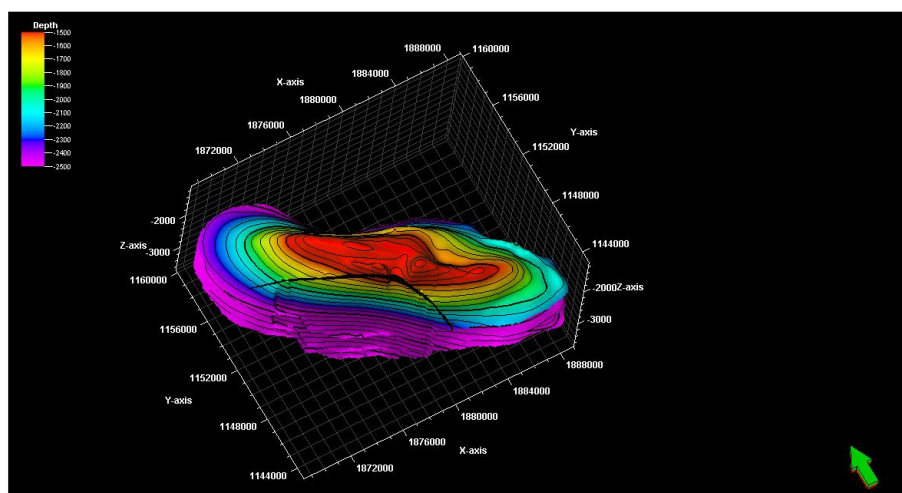


شکل ۳- نمایش شبکه بندی سازند سروک در میدان لالی (گسل به صورت صفحه در شکل دیده می شود).

اندازه این سلول ها باید متناسب انتخاب شوند، اگر ابعاد بزرگ انتخاب شوند نتیجه مطلوبی بدست نمی آید و در صورت کوچک بودن ابعاد، مدت اجرای برنامه بسیار طولانی و وقت گیری خواهد بود. ابعاد سلول ها برای به دست آوردن نتایج مطلوب، ۱۵۰ متر انتخاب شده است.

۱-۳ تعیین افق ها^۳

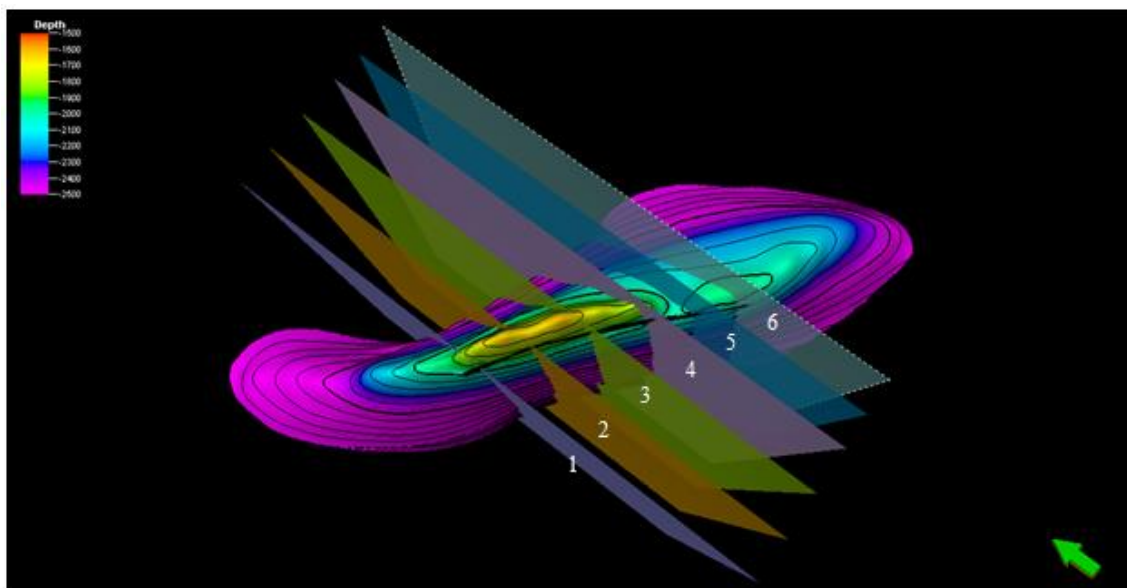
با توجه به امکانات نرم افزار، با مبنای قرار دادن نقشه سطوح هم تراز UGC رأس سازند آسماری، سایر رأس سازندها در پنجره سه بعدی ترسیم گردید.



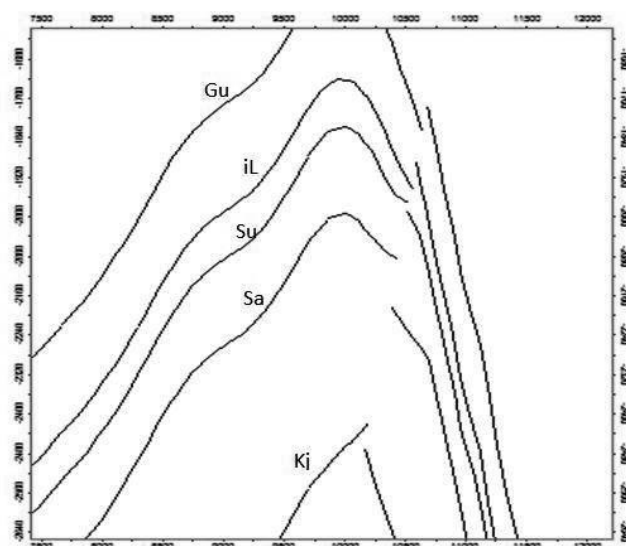
شکل ۴- تعیین افق و اثر گسل روی آنها

پس از مدل سازی صفحات گسلی در محیط نرم افزار پترل، با رسم مقاطع عمود بر صفحات گسلی (شکل ۵ و ۶)، میزان جابجایی عمودی گسل ها بر حسب متر در محل سرسازندها ثبت شده، همچنین مقادیر شیب صفحات گسلی پس از محاسبه میانگین داده ها، بدست آمده است.

³ Make Horizon



شکل ۵- مقاطع عمودی بر روی سازند ایلام برای به دست آوردن میزان جابجایی گسل روی سازندها.



شکل ۶- نمایی از پنجره تفسیر و قطع شدگی سازندها در مقطع شماره ۳.

۲-۳ گسل آسماری یال جنوبی میدان نفتی لالی

بر مبنای اندازه‌گیری انجام‌شده با نرم‌افزار پترل، این گسل با امتداد N55W و شیب حدود ۳۵ درجه سازندهای آسماری، پابده، گورپی و ایلام را قطع کرده است و به‌طور کلی می‌توان گفت به‌سمت لایه‌های پایین و با افزایش عمق جابجایی سازندها تحت تأثیر این گسل افزایش و مقدار شیب این گسل کمتر شده است. بیشترین جابجایی که توسط این گسل ایجادشده، بر روی سازند ایلام و کمترین جابجایی روی سازند پابده می‌باشد. همچنین به سمت مرکز میدان میانگین میزان جابجایی کلی افزایش پیدا کرده است (جدول ۱ و نمودار ۱). همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود با افزایش عمق جابجایی سازندها تحت تأثیر این گسل افزایش یافته و این می‌تواند به این معنی باشد که گسل آسماری گسلی است با

