

خلاصه گزارش مدیریتی

۱- مقدمه

شکاف هیدرولیکی یکی از متداول ترین و اقتصادی ترین روشهای تحریک چاه به منظور افزایش تولید نفت و گاز در مخازن با تراوایی کم می باشد. استفاده از این روش باعث غلبه بر مشکلات حفاری و صدمات ناشی از بهره برداری در حول محور چاه می شود که می تواند سطح تولید از چاهها را افزایش دهد. این روش در مخازن شیلی و درون لایه های زغال کاربرد گسترده ای دارد و به طور معمول بکار گرفته می شود. بسیاری از میادین کشور میادین قدیمی اکتشاف شده هستند که با افت تولید بعث رسیدن به نیمه دوم عمر خود (۷۰-۸۰٪) از میادین کشور در نیمه دوم عمر خود) روبرو هستند. برای این منظور، سالانه با افت تولید ۸ تا ۱۳ درصد از توان تولید نفت چاههای ایران روبرو هستیم. یکی دیگر از مشکلات موجود، کیفیت پایین تر مخازن جدید و پیش بینی افت تولید سریعتر از این میادین است. از آنجایی که تکنولوژی شکاف هیدرولیکی روشی مناسب جهت توسعه و تولید اقتصادی از مخازن بدون توجیه اقتصادی کنونی می باشد بنابراین، این تکنولوژی روشی مستعد جهت بهبود استخراج و بهره برداری از ذخائر عظیم هیدروکربوری مخازن بنگستان و خامی در میادین مختلف کشور به حساب می آید. اهداف کلی این پروژه توسعه زنجیره ارزش عملیات شکاف هیدرولیکی در کشور است و بصورت دقیق اهداف کاربردی این پروژه را می توان به شرح زیر ارائه داد.

- بومی سازی دانش فنی-اجرایی فناوری با ورود به مرحله عملیاتی و اجرایی در چاههای منتخب
 - بهبود برداشت و افزایش برداشت از مخازن کم بازده
 - عدم وابستگی و حفظ توان رقابت کشور در مقایسه با کشورهای منطقه و دنیا در تولید از مخازن نامتعارف به عنوان آینده انرژی های فسیلی
 - اشتغالزایی و جلوگیری از مهاجرت جوانان نخبه میهن
- برای یک عملیات موفق شکاف هیدرولیکی علاوه بر تجهیزات سر چاهی مناسب و یکپارچگی ستون چاه، خصوصیات ژئومکانیکی زون های انتخاب شده برای عملیات شکاف هیدرولیکی بسیار حائز اهمیت می باشد. مدل ژئومکانیکی در واقع یک نمایش عددی از وضعیت تنشها و خواص مکانیکی سنگ برای یک برش خاص در یک چاه یا میدان یا حوضه است. تعیین این پارامترها عموماً از طریق اطلاعات حاصل از مغزه های حفاری و استفاده از داده های چاه نگاری امکان پذیر است. دقیق ترین روش جهت تعیین پارامترهای مکانیک سنگ انجام آزمایشات مکانیک سنگی بر روی نمونه های مغزه است. که به دلیل هزینه بر بودن و تعداد محدود نمونه ها، نمی تواند جهت مدلسازی پیوسته لایه های زیرسطحی استفاده شود. بنابراین، عموماً این پارامترها از طریق نگارهای چاه و کالیبراسیون آنها از طریق داده های مغزه تعیین می شوند. در واقع در طول این فرآیند، مطالعات ژئومکانیکی سازند انجام می شود که می تواند جهت بررسی پایداری چاه، تعیین تنش های برجا و اثرات آن بر روی لوله های جداری مورد استفاده قرار می گیرد. بعلاوه، یکی از مهمترین کاربردهای مدلسازی ژئومکانیکی استفاده از داده های آن در طراحی عملیات شکست هیدرولیکی و انتخاب چاه و لایه کاندید برای این عملیات می باشد.

۲- شکاف هیدرولیکی

فرآیند شکاف هیدرولیکی، یکی از روشهای تحریک چاه است که در آن سنگ مخزن با تراوایی کم توسط فشار سیال شکسته می شود. این فرآیند شامل تزریق سیال شکافنده با فشار و دبی بالا به یک چاه می شود که باعث ایجاد ترک در سازندهای عمیق سنگی شده، ارتباط مخزن با چاه بهبود یافته و از طریق آن گاز طبیعی، نفت و آب نمک آزادانه تر جریان می یابند. در حال حاضر استفاده از شکاف هیدرولیکی به عنوان روشی با اثر گذاری بلند مدت و منحصر به فرد در بهبود و ازدیاد برداشت از میادین هیدروکربنی در دنیا در حال توسعه است. بطور کلی دو روش

در اجرای این فناوری عنوان میگردد. تفاوت اصلی این دو روش در نحوه نگهداشت شکاف‌های ایجاد شده با توجه به جنس سنگ و نوع سیال تزریقی تعریف می‌گردد.

