



عنوان طرح:

"دستیابی به دانش فنی و اجرایی فناوری شکافت هیدرولیکی"

خلاصه گزارش

کد طرح:

واحد سازمانی مجری: پژوهشکده علوم پایه کاربردی

گروه پژوهشی: زمین شناسی نفت – توسعه میادین نفت و گاز

مسئول اجرای طرح: دکتر کمال خدایی

مهر ماه ۱۴۰۳

فهرست عناوین

فصل ۱: مقدمه	۶
۱-۱- معرفی فناوری	۷
۲-۱- تاریخچه و سیر تحول فناوری	۸
۳-۱- تجربیات گذشته عملیات شکاف هیدرولیکی در ایران	۱۱
۱-۳-۱- شکاف اسیدی در میدان نفتی آذر	۱۱
۲-۳-۱- مطالعات ژئومکانیک پروژه شکاف اسیدی میدان نفتی آذر	۱۲
۳-۳-۱- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-003	۱۳
شرح عملیات	۱۴
۴-۳-۱- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-011	۱۴
۵-۳-۱- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-004	۱۶
۶-۳-۱- شکاف اسیدی در میدان نفتی سیری	۱۷
۷-۳-۱- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره DPH-02	۱۸
۸-۳-۱- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه اکتشافی SIA-01	۱۸
۹-۳-۱- نتیجه گیری:	۱۹
۱۰-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر طراحی مهندسی شکاف	۲۰
۱۱-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر انتخاب و آزمایش سیالات شکاف	۲۰
۱۲-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر فرایند اجرای عملیات	۲۱
۱۳-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر بهبود وضعیت تولید	۲۲
۱۴-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر حفظ یکپارچی چاه	۲۲
۱۵-۳-۱- شاخص موفقیت از نظر تداوم تولید	۲۲
فصل ۲: غربالگری	۲۴

۲-۱- مقدمه	۲۵
۲-۲- پارامترهای فنی	۲۵
۲-۳- پارامترهای غیر فنی	۲۶
۲-۳- روش های غربالگری	۲۷
۲-۴- انجام غربالگری بر روی میادین ایران	۲۷
۲-۵- اولویت بندی مخازن از نقطه نظر فنی	۲۸
۲-۶- اولویت بندی نهایی مخازن	۲۹
فصل سوم: طراحی شکاف هیدرولیکی در چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز	۳۰
۳-۱- زمین شناسی میدان اهواز	۳۱
۳-۲- زون های مخزنی سازند ایلام و سروک در چاه مورد مطالعه	۳۲
۳-۳- عمق سر سازندها	۳۴
۳-۴- مدلسازی ژئومکانیکی	۳۴
۳-۴-۱- داده های مورد نیاز	۳۴
۳-۴-۲- تخمین پارامترهای ژئومکانیکی	۳۶
۳-۴-۳- تعیین زون کاندید برای عملیات شکافت هیدرولیکی از نظر ژئومکانیکی	۳۷
۳-۵- شبیه سازی شکاف چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز	۴۳
۳-۵-۱- مقدمه	۴۳
۳-۶- مدل سازی تولید و ارزیابی شاخص PI قبل و بعد از طراحی شکاف هیدرولیکی چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز	۵۱
۳-۶-۱- مقدمه:	۵۱
۳-۶-۲- فلو چارت کلی ساخت و بهینه سازی مدل تولید	۵۲
۳-۷- ساخت مدل IPR	۵۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: مراحل انجام کار عملیات شکاف هیدرولیکی مخزن ۸
- شکل ۱-۲: تاریخچه فناوری شکاف هیدرولیکی ۱۱
- شکل ۱-۳: موقعیت چاه شماره ۵۱۵ اهواز در نقشه همتراز عمقی بر مبنا مختصات LAMBERT ۳۱
- شکل ۲-۳: داده‌های مورد نیاز در طراحی شکافت هیدرولیکی. داده‌هایی که علامت تیک آبی دارد در طراحی شکافت هیدرولیکی چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز در دسترس بوده است. ۳۶
- شکل ۳-۳: روند انجام مطالعات ژئومکانیکی ۳۷
- شکل ۳-۴: نقشه خود سازماندهی خوشه‌ها را برای چهار پارامتر انتخابی برای خوشه بندی ۳۹
- شکل ۳-۵: پارامترهای مکانیک سنگی استفاده شده برای خوشه بندی، خوشه‌ها، زونهای تعیین شده و نمودار تنش افقی مینیمم به صورت پیوسته ۴۱
- شکل ۳-۶: نمودار اشباع آب - تخلخل با لحاظ خوشه‌های تعیین شده ۴۲
- شکل ۳-۷: فلوچارت کلی طراحی شکافت هیدرولیکی ۴۵
- شکل ۳-۸: توالی تزریق و نرخ‌های تزریق در برنامه پمپاژ سیالات ۴۷
- شکل ۳-۹: فوچارت کلی شبیه سازی مدل تولید چاه ۵۲
- شکل ۳-۱۰: نمودار عملکرد تولید و VLP چاه ۵۱۵ ۵۵