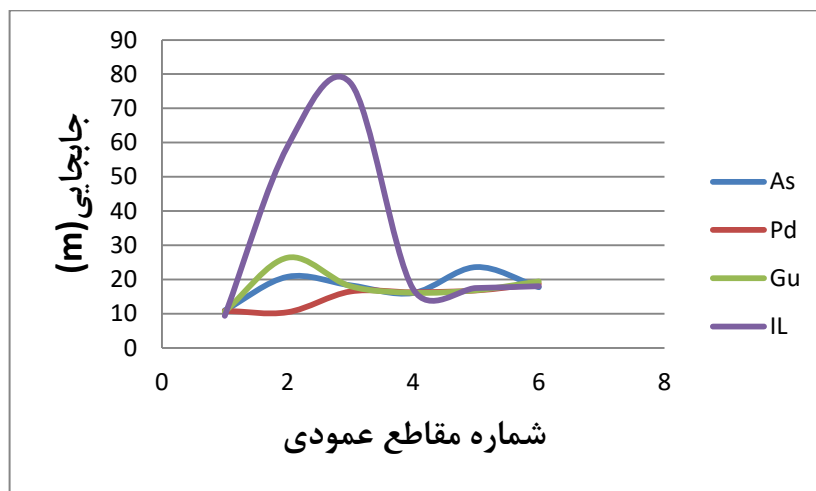
سازوکار مایل لغز که بنظر می‌رسد با توجه به تغییرات میزان شیب گسل در عمق، حرکت چرخشی به موازات امتداد گسل روی داده است. در ضمن محور این چرخش در سطح گسل به سازند آسماری نزدیکتر و از سازند ایلام بیشترین فاصله را دارد و از این رو مقدار جابجایی برای سازند ایلام بیش از سایر سازندهاست و بتدریج برای سایر سازندها کاهش می‌یابد.

۳-۳ گسل بنگستان یال جنوبی میدان نفتی لالی

این گسل با امتداد N30W و شیب حدود ۵۹ درجه (بر مبنای اندازه گیری انجام شده با نرم افزار پترل) سازندهای گورپی، ایلام، سورگاه، سروک و کژدمی را قطع کرده است، و با افزایش عمق روند منظمی در جابجایی سازندها دیده نمی‌شود. این گسل بیشترین جابجایی را روی سازند سروک و کمترین جابجایی‌ها روی سازند ایلام ایجاد کرده است. مقدار جابجایی در طول سطح گسل متفاوت است و در دو انتهای آن، مقدار جابجایی کمترین مقدار و با نزدیک شدن به مرکز، مقدار آن به بیشترین حد خود میرسد (جدول ۲ و نمودار ۲) ([۱۳] و [۲۴]). همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در سازندهای بالایی چین لالی لایه ها به صورت نرمال جابجا شده اند و در سازندهای پایینی این چین به صورت معکوس عمل کرده‌اند. علت بروز همچین رفتاری را می‌توان به مکانیسم چین خوردگی نسبت داد. سازندهای آسماری، گورپی و ایلام به عنوان سازندهایی که در لایه های کششی چین خوردگی شرکت می‌کنند، در مقابل سازندهای سورگاه، سروک و کژدمی، لایه هایی که در بخش فشارش چین خوردگی شرکت دارند. علاوه بر مکانیسم چین خوردگی، زمانی که گسل خوردگی همزمان با رسوبگذاری و مکرراً در مدت طولانی اتفاق بیافتد نیز همچین مقطعی دیده می‌شود و چون چین خوردگی لالی و گسلش بطور همزمان بوده است [۲] میزان رسوبگذاری و گسلش نیز می‌تواند در بروز این رفتار دخالت داشته باشد.

جدول ۱- میزان جابجایی اندازه گیری شده (بر حسب متر) سازندهای آسماری (As)، پابده (Pd)، گورپی (Gu)، ایلام (IL) تحت تاثیر گسل آسماری یال جنوبی میدان لالی با نرم افزار پترل

شماره مقطع	As	Pd	Gu	IL	میانگین
۱	۱۰.۹۶	۱۰.۸۴	۱۰.۶۱	۹.۳۶	۱۰.۴۴
۲	۲۰.۷۷	۱۰.۴۲	۲۶.۳۶	۵۸.۸۸	۲۹.۱۰
۳	۱۸.۲۹	۱۶.۴۸	۱۸.۰۳	۷۷.۴۵	۳۲.۵۶
۴	۱۶.۰۳	۱۶.۴۲	۱۶.۱۲	۱۷.۱۷	۱۶.۳۹
۵	۲۳.۶۱	۱۶.۷۸	۱۶.۸۵	۱۷.۴۹	۱۸.۶۸
۶	۱۷.۷۲	۱۸.۷۲	۱۹.۴۱	۱۸.۰۲	۱۸.۴۶



نمودار ۱- میزان جابجایی سازندهای آسماری (As)، پابده (Pd)، گورپی (Gu)، ایلام (IL) تحت تاثیر گسل آسماری یال جنوبی میدان لالی.

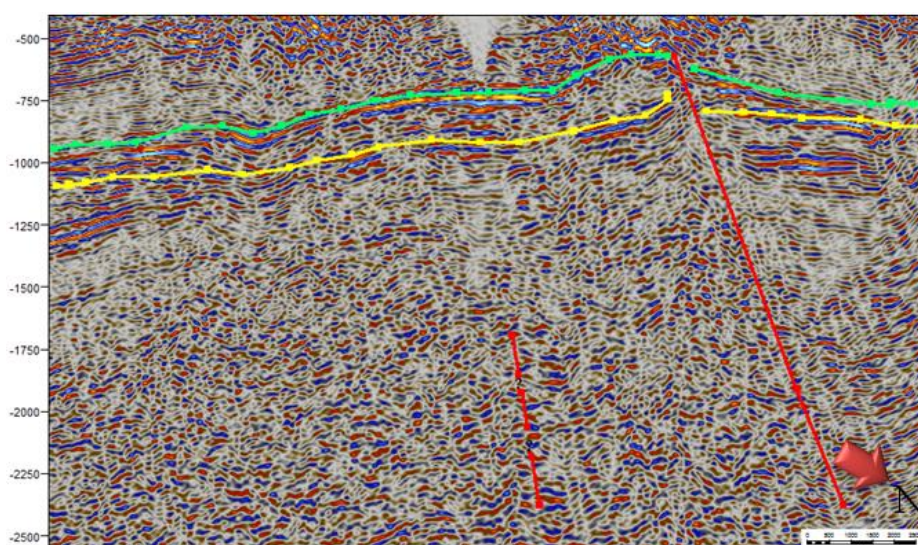
جدول ۲- میزان جابجایی اندازه گیری شده (برحسب متر) سازندهای ایلام (IL)، سورگاه (Su)، سروک (Sa) و کژدمی (Kj) تحت تاثیر گسل بنگستان یال جنوبی میدان لالی با نرم افزار پترل.

شماره مقطع	Gu	IL	Sg	Sv	Kj	میانگین
۱	۱۴.۲۳	۱۴.۸۳	۱۵.۱	۱۴.۸۵	۱۴.۹۲	۱۴.۷۸
۲	۱۴.۸۶	۲۲.۲	۱۴.۴۶	۱۳.۹۴	۱۳.۹۶	۱۵.۸۸
۳	۴۹.۴۸	۵۵.۳	۱۶	۹۶.۲۸	۵۱.۱۲	۵۳.۶۳
۴	۶۱.۶۵	۲۱.۸۳	۵۷.۱	۸۹.۴۱	۱۹.۱۶	۴۹.۸۳
۵	۵۵.۹۵	۱۴.۹	۸۵.۷۷	۵۳.۱۵	۴۱.۰۴	۵۰.۱۶
۶	۴۵.۰۸	۳۵.۵۲	۱۶.۶۵	۲۲.۶۲	۱۶.۶۹	۲۷.۳۱