۱-۲- شکاف با پروپانت

در این روش، پس از آن که بر اثر تزریق سیال فشار بالا، شکاف ایجاد شده و توسعه یافت، در مرحله‌ی بعد ریز دانه‌های ماسه‌ای یا شنی معروف به "پروپانت" به همراه سیال تزریقی به داخل شکاف فرستاده می‌شود تا بعد از پایان تزریق و کاهش فشار، از بسته شدن شکاف یا شکافهای ایجاد شده جلوگیری شود (شکل ۴-۲). پروپانت‌ها دانه‌هایی با استحکام بالا هستند که بتوانند فشار وارده را تحمل کنند بدون آن که خرد و شکسته شوند. انجام عملیات شکاف با پروپانت به سه طریق انجام می‌شود. در نوع اول اهم در مرحله‌ی ایجاد شکاف و هم در مرحله‌ی بعدی که پروپانت به درون شکاف تزریق می‌شود از یک سیال دارای ویسکوسیتته‌ی بالا استفاده می‌شود. این سیال غالباً با اضافه کردن ژل، پلیمر و کراس‌لینک به سیال پایه ایجاد می‌شود. در نوع دوم اهم برای ایجاد و توسعه‌ی شکاف و هم برای انتقال پروپانت‌ها به درون شکاف از آب استفاده می‌شود.

۲-۲- شکاف هیدرولیکی اسیدی

در این روش، پس از آنکه با تزریق سیال اولیه، شکاف توسعه یافت، یک سیال اسیدی به درون شکاف تزریق می‌شود. اسید باعث خوردگی دیواره شکاف شده و با ایجاد زبری و دندانه در سطوح شکاف (Etching) از بسته شدن مجدد شکاف بعد از برداشتن فشار تزریق جلوگیری می‌کند (شکل ۴-۳). این روش در سازندهای کربناته‌ی گچی، آهکی و دولومیتی انجام می‌گیرد که در اسید انحلال پذیر هستند. استفاده از اسید به جای پروپانت، باعث کاهش ریسک‌هایی مانند جریان یافتن پروپانت به درون چاه و آسیب رساندن به تجهیزات سطحی و درون چاهی، خرد شدن پروپانت‌ها بر اثر فشار و تولید ذرات ریز، جاگیری نامناسب پروپانت‌ها درون شکاف، تغییر ساختار پک پروپانت به مرور زمان و ... می‌شود. از طرف دیگر، در استفاده از اسیدها، به دلیل خاصیت خوردگی بالا، نیاز به استفاده از ابزارهای مقاوم در برابر خوردگی است و همچنین احتمال بسته شدن شکاف نیز بیشتر می‌باشد.

۳- فرآیند طراحی و اجرای شکاف هیدرولیکی

برای اجرای طرح نقشه راه جامعی طراحی شده است (شکل شماره ۱) که از مطالعات در مقیاس میکروسکوپی تا میدان را پوشش داده و در ادامه نتایج مطالعات در طراحی و شبیه‌سازی مهندسی عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از طراحی عملیات فرآیند اجرا بر اساس طراحی مهندسی عملیات انجام خواهد شد. و در انتها عملیات پایش فرک و بررسی نتایج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

^۱Gel fracking

^۲Water frackin

فرایند توسعه تکنولوژی



شکل ۱: فرایند طراحی جامع شکاف هیدرولیکی

۳-۱- مطالعات زمین شناسی

در عملیات شکاف هیدرولیکی به منظور شناخت بهتر میدان و چاه، مطالعات زمین شناسی اهمیت بسیار بالایی دارد. برای این منظور مطالعات جامعی از قبیل تکتونیک منطقه، شناسایی گسلها، تعیین مختصات تنشها، لیتولوژی مخزن، بررسی شکافهای طبیعی و مطالعه پارامترهای پتروفیزیکی در این پروژه انجام خواهد شد.