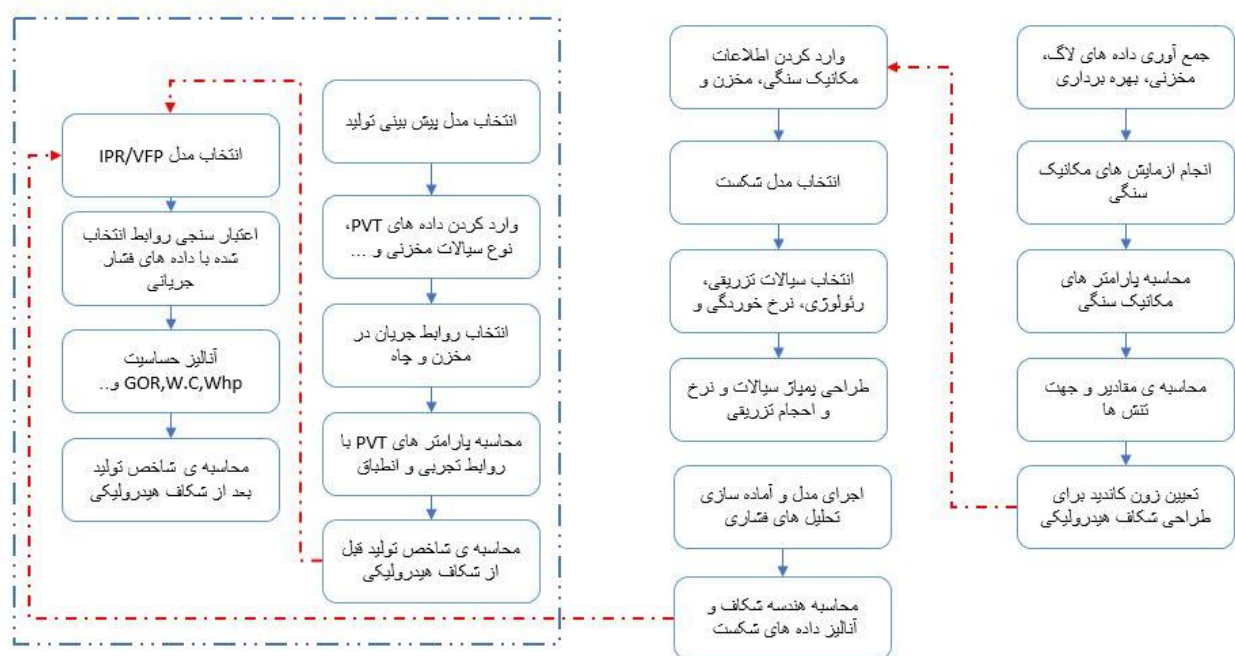
فهرست جداول

- جدول ۱-۱: ارزیابی کیفی موفقیت آمیز بودن عملیات شکاف هیدرولیکی ۲۳
- جدول ۲-۳: گروه بندی مخازن از نظر فنی ۲۸
- جدول ۲-۴: گروه فنی ۱ ۲۸
- جدول ۲-۵: اولویت بندی مخازن ۲۹
- جدول ۲-۷: مخازن میادین نفتی- خشکی با اولویت ۱ ۲۹
- جدول ۳-۱: میانگین خصوصیات پتروفیزیکی در زون های مختلف مخزن ایلام و سروک در چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز. ۳۳
- جدول ۳-۲: عمق سر سازندهای حفاری شده در چاه شماره ۵۱۵ ۳۴
- جدول ۳-۳: پارامترهای مکانیک سنگی استفاده شده در خوشه بندی، میانگین هر پارامتر در خوشه های مختلف .. ۳۸
- جدول ۳-۴ : بهینه سازی حجم تزریقی ۵۰
- جدول ۳-۵: خلاصه وضعیت چاه ۵۱۵ قبل و بعد از انجام شکاف هیدرولیکی ۵۶

فصل ١: مقدمه

۱-۱- معرفی فناوری

شکافت هیدرولیکی یکی از روش های تحریک چاه است که در آن، سنگ مخزن با تراوایی کم توسط فشار سیال شکسته می شود و به این ترتیب ارتباط مخزن و چاه بهبود یافته و از طریق آن گاز طبیعی و نفت آزادانه تر جریان می یابد. امروزه این روش، نقش مهمی در افزایش و حفظ تولید از چاه های نفت و گاز و همچنین در توسعه ذخائر هیدروکربنی متعارف و نامتعارف دارد. بطور مثال، ترکیب فناوری چاه های افقی و شکافت هیدرولیکی، باعث افزایش قابل توجه تولید نفت و گاز طبیعی از سازندهای کم تراوای شیل در سراسر جهان به ویژه کشور آمریکا شده است. همانطور که در بخش تاریخچه فناوری این گزارش بدان اشاره خواهد شد، این فناوری مراحل تکامل و بلوغ خود را سپری کرده است بطوریکه به یک فناوری رایج در صنایع نفت و گاز بسیاری از کشورها تبدیل شده است. امروزه اثر بخشی عملیات شکافت هیدرولیکی آشکارا به اثبات رسیده و طراحان و شرکت های عملیاتی دنیا در پی بهینه سازی عملیات و تجهیزات مورد استفاده برای رسیدن به بیشینه ی عملکرد با صرف کمترین هزینه هستند. برای مثال، با جست و جوی عبارت "Hydraulic Fracturing optimization" در موتور جستجوگر Google Scholar، ۱۱۵،۰۰۰ عنوان نتیجه یافت می شود. با این حال، متأسفانه این فناوری هنوز در کشور ما جایگاهی در صنایع بالادستی نفت و گاز پیدا نکرده است. بطور کلی هدف از این عملیات ازدیاد برداشت در مخازن معمولی و یا تولید هیدروکربن از مخازن نامتعارف می باشد که روند کار در فلوچارت زیر نشان داده شده است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: مراحل انجام کار عملیات شکاف هیدرولیکی مخزن

۲-۱- تاریخچه و سیر تحول فناوری

تاریخچه فناوری شکاف هیدرولیکی را می توان به چهار دوران ذیل تقسیم بندی نمود که در این فصل قصد داریم به تفصیل به آنها بپردازیم.

دوران پیش از شکاف هیدرولیکی (دهه میلادی ۱۹۴۰-۱۸۵۰)

دوران شکاف هیدرولیکی اولیه (دهه میلادی ۱۹۸۰-۱۹۴۰)

دوران شکاف هیدرولیکی مدرن (دهه میلادی ۲۰۰۰-۱۹۸۰)

شکاف هیدرولیکی در قرن بیست و یکم

دوران پیش از شکافت هیدرولیکی (دهه ۱۹۴۰-۱۸۵۰) با توجه به اهمیت دسترسی و استخراج نفت از زیر زمین، شرکت نفت آمریکایی سینیکا در دهه ۱۸۵۰، یکی از مدیران خود با نام ادوین دریک^۱ را برای این کار مامور نمود. با همت این شخص، نخستین چاه تجاری نفت در اواخر این دهه در شهر پنسیلوانیا^۲ در آمریکا حفر شد. پس از آن در کمترین زمان ممکن، پنسیلوانیا محلی مهم برای جویندگان نفت به شمار آمد و دیری نپایید که این منطقه پر از دکل های حفاری نفت شد. ریشه فناوری شکافت هیدرولیکی را می توان به دهه ۱۸۶۰ نسبت داد چرا که در آن زمان، نیتروگلیسرین برای تحریک چاه های کم عمق در سنگ های سخت پنسیلوانیا، نیویورک، کنتاکی و ویرجینیای غربی مورد استفاده قرار می گرفت. در واقع، ایده استفاده از نیترو گلیسرین و ایجاد شبکه های ارتباطی جهت سهولت جریان سیال زیر بنای مفهومی فناوری شکافت هیدرولیکی بوده است. دوران شکافت هیدرولیکی اولیه (دهه ۱۹۴۰-۱۹۸۰) پس از مطرح شدن ایده استفاده از اسید برای تحریک چاه، فلوید فریس^۳ از شرکت نفت و گاز استانولینداویل^۴ شروع به تحقیق بر روی رابطه بازدهی چاه و بهبود فشار در اثر اسیدزنی و تزریق سیمان پرفشار نمود و پس از آن در دهه ۱۹۴۰، وی ایده ایجاد شکاف در سازند برای افزایش تولید نفت و گاز را ارائه نمود. بدین ترتیب در سال ۱۹۴۷، شرکت استانولینداویل برای اولین بار در میدان گازی هوگوتان^۵ در ایالت کانزاس^۶ روش ایجاد شکاف را به کار برد و طی آن در حدود ۱۰۰۰ گالن اسید نفتیک و گازوئیل غلیظ شده با ناپالم (نوعی ماده آتش زا متشکل از بنزین یا پلی استیرن یا نفت، به همراه موادی که به آن ویژگی ژله ای و چسبندگی می دهند) به سازند آهکی حاوی گاز در عمق ۲۴۰۰ فوتی تزریق شد. اگرچه این تجربه ناموفق بود و بازدهی چاه در این مورد به میزان قابل توجهی تغییر نکرد ولی این عملیات را می توان نقطه شروع فناوری شکافت هیدرولیکی نامید. در ادامه دوران شکافت هیدرولیکی مدرن (دهه ۲۰۰۰-۱۹۸۰) در دهه ۱۹۸۰