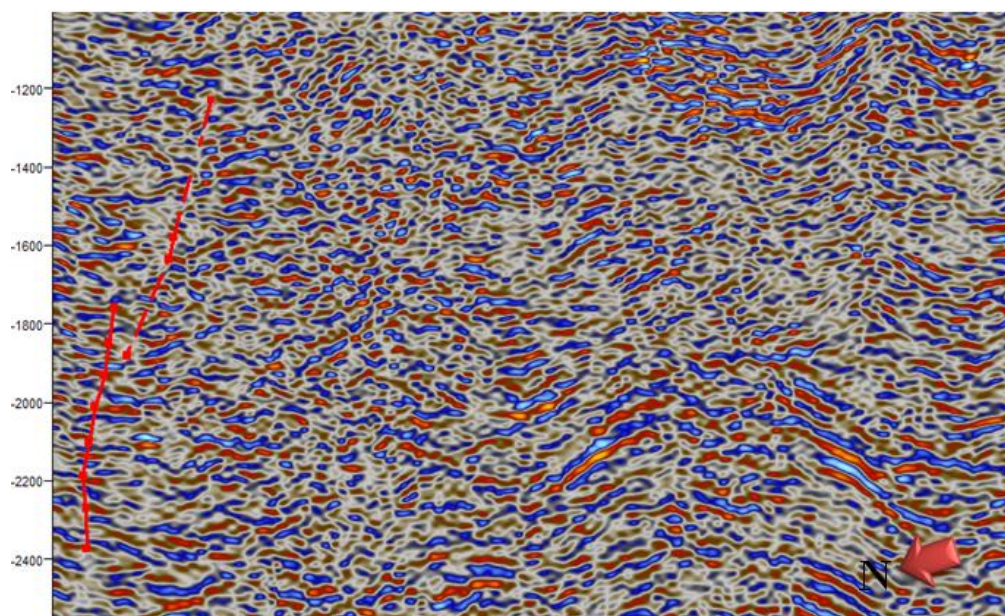


نمودار ۲- میزان جابجایی سازندهای ایلام (IL)، سورگاه (Su)، سروک (Sa) و کژدمی (Kj) تحت تاثیر گسل بنگستان یال جنوبی میدان لالی.

امروزه بهترین روش برای مطالعه ویژگی های تحت الارضی موجود در مخازن هیدروکربنی استفاده از داده های لرزه نگاری می باشد، این داده ها معمولاً در قالب دوبعدی و سه بعدی تهیه می گردند. مقاطع لرزه ای تهیه شده در میدان نفتی لالی در قالب دوبعدی تهیه شده اند که متأسفانه فقط یکی از این مقاطع به صورت عمود بر سطح محوری تمام تاقدیس را قطع می کند و از کیفیت پایینی برخوردار می باشند. با توجه به قطع شدگی و جابجایی لایه ها و بهم ریختگی رفلکتورها روی مقاطع لرزه ای گسل های موجود در یال جنوبی مشخص شده است (شکل ۷ و ۸).



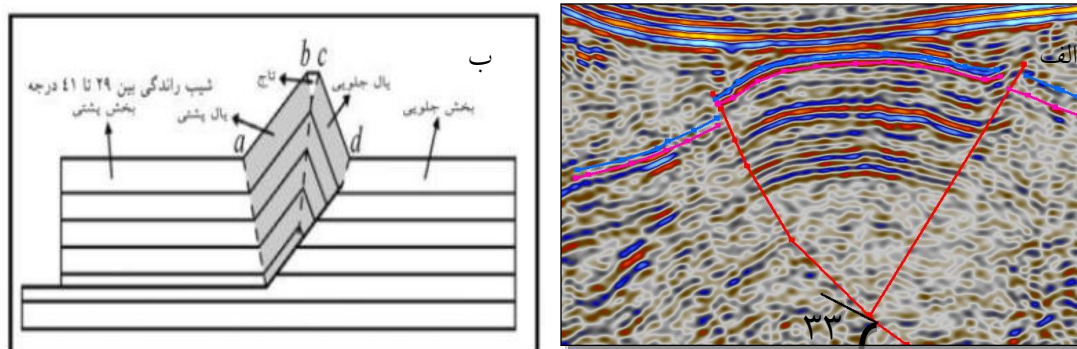
شکل ۷- تاثیر گسل ها بر روی لاین شماره ۸ میدان لالی.



شکل ۸- تاثیر گسلها بر روی لاین شماره ۴ میدان لالی.

۴- بررسی ساز و کار جنبشی چین لالی

تاقدیس‌های موجود در فروافتادگی دزفول بر اساس کاوش‌های لرزه‌ای، غالباً در قسمت‌های ستیغی و نیز یال‌های شمالی، کم‌وبیش به‌خوبی مشخص و منظم می‌باشند یا اینکه از دیدگاه‌های ژئوفیزیکی دارای ابهامات کمتری هستند. اما یال جنوبی تاقدیس‌های این منطقه دارای ابهامات و به‌هم‌ریختگی‌های فراوانی می‌باشد. برای توجیه این به‌هم‌ریختگی‌ها محققین (از جمله مطیعی، [۸]) دو فرضیه بیان می‌دارند، یکی اینکه در این نواحی شیب یال‌های جنوبی زیاد تا حالت قائم و برگشته باشد بدون آنکه تراست آن یال‌ها را قطع کرده باشد و دیگری اینکه ممکن است ساختمان (تاقدیس) در امتداد یال‌های جنوبی شکسته شده باشد که در این صورت باوجود گسل‌های تراستی این پدیده توضیح داده می‌شود [۲]. ولی آنچه که غالب ژئوفیزیکدانان برای آشفتگی یال‌های جنوبی مورد قبول می‌دانند، حالت دوم (پذیرش وجود شکستگی و گسل تراستی در یال جنوبی) می‌باشد [۲۵]. با توجه به مطالب بیان‌شده در فوق و موقعیت زمین‌شناسی تاقدیس مذکور و نیز تفاسیر به‌دست‌آمده از مدل‌سازی مخزن و گسل‌ها در میدان لالی و وجود گسل‌ها بر روی پروفیل‌های لرزه‌ای به‌وضوح می‌توان به این نتیجه رسید که چین‌خوردگی موجود در تاقدیس لالی از نوع چین‌های وابسته به گسل می‌باشد. مقایسه پروفیل‌های لرزه‌ای مربوط به تاقدیس لالی با مدل‌های ارائه‌شده برای چین‌های مرتبط با گسل، نشان می‌دهد این تاقدیس می‌تواند از نوع چین‌های انتشار گسلی باشد (شکل ۹). لازم به ذکر است، داده‌های لرزه‌ای تنها مربوط به سه پروفیل لرزه‌ای دوبعدی است و باید توجه داشت، چین‌های پیچیده می‌توانند در برگیرنده اجزایی از هر سه نوع اصلی چین‌خوردگی مرتبط با گسل، یعنی چین‌های جدایشی، انتشار گسلی و خمش گسلی باشند [۳۳]. در جدیدترین مدل ارائه‌شده برای چین‌خوردگی‌های انتشارگسلی، زاویه برخاستگی گسل راندگی به عنوان پارامتر تفکیک‌کننده این چین‌خوردگی‌ها معرفی گشته است. بر این اساس مکان‌های دارای شکستگی در آنها شناسایی شده است که در آنها به ترتیب زاویه راندگی کمتر از ۲۹، بین ۲۹ تا ۴۱ و بیشتر از ۴۱ درجه است [۳۳]. از روی اطلاعات مقاطع لرزه‌ای، زاویه راندگی برای تاقدیس لالی در حالت‌های انتشار گسلی بین ۲۹ تا ۴۱ درجه است و لذا در مدل دوم قرار می‌گیرد، که بررسی مقاطع لرزه‌ای بین مدل ارائه‌شده و شکل ظاهری واقعی آن تطابق زیادی باهم دارند. گسل موجود در یال جنوبی به‌طور غیرمستقیم در توسعه چین و در نتیجه شکل‌گیری ساختار بالاجسته نقش دارد و با توسعه و حفظ چین‌خوردگی در فرادیواره خود باعث تکامل و حفظ میدان لالی و ذخایر هیدروکربنی شده است.



شکل ۹- بررسی مدل‌های حرکتی برای چین‌خوردگی انتشار گسلی. الف) مقطع لرزه‌ای شماره ۲. ب) مدلی که بر اساس زاویه راندگی بیشترین مطابقت را با این منطقه دارد (برگرفته از [۳۳]).