تکتونیک منطقه یکی از کنترل کنندههای اصلی پیچیدگی ایجاد شکاف در چاه، همچنین کنترل کننده مقدار و جهت تنش در میدان هدف می باشد. از نظر تکتونیکی سه رژیم تنش (کششی، تراکمی و امتداد لغز) داریم که هر یک سناریوهای متفاوتی در یک میدان دارند و به عنوان مثال باعث ایجاد گسلهای متفاوتی از نوع نرمال، معکوس و امتداد لغز، و در نهایت کنترل گسترش شکاف هیدرولیکی می شوند. برای شناسایی گسلها و ویژگیهای الاستیک میدان از دادههای سائزیمیک استفاده خواهد شد. بر همین اساس با استفاده از سکشنهای سائزیمیک 2D و 3D در میدان گسلهای موجود، زونهای شکننده و شکل پذیر و مدولهای یانگ و پواسون در مقیاس میدان مطالعه خواهد شد. برای شناسایی مقادیر دقیق این تنشها نیز از تستهای قبل از عملیات اصلی استفاده خواهد شد.

لیتولوژی سازند از جهات مختلفی مانند تاثیر نوع لیتولوژی (کربناته، ماسه سنگی و شیلی) بر مبحث فشار شکست، حضور انواع کانیهای رسی در انتخاب سیال تزریقی و ضخامت سازند هدف در مدلسازی هندسه شکاف حائز اهمیت است. شناسایی کانیهای رسی در عملیات شکاف هیدرولیکی بسیار اهمیت دارد. به این صورت که بعضی از موارد کانیهای رسی در صورت برخورد با آب، خاصیت جذب آب و متورم شدن بسیار بالایی دارند. لذا باید قبل از عملیات شکاف هیدرولیکی حضور یا عدم حضور کانیهای رسی در زون هدف و همچنین نوع کانی رسی در صورت موجود بودن مشخص شود. لذا در این پروژه مطالعات دقیق لیتولوژی مخزن با استفاده از مطالعه مغزهها، تستهای آزمایشگاهی جهت شناسایی دقیق کانیهای تشکیل دهنده و نوع کانیهای رسی و مطالعه مقاطع نازک انجام می شود.

شکافهای طبیعی سنگ تاثیر بالایی در هدایت سیال و همچنین نحوه گسترش شکستگی دارند. ایجاد شکاف هیدرولیکی موجب دوباره فعال شدن شکافهای طبیعی خواهد شد. یکی از روشهای شناسایی شکستگیهای طبیعی آنالیز مغزه می باشد. در این پروژه اطلاعات تخلخل و

تراوایی حاصل از آنالیز مغزه بدست می‌آیند و با استفاده از کراس پلات تخلخل و تراوایی، زون‌های دارای شکستگی طبیعی شناسایی خواهند شد. چنانچه زونی در مخزن منافذ نوع ریز تخلخل (microporosity) داشته باشد یک زون کاندید برای عملیات شکاف هیدرولیکی می‌باشد. با استفاده از لاگ‌های پتروفیزیکی، بسیاری از خواص مکانیک سنگی مانند مدول یانگ و پوواسون، اندیس شکستگی و چگالی شکستگی در امتداد چاه بدست خواهد آمد. همچنین با استفاده از دیگر لاگ‌ها مانند نمودار قطر سنج، محل و جهت ریختگی‌های دیواره چاه، نمودار تصویری موقعیت شکستگی در چاه، شیب و جهت شکستگی، باز شدگی و درصد تخلخل شکستگی محاسبه خواهد شد. علاوه بر این بعد از عملیات شکاف هیدرولیکی از چاه نمودارگیری خواهد شد و تغییرات قبل و بعد از عملیات مورد بررسی قرار می‌گیرد. همین طور نمودار دما یکی از مهمترین نمودارهایی می‌باشد که قبل و بعد عملیات در چاه برداشت می‌شود.

۳-۲- مطالعات ژئومکانیکی

دانش ژئومکانیک به عنوان یکی از اصلی‌ترین شاخه‌ها در مدلسازی و طراحی شکاف هیدرولیکی ایفای نقش می‌کند. نقش ژئومکانیک از تولید داده‌های ورودی برای مدلسازی و طراحی، انتخاب زون‌های کاندید عملیات شکاف هیدرولیکی، تا ساخت و انتخاب مدل‌های ایجاد و رشد شکاف قابل توجه است. داده‌های ورودی ژئومکانیکی با ساخت مدل ژئومکانیکی زمین برای زون یا چاه هدف تولید می‌شود. مدل ژئومکانیکی زمین در واقع یک نمایش عددی از وضعیت تنش‌ها و خواص مکانیکی سنگ برای یک برش خاص در یک چاه یا میدان یا حوضه است. تعیین این پارامترها عموماً از طریق اطلاعات حاصل از مغزه‌های حفاری و استفاده از داده‌های چاه نگاری امکان پذیر است. لذا مطالعات بخش ژئومکانیک عملیات شکاف هیدرولیکی را می‌توان به دو بخش شامل تعیین و تخمین پارامترهای ژئومکانیکی و تعیین زون کاندید برای عملیات تقسیم کرد.