¹ Edwin Drake

² Pennsylvania

³ Floyd Farris

⁴ Stanolind Oil

⁵ Hugoton Gas Field

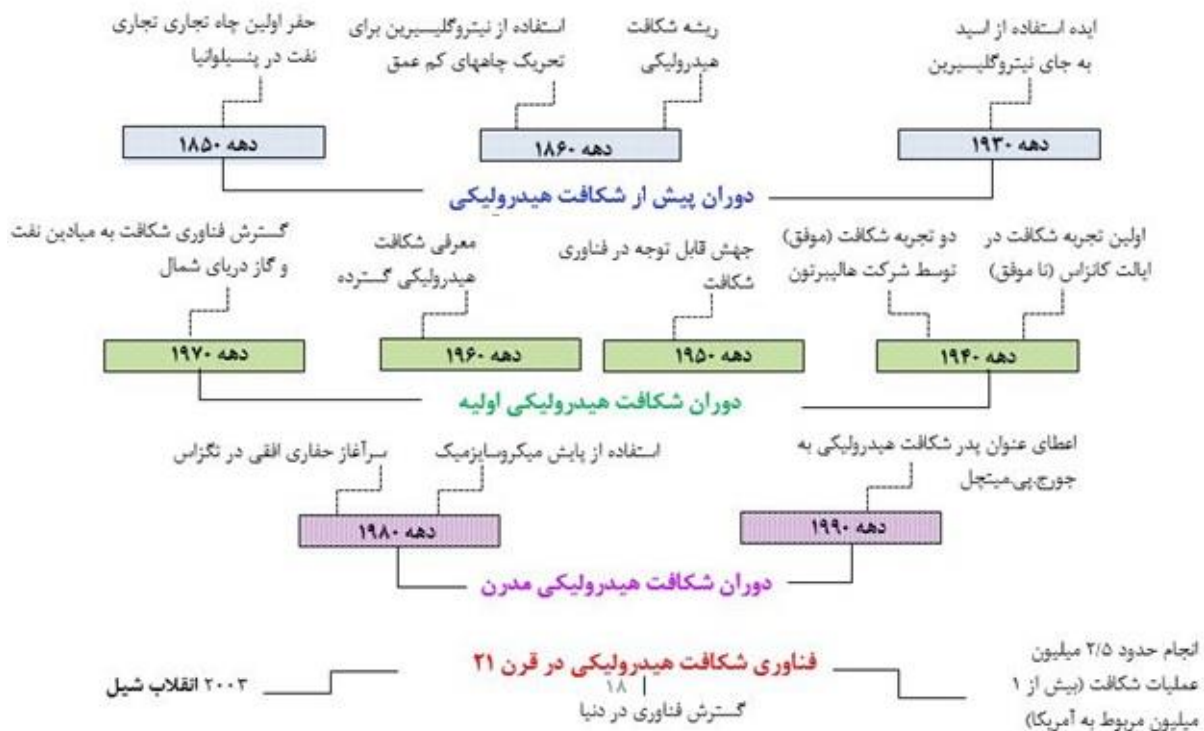
⁶ Kansas

سرآغاز حفاری افقی در تگزاس بود چرا که قبل آن چاه‌های افقی نفت و گاز تا حدودی نا شناخته بودند. همچنین در این دهه استفاده از شکستگی هیدرولیکی در خشکی معمول شد و حدود ۲۰۰ عملیات در انگلستان با این فناوری انجام شد. علاوه بر این، در این دهه، استفاده از پایش میکروسایز میک^۱ در این صنعت برای اولین بار توسط آزمایشگاه Sandia معرفی شد. با استفاده از این روش پایش می توان اطلاعاتی از قبیل طول، ارتفاع، آزمون و موقعیت شکستگی در اطراف چاه به دست آورد. فناوری شکافت هیدرولیکی در قرن بیست و یکم (اوایل دهه ۲۰۰۰) در واقع آغاز شکاف هیدرولیکی به معنا امروزی بود. در این دهه ترکیب تکنیک‌های حفاری افقی، پایش میکروسایز میک و عملیات های شکافت هیدرولیکی با Slick Water شروع شد. خلاصه تاریخچه فناوری شکافت هیدرولیکی در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.