۵- بزرگی تنش‌های برجا

آگاهی از تنش تکتونیکی کنونی، مساله اساسی در اکتشاف و تولید نفت و بویژه یک پارامتر کلیدی در کاربردهای مثل پایداری چاه، تولید از مخزن و الگوی حرکت سیال، جریان سیال در مخزن با شکستگی‌های طبیعی، فعال شدن مجدد گسل‌ها ([۳۱] و [۳۲]) می‌باشد. با در نظر گرفتن این فرض که سطوح بالایی لایه‌های تشکیل دهنده یک سازند رسوبی حالت صفحه‌ای داشته و شییبی تقریباً افقی دارد، می‌توان گفت در یک مجموعه از سازندهای رسوبی، جهت مولفه‌های اصلی تنش درجا در امتدادهای قائم و افقی خواهد بود. مسلماً موارد متعددی وجود دارند مانند مناطق همجوار زون‌های گسله که باعث منحرف شدن تنش‌ها می‌شوند، اطراف گنبد‌های نمکی و یا نواحی روراندگی که در آنها مولفه تنش عمودی وجود ندارد که فرض عنوان شده را نمی‌توان در خصوص آنها به کار برد.

تحلیل پایداری چاه، نیازمند آگاهی از جهت و مقدار سه مولفه اصلی تنش است که شش پارامتر مجهول را پیش روی ما قرار می‌دهد [۲۸]. طبق تعریف، یکی از مولفه‌های تنش، عمودی فرض می‌گردد و با توجه به اینکه تنش‌های اصلی افقی، عمود بر یکدیگر هستند، تعداد پارامترهای مجهول در فرآیند تخمین تنش‌های درجا به چهار پارامتر یعنی جهت یکی از تنش‌های اصلی افقی و مقدار تنش‌های اصلی سه گانه کاهش می‌یابد. برای محاسبه تنش‌های افقی حداقل و حداکثر از روابط پروالاستیک (به دلیل نبود آزمایشات برجا)، نیاز به شناخت ضرایب الاستیک داریم. از مهمترین روش‌های تخمین ضرایب الاستیک، استفاده از نمودارهای صوتی چاه است. اطلاعات اولیه برای تعیین ضرایب الاستیک با اندازه‌گیری سرعت امواج الاستیک از دو حلقه چاه اکتشافی اخذ شده است.

۵-۱ محاسبه تنش قائم

تنش قائم در یک عمق دلخواه از چاه برابر با وزن روباره‌ای است که بالای آن قرار گرفته است. بنابراین با جمع تنش‌های حاصل از وزن المان‌های بسیار نازک از مواد تشکیل دهنده بخش‌های بالایی چاه، می‌توان تنش قائم را طبق رابطه (۱-۱) بدست آورد [۶].

(۱-۱)

$$\sigma_v = \sum_{i=1}^n \rho_i h_i g$$

ρ_i چگالی و h_i ضخامت لایه i ام می‌باشد.

رابطه فوق در حالت ایده آل صادق می‌باشد و در مواردی که ساختارهای پیچیده وجود داشته باشد دیگر نمی‌توان از آن استفاده کرد. تنش قائم با افزایش عمق یک روند صعودی یکسان باید طی کند ولی محاسبه تنش قائم با استفاده از رابطه بالا برای این میدان که دارای ساختارهای پیچیده و دارای گسل می‌باشد با افزایش عمق کم و زیاد می‌شود. بنابراین در این تحقیق تنش قائم با استفاده از رابطه (۱-۲) که برای مناطق دارای ساختار پیچیده می‌توان از آن استفاده کرد، بدست آمده است [۳۶].

(۲-۱)

$$\sigma_v = ae^{b \times h} + ce^{d \times h}$$

در این رابطه:

$$a = 1.472$$

$$b = -1.514 \times 10^{-5}$$

$$c = -0.5847$$

$$d = -9.141 \times 10^{-5}$$

پارامتر e همان عدد نپرین که برابر با $2/72$ و h عمق بر حسب فوت می‌باشد.

۲-۵ محاسبه تنش‌های افقی

یکی از روش‌های مهم برای محاسبه تنش‌های افقی حداقل و حداکثر روابط پرو الاستیک (poroelastic) می‌باشد [۱۵]. دلیل مشکل بودن اندازه‌گیری مقدار تنش در آزمایشگاه، از روابط پروالاستیک استفاده می‌شود. در این روابط با داشتن مدول پانگ، نسبت پواسون و مقدار تنش قائم، می‌توان تنش‌های افقی حداکثر و حداقل را محاسبه کرد [۱۹].

(۳-۱)

$$\sigma_h = \frac{v}{1-v} \sigma_v - \frac{v}{1-v} a P_P + a P_P + \frac{E_{static} \epsilon_x}{(1-v^2)} + v \frac{E_{static} \epsilon_y}{(1-v^2)}$$

(۴-۱)

$$\sigma_H = \frac{v}{1-v} \sigma_v - \frac{v}{1-v} a P_P + a P_P + \frac{E_{static} \epsilon_y}{(1-v^2)} + v \frac{E_{static} \epsilon_x}{(1-v^2)}$$

در این روابط σ_h تنش افقی حداقل، σ_H تنش افقی حداکثر، σ_v تنش قائم، v نسبت پواسون، a ضریب بایوت، P_P فشار منفذی، ϵ_x و ϵ_y کرنش در جهت تنش افقی حداقل و حداکثراند. در این تحقیق $a = 1$ و $\epsilon_x = 0.00004$ و $\epsilon_y = 0.00006$ در نظر گرفته شده است [۱۹].

ضریب بایوت معمولاً از طریق آزمون‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شود و مقدار آن از صفر (برای سنگ‌های سخت با تخلخل صفر) تا ۱ (برای سنگ‌های متخلخل در حوضه‌های رسوبی کم عمق) تعیین می‌کند. در مطالعات ژئومکانیکی مخازن نفت و گاز، به دلیل سخت بودن اجرای آزمون‌ها، از انجام آنها صرف نظر شده و با توجه به متخلخل بودن سنگ‌های تشکیل دهنده مخزن، این نسبت معمولاً برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود. در روش پروالاستیک ابتدا نسبت آنیزوتروپی کرنش یعنی ϵ_x / ϵ_y برای حالت ایزوتروپ و برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل با مقادیر تنش به دست آمده از آزمون‌های مستقیم، مکانیسم گسیختگی‌های موجود در دیواره چاه و یا فشار سیال حفاری مقایسه می‌شوند. در صورت وجود تفاوت، این نسبت برای رسیدن به بهترین تطابق تغییر داده می‌شود. نتایج بدست آمده با

مکانیسم گسیختگی های موجود در دیواره مقایسه و مقدار $\epsilon_x = 0.0004$ و $\epsilon_y = 0.0006$ در نظر گرفته شده است. در این روش همچنین به مدول یانگ و نسبت پواسون استاتیکی نیاز می باشد. برای جایگزین کردن این مقادیر، ابتدا ضرایب الاستیک دینامیکی برای چاه های مورد مطالعه محاسبه شدند. با توجه به این که عموماً رابطه مستقیمی بین نسبت پواسون استاتیکی و دینامیکی وجود ندارد، این دو کمیت معمولاً مساوی فرض می شوند. برای تبدیل مدول یانگ نیز روابط متعددی ارائه شده است که در این مطالعه از رابطه زیر استفاده شد (رسولی و دلارام، ۱۳۸۶).

$$E_s = 0.6 \times E_d$$

روابط زیر برای محاسبه پارامترهای مورد نظر استفاده شد.

$$E_{(psi)} = \left(\frac{\rho_b}{\Delta t_s^2} \right) \left(\frac{3(\Delta t_s^2) - 4(\Delta t_p^2)}{\Delta t_s^2 - \Delta t_p^2} \right)$$

در روابط بالا E، مدول یانگ، ρ_b ، چگالی، Δt_p و Δt_s به ترتیب زمان عبور موج P و S می باشند [۱۴].

