بررسی خصوصیات ژئومکانیکی سازند سروک از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای و چاه در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران

حسام منصوری سیاه‌گلی، محمدعلی ریاحی*
دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک

دریافت ۹۹/۰۶/۰۲ پذیرش ۹۹/۰۸/۱۷

چکیده

به منظور کاهش هزینه‌های مربوط به حفاری باید به‌وسیلهٔ بررسی خصوصیات ژئومکانیکی مخزن مسیر بهینه جهت حفاری و پنجره وزن گل حفاری مناسب را به‌منظور حفظ پایداری چاه تعیین کرد. برای نیل به این هدف به‌کمک داده‌های لرزه‌ای و چاه، پارامترهای ژئومکانیکی مانند مدول یانگ و نسبت پواسون، فشار منفذی و به‌ویژه رژیم تنش را در محدودهٔ بررسی شده تخمین زد و برای اجتناب از ایجاد شکست در دیواره چاه پیش از حفاری بهره جست.

سازند مخزنی بررسی شده سازند سروک (آلبین- تورونین) که از مخازن مهم در میادین نفتی جنوب و جنوب غرب ایران است که بخش قابل توجهی از ذخایر هیدروکربنی را در خود جای داده است. این میدان در شمال غربی خلیج فارس واقع شده است.

در این پژوهش داده‌های لرزه‌ای و چاه به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر امپدانس صوتی، وارون‌سازی شده‌اند. سپس از مدل رگرسیون مقادیرتنش افقی حداقل، تنش افقی حداکثر و فشار منفذی در مقابل امپدانس صوتی موج تراکمی P به‌منظور تعیین پارامترهای ژئومکانیکی سازند سروک در استفاده شد. در مرحلهٔ بعد، مدل رگرسیون به‌دست آمده، برای محاسبهٔ مدل سه‌بعدی تنش‌های برجا و فشار منفذی روی داده‌های لرزه‌ای وارون‌سازی شده به‌کار رفت. نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر به‌دست آمده در چاه (HD-07)، میانگین تنش افقی حداقل در سازند سروک در حدود بازه ۳۶ تا ۳۷ مگاپاسکال، میانگین تنش افقی حداکثر در این سازند در حدود بازهٔ ۳۷ تا ۳۸ مگاپاسکال و میانگین فشار منفذی در سازند مخزنی بررسی شده در حدود بازهٔ ۲۵ تا ۲۶ مگاپاسکال است. با توجه به این نتایج برای آن‌که پایداری دیواره چاه تأمین شود برای برنامه‌ریزی حفاری آتی در این میدان، فشار سیال حفاری باید بین فشار منفذی ۲۶ مگاپاسکال و تنش افقی حداقل ۳۸ مگاپاسکال سازند سروک قرار گیرد. بر اساس طبقه‌بندی نظریه گسل اندرسون، با توجه به این‌که در یکی از چاه‌های منطقهٔ بررسی شده، $Shmin < Shmax < Sv$ به‌دست آمد، رژیم گسل در محدودهٔ بررسی شده نرمال است.

واژه‌های کلیدی: سازند سروک، شمال غربی خلیج فارس، فرو افتادگی دزفول، پارامترهای ژئومکانیکی، مدول یانگ، میدان تنش، نسبت پواسون، وارون‌سازی پیش از برانبارش.

مقدمه

برای ساخت مدل‌های ژئومکانیکی مخازن نفت و گاز به داده‌های متنوعی نیاز است. این داده‌ها به دو بخش عمده و بنیادی تقسیم می شوند که عبارتند از داده‌های آزمایشگاهی (استاتیکی و دینامیکی) و داده‌های حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی و لرزه‌ای (دینامیکی). داده‌های آزمایشگاهی با انجام آزمایش‌های فیزیکی- مکانیکی مستقیم در آزمایشگاه و یا به‌صورت برجا به‌دست آمده و گروه مهمی از پارامترهای مقاومتی و تغییر شکل سنگ‌ها را در بر می‌گیرند (شریفی و همکاران، ۹۵) . این داده‌ها معمولاً برای ساخت روابط تجربی برای تبدیل داده‌های دینامیکی به استاتیکی و هم‌چنین

*نویسنده مسئول mariahi@ut.ac.ir

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

برای تأیید نتایج حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی استفاده می‌شوند (شریفی و همکاران، ۹۴). با توجه به این که اطلاعات حاصل از نگارهای پتروفیزیکی و خواص مکانیکی زمین متأثر از زمین‌شناسی مخزن است، از این‌رو، تعیین خصوصیات و کمیت‌های زمین‌شناسی تأثیر به‌سزایی در ساخت مدل مکانیکی زمین دارد. برای نیل به این مهم، سازندهای زمین‌شناسی منطقه بررسی شده است. سازند بررسی شده سروک (از میادین هیدروکربوری جنوب غرب ایران) است که شامل دو رخساره آهک رسی و سنگ آهک تمیز در چاه بررسی شده است.

بررسی تعیین و حدود فشار منفذی و به طبع آن تعیین نقاط با فشار نامتعارف، تعیین مقدار و جهت تنش‌های القایی ناشی از حفاری در اطراف چاه‌های حفاری شده در ارتباط با جهت و مقدار تنش‌های برجا است. این تنش‌ها نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای تولید و برداشت از مخازن هیدروکربوری را ایفا می‌کنند. آگاهی از خصوصیات مکانیکی و تنش‌های برجا که مرتبط با پایداری چاه است اهمیت خاصی در حفاری دارد.

هم‌چنین در اثر حفاری چاه، تنش‌های برجای زمین حالت اولیه خود را از دست داده و باعث ایجاد تنش‌های القایی در اطراف چاه می‌شود. اگر سنگ مقاومت لازم در برابر تنش‌های القایی نداشته باشد باعث شکست سنگ می‌شود. برای جلوگیری از ریزش چاه، مهندسان حفاری باید تمرکز تنش را با استفاده از فشار داخلی چاه (فشار گل) و راستای چاه نسبت به تنش‌های برجا تعدیل کنند (کیدامپی و کومار، ۲۰۱۶). در کل، تغییرات راستای چاه محدودیت دارد در نتیجه از تغییرات فشار داخلی چاه جهت جلوگیری از ریزش و شکست استفاده می‌کنند. بنابراین انتخاب یک معیار شکست مناسب برای بررسی پایداری چاه اهمیت فراوانی دارد (تدیتی و اشتری، ۹۲).

دیواره‌های چاه زمانی دچار ریزش می‌شود که تمرکز تنش در اطراف محیط چاه از مقاومت سنگ بیش‌تر می‌شود و یک گسل، زمانی می‌لغزد که نسبت تنش برشی به تنش مؤثر نرمال وارده بر سطح گسل از مقاومت اصطکاکی آن بیش‌تر شود (زوبک، ۲۰۰۷).

پژوهش‌های ژئومکانیکی و تعیین مدل مکانیکی زمین[1] (MEM) به‌وسیلهٔ محققان زیادی انجام شده که برای اهداف اکتشافی و تولیدی از مخازن هیدروکربوری بوده است. برای مثال پیش‌بینی فشار منفذی در مقطع چاه با استفاده از نمودارهای الکتریکی به‌وسیلهٔهاتمن[2] و جانسون[3] (۱۹۶۵) انجام شده است. سایر محققان مانند مثیو[4] و کلی[5] (۱۹۶۷)، ایتون[6] (۱۹۷۵)، فاستر[7] و والن[8] (۱۹۶۶) روابط دیگری برای تخمین تنش برجا و فشار منفذی ارائه دادند. این تکنیک‌ها بر اساس استفاده از داده‌های لرزه‌ای و میزان نفوذ نمودارهای استفاده شده، گسترش داده شدند. جدیدترین روش با استفاده از سرعت امواج لرزه‌ای، تخلخل و میزان رس موجود به‌وسیلهٔ ابرهارت فیلیپس[9]،هان[10] و زوباک[11] در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. تنش‌های افقی و قایم از روابط پروالاستیکی در صورت نبود داده‌های آزمایشگاهی تخمین زده می‌شود. هیدباخ[12] و همکاران (۲۰۰۸)، حقی[13] و همکاران (۱۳۹۴) یک سری نقشه‌های از وضعیت تنش برجا ارایه کرده‌اند،

1. Mechanics Earth Model
2. Hatman
3. Johnson
4. Mathieu
5. Kelly
6. Eaton
7. Foster
8. Ellen
9. Valen
10. Han
11. Zoback
12. Heidbach
13. Haghi

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

هم‌چنین فاجر[1] و همکاران (۲۰۰۸)، گری[2] و همکاران (۲۰۱۲) و کیدامبی[3] و کومار[4] (۲۰۱۶) پژوهش‌هایی در بارهٔ تعیین تنش‌های برجا با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی و آزمایش‌های برجا انجام داده‌اند.

زمین‌شناسی میدان بررسی شده

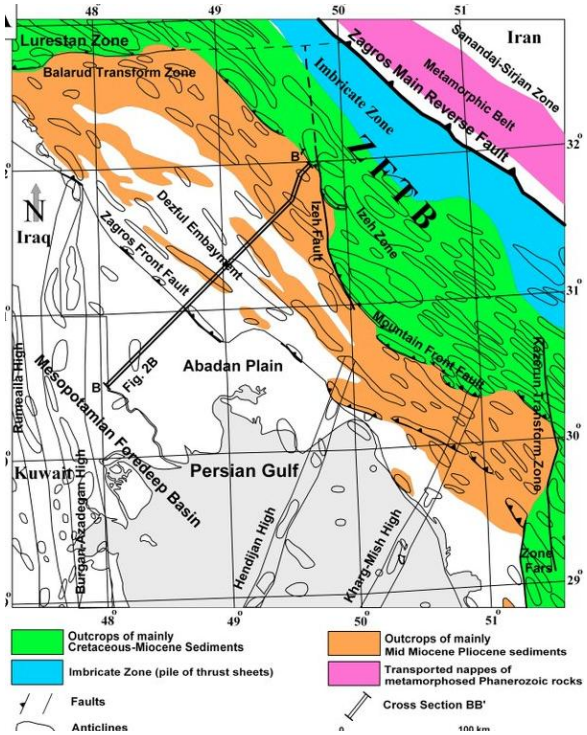
میدان هندیجان در ۳۵ کیلومتری جنوب شهر هندیجان و ۱۰ کیلومتری جنوب شرق روستای کاپارها و شمال میدان بهرگانسر در قسمت بالایی خلیج فارس واقع شده است. قسمت‌های شمالی این میدان در نواحی ساحلی و مردابی قرار گرفته است، ساختار هندیجان یک تاقدیس کوچک با روند محوری شمالی- جنوبی است که در روند یکسانی با روند نوروز - بهرگانسر در ۱۰ کیلومتری شمال ساختار بهرگانسر قرار دارد. به‌دلیل نزدیکی این میدان به ساختار بهرگانسر انتظار نمی‌رود که تغییرات رخسارهای زیادی مشاهده شود. برداشت‌های لرزه‌ای استفاده شده در این پژوهش برداشت‌های لرزه‌ای دوبعدی دریایی است که شامل ۱۷ خط برداشت است. داده‌های برداشت شده چاه نیز شامل طیف متنوعی از نگاره‌ها است که از نگاره چگالی و صوتی به‌منظور محاسبه امپدانس صوتی می‌توان استفاده کرد.