۳-۳- تعیین پارامترهای ژئومکانیکی

در مدلسازی و طراحی شکاف هیدرولیکی پارامترهای مکانیک سنگی، شامل پارامترهای مقاومتی و الاستیک سنگ، چقرمگی شکست سنگ، ضریب شکنندگی سازند، مقدار و جهت تنش‌ها و فشار منفذی مورد نیاز است. دقیق‌ترین روش جهت تعیین پارامترهای مکانیک سنگی انجام تست‌های مکانیک سنگی بر روی نمونه‌های مغزه چاه است، که به دلیل هزینه بر بودن و تعداد محدود نمونه‌ها، نمی‌تواند برای مدل‌سازی پیوسته لایه‌های زیرسطحی استفاده شود. بنابراین، عموماً این پارامترها از طریق نگارهای چاه محاسبه خواهند شد. پس از تخمین پارامترهای مورد نظر، این پارامترها با داده‌های آزمایشگاهی مکانیک سنگی که از داده مغزه بدست آمده است کالیبره خواهند شد. متداولترین نگارها که جهت تخمین پارامترهای مکانیک سنگی استفاده می‌شوند، نگارهای صوتی (سرعت موج برشی و فشاری)، چگالی و تخلخل می‌باشند. با در اختیار داشتن این داده‌ها و استفاده از روابط تجربی مختلف می‌توان پارامترهای مکانیک سنگی لایه‌های زیرسطحی را به صورت پیوسته محاسبه نمود. یکی دیگر از مهم‌ترین پارامترهای ورودی برای مدل‌سازی و طراحی شکاف، تنش‌های برجا و فشار منفذی است که از روش‌های گوناگونی قابل محاسبه هستند. در حالت معمول تنش‌های برجای اصلی شامل یک تنش قائم و دو تنش افقی که یکی از آنها تنش افقی ماکسیمم و دیگری تنش افقی مینیمم خواهد بود. مقایسه بزرگی هر یک از تنش‌های اصلی با یکدیگر به شناسایی رژیم تنش حاکم بر زون مورد مطالعه منجر خواهد شد که شامل سه حالت نرمال، امتدادلغز و معکوس خواهد بود. اصولاً تنش قائم با استفاده از نگار چاه‌پیمایی مانند نگار چگالی بدست می‌آید. برای تخمین مقادیر تنش‌های افقی در چاه قائم، روش‌های متعددی ارائه شده است. یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت اندازه‌گیری تنش برجا، استفاده از روش‌های مستقیم مانند آزمایش نشت^۳ و نشت گسترده^۴ می‌باشد که فشار تزریق معادل تنش اصلی حداقل در نظر گرفته می‌

^۱leakoff test

^۲Extended leakoff test

شود. در کنار روش های اندازه گیری برجا/مستقیم، از روابط پوروالاستیک به دلیل کم هزینه بودن و سرعت در محاسبه مورد استقبال محققین قرار گرفته است که نتایج آن را می توان با نتایج آزمون های برجا نیز مقایسه و کالیبره کرد.

یکی دیگر از مهم ترین پارامترها در طراحی شکاف هیدرولیکی جهت یابی تنش ها خواهد بود که در صورت بروز اشتباه در تعیین آنها یک عملیات شکاف هیدرولیکی می تواند به موفقیت لازم نرسد و یا حتی با شکست روبرو شود. یکی از روش های اصلی تعیین جهت یابی تنش در یک چاه، استفاده از نگاره های تصویری چاه مانند FMI/UBI است. با تعیین جهت درست تنش های زمین مشبک کاری در چاه در جهت بهینه انجام خواهد شد و ایجاد و رشد ترک با کمترین مقاومت پیشروی خواهد کرد و از ایجاد پیچش در شکاف جلوگیری خواهد شد.