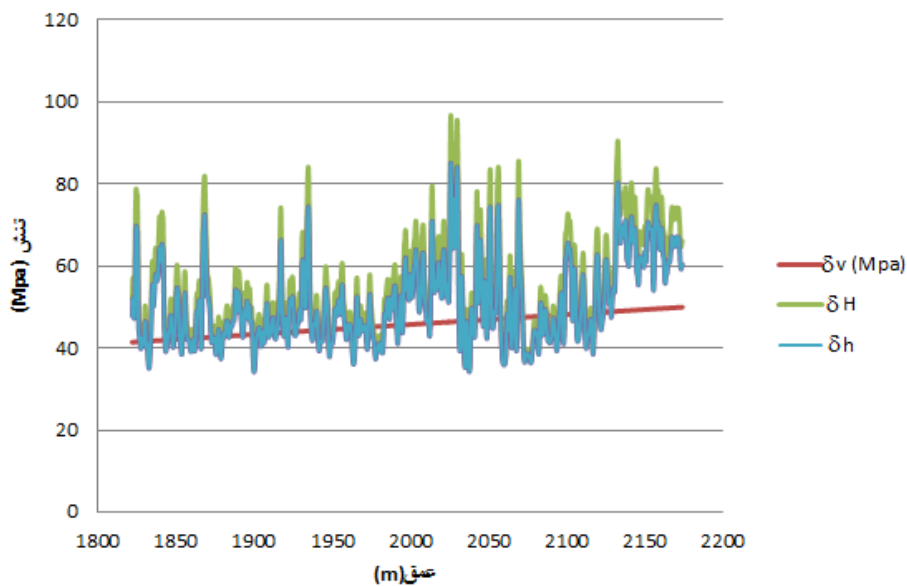
$$\vartheta = (v_p^2 - 2v_s^2) / 2 (v_p^2 - v_s^2)$$

در این رابطه ϑ نسبت پواسون، v_p سرعت موج P و v_s سرعت موج S می باشد [۱۴].

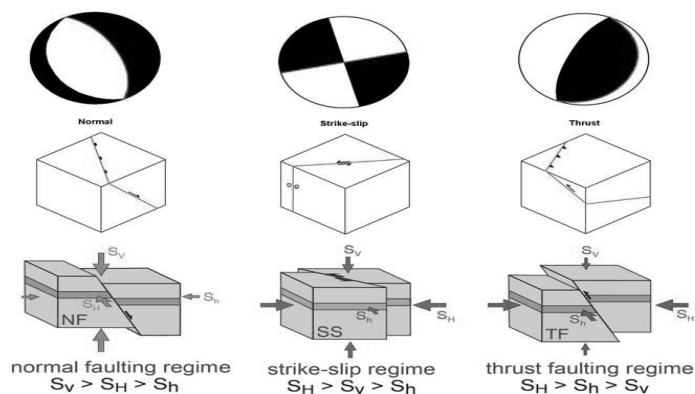
$$P_p = 0.433 * \text{Depth}$$

Pp: فشار منفذی و همچنین در این رابطه عمق برحسب فوت می باشد [۱۹].

پس از محاسبات مقدار تنش ها، مقدار σ_H بیشتر از σ_h و مقدار σ_p کمتر از این دو پارامتر بدست آمده است، که نشان دهنده سیستم تنش فشاری در منطقه می باشد (نمودار ۳ و شکل ۱۰). میانگین تنش های محاسبه شده در اعماق مختلف در جدول ۱ آورده شده است.



نمودار ۳- مقایسه بزرگای سه تنش اصلی در محدوده چاه شماره ۲۴.



شکل ۱۰- انواع مختلف رژیم تنش و ارتباط آن با سیستم‌های گسلی (برگرفته از [۱۴].)

جدول ۱- بزرگای تنش قائم و افقی در عمق‌های مختلف سازند آسماری (محاسبه شده بر مبنای روابط پرو الاستیک)

عمق	ضخامت (m)	حداقل تنش افقی (Mpa)	تنش حداکثر افقی (Mpa)	تنش قائم (Mpa)
۱۸۷۲-۱۸۲۲	۵۰	۴۸،۶۱	۵۲،۷۹	۴۲،۰۷
۱۸۷۲-۱۹۲۲	۵۰	۴۵،۲۵	۴۸،۴۹	۴۳،۲۹
۱۹۲۲-۱۹۷۲	۵۰	۴۷،۳۴	۵۰،۸۹	۴۴،۵۰
۱۹۷۲-۲۰۲۲	۵۰	۵۱،۳۸	۵۵،۶۱	۴۵،۷۱
۲۰۲۲-۲۰۲۷	۵۰	۵۲،۸۸	۵۷،۲۶	۴۶،۹۲
۲۰۷۲-۲۱۲۲	۵۰	۴۳،۵۳	۴۹،۸۵	۴۸،۱۴
۲۱۲۲-۲۱۷۴	۵۲	۶۲،۹۹	۶۹،۵۱	۴۹،۳۷

۶- بحث

در این تحقیق با استفاده از نقشه های UGC، داده های Fault Stick گسل ها، داده های لاگ چگالی و خطوط لرزه ای پارامترهای ژئومکانیکی، مقدار تنشهای افقی و قائم و سمت این تنش ها در میدان لالی محاسبه گردید، که هدف اصلی آن تخمین تنش های اصلی در شرایط کمبود اطلاعات می باشد. همچنین برای درک بهتر از ساختار مخزنی، ایجاد مدل های واقع بینانه تر از میدان نفتی لالی به مدلسازی این میدان و گسل های یال جنوبی آن پرداخته شده است. به این ترتیب ضرایب الاستیک توسط روابط تجربی و فرمول نویسی در نرم افزار اکسل و مقدار تنش ها با استفاده از روابط پروالاستیک محاسبه شدند. با توجه به مدلسازی انجام گرفته دو گسل در یال جنوبی میدان لالی شناخته شده است. مقدار جابجایی در دو انتهای گسل های آسماری و بنگستان در یال جنوبی تاقدیس لالی کمترین مقدار و با نزدیک شدن به مرکز، مقدار آن به بیشترین حد خود میرسد. و شیب گسل آسماری با افزایش عمق کم می شود. با توجه به عدم انجام مطالعات جامع مکانیک سنگی و در دسترس نبودن اطلاعات مربوط به تست های شکستگی اکثر چاه های نفتی، برآورد تنش های درجا که در فرآیند تحلیل پایداری چاه به عنوان اصلی ترین عامل مطرح است، در اغلب موارد به سختی انجام می گیرد.

جهت گیری و بزرگای تنش برجا می تواند تاثیر به سزایی بر رفتار شکستگی های در جریان سیالات داشته باشد. Horn [۲۰] نشان داد که شکستگی های طبیعی باز، در راستای عمود بر حداقل تنش افقی وارد بر میدان، تشکیل شده و تنش نرمال موثر کمی را متحمل شده اند. از طرف دیگر، شکستگی های طبیعی که در راستای عمود بر حداکثر تنش افقی، تشکیل می شوند به احتمال زیاد، از نوع بسته و در نتیجه غیر تولیدی هستند و گسل های معکوس هم جزء شکستگی های بسته می باشند. بنابراین، ناهمگنی در میدان تنش می تواند باعث ایجاد ناهمگنی در تراوایی میدان شود [۲۰].