ساختمان میدان هندیجان تحت تأثیر دو سیستم گسلی است، یک سیستم گسلی صفحه عربی با چین‌های ملایم با روند شمال-جنوب و سیستم چین‌خوردگی زاگرس با روند شمال شرق-جنوب غرب در میدان موجود است. در میدان هندیجان رسوبات با سن بالاتر (سروک) در جهت شمال/ شمالغرب- جنوب / جنوب شرق جهت‌دار است. گسل مذکور از میدان خفیج در آب‌های بخش عربی خلیج فارس تا میدان رگ سفید در فروافتادگی دزفول امتداد یافته است (حسینی و همکاران، ۲۰۱۶). از اسامی مختلفی برای تعریف این گسل استفاده می‌شود؛ برای مثال گسل ایذه-هندیجان یا هندیجان- بهرگانسر که دلیل آن فعالیت بخش‌های مختلف این گسل در زمان‌های متفاوت است . در اصل این گسل متعلق به گروهی از گسل‌های پی سنگی با امتداد شمالی-جنوبی است که در طی اواخر پروتروزوئیک و اوایل کامبرین در پی‌سنگ عربی توسعه یافته‌اند. برخی از این گسل‌ها در منطقه بررسی شده عبارتند از گسل هندیجان-بهرگانسر، گسل خارک-میش و گسل کازرون.

گسل هندیجان-ایذه از جنوب صفحهٔ عربی (کشور عربستان) شروع می‌شود و میدان نفتی صفانیا که بزرگ‌ترین میدان نفتی فراساحل (دریایی) جهان و دومین میدان نفتی عربستان است روی این روند واقع شده است. هم‌چنین میدان نفتی آرش (مشترک بین ایران و کویت) و میادین نوروز، هندیجان و بهرگانسر روی این بلندا شکل گرفته‌اند. ساختمان تنگو واقع در دشت آبادان، آخرین ساختمان در جلوی گسل پیشانی زاگرس است که هنوز در برابر کوهزاد زاگرس مقاومت کرده و روند گسل هندیجان را نشان می‌دهد. هم‌چنین عملکرد حال حاضر گسل هندیجان-ایذه باعث چرخش در نوار ساحلی در محل آن شده است (طیب حسینی، همکاران، ۹۶). پس از ساختمان تنگو، گسل هندیجان-ایذه مسیر خود را در زیر ساختمان زاگرسی رگ سفید ادامه می‌دهد اما پیگیری مسیر آن دشوار می شود. با این حال اثر عملکرد راست بر این گسل با پیچش دماغهٔغربی ساختمان رگ سفید به‌سمت شمال مشخص است. در ادامه، این گسل از بین ساختمان‌های آغاجاری و پازنان عبور می‌کند و روند آن با چرخشی پادساعت گرد بیش‌تر به‌سمت شمال متمایل می‌شود.

1. Fjaer
2. Gray
3. kidampi
4. kumar

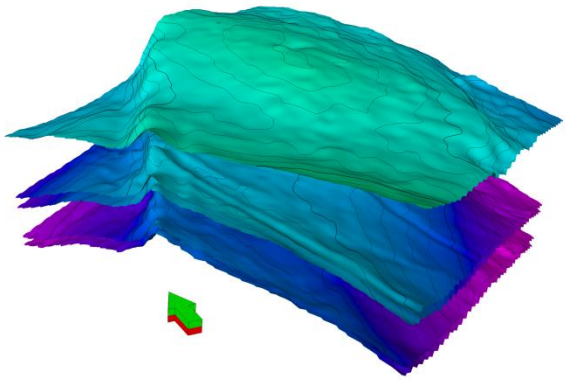
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ بررسی شده

میدان بررسی شدهدارای ساختار طاقدیسی با روند شمال غرب -جنوب شرق است که در یال جنوبی فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده در ساختمان این میدان دو مرحله چین‌خوردگی متفاوت بر روی این میدان اثر گذاشته است، به‌طوری‌که مجموع افق‌های پایین سروک متأثر از سیستم فشارشی صفحه عربی، تقریباً در راستای شمالی-جنوبی سازندها و بخش‌های بالای سروک با تأثیر از روند چین‌خوردگی زاگرس در راستای شمال غرب-جنوب شرق قرار گرفته است. از نتایج حاصل از تفسیر خطوط لرزه‌ای مشخص شده که گسلی با روند شمال شمال شرق-جنوب جنوب غرب که از قسمت‌های غربی ساختمان هندیجان و بهرگانسر عبور می‌کند (علوی، ۲۰۰۷). چنان‌که در مدل ساختمانی میدان بررسی شده مشاهده می‌شود اثرات فعالیت‌های زمین‌ساختی در این میدان سبب تغییراتی در ساختار کلی مخزن بررسی شده شده است. میدان‌هایی مانند هندیجان، بهرگانسر و غیره که رژیم‌های تکتونیکی مختلفی در دوران‌های مختلف تجربه کرده‌اند. این میدان‌ها با تأثیرپذیری از روندهای مختلف زمین‌ساختی ساختارهای پیچیده‌ای را در این میدان‌ها نمایان است. تقاطع ساختارها و روندهای مختلف فعالیت‌های زمین‌ساختی ساختاری پیچیده که شیب یال‌های طاقدیس مخازن میدان مذکور را تغییر داده است. این تغییرات در دو روی‌کرد کلی مورد توجه قرار می‌گیرد. رویکرد با اثرگذاری بر خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ و سیال سبب بهبود کیفیت مخزنی شده است و روی‌کرد دیگر با تغییرات بر ساختار سیستم نفتی در اکثر مواقع باعث سبب افزایش بهره‌دهی مخزن می‌شود.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۲. مدل ساختمانی میدان بررسی شده

سازند گورپی مخزن سروک را با یک ناپیوستگی زاویه‌دار پوشاند می‌شود. مخزن کژدمی به‌وسیلهٔ سازند سروک پوشیده می‌شود و در قاعده روی سازند داریان قرار گرفته است (خسرو تهرانی و فنونی، ۱۳۷۳). در این میدان سازند گورپی یک افق غیرنفتی است و با توجه به این نتایج نقش سیل شونده برای این افق مخزنی ایفا می‌کند. مخزن سروک در میدان بررسی شده غنی‌ترین افق مخزنی است که در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی روی این سازند انجام شده است. اگر چه در سال‌های اخیر بررسی‌های بسیاری روی سازند سروک در ناحیه زاگرس انجام شده است ولی در مورد ویژگی‌های زمین‌شناسی و مخزنی این سازند در خلیج‌فارس، اطلاعات کمی وجود دارد. سازند سروک در میدان هندیجان شامل دولومیت‌های قهوه‌ای روشن دانه مبه‌وسیلهٔ بایومیکرایت خاکستری-قهوه‌ای روشن کمی دولومیتی شده که دارای خرده ازهای اسکلتی نظیر فرامینیفرها، بازوپایان، دوکفه‌ای شکم‌پا، خارپوستان و خرده‌های جلبکی و پلوئید، کانی‌های درجازا متشکل از کلسیت، دولومیت، انیدریت و کانی‌های رسی، اجزا و دانه‌های همراه یا فرعی که بیش‌تر شامل مواد آلی هستند و نهایتاً دارای سیمان آهکی است و در نمونه‌های دولومیتی شده از بلورهای دولومیت جانشینی خیلی ریز و بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار تشکیل شده است. بعضی قسمت‌های این سازند در غرب میدان هندیجان فرسایش‌یافته است. سروک به‌خوبی وجود ناپیوستگی را بر اثر بالاآمدگی طاقدیس هندیجان را در زمان تورونین را نشان می‌دهد.

نظر به این که افق‌های فوقانی سازند سروک مورد توجه شما است. سازندهای مورد توجه وجود در چاه موجود در میدان بررسی شده بدین شرح است:

سازند گچساران

این سازند با سن میوسن پایینی از انیدریت، مارل و دولومیت تشکیل شده است. به‌علاوه در این سازند نمک هم گزارش شده است.

در قسمت‌های میانی که باعث تغییر ضخامت‌های قابل توجه در مقایسه با لایه‌های بالایی و پایینی خود شده است. قسمت پایینی از انیدریت، مارن خاکستری روشن و شیل خاکستری تیره به‌عنوان سنگ پوشش مخزن آسماری عنوان می‌شود.