^۱ Microseismic

^۲ سیالی است که در شکافزنی هیدرولیکی استفاده شده و قسمت عمده آن (۹۸ درصد) آب بوده و باقی آن افزودنی‌هایی که باعث افزایش سرعت جریان سیال و انتقال ماسه از طریق چاه و درون سازند می‌شوند، می‌باشد

تاریخچه فناوری شکافت هیدرولیکی در یک نگاه



شکل ۱-۲: تاریخچه فناوری شکاف هیدرولیکی

۳-۱- تجربیات گذشته عملیات شکاف هیدرولیکی در ایران

۱-۳-۱- شکاف اسیدی در میدان نفتی آذر

میدان نفتی آذر در شمال شرقی میدان چشمه خوش واقع و یکی از مخازن مشترک با کشور عراق (بدرا) به شمار می آید. در سال ۲۰۰۴ میلادی پس از انجام تست های بهره دهی در لایه های مختلف چاه شماره ۲ توسط شرکت HYDRO و اثبات وجود هیدروکربون، توسعه میدان از نظر اقتصادی توجیه پذیر تشخیص داده شد. در مخازن هیدروکربنی که سنگ مخزن آنها دارای نفوذپذیری بسیار پایینی می باشد روش های شکاف اسیدی و هیدرولیکی

به عنوان روشی موثر جهت افزایش بهره دهی چاه اجرا می گردد. جنس سنگ مخزن تعیین کننده ی روش شکست مناسب در یک مخزن هیدروکربنی می باشد، در مخازن کربناته به دلیل حلالیت سنگ کربنات در اسید، روش شکاف اسیدی جهت بالا بردن بهره دهی چاه استفاده می گردد. هدف از عملیات شکاف اسیدی بالا بردن نفوذپذیری سنگ مخزن با ایجاد شکاف های مصنوعی در طول سنگ مخزن می باشد. سیال شکاف اسیدی با توجه به دارا بودن درصد قابل توجهی اسید با فشاری بالاتر از فشار شکست سنگ مخزن به داخل سنگ مخزن تزریق می گردد و پس از شکست سنگ، شکاف های مصنوعی در طول سنگ مخزن ایجاد می کند. اسید موجود در سیال شکاف اسیدی با ایجاد خوردگی های نامنظم بر روی سطوح شکست باعث می شود که شکاف ایجاد شده پس از اتمام عملیات تزریق مجدداً مسدود نگردد و مسیری مناسب برای عبور هیدروکربن موجود در سنگ مخزن ایجاد می نماید.

به منظور اجرای عملیات مذکور پس از بررسی های کامل و با توجه به امکانات موجود تصمیم به انجام عملیات در چاه های میدان گرفته شد. عملیات شکافت اسیدی در سه حلقه از چاهها آذر ۳، ۴ و ۱۱ انجام گرفت که به دلیل عدم تحقق دبی مورد نظر از هر عملیات و همچنین مشکلات موجود در جداسازی لایه های مخزنی و انجام شکاف اسیدی به صورت مجزا در هر لایه، سایر چاههای تولیدی با استفاده از روش اسیدکاری گسترده برای بهره برداری آماده گردند.

۱-۳-۲- مطالعات ژئومکانیک پروژه شکاف اسیدی میدان نفتی آذر

در برنامه ریزی و اجرای عملیات شکاف هیدرولیکی/اسیدی، مطالعات ژئومکانیک از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. ساخت مدل مکانیکی زمین به عنوان خروجی مطالعات ژئومکانیک، امکان مطالعه و امکان سنجی اجرای عملیات شکاف هیدرولیکی/اسیدی را فراهم می نماید. در پروژه شکاف اسیدی میدان نفتی آذر، مطالعات ژئومکانیک به عنوان پیش نیاز اجرای این عملیات برنامه ریزی و اجرا گردید. برای توسعه این مدل از داده های مختلف میدانی و آزمایشگاهی مانند داده های لاگهای پتروفیزیکی، اطلاعات مربوط به حفاری، داده های زمین شناسی، داده های

مخزنی و نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی ژئومکانیک استفاده گردید. در واقع توسعه یک مدل مکانیکی قابل اطمینان منوط به در اختیار داشتن داده‌های مذکور می‌باشد.

انجام نمودارگیری‌های پیشرفته مانند لاگهای FMI و DSI نیز در چاههای این میدان انجام شد. در مرحله اول مدل مکانیکی میدان نفتی آذر با استفاده از داده‌های لاگهای پتروفیزیکی توسعه داده شد (مدل مکانیکی دینامیک). به منظور کالیبراسیون مدل مکانیکی دینامیک و تبدیل آن به مدل مکانیکی استاتیک، آزمایشهای ژئومکانیکی بر روی مغزه‌های دو حلقه از چاههای میدان، برنامه‌ریزی و اجرا گردید. در نهایت با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و اطلاعات موجود از تستهای مینی فرک در چاه شماره ۲ میدان، مدل مکانیکی ساخته شده کالیبره گردید. خروجی اصلی این مدل در عملیات شکاف اسیدی، راستا و اندازه تنشهای برجا و همچنین فشار شکست سازند در نواحی مختلف مخزنی می‌باشد.

۱-۳-۳- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-003

چاه شماره ۳ یکی از چاه‌های توسعه ای میدان نفتی آذر با عمق نهایی ۴۶۵۳ متر بوده که در اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ حفاری و تکمیل شده است. طبق برنامه انجام عملیات شکاف اسیدی و آزمایش‌های بهره برداری در هر لایه به ترتیب مراحل زیرآغاز گردید:

۱. مشبک کاری لایه مخزنی سروک پایینی برای انجام عملیات شکاف اسیدی
۲. انجام عملیات شستشو و تزریق پذیری با اسید با ابزار لوله مغزی
۳. انجام عملیات آزمایش چاه قبل از عملیات شکاف اسیدی
۴. انجام عملیات Data Frac قبل از عملیات شکاف اسیدی جهت کسب اطلاعات از شکست سازند
۵. انجام عملیات شکاف اسیدی
۶. تمیز سازی چاه بعد از عملیات شکاف اسیدی و آزمایش چاه

شرح عملیات

پس از مشبک کاری لایه انتخابی سروک پایینی، عملیات شکاف اسیدی با تزریق ۱۶۰۰ بشکه اسید با فشار سطحی حداکثر ۸۲۰۰ پام با موفقیت انجام گردید. بعد از تمیز سازی چاه، دبی جریان بر روی کاهنده با اندازه‌های مختلف اندازه‌گیری شد. بیشترین دبی تولیدی در این مرحله روی کاهنده ۴۴/۶۴ به میزان ۵۲۰۰ بشکه در روز گزارش شده است. بررسی اولیه و آنالیز فشار درون چاهی در مرحله ساخت فشار (Build Up) در این لایه نشان می‌دهد که شاخص تولید (PI) قبل از عملیات شکاف اسیدی برابر با ۱ STBD/PSI بوده که بعد از انجام عملیات شکاف اسیدی به مقدار ۴,۰۴ STBD/PSI افزایش یافته است که نشان دهنده بهبود وضعیت تولید و موفقیت آمیز بودن عملیات شکاف اسیدی می‌باشد.

پس از اتمام عملیات شکاف اسیدی در لایه سروک پایینی و نصب پلاگ ماسه ای جهت جداسازی سروک پایینی، به صورت مشابه عملیات شکاف اسیدی در لایه سروک بالایی انجام شد. نتایج قبل و بعد از عملیات شکاف اسیدی در این لایه نشان می‌دهد که مقدار ضریب پوسته بعد از عملیات شکاف اسیدی به ۵,۸- کاهش پیدا کرده است.