بررسی پروفیل های لرزه ای نشان می دهد که چاه لالی-۲۶ در نزدیکی گسل اصلی واقع در یال جنوبی قرار دارد، که در نتیجه، این گسل می تواند چاه مذکور را تحت تاثیر قرار داده و بر روی تصاویر FMI مشاهده شود (شکل ۱۱). با توجه به تفسیر نمودار FMI مربوط به چاه ۲۶ و مدلسازی انجام شده در این تحقیق، گسل ها و شکستگی های بسته عمدتاً در راستای محور میدان و با روند تقریبی شمال باختر- جنوب خاور تشکیل شده اند. بنابراین با استفاده از شکستگی های طبیعی باز و بسته، می توان جهت گیری تنش های وارده بر میدان را تعیین نمود. در شکل ۱۲ نمودار گل سرخی مربوط به امتداد گسل های یال جنوبی میدان لالی و جهت تنش ها در این منطقه و همچنین نمودار گل سرخی مربوط به شکستگی های بدست آمده از تصاویر FMI مشاهده می گردد، با توجه به این شکل و با توجه به نمودار گل سرخی جهت گسل ها و شکستگی ها به تقریب N305 و N315 می باشد. به دلیل اینکه گسل های معکوس عمود بر حداکثر تنش افقی تشکیل می شوند، بنابراین جهت حداکثر تنش افقی (δ_{Hmax}) را میتوان N040 E بدست آورد. در نتیجه حداکثر تنش افقی (δ_{Hmax}) عمدتاً در جهت NE-SW می باشد. از این رو احتمالاً این تنشها مرتبط با نیروهای حاصل از حرکت صفحه ی عربی و نیروهای مقاومی که حاصل برخورد قاره ای در زون ایران- عربی است وابسته هستند.

همچنین طبق مطالعات انجام شده توسط زمانی و همکاران در سال ۱۳۹۳، بر اساس تحلیل وارون داده های لرزه ای سه رژیم تنش در استان خوزستان تشخیص داده شده است. این روش با استفاده از داده های حل کانونی زمین لرزه ها تحلیل برگشتی را انجام می دهد. این شیوه تنسور تنش را به چهار مجهول تقلیل داده و با حل چهار معادله چهار مجهولی به روش تحلیلی جواب را بدست می آورد [۳]. مزیت تحلیل جدایش رژیم های تنش این است که در این روش در یک منطقه تمام و

یا تا حد امکان بیشترین درصد داده‌های گردآوری شده در این تحلیل شرکت می‌کنند و بنابراین رژیم‌های بدست آمده تنش‌هایی هستند که می‌توانسته‌اند موثر بر تمام گسل‌های یک منطقه باشند و با کینماتیک تمامی آنها تا حد ممکن تطبیق داده شده باشند [۳]. بر اساس جدول ۲ رژیم‌های اول و سوم تنش امتداد لغز و در رژیم دوم تنش فشاری حاکم است و به دلیل شرکت ۵۸ درصد از داده‌ها (در مقابل ۲۰ درصد برای رژیم تنش اول و سوم) در تحلیل تنش رژیم غالب بر منطقه رژیم فشاری است [۳].

مقدار تنش‌هایی که با روابط پرولاستیک در این تحقیق به دست آمده، نشان می‌دهد که $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$ که تایید کننده سیستم تنش فشاری در منطقه است.

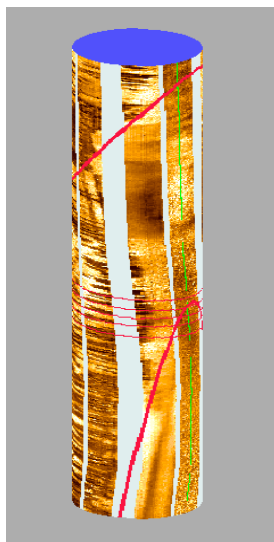
جدول ۲- نتایج تحلیل انجام شده برای بدست آوردن رژیم‌های تنش نو زمین ساختی بر اساس داده‌های لرزه‌ای (بر اساس کاتالوگ SED, CMT, MOS و همچنین بخش دیگری از زمین لرزه‌ها از Jackson & McKenzie (1972), Berberian & Yeats (1999), Berberian (1997), Jackson (1992), McKenzie (1984) بر گرفته شده اند). $\omega_{acc} \%$ آستانه پذیرفتنی برای مولفه لغزش تنش برشی بر حسب درصد، $N_{acc} \%$ درصد داده‌های شرکت‌کننده که برای هر تنسور تنش بدست آمد. مشخصات محورهای اصلی تنش σ_1, σ_2 و σ_3 به صورت روند (Trend) و میل (Plunge) بر حسب درجه آورده شده است، نسبت شکلی تنش $(\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3))$ ، $\omega_m \%$ متوسط آستانه پذیرفتنی برای مولفه لغزش تنش برشی بر حسب درصد، τ_m^* متوسط نسبت تنش برشی به تنش برشی حداکثر، α_m متوسط زاویه بین بردار تنش برشی و مولفه لغزش تنش برشی بر حسب درجه می‌باشند [۱۰].

	$\omega_{acc} \%$	$N_{acc} \%$	σ_1	σ_2	σ_3	Φ	ω_m	α_m	T_m^*			
R ₁	۷۱	۲۰	۱۱۶	۲۰	۳۳۴	۶۵	۲۱۲	۱۴	۰٫۳۵	۷۹	۲۱	۱۶
R ₂	۸۱	۵۸	۲۱۸	۰٫۲	۳۰۸	۰٫۸	۱۱۳	۸۲	۰٫۴۳	۸۷	۱۷	۱۵
R ₃	۷۰	۲۰	۱۷۷	۳۱	۳۴۰	۵۷	۸۳	۰٫۸	۰٫۴۴	۸۰	۲۵	۱۸

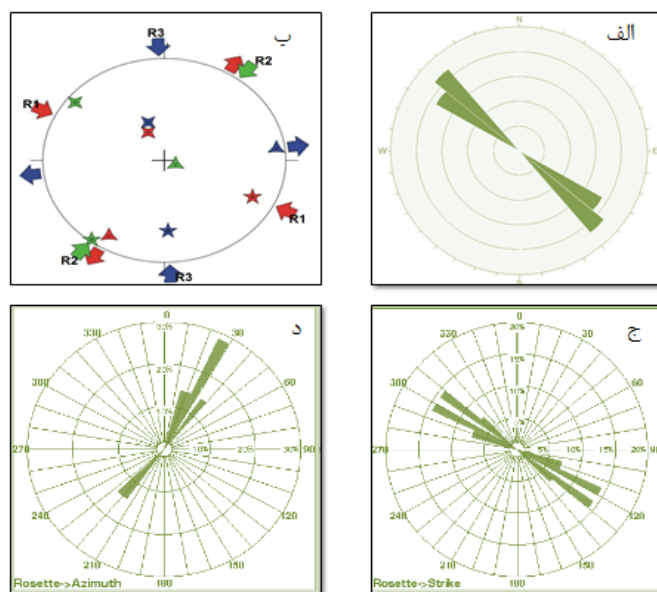
بنابراین جهت حداکثر تنش به دست آمده در این مطالعه را می‌توان را مطابق با رژیم ۲ در مطالعات زمانی و همکاران، ۱۳۹۳ که دانست. همانطور که در شکل ۱۲ ب مشاهده می‌شود روند حداکثر تنش فشاری NE-SW یعنی عمود بر ساختارهای جوان چین‌خورده و راندگی‌ها بدست آمده است. جهت حداکثر تنش افقی بدست آمده از گسل‌ها و شکستگی‌های طبیعی و مکانیزم کانونی زمین‌لرزه در پروژه WSM (نقشه جهانی تنش) روند N36E را نشان می‌دهد [۱۸]. و با توجه به همخوانی این مقدار با نتایج بدست آمده در این پژوهش صحت محاسبات تایید می‌شود (شکل ۱۳). اگرچه تعمیم دادن نتایج حاصل از یک چاه به تمام نواحی یک ساختار تاقدیسی به طول ۳۰ کیلومتر چندان صحیح به نظر نمی‌رسد و راستای تنش در قسمت‌های مختلف میدان و همچنین اعماق متفاوت، می‌تواند تغییراتی را از خود نشان دهد، اما این مساله با توجه به تحقیقات Akbar & Sapru قابل توجه است [۹]. مطالعات وی بر روی پدیده Breakout در میداین نفتی مختلف در کشورهای یمن، عمان، امارات متحده عربی، عربستان، قطر و ایران که تقریباً تمام قسمت‌های صفحه عربی را پوشش داده‌اند، نشان دهنده این است که روی هم رفته، امتداد تنش در این پهنه، در راستای شمال خاور- جنوب باختر قرار می‌گیرد.