سازند آسماری (شامل ماسه سنگ اهواز و غار)

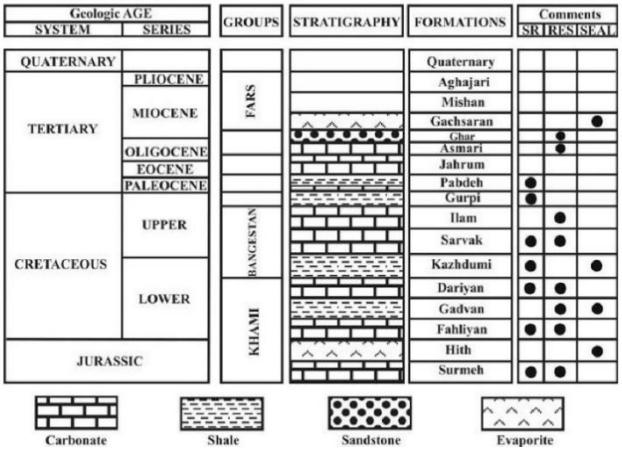
سازند آسماری با سن الیگوسن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. قسمت بالایی سازند آسماری بیش‌تر از ماسه سنگ است (بخش اهواز که معادل غار در کویت است). مخزن اهواز (غار) به‌طور عمده از ماسه سنگ با میان

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

لایه‌های شیلی و در برخی نقاط دولومیتی شده تشکیل شده است که به سه زیرلایه تقسیم می‌شود که به‌وسیلهٔ لایه‌های شیلی از یک‌دیگر جدا شده‌اند. میان لایه‌های انیدریتی در قسمت بالایی مخزن اهواز (غار) نشان می‌دهد که این بخش در حوضه‌ای کم عمق و محدود نهشته شده است. سازند غار در میدان هندیجان با ضخامت متوسط ۹۵ متر گزارش شده است. مخزن آسماری در میدان هندیجان از دولومیت، سنگ‌آهک (گاهی رس‌دار) و میان‌لایه‌های نازک شیل تشکیل شده است. سنگ کربناته متخلخل مخزن آسماری حاوی هیدروکربن است. سازند آسماری به دو بخش A و B تقسیم می‌شود. آسماری A به‌طور واضح به‌عنوان یک زون تر با درصد اشباع‌آب بالا و خواص مخزنی نامناسب تشخیص داده شده است. آسماری B به‌عنوان زون نفتی با وضعیت مناسب مخزنی است. متوسط ضخامت آسماری در میدان هندیجان ۱۲۳ متر است و ضخامت آن به‌سمت شمال افزایش می‌یابد.

سازند گورپی

سازند گورپی با سن کرتاسه بالایی (کامپانین) پلانژ جنوب شرقی طاقدیس گورپی در شمال غرب مسجد سلیمان است. این سازند به‌طور عمده از مارن و شیل‌های نازک لایه به‌رنگ خاکستری مایل به آبی تشکیل شده است. در نمونه‌های گرفته شده از چاه‌های هندیجان و بهرگانسر، ضخامت سازند گورپی از ۲۰ تا ۳۰ متر است و دارای میان-لایه‌هایی از سنگ‌آهک است.



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی در میدان‌های هندیجان و بهرگانسر [۵]

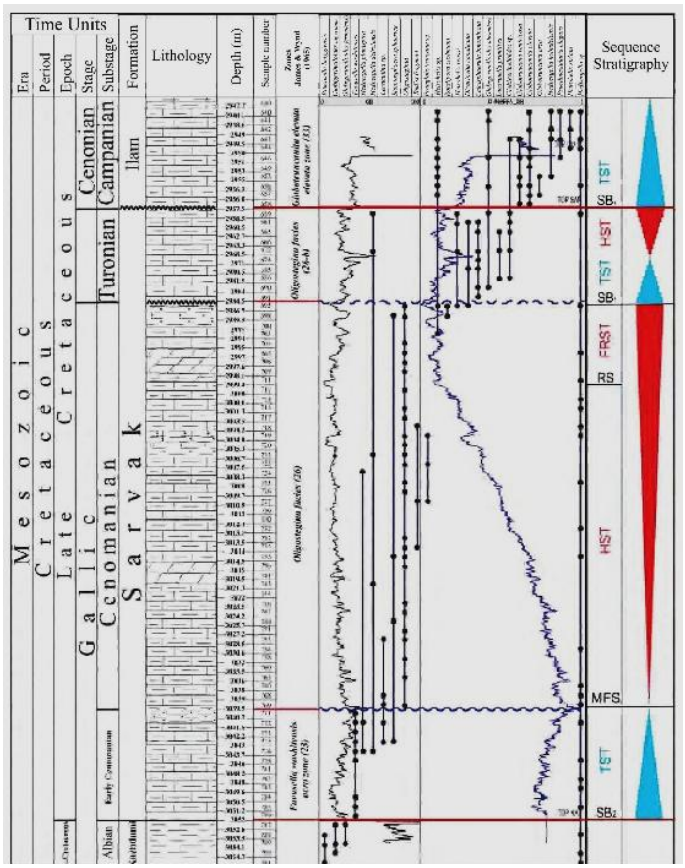
زون‌بندی سازند سروک

سنگ‌شناسی این سازند بیش‌تر از دولومیت متوسط دانه با رنگ قهوه‌ای روشن در بخش بالایی و بیومیکرایت فسیل‌دار اندکی دولومیتی شده با رنگ خاکستری و قهوه‌ای روشن و بیومیکرایت رس‌دار در بخش پایینی است. چاه‌های شمارهٔ او ۲ به‌طور کامل در سازند سروک حفاری شده‌اند. ستبرای سروک در چاه شمارهٔ ۱ هندیجان برابر ۱۹۷ متر و در چاه شمارهٔ ۲ برابر با ۱۵۴ متر است. ستبرای سروک به‌سوی شمال و شرق افزایش می‌یابد. سازند سروک، بر پایهٔ داده‌های نگارهای GR، CNL و FDC به چهار زون بخش‌بندی می‌شود: سروک ۱ سروک ۲ سروک ۳ سروک ۴.

الف) سروک ۱. در این میدان، در همهٔ چاه‌ها به جز هندیجان با سنگ آهک شناخته می‌شود. این زون در پیرامون چاه۱۰# هندیجان فرسایش یافته است. ناحیهٔ دگرشیبی به‌وسیله مرزی که از همبری قاعده گورپی بر پایهٔ افق آسماری نمایان است. این زون دربرگیرنده لایه‌های سنگ آهک همراه با دولومیت میان لایه‌ای است. اشباع

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

میانگین آب، با روی‌کرد به نگارهای پتروفیزیکی، در این زون مقدار بالایی دارد. حفراتی که در میانه‌های این زون قرار دارند دربردارندهٔ اندکی هیدروکربور هستند. ستبرای چینه شناختی میانگین سروک ۱ در چاه‌های هندیجان، برابر با ۲۴ متر است.



شکل ۴. ستون چینه‌شناسی سازند سروک در چاه HD-۱۰ واقع در میدان هندیجان (گزارش شرکت ملی نفت فلات قاره)

ب) سروک ۲. این زون دربرگیرنده لایهٔ دولومیتی متخلخل و همگن، با کیفیت مخزنی خوب است. ستبرای میانگین زون سروک ۲ برابر با ۲۵ متر است. مقدار اشباع آب در این زون، کم‌تر از زون سروک۱ است.

پ) سروک ۳. این زون با اندکی سنگ آهک آغاز می‌شود. این زون در برگیرنده دولومیت و میان لایه‌های سنگ آهک، به‌ویژه در نیمه بخش پایینی است. نیمه بخش پایینی این زون، دارای اشباع آب بالایی است. چاه‌های موجود در میدان هندیجان به‌طور کامل در این زون حفاری شده‌اند. ستبرای چینه شناختی میانگین سروک ۳، در چاه‌های هندیجان برابر با ۶۲ متر است.

ت) سروک ۴. این زون درر گیرندهٔ لایه دولومیت کلسیتی است. شرایط مخزنی در این زون، خوب نیست. ستبرای چینه‌شناختی میانگین سروک ۴، در چاه‌های هندیجان برابر با ۸۵ متر است.

پوش‌سنگ با لیتولوژی تبخیری (انیدریتی و ژیپس) در میدان مطالعه سازند گچساران است. نظر به این‌که سازند بررسی شده در این پژوهش سروک است از این‌رو، سازند گروپی با قرار گرفتن ناپیوستگی بین این دو سازند نقش سیل کنندگی خود را در این میدان ایفا می‌کند.

پی‌سنگ در کمربند زاگرس فاقد هر گونه رخنمون است و فرض غالب بر این است که پی سنگ زاگرس ادامهٔ‌سپر عربی با جنس آذرین دگرگونی با سن پرکامبرین باشد (بهرودی، ۲۰۰۳). وجود گسل‌های پی سنگی قدیمی با سن

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

پرکامبرین و پالئوزوئیک و با روندهای مختلف در پی سنگ صفحهٔ عربی اثبات شده است (علوی، ۲۰۰۷) صفحهٔ عربی در زمان‌های مختلف تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی قرار گرفته و در نتیجه این نیروها، گسل‌ها و خط واره‌های قدیمی با روندهای مختلف روی صفحهٔ عربی مجددا فعال شده‌اند (عبدالهی فرد، ۲۰۰۶). گسل هندیجان-ایذه از جمله خطواره‌های پی سنگی با روند تقریبی شمال شمال شرق -جنوب-جنوب‌غربی است. پس از تشکیل کوه‌زاد زاگرس (از اواخر کرتاسه تا به امروز)، خط واره‌های پی‌سنگی در حاشیهٔشمالی صفحهٔ عربی و از جمله گسل هندیجان-ایذه، تحت تأثیر این کوه‌زاد قرار گرفته‌اند و متقابلاً آرایش چین‌خوردگی‌های زاگرسی نیز از این گسل‌ها اثر پذیرفته است (بربریان، ۲۰۰۹ ؛ داودی، ۱۳۹۰).

گسل هندیجان ایذه از جنوب صفحهٔعربی (کشور عربستان) شروع می‌شود و میدان نفتی صفانیا که بزرگ‌ترین میدان نفتی فراساحل (دریایی) جهان و دومین میدان نفتی عربستان است روی این روند واقع شده است. هم‌چنین میدان نفتی آرش (مشترک بین ایران و کویت) و میادین نوروز، هندیجان و بهرگانسر روی این بلندا شکل گرفته‌اند. ساختمان تنگو واقع در دشت آبادان، آخرین ساختمان در جلوی گسل پیشانی زاگرس است که هنوز در برابر کوه‌زاد زاگرس مقاومت کرده و روند گسل هندیجان را نشان می‌دهد. هم‌چنین عملکرد حال حاضر گسل هندیجان-ایذه باعث چرخش در نوار ساحلی در محل آن شده است (طیب حسینی . همکاران، ۹۶). پس از ساختمان تنگو، گسل هندیجان ایذه مسیر خود را در زیر ساختمان زاگرسی رگ سفید ادامه می‌دهد اما پیگیری مسیر آن دشوار می‌شود. با این حال اثر عملکرد راست بر این گسل با پیچش دماغهٔغربی ساختمان رگ سفید به‌سمت شمال مشخص است. در ادامه، این گسل از بین ساختمان‌های آغاجاری و پازنان عبور می‌کند و روند آن با چرخشی پادساعت گرد بیش‌تر به‌سمت شمال متمایل می‌شود (از آزیموت حدود ۱۵ درجه به حدود ۷ درجه می‌رسد). شاید بتوان تصور کرد که گسل ایذه در این ناحیه به دو بخش تقسیم می‌شود که البته این نظر نیاز به بررسی‌های تکمیلی دارد.