نتایج حاصل از مدل سازی چاه بر اساس داده های آزمایش چاه سطحی و نمودار نگار تولید نشان می‌دهد که شاخص تولید (PI) برای این چاه برابر با ۵,۶ STBD/PSI می‌باشد. پس از انجام کلیه آزمایش های بهره برداری، چاه مذکور با فشار سرچاهی ۱۴۰۰ پام در مدار تولید قرار گرفته است.

۱-۳-۴- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-011

چاه شماره ۱۱ پس از اتمام حفاری تا عمق ۴۷۲۲ متر، عملیات تکمیل این چاه با راندن لاینر ۵ اینچ به اتمام رسید. طبق برنامه انجام عملیات شکاف اسید و آزمایش های بهره برداری به ترتیب مراحل زیر آغاز گردید.

- جابجایی سیال درون چاهی با آب توسط لوله مغزی سیار
- انجام عملیات مشبک کاری زیر لایه F سروک پایینی

• اسید شویی بازه ی مشبک کاری شده و انجام تست Mini Frac با سیال Linear Gel

• چاه آزمایی قبل از عملیات شکاف اسیدی

• انجام عملیات Data Frac قبل از عملیات اصلی جهت کسب اطلاعات

• مشبک کاری زیر لایه مخزنی D

• نصب پلاگ سیمانی بین لایه های مشبک کاری شده F & D

• انجام عملیات Data Frac به منظور کسب اطلاعات

• تمییز سازی چاه بعد از عملیات شکاف اسیدی و چاه آزمایی بعد از شکاف اسیدی

• رفع پلاگ سیمانی و مشبک کاری و اسید کاری لایه سروک بالایی

• چاه آزمایی بعد از اسید کاری

پس از مشبک کاری لایه انتخابی F و ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش Mini Frac، تصمیم به مشبک کاری زیر لایه D سروک پایینی گرفته که با ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش Mini Frac تزریق پذیری لایه مذکور تایید گردید. در این مرحله به منظور کاهش نشتی اسید بین دو لایه مشبک شده، با نصب پلاگ سیمانی لایه پایینی از لایه پایینی جدا شد. سپس انجام عملیات شکاف اسیدی با بالابردن فشار شکست مخزن تا فشار ۷۸۰۰ پام با موفقیت انجام پذیرفت. بعد از انجام عملیات شکاف اسیدی در این لایه و تمیز سازی چاه، نرخ تولید با کاهنده با سایزهای مختلف اندازه گیری شد. بررسی اولیه و آنالیز فشار درون چاهی در مرحله ساخت فشار (Build Up) در این لایه نشان می دهد که ضریب عملکرد تولید (PI) قبل از عملیات شکاف اسیدی برابر با ۰,۱۷ STBD/PSI بوده که بعد از انجام عملیات شکاف اسیدی به مقدار ۲,۶ STBD/PSI یافته که نشان دهنده بهبود وضعیت تولید می باشد. پس از انجام کلیه آزمایش های بهره بردای، چاه مذکور با فشار سرچاهی ۱۵۵۰ پام در مدار تولید قرار گرفته است.

۱-۳-۵- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره AZR-004

چاه شماره AZR-004 به عنوان آخرین چاه جهت انجام عملیات شکاف اسیدی در میدان آذر انتخاب گردید. چاه مذکور یکی از چاه های توسعه ای میدان نفتی آذر با عمق نهایی ۴۷۳۹ متر بوده که انجام عملیات شکاف اسید و آزمایش های بهره برداری در این چاه به ترتیب مراحل زیر آغاز گردید:

(۱) مشبک کاری لایه مخزنی سروک پایینی برای انجام عملیات شکاف اسیدی

(۲) انجام عملیات شستشو با اسید با ابزار لوله مغزی

(۳) اضافه کردن لایه ۱۰ متری جهت انجام عملیات شکاف اسیدی

(۴) عملیات شستشو با اسید و تزریق نیتروژن با ابزار لوله مغزی سیار

(۵) عملیات Data Frac قبل از عملیات اصلی جهت کسب اطلاعات

(۶) انجام عملیات شکاف اسیدی

(۷) تمیز سازی چاه بعد از عملیات شکاف اسیدی و چاه آزمایی بعد از شکاف اسیدی

(۸) مشبک کاری لایه های باقیمانده و شستشو با اسید و چاه آزمایی

(۹) اسید کاری لایه های مشبک کاری شده

شروع عملیات شکاف اسیدی ابتدا در اولین لایه هدف با انجام آزمایش Mini Frac جهت کسب اطلاعات فشار شکست و نرخ تزریق پذیری آغاز شد که به علت پایین بودن نرخ تزریق پذیری ، ۱۰ متر دیگر از لایه مخزنی به لحاظ ویژگی های پترو فیزیکی جهت انجام آزمایش تزریق پذیری و ایجاد عملیات شکست جایگزین گردید. پس از انجام آزمایش تزریق پذیری، مقدار ۵۰ بشکه سیال linear Gel به همراه ۳۵۰ بشکه سیال (X-Linked PAD) به منظور ایجاد شکاف تزریق و متعاقب آن چندین مرتبه اسید به مجموع ۲۰۰۰ بشکه به منظور ایجاد خوردگی در سطوح شکاف ایجاد شده تزریق گردید. نتایج حاصل از چاه آزمایی بعد از انجام عملیات شکاف اسیدی در این چاه نشان می دهد که میانگین

تراوایی برابر با ۰,۹ میلی داری و ضریب عملکرد تولید (PI) برابر با STBD/PSI ۰,۶۳ درحالی که پیش از انجام عملیات شکاف اسیدی هیچ تولیدی از لایه مشبک کاری شده حاصل نشده است.

بعد از انجام کلیه عملیات های اسیدکاری و چاه آزمایی به منظور بررسی وضعیت مشارکت در تولید لایه های اسیدکاری شده نمودار نگار تولید (PLT) رانده شده که نتایج مربوطه حاکی از تولید بیش از ۶۰ درصد از لایه سروک پایینی (لایه شکاف اسیدی) و مابقی از لایه سروک بالا تولید دارد. پس از انجام عملیات شکاف اسیدی در لایه سروک پایینی با تغییر شرح کار عملیات، لایه سروک بالایی مشبک کاری و تحت انجام عملیات اسید کاری قرار گرفت. پس از انجام کلیه آزمایش های بهره بردای، چاه مذکور جهت تولید آماده بهره برداری گردید.