۳-۴- تعیین زون های کاندید عملیات

در بخش مطالعات ژئومکانیکی، زون های ژئومکانیکی مشخص خواهند شد. در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای مکانیک سنگی و تنش ها مدل سازی و طراحی شکاف، انجام می شود. تعیین زونهای ژئومکانیکی بر پایه خواص مکانیک سنگی و زون های تنش مناسب در تعیین زون های کاندید برای انجام عملیات شکاف هیدرولیکی نقش دارد. زیرا تعیین زون مناسب از نظر ژئومکانیکی در موفقیت عملیات با ریسک کمتر، تاثیر گذار است. البته باید در نظر داشت که پارامترهای غیر ژئومکانیکی دیگری در تعیین زون کاندید عملیات نقش دارند. پارامترهای ژئومکانیکی از جمله ضریب پوواسون، مدول یانگ، مقاومت فشاری تک محوری، چقرمگی شکست، اندیس شکستگی سنگ و مقدار تنش، پارامترهای ورودی خوشه بندی ژئومکانیکی برای عملیات شکاف هیدرولیکی می باشد. پس انجام روشهای مختلف آماری و خوشه بندی زون های ژئومکانیکی یا عبارتی زون های مناسب که شکنندگی بیشتری دارند و یا زون هایی که میان دو مانع تنش هستند که مانع از گسترش عمودی بیش از اندازه شکاف می شوند شناسایی می شوند. این زونها در امتداد چاه الویت بندی می شوند که در نهایت با در نظر کردن سایر پارامترهای غیر ژئومکانیکی یک زون کاندید برای عملیات انتخاب خواهد شد.

در بخش مطالعات ژئومکانیکی عملیات شکاف هیدرولیکی با تعیین زون کاندید و با محاسبه پروفیل پارامترهای مکانیک سنگی و تنش های برجا، این مقادیر در نرم افزارهای طراحی شکاف هیدرولیکی وارد می شوند و مدل سازی و طراحی شکاف هیدرولیکی در نرم افزارهای مربوطه انجام خواهد شد.

۳-۵- مطالعه پارامترهای مخزنی و بهره برداری

اهمیت داده های مخزنی و بهره برداری از آنجا است که تعیین کننده ی نوع عملیات شکاف (شکاف با طول بیشتر برای سنگ تراوایی کم، شکاف با عرض بیشتر برای شرایط مخزنی با تراوایی بالا) خواهد بود. داده های دما و فشار مخزن می تواند توسط آزمایش های RFT^۶ در ابتدای تولید از میدان، آزمایش های کالیبره کردن مدل که قبل از شروع عملیات اصلی راه اندازی می شود و داده های حفاری نظیر وزن گل یا گل همراه با گاز Gas Cut Mud بدست آید. فشار مخزن از دیگر پارامتر های مهم در محاسبه تنش درجا و پر اهمیت در جریان برگشتی (برگشت پروپانت) از چاه می باشد. به طور کلی در صورت بالا بودن فشار منفذی، میزان فشار شکست کمتر خواهد بود (منجر به کاهش تنش موثر که تحت تاثیر پارامتر های پروالاستیک می باشد می گردد). از طرفی به طور کلی پایین بودن فشار منفذی منجر به نشی بیشتر هم می شود که در نهایت رشد شکاف را تحت تاثیر خواهد گذاشت. تغییر فشار منفذی بین لایه های زمین منجر به تاثیر روی رشد ارتفاع شکاف می

^۵Barrier

^۶Repeat formation test

شود. همچنین این پارامتر روی بازدهی سیال شکاف (در صد مایع باقیمانده در شکاف برای رشد و توسعه شکاف) از طریق اعمال افت فشار (اختلاف فشار شکست و فشار مخزن) و بروز نشتی در شکاف اثر می گذارد.