روش انجام پژوهش

مبانی نظری ژئومکانیک

ژئومکانیک[1] علمی است که به شناسایی، مدل سازی و کنترل تغییر شکل سنگ‌ها می‌پردازد. آگاهی از این تغییر شکل‌ها در مدیریت ریسک اهمیت دارد. بررسی رفتارهای سنگ مخزن با توجه به‌ویژگی‌های فیزیکی آن می‌تواند الگویی از تعادل سنگ را نشان دهد. دخالت‌های انسانی مانند حفاری، تولید و یا تزریق باعث بر هم‌خوردن تعادل موجود در ساختار سنگ می شود. نتایج این تغییرات را می‌توان تحت عنوان مکانیک سنگ بررسی کرد (زوبک و همکاران، ۲۰۰۷). از طرف دیگر استفاده از مکانیک سنگ برای محیط‌های زیرزمینی ژئومکانیک نامیده می‌شود (فجیر و همکاران، ۲۰۰۹). با وجود پیشرفت سریع علوم و اطلاعات در پژوهش‌های مهندسی مخازن نفت وگاز، بررسی‌های ژئومکانیکی هنوز به‌عنوان یک مرحله اصلی شناخته نشده و حلقهٔ مفقوده بسیاری از این پژوهش‌ها به‌ویژه در مناطق با پیچیدگی‌های زمین ساختاری است. به‌دلیل این‌که زمین یک محیط پویا است و درمناطق و اعماق مختلف زمین تغییرات بسیار وسیع است، تقریباً هر پژوهشی که در این زمینه انجام می‌گیرد با نتایج جدید و راه‌گشایی همراه است و می‌تواند سهم به‌سزایی در پیش‌برد اهداف بررسی‌های ژئومکانیکی داشته باشد (افسری و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی

1. geomechanics

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

پژوهش‌های ژئومکانیک به بررسی رفتار و کرنش مصالح در مقابل تنش وارده بر آنها و عوامل مؤثر بر این اندرکنش می‌پردازد. در واقع علم ژئومکانیک فصل مشترک علوم مکانیک سنگ، زمین‌شناسی ساختمانی و ژئوفیزیک است.

در بررسی‌های ژئومکانیک با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک درون‌چاهی، بزرگا و راستای تنش‌های وارده به مخزن در محل چاه تخمین زده می‌شود. تنش‌های وارده به یک نقطه از چاه شامل: تنش قائم، تنش‌های افقی حداقل و حداکثر و فشارهای القایی زمان حفاری است. از تنش‌های القایی زمان حفاری که قابل کنترل به‌وسیلهٔ سیستم حفاری است می توان به تنش فشار گل حفاری و تنش حرارتی حاصل از اختلاف دمای سیال حفاری و دمای محیط چاه را نام برد.

تعریف برخی واژگان تخصصی ژئومکانیک:

مدول یانگ: مدول یانگ عبارت است از نسبت تنش به کرنش .از آن‌جاکه تنش از جنس فشار است و کرنش کمیتی بی‌بعد است، مادیولس یانگ نیز از جنس فشار بوده است و واحد آن در سیستم SI پاسکال است. مدول یانگ سنگ همانند مقاومت با توجه به نرخ بار وارده می‌تواند از نوع استاتیکی یا دینامیکی باشد. مدول الاستیسیته دینامیکی بیش‌تر از استاتیکی است ولی هرچه سنگ مقاومت بیش‌تری داشته باشد این دو مقدار به هم نزدیک‌ترند .

نسبت پواسون: نسبت کرنش جانبی (عرضی) به کرنش محوری (طولی) را نسبت پواسون یا ضریب پواسون گویند.

فشار منفذی: فشار منفذی به‌صورت فشار سیال داخل حفرات سازند تعریف می‌شود که به‌عنوان فشار سازند شناخته می‌شود. زمانی که فشار منفذی با فشار هیدرواستاتیک برابر باشد فشار منفذی به‌صورت نرمال است. آگاهی از این فشار برای هزینه‌های حفاری، ایمنی چاه و پیش‌گیری از خطرات احتمالی ضروری است.

تنش: به‌طورکلی تنش برجا در مخازن زیر زمینی شامل سه گروه می‌شود که عبارتند از:

تنش غیر تکتونیکی روباره یا قائم

تنش‌های تکتونیکی

تنش سیالات و حرارتی

در ساده‌ترین حالت،تنش به‌صورت نسبت نیرو با سطح مؤثر تعریف می‌شود.

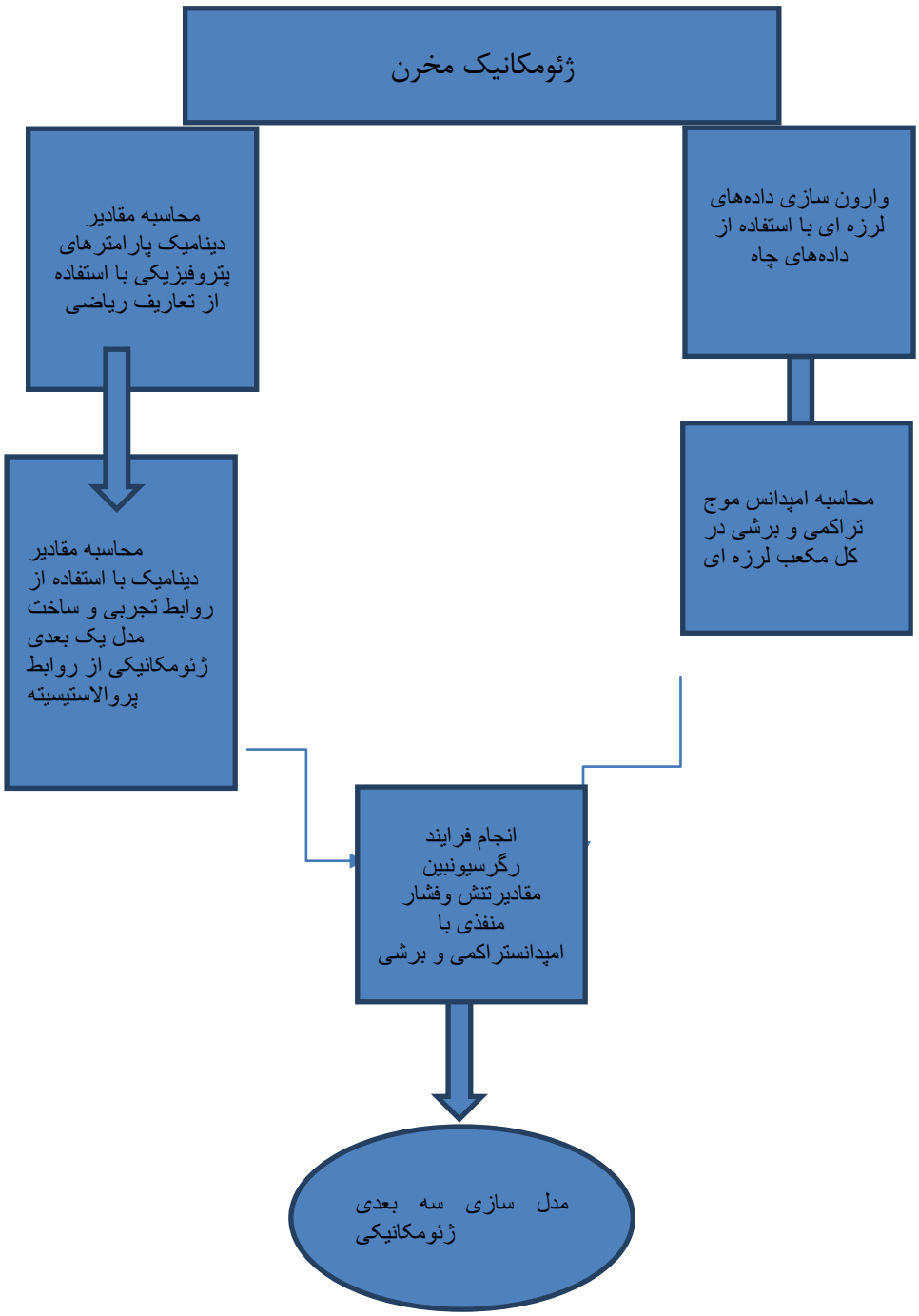
داده‌های بررسی شده

در این پژوهش، داده‌های به‌کار برده شده برای یک مخزن نفتی در خلیج فارس است که ساختار آن یک تاقدیس کوچک با روند محور شمالی- جنوبی است. داده‌های برداشت شده، در این میدان شامل ۱۷ خط برداشت به‌صورت سه‌بعدی است که در این بررسی از ۴۵۰ اینلاین و ۳۷۱ کراس‌لاین با آزیموت ۰٫۵۷۱۸رادیان نسبت به محور کراس-لاین‌ها، استفاده شده است. محدودهٔ بررسی شده شامل ۷ چاه بوده که از ۴ چاه برای وراون‌سازی (چاه‌های ۱ ،۲ ،۶ و ۷) و از یک چاه(چاه ۷) برای محاسبه رگرسیون استفاده شده است.