۱-۳-۶- شکاف اسیدی در میدان نفتی سیری

منطقه سیری شامل چهار میدان در جنوب غربی و جنوب شرقی خلیج فارس قرار دارند. مخزن ایلام در میدان الوند واقع در منطقه سیری قرار دارد. فشار اولیه مخزن ۳۴۵۰ پام بوده و تخلخل ۵ تا ۲۰ درصد و نفوذپذیری ۱ تا ۳ میلی داری را دارا می باشد. طبق مطالعات صورت گرفته در این مخزن، بدلیل عدم وجود آبران و نفوذپذیری کم و ... اجرای عملیات شکاف اسیدی در دستور کار قرار گرفته است. از میان ۱۰ چاه موجود این میدان، چاه DPH-۰۲ به علت دور بودن چاه از دو گسل اصلی مخزن و تکمیل حفره باز به عنوان چاه منتخب برای انجام عملیات شکاف اسیدی در نظر گرفته شد. این مخزن دارای ضخامت متوسط ۳۰ متر می باشد که لایه شیلی پایده گورپی در بالا و لایه ای شیل در پایین این مخزن قرار گرفته است. بیشترین نگرانی در اجرای عملیات شکاف اسیدی در لایه های پایده گورپی و لافان می باشد که در صورت شکست لایه ها، ارتباط با لایه های بالایی و پایینی مخزن برقرار می گردد و موجب ورود آب و یا شیل موجود در لایه های پوششی به درون مخزن و متعاقبا منجر به پدیده SWELLING شیل و از دست دادن بخشی از مخزن را فراهم می سازد.

۱-۳-۷- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه شماره DPH-02

چاه DPH-02 یک چاه افقی از نوع حفره باز است. حفاری این چاه بالای سازند ایلام تا عمق حدود ۲۰۰۰ متری انجام شده سپس به صورت افقی تا عمق ۴۵۵۰ mMD تکمیل شده است. طبق برنامه عملیات شکاف اسیدی در نظر گرفته شده برای این چاه، رشته ی تکمیلی ۳,۵ اینچی جهت کاهش افت فشار اصطحاک با قطر ۵ اینچ جایگزین گردید. آخرین داده های تولید این چاه قبل از انجام شکاف هیدرولیکی نشان می دهد که این چاه با دبی حدود ۱۶۵۰ بشکه در روز با فشار سطحی ۲۰۰ پام تولید داشته است. انجام عملیات شکاف اسید و آزمایش های بهره برداری در این چاه به ترتیب مراحل زیر آغاز گردید:

- طبق برنامه پمپاژ Data Frac انجام شد.
 - شیر اصلی SLB را ببندید و فشار دهید تا زمانی که شکستگی بسته شود نظارت کنید و سپس آن را کامل کنید.
 - تجزیه و تحلیل تست با داده های جدید انجام شد
 - انجام عملیات شکاف اسیدی اصلی با فشار حداکثر ۳۶۰۰ پام و تزریق حدود ۴۰۰۰ بشکه اسید و سیال شکاف
 - ارزیابی وضعیت تولید
- بعد از انجام عملیات شکاف طبق گزارش های ارائه شده، دبی تولید حدود ۱۵۳۰ بشکه با فشار سطحی ۲۳۰ پام اندازه گیری شده که نشان دهنده ی عدم تغییر در افزایش تولید این چاه دارد. فشار چاه مذکور بعد از گذشت مدتی از تولید افت کرده که کاندید در نظر گرفتن پمپ ESP شد و به مدت حدود ۲ سال با نرخ متغیر ۱۲۰۰ بشکه در روز تولید داشته است.

۱-۳-۸- خلاصه گزارش عملیات شکاف اسیدی در چاه اکتشافی SIA-01

نخستین چاهی که در میدان الوند حفاری و مورد اسید شکافی قرار گرفته است، چاه اکتشافی SIA-01 می باشد. چاه از نوع Vertical Cased Hole و Perforated بوده و اسید شکافی تقریباً در امتداد موازی با افق مخزن در بهترین قسمت

بخش بالائی مخزن ایلام در این میدان به اجرا در آمده است. پیش از آزمایش ، عملیات تحریک چاه با اسید HCL 15% بمنظور تمیز سازی ناحیه نزدیک به چاه انجام شده است. در خلال آزمایش ، دبی چاه برابر 300 بشکه در روز با فشار جریانی سرچاه برابر 200 پام بدست آمده است. عملیات اسید شکافی با HCL 28% باحجم ۳۰۰ یشکه اجرا شد و بمنظور افزایش عمق تأثیر اسید قبل و بعد از تزریق آب دریا تزریق شده است. مقدار دبی چاه با فشار جریانی سرچاه حدود 200 psia برابر 1056 بشکه در روز بدست آمد. نتیجه اینکه اسید شکافی مزبور عملاً توان تولیدی چاه را ۳,۵ برابر نموده است. ارزیابی چاه آزمائی قبل و بعد از شکاف اسیدی، مقدار اثر پوسته را به ترتیب ۰,۳ و 3.3- برآورد کرده است. با توجه به تغییر ناچیز تراوایی متوسط طی عملیات اسید شکافی (از ۲/۵ به ۳/۱ md)، به نظر میرسد اصلی ترین اهداف شکاف اسیدی یعنی انتشار شکاف مصنوعی ایجاد شده به خوبی محقق نشده و مهمترین عامل افزایش ضریب بهره دهی چاه کاهش ضریب پوسته می تواند باشد.

۱-۳-۹- نتیجه گیری:

جهت بررسی عملکرد عملیات های شکاف اسیدی انجام گرفته، نیازمند تعریفی واحد از موفقیت می باشیم. لذا به منظور ارزیابی یک سری تعریف کلی از نظر شاخص موفقیت در این بررسی مطرح و در انتهای عملیات های انجام گرفته به صورت موردی مورد ارزیابی قرار می گیرند.

- شاخص موفقیت از نظر طراحی مهندسی شکاف
- شاخص موفقیت از نظر انتخاب و آزمایش سیالات شکاف
- شاخص موفقیت از نظر فرایند اجرای عملیات
- شاخص موفقیت از نظر بهبود وضعیت تولید
- شاخص موفقیت از نظر حفظ یکپارچی چاه
- شاخص موفقیت از نظر تداوم تولید

۱-۳-۱۰- شاخص موفقیت از نظر طراحی مهندسی شکاف

در هردو میدان از شبیه ساز های تجاری از نوع Frac-CAD , Frac-PRO برای شبیه سازی هندسه ی شکاف، حجم سیالات و نرخ تزریق استفاده شد. طبق گزارش های اعلام شده در هر دو نمونه ی شکاف اسیدی انجام شده در ایران آزمایش های قبل از عملیات اصلی شکاف، شامل Mini-frac و Step rate جهت ارزیابی دقیق فشار شکست و تنش بسته شدن شکاف به همراه نقطه ی بهینه ی نرخ تزریق انجام و آنالیز صورت گرفته است.