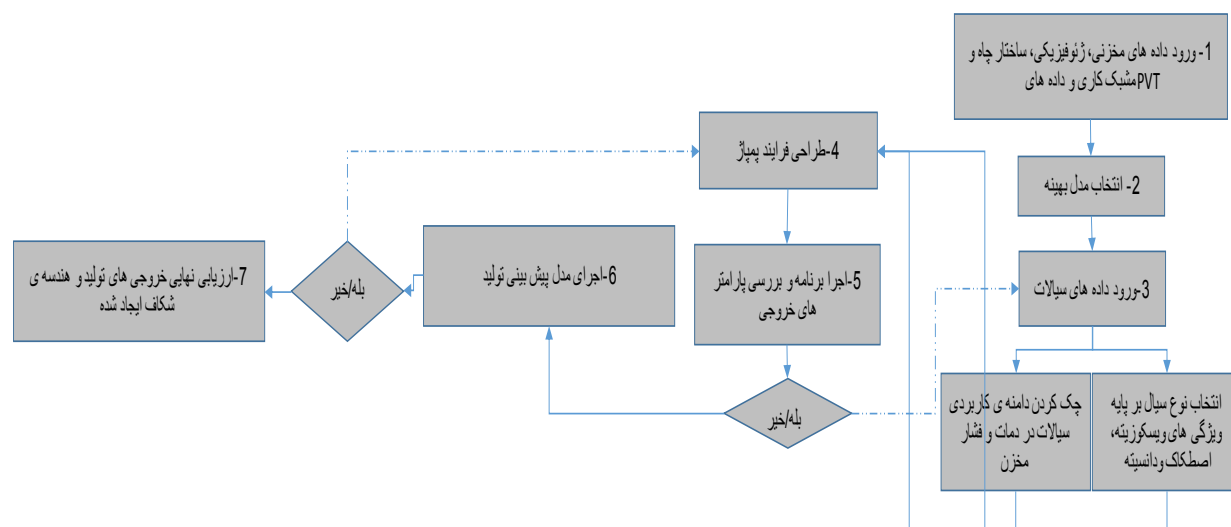
۳-۶- مرحله مهندسی و طراحی

بعد از انجام مطالعات پایه و انتخاب چاه و بازه مورد نظر، مرحله مهندسی شروع خواهد شد. در این مرحله سه فعالیت اصلی شامل مهندسی و طراحی سیالات، شبیه سازی و طراحی فرایند شکاف هیدرولیکی و تست های مربوطه و نهایتاً طراحی عملیات شکاف هیدرولیکی برای چاه های انتخاب شده در مرحله قبلی صورت خواهد پذیرفت. در ادامه هر کدام از این مراحل به تفصیل آورده شده است.

یکی از بخش های مهم انجام عملیات شکاف، طراحی و آزمایش کیفی سیالت تزریقی از جهت هم خواهی با نفت مخزن و عدم آسیب به مخزن در اثر تزریق می باشد. طراحی سیال بدین صورت بوده که ابتدا نمونه های نفت مخزن با آب منطقه جهت برر سی ترکیب در صد و خواص شیمیایی در آزمایشگاه ارزیابی شده و سپس بر اساس مطالعات تحقیقاتی و تجربی دستور العمل ساخت سیالات تزریقی برای آزمایش های کنترل کیفی اجرا می شود. فرمولایسون پایه سیالات تزریقی بر پایه آب بوده و یک سری افزودنی های شیمیایی بر اساس آزمایش های مکرر بدست می آید. سپس فرمولاسیون اولیه جهت آزمایش های همخوانی با سیال مخزن، خوردگی، کنترل آهن، عدم تشکیل رسوب و جدایش طبق دستورالعمل های طراحی شده تا جایی اجرا می گردد که به حالت بهینه و سازگار با سیالات مخزنی برسد.

۳-۷- شبیه سازی و طراحی فرایند شکاف هیدرولیکی

روند طراحی شکاف هیدرولیکی به صورت فلوچارت در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. در این روند ابتدا داده ها وارد شبیه سازی می شوند. پارامترهای اصلی نظیر داده های مخزنی، لیتولوژی، داده های تکمیل و مشبک کاری چاه و داده های ژئومکانیکی، داده های ورودی اصلی جهت طراحی می باشند. نتایج کیفیت کنترل شده و وارد مرحله جدید می شود. در هر کدام از مراحل فرایند طراحی می بایست داده های ورودی با اولین خروجی از مدل شبیه ساز، مقایسه و بازبینی شده و مجدداً فرایند مدلسازی انجام گردد.



شکل ۲: روند طراحی شکاف هیدرولیکی

داده های ورودی ساختار سنگ شناسی مخزنی و داده های تراوایی، تخلخل و فشار روباره به همراه دیگر پارامتر از مدل ژئومکانیکی وارد ورودی بخش شبیه ساز شکاف هیدرولیکی می گردد. فشار مخزن در محاسبه تنش درجا اثرگذار بوده و در جریان برگشتی (برگشت پروپانت) از چاه

اهمیت فراوانی دارد. داده های PVT و میزان نسبت گاز به نفت تولیدی و دانسیته نفت تولیدی در آنالیز تولید از چاه شکافدار شده در معادلات جریان به کار برده می شوند و در این قسمت این داده ها وارد مدل می گردند. پس از ورود داده های اصلی، نوع مدل طراحی بر اساس معادلات حاکم بر شکست سنگ و نوع آنالیز گسترش شکاف انتخاب می گردد. بعد از انتخاب مدل شکست به داده های سیالات تزریقی نیاز می باشد. (در یک عملیات واقعی این قسمت در آزمایشگاه طراحی و آنالیز شده و پس از پشت سر گذاشتن تست های لازم بر اساس دستورالعمل های اجرایی آماده استفاده می باشند). بدین منظور از پایگاه داده ی خود نرم افزار شبیه ساز بر اساس شرکت های سازنده ی سیالات می توان انواع سیال ها مختلف پر کاربرد در عملیات شکاف را بر اساس پارامتر های رئولوژی و دانسیته و نرخ واکنش در محدوده ی فشاری و دمایی مخزن انتخاب نمود. پس از انتخاب سیالات لازم برای تزریق، طراحی نحوه ی تزریق از اهمیت بالایی برخوردار می باشد که در این فرآیند، ترتیب سیالات و نرخ تزریق و حجم هر مرحله از تزریق طراحی می باشد.