داده‌های برداشت شده نیز شامل طیف وسیعی از نگاره‌های چاه است که در این پژوهش از نگارهٔ چگالی و نگارهٔ صوتی برای محاسبه وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. در جدول ۱ اطلاعات مربوط داده‌های بررسی شدهدر این تحقیق آورده شده است. هم‌چنین در شکل ۵ پراکنگی چاه‌های موجود در میدان بررسی شده را مشاهده می‌کنید.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

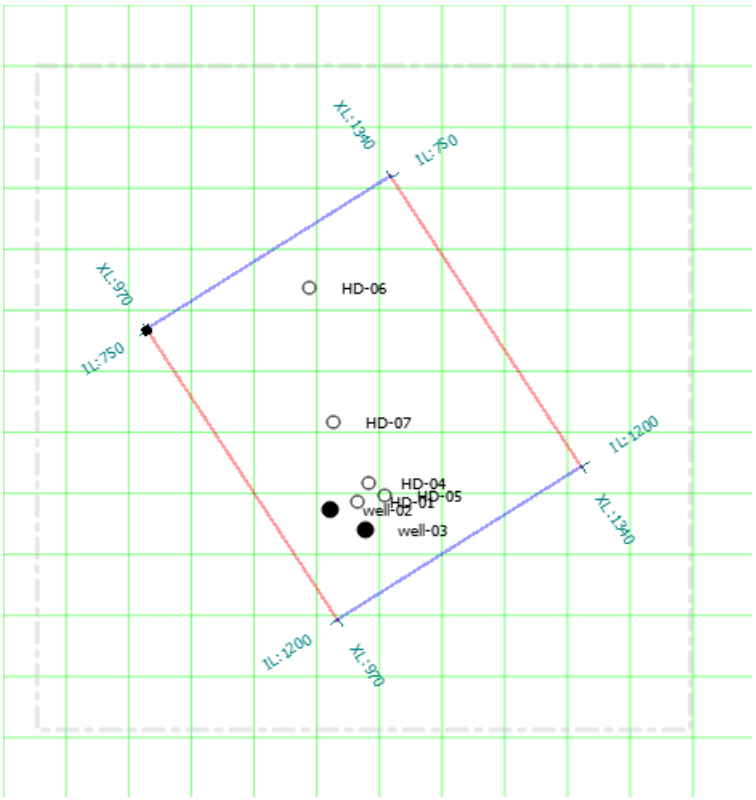
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



مراحل انجام پژوهش در قالب فلوچارت

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۵. موقعیت چاه‌ها در محدودهٔ بلوک مطالعات

جدول ۱. اطلاعات خطوط برداشتی داده لرزه‌ای سه‌بعدی

خط برداشتی	خط آغازین	خط پایانی	نرخ افزایشی	تعداد خطوط	میانگین فاصله بین خطوط	آزیموت خطوط برداشتی
Inline	۷۵۱	۱۲۰۰	۱	۴۵۰	۲۵	۵۷,۲۴۲
Crossline	۹۷۱	۱۳۴۰	۱	۳۷۱	۲۴,۹۹	۱۴۷,۲۴۲

به‌منظور گره‌زدن چاه با داده لرزه‌ای و ایجاد رابطهٔ صحیح میان عمق و زمان رفت و برگشت در محل دو چاه، چک‌شات هر چاه را به نگارهای مربوطه اعمال شده است. این روش از دو لحاظ نسبت به‌روش رد لرزه‌های مصنوعی مبتنی بر لاگ دقیق‌تر است؛ اولاً، چک‌شات‌ها از سطح اندازه‌گیری می‌شوند و ثانیاً، لاگ‌های صوتی خطا و دقت کم‌تر دارند. سپس با توجه به نگارهای چاه و تغییرات در روند لاگ‌های صوتی و چگالی افق‌های لرزه‌ای پیک شده است. مخزن سروک در محدوده ۱۸۵۰ تا ۱۹۴۵ میلی‌ثانیه‌ای قرار گرفته است. در شکل ۶ نگارهای چاه HD-07 نشان داده شده‌اند.

مدل ژئومکانیکی

این مرحله جزء اساسی‌ترین و مهم‌ترین هدف ژئومکانیک است، که پایه پژوهش‌های بعدی است. مدل‌های یک‌بعدی و سه‌بعدی هر کدام دارای کارایی خاص در پژوهش‌ها هستند. که با توجه به نوع آن اهمیت آنها متفاوت است، ولی به‌طورکلی باید گفت مدل یک‌بعدی از ضروریات تمام بررسی‌های ژئومکانیکی در یک چاه است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

شکل ۶. در این شکل نگارهای چاه HD-07 نشان داده شده‌اند.

مدل‌سازی ژئومکانیکی فرایندی است که در آن تغییرات پارامترهای الاستیک و مقاومتی سنگ، در کنار تغییرات تانسور تنش و فشار منفذی، مشخص می‌شود. در مدل ژئومکانیکی یک بعدی تغییرات پارامترهای ذکر شده در راستای طول چاه و در کنار تغییرات ستون چینه‌شناسی مشخص می‌شود.

- جمع آوری و بررسی داده‌های لازم: شامل مشخص کردن محدوده هدف، جمع‌آوری، بررسی و بازبینی داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، پتروفیزیکی، حفاری و تولید چاه بر اساس اهداف تعیین شده و پیش‌بینی سایر داده‌های موردنیاز برای ساخت مدل ژئومکانیکی.
- مشخص‌کردن مرز سازندها بر اساس تغییرات جنس آنها: برخی سازندها داری رفتار دانه‌ای (مانند ماسه سنگ) و برخی دیگر دارای رفتار رسی (مانند شیل) هستند.
- تخمین خصوصیات ژئومکانیکی سنگ؛ این مرحله شامل تخمین خصوصیات الاستیک (مانند مدول الاستیسیته و نسبت پواسون) و خصوصیات مقاومتی (مانند مقاومت فشاری تک‌محوره و مقاومت کششی) و کالیبره کردن آنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی است.
- محاسبهٔ تانسور تنش و فشار منفذی در میدان: در این حالت تنش قائم با استفاده از نگار چگالی به‌دست می‌آید. سپس مقادیر تنش‌های افقی تخمین زده می‌شوند. تنش افقی حداقل را می‌توان بر اساس آزمایش نشت و یا ریزترک[1] به‌دست آورد و در نهایت با استفاده از داده‌های نگار صوتی[2] و یا ناپایداری‌های مشاهده شده در نگارهای تصویری، تنش افقی حداکثر را نیز کالیبره کرد.

در نوع دیگر نمایش مدل ژئومکانیکی که به‌صورت سه‌بعدی است، تغییرات پارامترهای مدل ژئومکانیکی در راستاهای مختلف در فضا قابل مشاهده است. به‌عبارت دیگر مدل ژئومکانیکی سه‌بعدی، تغییرات را در تمام نقاط مخزن و در هر جهتی مشخص می‌کند.

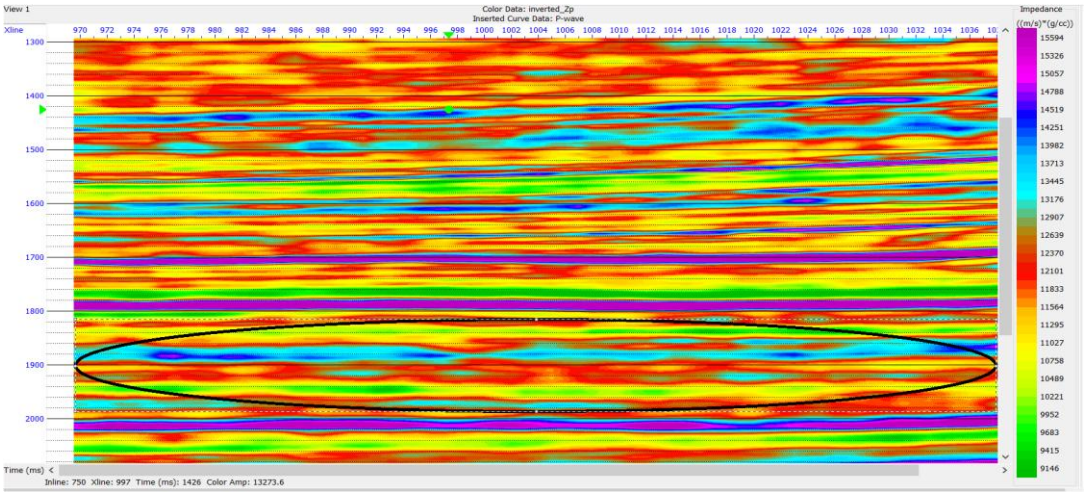
1. Minifrac test
2. Sonic Scanner

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

انجام وارون سازی هم‌زمان

پس از اطمینان از کیفیت پارامترهای ورودی برای حل ماتریس وارون‌سازی در مراحل اولیه وارون‌سازی، وارون‌سازی هم‌زمان را روی تمام حجم داده لرزه‌ای اجرا می‌کنیم. چنان‌که در مرحله ساخت مدل اولیه در وارون‌سازی پارامترهای خروجی وارون‌سازی در محل چاه، شامل امپدانس تراکمی (Z_P)، امپدانس برشی (Z_S) و چگالی (ρ) هستند، در این مرحله نیز خروجی حاصل از وارون‌سازی هم‌زمان، مقاطع این سه پارامتر است. برای این منظور از نرم‌افزار همپسون-راسل[1] استفاده شده است.