با توجه به ضریب اهمیت توالی تزریق و همچنین حجم های تزریقی (شاخص Gal/ft) که در این شبیه سازها طراحی شده، می توان به عملکرد مناسب طراحی های صورت گرفته اشاره نمود. هرچند در توالی تزریق سیالات می توان نقطه نظراتی اصلاحی را مطرح کرد. همچنین لازم به ذکر است اگر مشبک کاری چاه را در این مرحله از طراحی در نظر بگیریم، نوع مشبک، تعداد مشبک ها در طراحی از اهمیت لازم برخوردار می باشد.

۱-۳-۱۱- شاخص موفقیت از نظر انتخاب و آزمایش سیالات شکاف

سیالات شکاف به همراه افزایه های آن در هر دو عملیات تحت ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفته و با توجه به در دسترس نبودن داخلی این مواد، برخی از آنها از تامین کننده ی خارجی تامین شده است. در میدان نفتی آذر با توجه به ماهیت تولید آسفالتین این میدان به علت تولید همزمان از دو لایه مجزا با خصوصیات PVT مختلف، به نظر می رسید در صورت ارزیابی جامع تر سیالات تزریقی از نظر به حداقل رساندن تولید آسفالتین در این عملیات ها می توانست در خروجی نهایی عملکرد بهتری داشته باشد. شایان ذکر است که در چاه های تحت عملیات شکاف هیدرولیکی، رسوب آسفالتیت بعد از انجام عملیات صورت گرفته و به کرات مانع از دستیابی تجهیزات به عمق نهایی چاه شده است. با توجه به این موارد می توان گفت که در خروجی نهایی عملیات طراحی سیالات شاید منجر به هزینه ی مازاد شده ولی در ایجاد شکاف و افزایش عملکرد تولید چاه تاثیر چندانی در این میدان نداشته است.

در خصوص میدان سیری، همین روند جهت طراحی و آزمایش سیالات انجام شده ولی در انتهای عملیات با توجه به نتیجه آن، چندان عملکرد تولید چاه بهبود نیافته است. در صورت کاهش تولید در چاه مذکور می توانست یکی از پارامترهای موثر در شکست عملیات شکاف اسیدی در این چاه به آن اشاره نمود.

۱-۳-۱۲- شاخص موفقیت از نظر فرایند اجرای عملیات

در خصوص اجرای عملیات اصلی شکاف، می توان گفت که دقت اجرا در این مرحله از ضریب وزنی بیشتری روی خروجی نهایی برخوردار می باشد. در این مرحله از عملیات در صورت خطای انسانی یا ابزار (مثل : باز یا بسته بودن یک لاین از تزریق یا عدم دقت در اندازه گیری حجم سیال تزریقی هر مرحله، عدم دقت در محاسبات فشار پشت لوله جداری، خراب بودن گیج های فشار و ...) اگر برنامه درست اجرا نگردد می تواند نتایج کلی را تغییر دهد.

در تجربه میدان آذر طبق گزارش ها، علاوه بر بررسی و چک چندباره ی دستورالعمل اجرای عملیات، در وسط عملیات بسته به نتایج آزمایش Mini-Frac که نرخ تزریق پایین را نشان می داد، این آزمایش در بازه های دیگری بعد از مشبک کاری مجدد انجام گردید و با توجه به مناسب بودن پارامترهای حاصل شده ادامه ی عملیات طبق برنامه قبلی انجام گردید. همچنین در یکی از چاه های همین میدان بعد از انجام عملیات شکاف در لایه سروک پایین، پلاگ ماسه ای جهت ایزوله کردن لایه پایین از لایه کاندید شکاف سروک بالایی در چاه گذاشته شد. در حین اجرای عملیات در لایه بالایی تغییرات فشار بالایی نشان می داد که ارتباط بین لایه بالا و پایین به علت احتمالی عدم تثبیت پلاگ ماسه ای برقرار شده و عملیات متوقف گردد. با توجه به تغییرات ایجاد شده در شرح کار این چاه، ادامه ی عملیات در این چاه بعد از انجام تعمیرات به صورت اسید کاری گسترده انجام گردید. از نظر موفقیت آمیز بودن فرایند اجرای عملیات می توان به این موارد اشاره نمود.

در خصوص میدان سیری هم می توان اشاره نمود که اجرای عملیات طبق برنامه چاه انجام شده و در برخی موارد نظیر استفاده از آب دریا جهت ایجاد عملیات Data-Frac و احتمال آسیب سازندی (داده های خروجی نشان از وضعیت مناسب لایه کاندید جهت شکاف بوده و نرخ تزریق طراحی شده را بهینه تر پیش بینی کرده است) ، استفاده

از آب دریا پس از انجام عملیات شکاف به علت افزایش فشار ناگهانی چاه و کشتن چاه که منجر به آسیب مخزنی شده که از دلایل عدم موفقیت این عملیات طبق شاخص اجرای عملیات می تواند مطرح گردد.

۱-۳-۱۳- شاخص موفقیت از نظر بهبود وضعیت تولید

داده های ناشی از آزمایش چاه قبل و بعد از چند عملیات انجام شده در چاه های میدان آذر و سیری گویای افزایش وضعیت شاخص تولید در این چاه و موفقیت آمیز بودن عملیات شکاف هیدرولیکی در خصوص افزایش نرخ تولید بوده است.

۱-۳-۱۴- شاخص موفقیت از نظر حفظ یکپارچگی چاه

در این خصوص در چاه های میدان آذر با توجه به عدم دسترسی به عمق نهایی چاه بعد از انجام عملیات، می توان به موفقیت آمیز نبودن این عملیات در این چاه از نظر حفظ یکپارچگی چاه اشاره نمود. در ۲ حلقه از این چاه ها عدم دسترسی به عمق نهایی چاه بعد از انجام عملیات گزارش شده است. البته دلایل مختلفی از جمله جنس لوله های جداری، مشبک کاری مجدد، تمیز سازی ستون چاه جهت جریان برگشتی و ... می توانند هر کدام دلیلی احتمالی برای این اتفاق در نظر گرفته شوند.