۴- مورد مطالعاتی (چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز)

میدان نفتی اهواز در جنوب غربی ایران و در فروافتادگی دزفول قرار دارد که دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی، به موازات رشته کوه زاگرس می باشد این میدان نفتی در حاشیه شمال شرقی شهرستان اهواز، بین میداین مارون در شرق، بندکرخه و سوسنگرد در غرب و در بخش های جنوب شرقی و جنوب غربی آن به ترتیب میداین شادگان و آبتیمور واقع شده است و جزء میداین نفتی عظیم محسوب می شود. در این طرح چاه شماره ۵۱۵ میدان که در ضلع جنوب غربی میدان قرار دارد مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس گزارش شرکت نفت مناطق نفت خیز جنوب سازند ایلام به سه زون مخزنی (A, B, C) تقسیم شده است. البته زون C دارای ۳ زیر زون می باشد. در مخزن ایلام زون A و B دارای آب اشباع شدگی بالای ۴۰ درصد بوده اما زون C مقدار آب اشباع شدگی کمتر از ۲۰ درصد می باشد. هدف از حفاری این چاه توسعه یال جنوبی مخزن بنگستان اهواز و تامین نفت مورد نیاز واحد بهره برداری این میدان می باشد. همچنین این چاه به عنوان کاندید بررسی امکان عملیات شکاف هیدرولیکی در سازند سروک انتخاب شده است.

چاه شماره ۵۱۵ اهواز در سازند بنگستان در تاریخ ۱۳۹۸/۰۹/۲ تکمیل شده است. با توجه به برنامه شکاف اسیدی، لایر ۷ اینچ تا انتهای بازه ی حفاری شده رانده شده و رشته تکمیلی ۴،۵ اینچ (فشار کاری ۱۰،۰۰۰ پام) در سازند کریناته ایلام تا عمق ۳۶۷۶ متری تکمیل شده است. لایه تولیدی این چاه در بازه ی ۴۲۰۵-۴۲۴۵ متری مشبک کاری شده است. در مخزن مورد مطالعه زون های پتروفیزیکی (E2, C1-C3, G2, I2) دارای اشباع هیدروکربنی قابل ملاحظه ای می باشند که این زون ها کاندید مناسبی از نگاه پتروفیزیکی هستند. زون ژئومکانیکی B معادل زون های مخزنی C1 و C2 دارای تخلخل بالا بوده (میانگین بالاتر از ۱۵ درصد) بوده و اشباع شدگی نفت بالایی دارد. با توجه به پارامترهای غربالگری، این زون ها می توانند در شرایط موجود به صورت طبیعی تخلیه شوند و نیازی به عملیات شکاف هیدرولیکی در این زون ها وجود ندارد. زون C3، معادل زون ژئومکانیکی C و زون تنشی ۲ نیز می تواند به عنوان یک کاندید برای شکاف هیدرولیکی در نظر گرفته شود. یکی دیگر از زون های دارای تخلخل و اشباع هیدروکربن مناسب زون F و بخش بالایی زون ژئومکانیکی G است که معادل زون مخزنی E2 هستند. این زون معادل زون تنشی شماره ۴ بوده و مناسب عملیات شکاف هیدرولیکی است. بازه بعدی بازه مخزنی G2 است که زون ژئومکانیکی J و K را تشکیل می دهد و معادل زون تنشی شماره ۶ است (شکل ۲-۱۷ تراک ۸). این زون نیز با ارزش پایین تر از زون بالایی مناسب عملیات شکاف هیدرولیکی است. بازه نهایی مناسب از نظر هیدروکربنی، زون مخزنی I2 است. این زون معادل زون ژئومکانیکی M است که کل زون تنشی ۷ را به خود اختصاص می دهد. این زون از تمام جهت (خواص مکانیک سنگی، پایین بودن تنش افقی و مناسب بودن حجم ذخیره و اشباع شدگی) در اولویت اول از نظر عملیات شکاف هیدرولیکی قرار می گیرد.