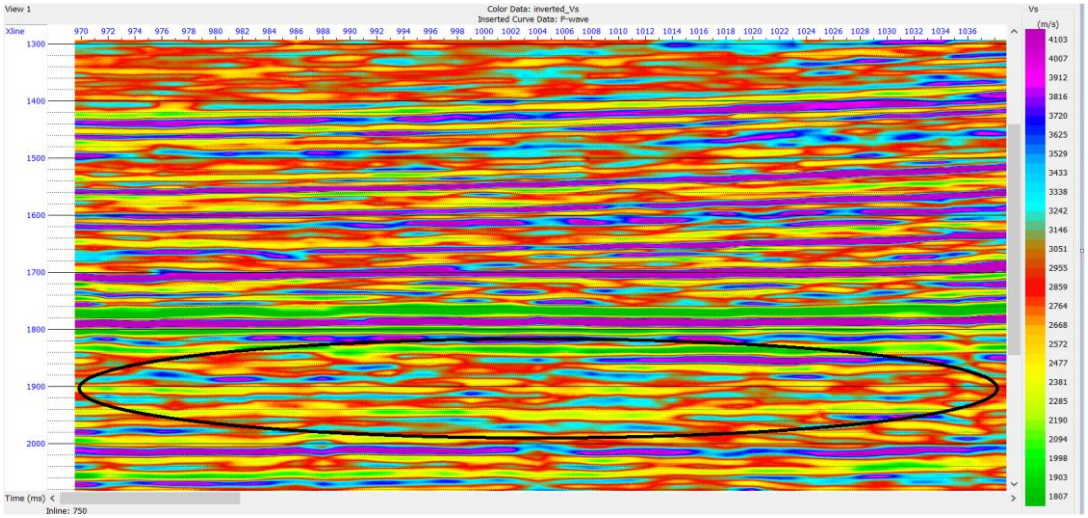
با انجام مراحل قبل تمامی پارامترهای مورد نیاز برای حل معادله وارون‌سازی از روی داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه استخراج می‌شوند. در این مرحله، معادلات سه‌گانه برای به‌دست آوردن مقادیر مقاومت صوتی تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی با استفاده از روش گرادیان مزدوج حل می‌شوند و مقاطع سه پارامتر فوق به‌دست می‌آیند. شکل ۷ مقطع مقاومت صوتی تراکمی به‌دست آمده از حل معادله وارون‌سازی است. به‌علت حضور پوش سنگ انیدریتی در بالای مخزن، شاهد بیش‌ترین مقاومت صوتی تراکمی در این ناحیه هستیم. چنان‌که ملاحظه می‌شود، مقادیر مقاومت صوتی تراکمی در محدودهٔ مخزن (محدودهٔ مشخص شده با بیضی) با کاهش مواجه می‌شوند. علت کاهش مقاومت صوتی تراکمی در محدوده مخزن، کاهش چگالی و سرعت موج تراکمی در هنگام حضور هیدروکربن است. شکل ۸ مقطع مقاومت صوتی برشی به‌دست آمده از وارون‌سازی هم‌زمان را نشان می‌دهد. چنان‌که ملاحظه می‌شود، در محدودهٔ مخزن، مقاومت صوتی برشی کاهش می‌یابد. شکل ۹ نیز مقطع چگالی به‌دست‌آمده از وارون‌سازی هم‌زمان را نشان می‌دهد. هم‌چنین، در محدودهٔ مخزن، چگالی کاهش می‌یابد. هم‌چنین، در محدودهٔ مخزنی سه پارامتر مقاومت صوتی تراکمی، مقاومت صوتی برشی و چگالی با کاهش مواجه می‌شوند. به‌طورکلی حضور هیدروکربن موجب کاهش چگالی می‌شود. البته ذکر این نکته ضروری است که به‌علت آن‌که در مقطع چگالی، تباین بین محدوده مخزنی و خارج از آن، نسبت به مقاطع مقاومت صوتی تراکمی و برشی کم‌تر است، مقادیر چگالی به‌دست آمده از وارون‌سازی هم‌زمان ممکن است دقت زیادی نداشته باشند.



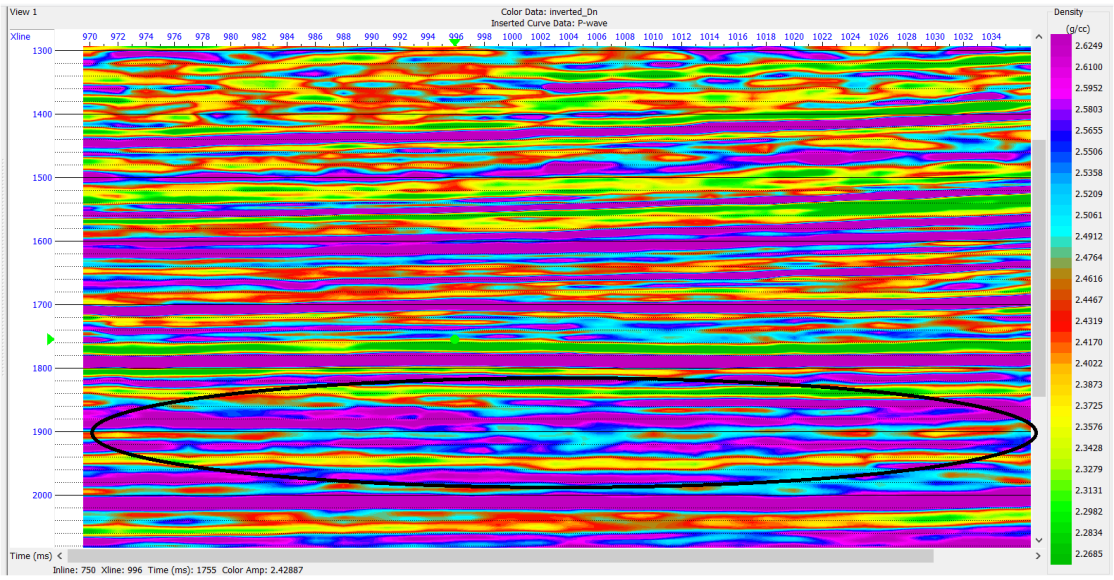
شکل ۷. مقطع لرزه‌ای مقاومت صوتی تراکمی حاصل از وارون‌سازی هم‌زمان. تفکیک مقادیرمقاومت صوتی بر اساس رنگ کاهش‌آن در محدودهٔ مخزن (محدودهٔ مشخص شده با بیضی) را تا حدودی نشان می‌دهد.

1. Hampson-Russell

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۸. مقطع لرزه‌ای مقاومت صوتی برشی حاصل از وارون‌سازی هم‌زمان. تفکیک مقادیر مقاومت صوتی بر اساس رنگ کاهش‌آن در محدودهٔ مخزن (محدودهٔ مشخص شده با بیضی) را تا حدودی نشان می‌دهد.



شکل ۹. مقطع لرزه‌ای چگالی حاصل از وارون‌سازی هم‌زمان

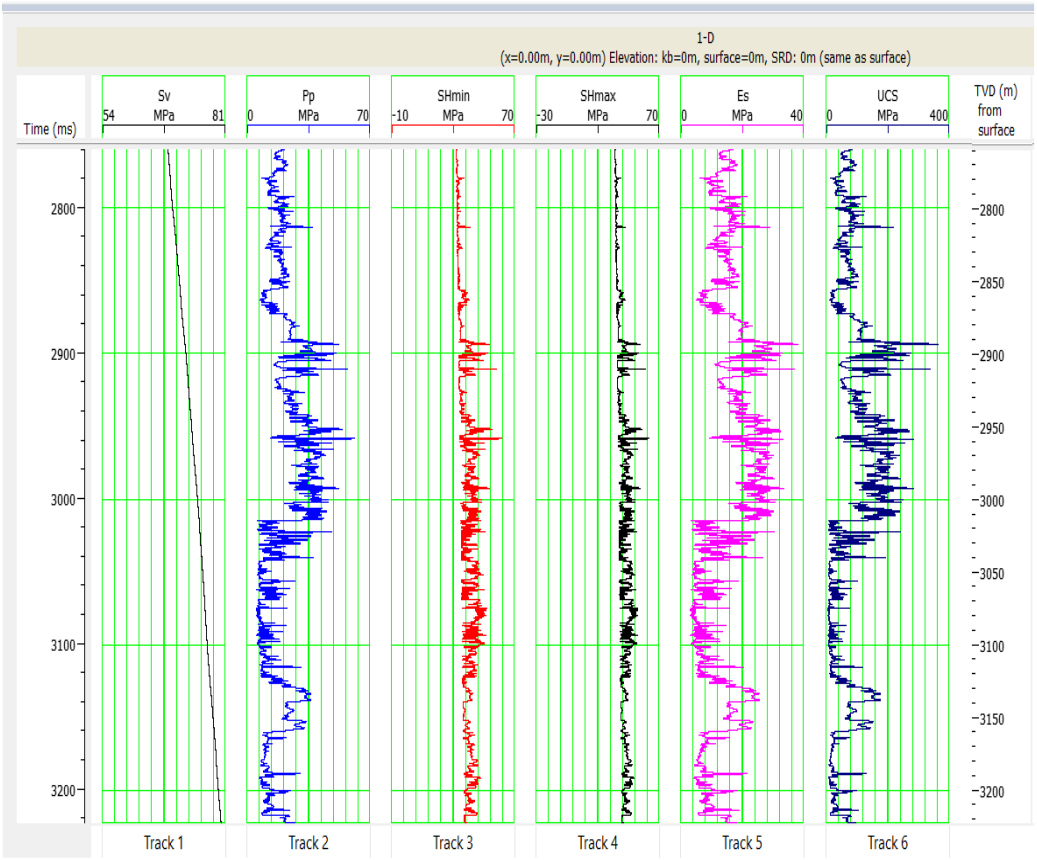
ساخت مدل یک‌بعدی

یک مدل ژئومکانیکی (مدل مکانیکی زمین) (MEM) عبارت است از ارائهٔ عددی ویژگی‌ها و حالت‌های ژئومکانیکی مخزن، میدان و یا حوضهٔ رسوب‌گذاری. علاوه بر بیان توزیع عددی ویژگی‌های سنگ مخزن (مانند تخلل و چگالی) و سیستم شکستگی، مدل ژئومکانیکی شامل فشار منفذی، حالت‌های تنش و ویژگی‌های مکانیکی سنگ است. یک مدل ژئومکانیکی ساده شامل مقاطع عمقی از پارامترهای الاستیک و یا الاستوپلاستیک، مقاومت سنگ و تنش‌های زمین مربوط به مقاطع چینه‌شناسی محلی است.

مؤلفهٔ اساسی یک مدل ژئومکانیکی، اطلاعات در مورد حالت تنش‌های برجا در مخزن است. این مؤلفه دارای اهمیت بسیاری است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

در شکل ۱۰ مدل یک‌بعدی پارامترهای ژئومکانیکی در چاه HD-07 در شرایط مخزن محاسبه شده است. برای محاسبهٔ مدل یک بعدی از روابط تنش‌ها و کرنش‌های پروالاستیسیته (زوبک (۲۰۰۷)، رابطهٔ فشار منفذی ایتون (۱۹۷۵)، رابطهٔ کندی روند نرمال ژانگ (ژانگ، ۲۰۱۱) و جدول دن بوئر(۲۰۰۶) استفاده شده است.