مقدار نسبت شکلی تنش $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ که با استفاده از محاسبه تنش‌ها توسط روابط پرولاستیک به دست آمده،

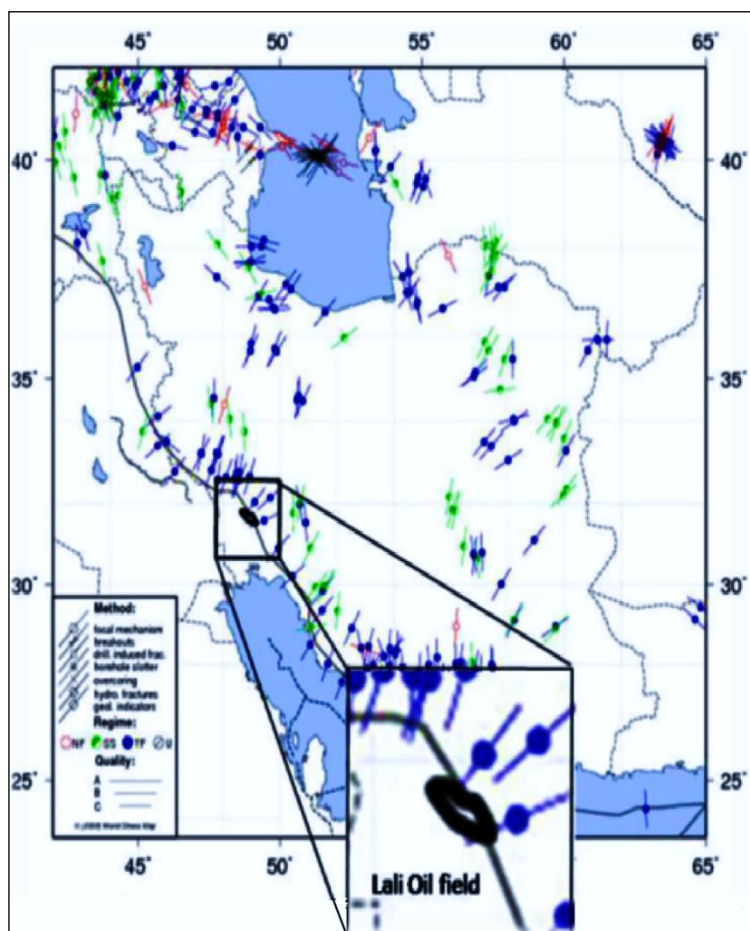
۰/۵۵ می باشد که با مقدار نسبت شکلی تنش که با روش تحلیل وارون در مطالعات قبلی (جدول ۲) بدست آمده، انطباق خوبی نشان می دهد.



شکل ۱۱- نمایش گسل اصلی عملکرده در چاه لالی ۲۶ بر روی نمودار تصویرگر FMI (گسل به رنگ قرمز ضخیم مشخص شده است).



شکل ۱۲- الف: امتداد گسل ها مدل سازی شده با پترل در یال جنوبی میدان لالی، ب: نتایج تحلیل انجام شده برای جدایش و بازسازی رژیم های تنش لرزه زمین ساختی چندگانه (**multiple**) در استان خوزستان در این تصویر تنش های فشارش و کشش با پیکان هایی برای هر تنسور تنش با رنگ های متفاوت نمایش داده شده. موقعیت σ_1 ، σ_2 و σ_3 در هر رژیم به ترتیب با ستاره های ۵ پر، ۴ پر و ۳ پر مشخص شده و سرانجام جهت نهایی کشش یا فشارش با پیکان های توپر رنگی نشان داده شده اند (برگرفته [۳]). ج و د: نمودار گل سرخی امتداد و شیب شکستگی ها روی لاگ های گرافیکی.



شکل ۱۳- نقشه جهت‌یابی حداکثر تنش افقی در ایران (برگرفته از [۳۴]).

۷- نتیجه گیری

بر مبنای مدل سازی انجام شده در یال جنوبی تاقدیس لالی دو گسل تشخیص داده شد، که میزان جابجایی که روی سازندها ایجاد کرده به سمت مرکز میدان افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد یکی گسل اصلی و گسل دیگر گسل فرعی همسویی است که احتمالاً در عمق به آن متصل می‌شود. اندازه گیری مقادیر تنش با روابط پروالاستیک نشان‌دهنده سیستم فشاری در این منطقه است. نسبت شکلی تنش محاسبه شده با روابط پروالاستیک و نسبت شکلی به دست آمده از تحلیل وارون انطباق نسبتاً خوبی در این ناحیه نشان می‌دهد. میانگین آزمون گسل‌های معکوس یال جنوبی مدل شده با نرم افزار پترل و شکستگی‌های بدست آمده از تصاویر FMI و مغزه ها، N305 و N315 (میانگین N310) می‌باشد بنابراین امتداد δH_{max} را می‌توان عمود بر این شکستگی‌ها و گسل‌ها یعنی N40E دانست.