شبیه سازی عملیات با انتخاب سیالات و طراحی نحوه ی پمپاژ با شبیه ساز FracPro انجام شده و پس از بررسی نتایج حاصله از شبیه سازی، آنالیز حساسیت برای حجم اسید، نرخ تزریق و برنامه پمپاژ سیالات جهت رسیدن به بهینه ترین هندسه ی شکاف ممکن انجام شد. در انتها نرخ تزریق ۲۰ بشکه در دقیقه با توجه محدودیت فشار تزریق و هندسه ی خروجی از شبیه ساز برای ادامه ی طراحی در نظر گرفته شد. جهت انتخاب سیالات تزریقی در نظر گرفتن مقدار ویسکوزیته که در دمای مخزن پایداری داشته باشد از پارامترهای کلیدی انتخاب سیالات برای طراحی می باشد. جهت طراحی شکاف هیدرولیکی در چاه ۵۱۵ از ۴ سیال شامل: پد ویسکوز، اسید، سیال منحرف کنند، سیال جابجا کننده استفاده گردید. این مرحله از طراحی در حقیقت کلید ایجاد هندسه شکاف با تزریق متوالی سیالات مختلف جهت کاهش هرزروی و نفوذ بیشتر اسید به نواحی با تراوایی کمتر می باشد. سیالات تزریقی تحت شرایط مخزن خواص رئولوژی متفاوتی پیدا کرده که با توجه به مکانیسم های هرزروی که در فصل های قبل تر به آن اشاره شده، هرچه هرزروی اولیه و ناگهانی بعد از مرحله ی ایجاد شکاف کاهش یابد، شانس نفوذ بیشتر و بازدهی شکاف بیشتر خواهد بود. بدین منظور در طراحی پمپاژ سیالات، ابتدا سیال شکننده را تزریق کرده که موجب شکست و گسترش سنگ شده و متعاقب آن اسید و VDA به توالی با نرخ ها و حجم های مختلف تزریق شده که موجب خوردگی سطوح مسیر باز شده می شوند.

برای دستیابی به پوشش بهینه نواحی تحت تزریق اسید در عملیات اسیدکاری، معمولاً از نمودار شاخص بهره دهی^۷ در مقابل ضریب پوسته^۸ استفاده می کنند که بهینه مقدار شاخص gal/ft سیالات تزریقی قابل محاسبه باشد. مشکلی که در اینجا پیش می آید این است که این نمودار نقطه بیشینه را نشان نمی دهد و این باعث می شود که تفسیر نمودار به راحتی انجام نگردد. پارامتر دیگری برای این موضوع وجود دارند، به عنوان مثال AOF(pre) / AOF(post) در مقابل ضریب پوسته که با استفاده از داده های مدل سازی چاه به دست می آیند. علیرغم اینکه که این روش اطلاعات خاصی را برای مهندسان تولید نشان می دهد، اما هنوز نمی تواند اطلاعات دقیق مورد نیاز برای شاخص مناسب تزریق را ارائه دهد. با توجه به محاسبات صورت گرفته حجم اولیه تزریق بدست آمده و توالی تزریق با نرخ اولیه ۲۵ بشکه در دقیقه طراحی و اجرا گردید. همانطور که اشاره شد، حجم های اولیه سیالات اسیدی، بر اساس یک سری فرضیات بدست آمده و می بایست متناسب با خصوصیات لایه های مخزنی بهینه سازی گردند. هدف از بهینه سازی، بررسی مناسب ترین حجم تزریق با نرخ تزریق سیالات اسیدی می باشد. بهینه سازی می تواند در چند سطح نظیر، داده های ورودی (احجام ورودی، نرخ تزریق و نوع سیالات و پارامترهای رئولوژی و ..) که می بایست همگی بر یک شاخص هماهنگ اثر کاهشی یا افزایش داشته باشند، انجام می گیرد.

بدین منظور کل حجم اسید و سیال منحرف کننده، نرخ تزریق و همچنین توالی تزریق به عنوان پارامترهایی که در بهینه سازی خروجی شبیه ساز موثر می باشند. پس از سه مرحله بهینه سازی روی پارامترهای موثر در هدایت پذیری شکاف، پیش بینی تولید قبل و بعد از انجام عملیات شکاف با مدلسازی چاه انجام گرفت که طبق گزارش ارسال شده، بیش از ۲ برابر شاخص تولید افزایش یافته است.

^۷Productivity Index (PI)

^۸Skin Factor