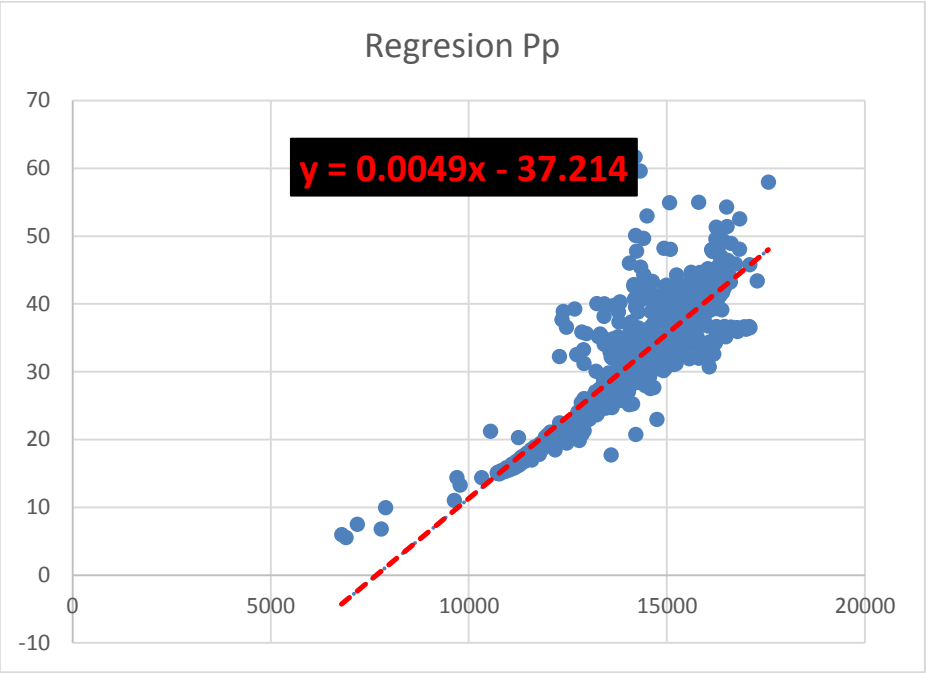
شکل ۱۰. مدل یک بعدی پارامترهای ژئومکانیکی در چاه HD-07 در شرایط مخزن

ساخت مدل سه‌بعدی

پس از ساخت مدل یک‌بعدی ژئومکانیکی و انجام وارون‌سازی لرزه‌ای، نتایج حاصل ترکیب و مدل سه‌بعدی ژئومکانیکی ساخته شده است. برای این منظور ابتدا در محل چاه آنالیز انجام، خواص مکانیکی زمین با خواص لرزه‌ای از جمله مقاومت صوتی تطابق داده شده و سپس نتایج این تطابق در کل مکعب لرزه‌ای اعمال شد.

برای مدل‌سازی فشار منفذی به‌صورت سه‌بعدی یکی از چاه را که مدل یک‌بعدی در آن‌ساخته شده است برای انجام عمل رگرسیون‌گیری انتخاب می‌شود، چون در افق لرزه‌ای مقدار تغییر امپدانس صوتی برای هر سازند روند تقریباً یکنواختی دارد، در محل چاه رگرسیون، بین امپدانس صوتی با فشار منفذی برای هر سازند (در این پژوهش سازند مخزنی سروک) رگرسیون گرفته شده، سپس مناسب‌ترین معادله از این رگرسیون استخراج شده است. در نتیجهٔ حاصل از این فرایند دیده می‌شود.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۱۱. رگرسیون فشار منفذی در مقابل امپدانس صوتی در سازند مخزنی.معادله خط روند برای تخمین سه بعدی فشار منفذی استفاده شده است.

سپس معادلهٔ خط روند حاصل از رگرسیون بر روی داده لرزه‌ای وارون‌سازی شده اعمال شده است. با توجه به این‌که مقدار امپدانس صوتی از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای به‌دست آمده است، با قرار دادن آن به‌عنوان ورودی، خروجی فشار منفذی به‌صورت سه‌بعدی به‌دست آمده است. در شکل ۵ مکعب سه‌بعدی فشار منفذی که به این روش محاسبه شده است، دیده می‌شود.

سپس این روش برای محاسبه سایر پارمترها در سه بعد اعمال شده و مدل سه‌بعدی آن‌ها استخراج شده است که در این تحقیق، این موضوع برای فشار منفذی و تنش افقی حداقل و حداکثر انجام شده است.

با توجه به افق‌های پیک شده در این میدان، سازند مخزنی سروک در عمق زمانی ۱۸۵۰ تا ۱۹۴۰ میلی‌ثانیه قرار دارد، با توجه به شکل مقدار فشار منفذی در این سازند تقریباً ۲۴ مگاپاسکال است که با مقدار میانگین آن در چاه که ۲۵ مگاپاسکال است اختلاف زیادی ندارد.

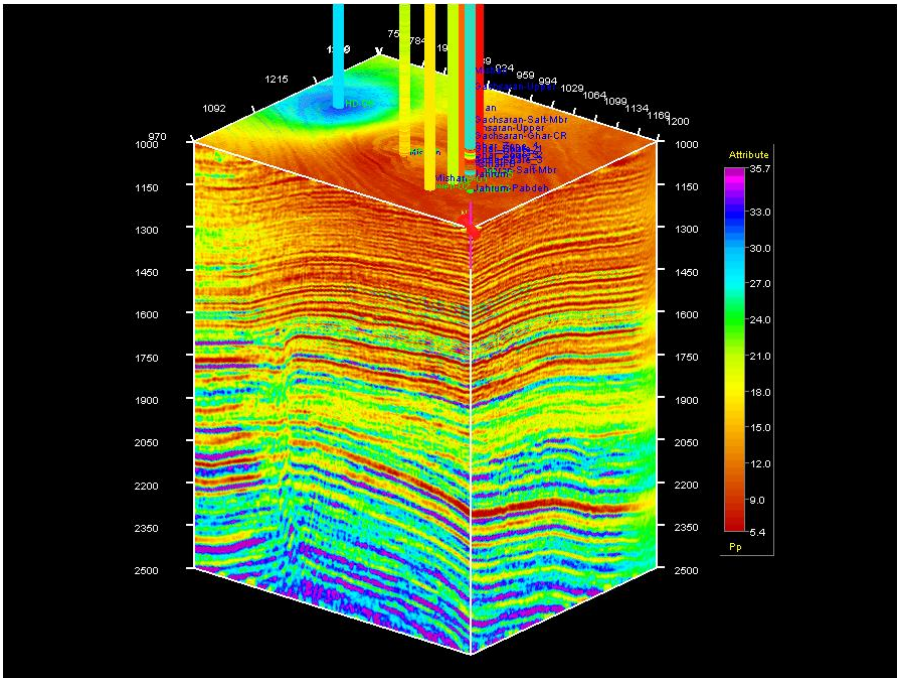
در ادامه،این روش برای تنش‌های افقی حداقل و حداکثر نیز به‌کار برده شده است که مدل سه‌بعدی تخمین تنش افقی بیشینه بر حسب مگاپاسکال، مدل سه بعدی تخمین تنش افقی کمینه بر حسب مگاپاسکال و شکل رگرسیون‌های آنها در شکل‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۵ نشان داده شده است.

تعیین رژیم گسلش منطقه

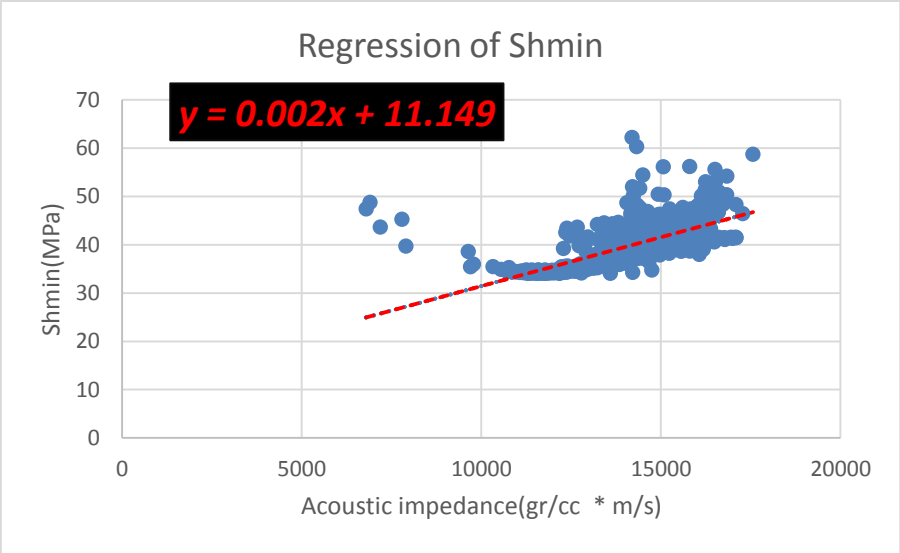
چنان‌که توضیح داده شد با توجه به طرح طبقه‌بندی اندرسون (اندرسون، ۱۹۰۵) بر اساس ارتباط بین انواع تنش‌ها می‌توان رژیم گسلش در منطقه را مشخص کرد در جدول ۱ میانگین مقادیر تنش‌های افقی و نرمال آورده شده است.

بر اساس طبقه‌بندی نظریه گسل اندرسون، با توجه به این‌که $Shmin < Shmax < Sv$ است، رژیم گسل در محدودهٔ بررسی شده نرمال است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



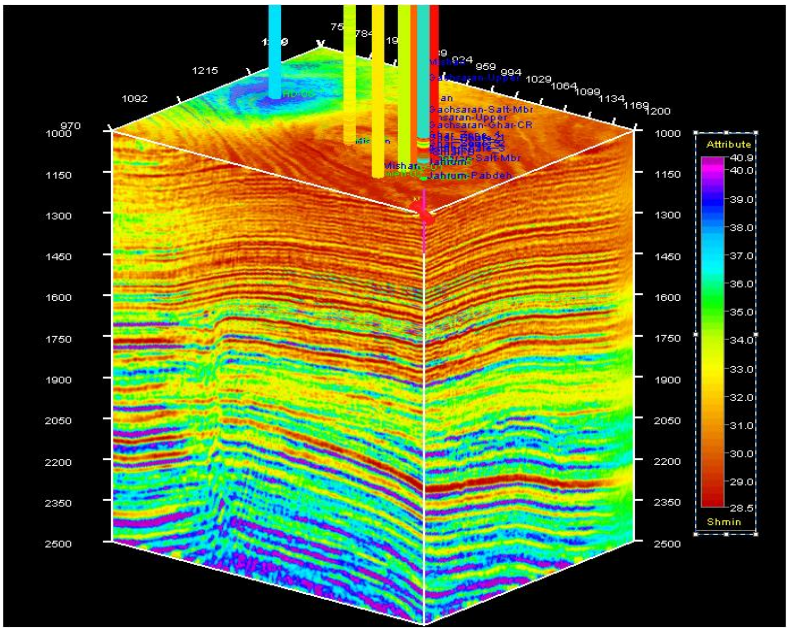
شکل ۱۲. مدل سه‌بعدی تخمین فشار منفذی‌بر حسب مگاپاسکال. سازند مخزنی(سروک) از لحاظ زمانی در فاصلهٔ ۱۸۵۰ تا ۱۹۴۰ میلی‌ثانیه قرار دارد.