سپاس و قدردانی

این تحقیق با همکاری و حمایت شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و دانشگاه تبریز انجام شده که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود. از آقایان دکتر علیرضا ندیمی و دکتر محمد مختاری بخاطر داوری مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- [۱]- دلارام، و.، رسولی، ا.، ۱۳۸۶، تأثیر تنش های برجا بر مکانیسم گسیختگی چاه های نفتی، سومین کنفرانس سنگ ایران.
- [۲]- رضائی، ع.، علوی، س. ا.، حاجی علی بیگی، ح.، طالبی، ح.، ۱۳۸۹، تحلیل ساختاری و شکستگی های میدان نفتی لالی، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته تکنونیک، دانشگاه علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۰.
- [۳]- زمانی، ب.، کیانی زاده، ن.، پرهیزکاری، ح.، ۱۳۹۳، بررسی وضعیت تنش نوزمین ساختی زاگرس با جدایش تنش ها، علوم زمین.
- [۴]- زمردیان، ح.، حاجب حسینی، ح.، ۱۹۸۴، ژئوفیزیک کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول، ۳۰۲-۳۱۲.
- [۵]- طالبی، ح.، نریمانی، ح.، ۱۳۸۸، ارتباط ساختاری تاقدیسه های زیلویی، لالی و کارون، گزارشات شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب.
- [۶]- کلاگری، ع.، ۱۳۸۹، اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، ۴۸۵ صفحه.
- [۷]- محمودی، ح.، ۱۳۹۱، مطالعه تکمیلی و تهیه مدل زمین شناسی مخزن بنگستان میدان لالی، گزارش شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب.
- [۸]- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴، زمین شناسی نفت زاگرس، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، جلد اول ۵۸۹.
- [9]- AKBAR, M. and SAPRU, A., 1994, October, In-situ stresses in the subsurface of Arabian Peninsula and their effect on fracture morphology and permeability, In 6th Abu-Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 16-19.
- [10]- ANGELIER, J., 2002, Inversion of earthquake focal mechanisms to obtain the seismotectonic stress (a new method free of choice among nodal planes) IV, *Geophys. J. Int.*, **150**, 588-609.
- [11]- AADNOY, B.S., 1990, Inversion technique to determine the in-situ stress field from fracturing data, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **4**(2), 127-141.
- [12]- BACHMANOV, D. M., TRIFONOV, V.G., HESSAMI, K.T., KOZHURIN, A.I., IVANONA, T.P., ROGHZHIN, E.A., HADEMI, M.C, and Jamali, F.H., 2004. Active faults in the Zagros and central Iran, *Tectonophysics*, **380**(3), 221-241.
- [13]- BARNETT, J.A., MORTIMER, J., RIPPON, J.H., WALSH, J.J., and WATTERSON, J., 1987, Displacement geometry in the volume containing a single normal fault, *AAPG Bulletin*, **71**(8), 925-937.
- [14]- BLANTON, T.L., and OLSON, J.E., 1997, January. Stress magnitudes from logs: effects of tectonic strains and temperature, *In SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers*.
- [15]- FJAR, E., HOLT, R.M., RAAEN, A.M., RISNES, R., HORSRUD, P., 2008, Petroleum related rock mechanics, *Elsevier*; 2008 Jan 4.
- [16]- GEOSCIENCE CENTRAL, Iran, Ahvaz, 2010, LL26, Emi quick look report.
- [17]- HAJIALIBEIGI, H., 2011, Signatures of the Balarud Deep Seated Fault Zone in Khushab Anticline, SW Iran, An Integrated Study, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, **22**(1), 33-81.
- [18]- HEIDBACH, O., TINGAY, M., BARTH, A., REINECKER, J., KURFEß, D., and MULLER, B., 2010, Global crustal stress pattern based on the World Stress Map database release 2008. *Tectonophysics*, **482**(1), 3-15.
- [19]- HOSSEINI, F., ASHTIANI ABDI, H., SHIROODI, S. K., 2012, Wellbore stability study of sarvak-Kazhdomi- Darian Salman field, IOOC Technical Affairs, Geology Department.
- [20]- HORN, M.K., 1991, Play concepts for horizontal drilling, In Fritz, R.D. et al. (eds), *Geological Aspects of Horizontal drilling, American Association of Petroleum Geologists Education Course Note Series*, **33**, 189-323.
- [21]- JIMENEZ, J.M., VALERA LARA, L.C., RUEDA, A., and SAAVEDRA TRUJILLO, N.F., 2007, Geomechanical wellbore stability modeling of exploratory wells-study case at middle Magdalena Basin, CT&F-Ciencia, *Tecnología y Futuro*, **3**(3), 85-102.
- [22]- JONES, R.R., MCCAFFREY, K.J.W., CLEGG, P., WILSON, R.W., HOLLIMAN, N.S.,

- HOLDWORTH, R.E., IMBER, J., and WAGGOTT, S., 2009, Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models. *Computers & Geosciences*, **35**(1), 4-18.
- [23]- KAUFMANN, O. and MARTIN, T., 2008, 3D geological modelling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over former natural gas storages in coal mines, *Computers & Geosciences*, **34**(3), 278-290.
- [24]- KIM, Y.S., and SANDERSON, D.J., 2005, The relationship between displacement and length of faults: a review. *Earth-Science Reviews*, **68**(3), 317-334.
- [25]- MITRA, S., 1990, Fault-propagation folds: geometry, kinematic evolution, and hydrocarbon Traps (1). *AAPG Bulletin*, **74**(6), 921-945.
- [26]- PETER, J.D., PAULO, J.R., 2007, Model-based Geostatistics, Springer Science, Library of Congress.
- [27]- PLUMB, R., EDWARDS, S., PIDCOCK, G., LEE, D., and STACEY, B., 2000, January, The mechanical earth model concept and its application to high-risk well construction projects. In IADC/SPE Drilling Conference. *Society of Petroleum Engineers*.
- [28]- SANAEI, R., SHADIZADEH, S.R., and RIAHI, M.A., 2010, Determination of the stress profile in a deep borehole in a naturally fractured reservoir, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **47**(4), 599-605.
- [29]- SCHLUMBERGER., 2008, Petrel Introduction course, *Petrel*, **555**p.
- [30]- SCHLUMBERGER, Swismic-to-Simulation Software, 2009, *Property Modeling Course*, **503**p.
- [31]- TINGAY, M.R., HILLIS, R.R., MORLEY, C.K., KING, R.C., SWARBRICK, R.E., and DAMIT, A.R., 2009, Present-day stress and neotectonics of Brunei: Implications for petroleum exploration and production, *AAPG Bulletin*, **93**(1), 75-100.
- [32]- TINGAY, M., MULLER, B., REINECKER, J., HEIDBACH, O., WENZEL, F., and FLECKENSTEIN, P., 2005, Understanding tectonic stress in the oil patch: The World Stress Map Project, *The Leading Edge*, **24**(12), 1276-1282.
- [33]- XIUBIN, L.I.N., HANLIN, C.H.E.N., CHENG, X., ZHONGYAN, S.H.E.N., SHUFENG, Y.A.N.G., and ANCHENG, X.I.A.O., 2010, Conceptual models for fracturing in fault related folds, *Mining Science and Technology (China)*, **20**(1), 103-108.
- [34]- YAGHOUBI, A.A. and ZEINAIL, M., 2009, Determination of magnitude and orientation of the in-situ stress from borehole breakout and effect of pore pressure on borehole stability—Case study in Cheshmeh Khush oil field of Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **67**(3), 116-126.
- [35]- ZOBACK, M.D., BARTON, C.A., BRUDY, M., CASTILLO, D.A., FINKBEINER, T., GROLLMUND, B.R., MOOS, D.B., PESKA, P., WARD, C.D., and WIPRUT, D.J., 2003, Determination of stress orientation and magnitude in deep wells, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **40**(7), 1049-1076.
- [36]- Zare, M.R., SHADIZADEH, S.R., and HABIBNIA, B., 2010, January. Mechanical stability analysis of directional wells: a case study in Ahwaz oilfield. In Nigeria Annual International Conference and Exhibition. *Society of Petroleum Engineers*.

Structural modeling and estimation of tectonic stresses at Lali oilfield in Dezful Embayment

N. Kianizadeh^{*}, B.Zamani, A. Kadkhodaie, H. Talebi

^{*}nasrin_kianizadeh@yahoo.com

Received: July 2016, Accepted: February 2017

Abstract

Structural geological study is one of the most important stages of an oilfield exploration and production (E&P) program, since a knowledge of existing structures can play a fundamental role in the oilfield development plan. The main purpose of this study is to create three-dimensional (3D) structural models to determine direction of tectonic stresses at Lali oilfield using subsurface geophysical data. The study area is located within the so-called Dezful Embayment (northern Khuzestan Province, Iran). Accordingly, in order to provide a 3D model of the reservoir, geostatistical tools in Petrel Software were utilized. Incorporating density log data into several coded formulations in MS Excel Software, the reservoir had its modulus of elasticity calculated. Subsequently, maximum and minimum horizontal stresses were calculated using poroelastic equations.

Fault modeling results showed that, fault dip increases with increasing the depth towards the center of the field. Obtained values of stress using the poroelastic equations show that $\sigma_H > \sigma_h > \sigma_v$, confirming a regional reverse stress regime, which is consistent with previous studies in this area. Also, the formal stress ratios ($\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$) obtained from poroelastic equations and inverse analysis method were found to be well-correlated across the area. Finally, average azimuth of the reverse faults on the southern limb (as calculated by Petrel) and the fractures on the limb (as obtained from FMI images and core samples) were found to be N305 and N315, respectively (average = N310). Thus, N040E was inferred to be the average direction of principal stress, i.e. principal stress is mostly directed along a NE-SW axis (perpendicular to the general trend of Zagros Orogeny); this is probably a result of the activities of youngest Zagros orogeny phase. The agreement between the obtained principal stress directions by fractures, faults, and focal mechanism of earthquakes across the World Stress Map (WSM) confirms the validity of this study.

Keywords: Fault modeling, Petrel, Orientation tension, fracture, Density log, Lali oil field, Poroelastic equations.