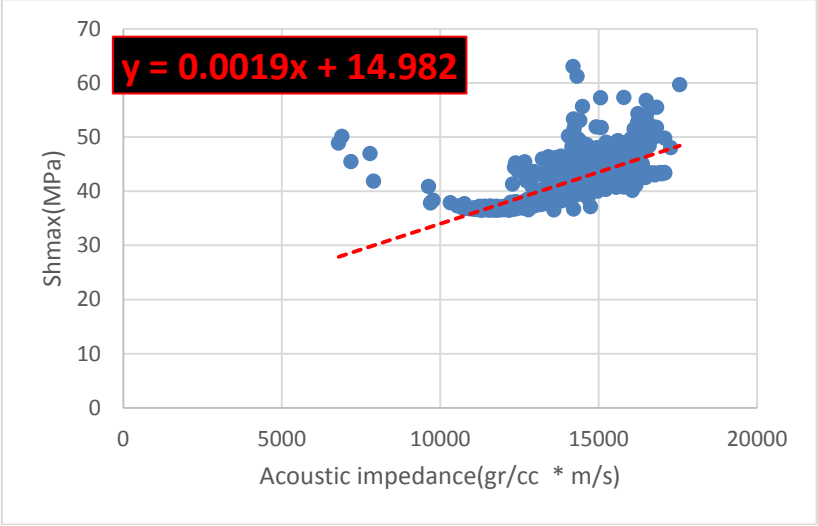
شکل ۱۳. رگرسیون تنش افقی حداقل در مقابل امپدانس صوتی در سازند مخزنی.معادله خط روند برای تخمین سه بعدی تنش افقی حداقل استفاده شده است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل۱۴. مدل سه‌بعدی تخمین تنش افقی حداقل بر حسب مگاپاسکال



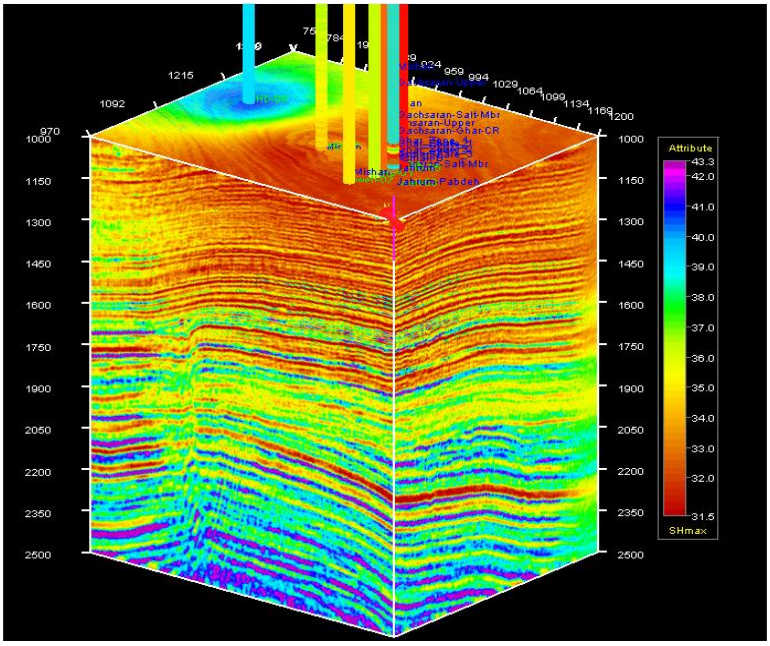
شکل ۱. رگرسیون تنش افقی حداکثر در مقابل امپدانس صوتی در سازند مخزنی. معادلهٔ خط روند برای تخمین تنش افقی حداکثر استفاده شده است.

جدول۲. مقایسهٔ میانگین مقادیر تنش‌های برجا

تنش	Sv(MPa)	SHmax(MPa)	Shmin(MPa)
میانگین مقادیر	۶۸,۲۴۳	۳۹,۹۷۱	۳۷,۹۰۷

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]



شکل ۱۶. مدل سه‌بعدی تخمین تنش افقی حداکثر بر حسب مگاپاسکال

نتیجه‌گیری

- با اجرای عملیات وارون‌سازی سه مقطع امپدانس تراکمی، امپدانس برشی و دانسیته به‌عنوان خروجی به‌دست می‌آید. هر سه پارامتر در محدودهٔ مخزن هیدروکربنی سروک کاهش را نشان داد. امپدانس تراکمی از مقدار ۱۵۰۰۰ متر بر ثانیه در گرم بر سانتی‌متر مکعب، سازند گروپی نقش سیل کنندگی خود را بین سازندهای گچساران و سروک به‌عنوان پوش سنگ ایفا میکند، در بازهٔ ۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ در محدودهٔ مخزن ماسه‌سنگی حاوی سیال کاهش پیدا کرده است. امپدانس برشی در بازهٔ ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ در پوش‌سنگ، در بازهٔ ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ در مخزن کاهش داشته است.
- میانگین تنش افقی حداقل در چاه رگرسیون (HD-07) حدود ۳۷٫۵ مگاپاسکال است. بر اساس خروجی‌های سه‌بعدی در این تحقیق، میانگین این مقدار در سازند سروک (سازند مخزنی) در حدود بازهٔ ۳۶ تا ۳۷ مگاپاسکال است که می‌توان نتیجه گرفت که روش به‌کار رفته در این تحقیق نتایج رضایت‌بخشی را حاصل کرده است. هم‌چنین میانگین تنش افقی حداکثر در چاه مذکور حدود ۳۹ مگاپاسکال است و در سازند مخزنی در حدود بازه ۳۷ تا ۳۸ مگاپاسکال است.
- میانگین فشار منفذی در چاه رگرسیون (HD-07) در حدود ۲۷ مگاپاسکال است که این مقدار در سازند مخزنی در حدود بازهٔ ۲۵ تا ۲۶ مگاپاسکال است.
- بر اساس طبقه‌بندی نظریه گسل اندرسون، با توجه به این‌که $Shmin < Shmax < Sv$ است، می‌توان نتیجه گرفت که رژیم گسل در محدودهٔ بررسی شده نرمال است.
- با توجه به نتایج عددی این پژوهش تکتونیک نمک را می‌توان موجب تغییر رژیم تکتونیکی به‌صورت محلی (در اثر فعالیت‌های ساختارهای نمک) دانست.
- با توجه به نوع گسلش راندگی زاگرس و نتایج حاصل از این پژوهش استنباط می‌شود که جهت‌گیری این تنش‌ها با رژیم تنش معاصر در یک جهت نیستند به‌عبارتی جهت تنش بیشینه نسبت به تنش افقی کمینه عکس یکدیگر هستند.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]
[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]

منابع

۱. تدینی م.، اشتری ا.، "اهمیت مطالعات ژئومکانیک در بخش‌های مختلف صنعت نفت"، ماهنامهٔ علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شمارهٔ ۱۰۶ (۱۳۹۲).

۲. داودی ز، یساقی ع، "تأثیر فعالیت پهنه هی گسلی عرضی ایذه بر دگریختی‌های پوشش رسوبی در زاگرس چینخورده-رانده"، مجلهٔ علوم زمین، شمارهی بیستم- (۱۳۹۰) ۷۱-۸۰.

۳. شریفی ج.، سکوتی دیارجان م، ر.، ابراهیمی م .،حافظی مقدس ن .، "ارایه مدل مکانیکی زمین جهت اهداف ژئومکانیکی با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی"، نهمین همایش ملی زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه خوارزمی (۱۳۹۵).

۴. شریفی ج.، سکوتی دیارجان م.ر.، "مطالعه موردی انجام آزمایش‌های آلتراسونیک در فشار مخزن و ارایه یک مدل فیزیک سنگ"، سی‌وچهارمین گردهمایی علوم زمین،سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور،۳ الی ۵ اسفند،تهران، ایران (۱۳۹۴).

۵. طیب‌حسینی ف.، سپهوند م.، عبدالهی‌فرد ا.، میری س. ا.، "توصیف گسل هندیجان_ ایذه با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری دوبعدی، داده‌های زمین‌لرزه و اطلاعات زمین‌شناسی ، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شمارهٔ ۱۴۸ (۱۳۹۶).

6. Abdollahie Fard I., Braathen A., Mokhtari M., Alavi S. A., "Interaction of the Zagros Fold–Trust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment", SW Iran, Petroleum Geoscience, 12 (2006) 347-362.
7. Alavi M., "STRUCTURES OF THE ZAGROS FOLD-THRUST BELT IN IRAN", American Journal of Science, 307 (2007) 1064-1095.
8. Anderson E.M., "The dynamics of faulting: Trans", Edinburgh Geol. Soc., 8 (3) (1905) 387-402.
9. Bahroudi A., Talbot C. J.,"THE CONFIGURATION OF THE BASEMENT BENEATH THE ZAGROS BASIN", Journal of Petroleum Geology, 26 (2003) 257-282.
10. Berberian M., "Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics,Najarian Associates", Inc., One Industrial Way West, Eatontown, NJ 07724, USA, 241 (1995) 193-224..
11. Den Boer et al, "From pore pressure prediction to reservoir characterization: a combined Geomechanics-seismic inversion workflow using Trend-kriging Techniques in a deepwater basin", Schlumberger. Houston. USA (2006).
12. Eaton B. A., "The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs", SPE 50th Annual Technical Conference. Dallas. SPE 5544-MS (1975) 1-11.
13. Gray, D., Anderson P., Logel J., Delbecq F., Schmidt D., Schmid R., "Estimation of stress and Geomechanical properties using 3D seismic data: first break volume 30 (2012).
14. Kidambi T., Kumar G. S., "Mechanical Earth Modeling for a vertical well drilled in a naturally fractured tight carbonate gas reservoir in the Persian Gulf", Journal of Petroleum Science and Engineering, 141 (2016) 38-51.
15. Zhang J., "Pore pressure prediction from well logs: Methods, modifications, and new approaches", Vo.108, Issues 1-2 (2011) 50-63.
16. Zoback M. D., "Reservoir Geomechanics: Cambridge University Press", (2007).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-04-25]

[DOI: 10.52547/gnf.6.2.425]