همچنین در چاه DPH-02 طبق گزارش های اعلام شده، یکپارچگی چاه در طول و بعد از انجام عملیات حفظ شده است.

۱-۳-۱۵- شاخص موفقیت از نظر تداوم تولید

تداوم داشتن تولید از چاه های تحت شکاف اسیدی قرار گرفته شده در هر دو میدان در حلقه اول بسته به سیاست مدیریت مخزن دارد که این چاه به صورت پیوسته در مدار تولید قرار گیرد. از طرفی در میدان آذر چاه های کاندید شده با توجه به همزمانی حافزی چاه های قبلی و ساخت تجهیزات سطحی و خطوط لوله برای چاه ها، برخی از این چاه ها دارای خط لوله جریانی از سر چاه تا لاین اصلی نبوده و با توجه به فرا نرسیدن بازه تولید زود هنگام از میدان دستور به توقف تولید از این چاه ها تا تکمیل خط لوله آن ها بعد از انجام عملیات داده شد.

از طرفی در صورت وجود تجهیزات سطحی و خط لوله، اگر تولید پیوسته از چاه صورت نگرفته، می بایست به پارامتر های مخزنی در خصوص کاندید انجام عملیات شکاف شدن این چاه ها اشاره نمود. با توجه به افزایش وضعیت تولید، اینکه تولید مستمر از این چاه صورت نگرفته الزاما دلیل عدم موفقیت شکاف اسیدی نمی باشد. دلایلی همچون عدم یا ارتباط ضعیف بین ماتریکس و شکاف یا کاهش تراوایی نسبی نفت و ... می تواند از دید مخزنی مطرح گردد. این مورد در چاه میدان سیری نیز صدق می کند که تولید از این چاه بعد از کشتن چاه به علت اشاره شده پس از ۳ ماه تولید مجدد متوقف شده است و در بازه های زمانی مختلف به صورت محدود در مدار تولید قرار گرفته شده است. عملیات های شکاف اسیدی اجرا شده در ایران طبق جدول زیر به صورت کیفی مورد اشاره قرار گرفته اند.

جدول ۱-۱: ارزیابی کیفی موفقیت آمیز بودن عملیات شکاف هیدرولیکی

هیدرولیکی شکاف عملیات بودن آمیز موفقیت کیفی ارزیابی				
موفقیت شاخص	آذر میدان			سوی میدان
	شماره چاه 3	شماره چاه 4	شماره چاه 11	شماره چاه 2
شاخص موفقیت از نظر طراحی مهندسی شکاف				
شاخص موفقیت از نظر انتخاب و آزمایش سیالات شکاف				
شاخص موفقیت از نظر فرایند اجرای عملیات				
شاخص موفقیت از نظر بهبود وضعیت تولید				
شاخص موفقیت از نظر حفظ یکپارچگی چاه				
شاخص موفقیت از نظر تداوم تولید				
رنگ سبز	بوده آمیز موفقیت			
رنگ زرد	شود گرفته نظر در آمیز موفقیت تواند می ها پارامتر بقیه بررسی صورت در			
رنگ قرمز	نبوده آمیز موفقیت			
رنگ خاکستری	ندارد وجود موفقیت عدم خصوص در محکمی های داده			

فصل ۲: غربالگری

۲-۱- مقدمه

غربالگری یک مرحله مهم و تأثیرگذار در انجام و موفقیت عملیات شکافت هیدرولیکی می باشد. انجام غربالگری فرآیند انتخاب و تشخیص مخزن یا چاهی است که بیشترین احتمال موفقیت اجرای عملیات و همچنین بیشترین پتانسیل را برای افزایش تولید و بازگشت سرمایه، پس از انجام عملیات داشته باشد. غربالگری می تواند در سطح میدان، ناحیه، چاه و زون های درون چاه انجام بگیرد. پارامترهای تأثیرگذار در حالت معمول به دو دسته فنی و غیرفنی تقسیم بندی می شوند.

۲-۲- پارامترهای فنی

پارامترهای غربالگری از نظر فنی به چند دسته تقسیم می شود: پارامترهای زمین شناسی و ژئومکانیکی، پارامترهای مخزنی، و پارامترهای مرتبط با تکمیل و محدودیت های چاه های تولیدی پارامترهای زمین شناسی و ژئومکانیکی (استاتیکی) در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

جدول ۲-۱- پارامترهای استاتیکی برای غربالگری مخازن هیدروکربنی

پارامتر		محدوده مناسب برای کاندید شدن
شاخص شکاف پذیری		بالاتر از ۳/۳ مناسب
محدود سازی شکاف		اختلاف تنش بیشتر بین لایه هدف با لایه های بالا و پایین
حضور شکاف های طبیعی		شکاف طبیعی کمتر
جهت گیری شکاف طبیعی		جهت گیری مناسب شکاف طبیعی با شکاف هیدرولیکی
لیتولوژی مخزن		لیتولوژی های شکننده خوب و لیتولوژی های رسی نامناسب
عمق و فشار مخزن		هر چه عمق بیشتر فشار شکست بالاتر خواهد رفت. عمق و فشار در حدی باشد که ساختار تکمیل شده چاه، فشار شکست را با محدودیت همراه نکند
ضخامت مخزن		در مخازن نفتی کمتر از ۱۰ متر نامناسب و بالاتر از ۳۰ متر عالی؛ مخزن گازی بیش از ۱۰ مناسب
فاصله از مرز آب و گاز		بیشترین فاصله
-		
تخلخل		مخزن نفتی
آب اشباع		مخزن گازی
شاخص شکاف پذیری		بین ۸ تا ۱۸ درصد
		بین ۲ تا ۱۲ درصد
		کمتر از ۴۰٪
		کمتر از ۵۰٪
		کمتر از ۰,۵ ضعیف بالاتر از ۰,۷ عالی

محدود سازی شکاف	کمتر از ۱ ضعیف بیشتر از ۳ عالی	
ضخامت مخزن	کمتر از ۱۰ متر ضعیف بالاتر از ۳۰ متر عالی	بیش از ۱۰ متر

پارامترهای مخزنی (دینامیکی) در جدول ۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۲- پارامترهای دینامیکی برای غربالگری مخازن هیدروکربنی

پارامتر	مخزن نفتی	مخزن گازی
تراوایی	کمتر از ۱۰ میلی داریسی	کمتر از ۱۰ میلی داریسی
میزان برش آب تولیدی	کمتر از ۳۰٪	کمتر از 200 bbl/MMscf
فشار مخزن نسبت به فشار اولیه	بیش از ۷۰٪ ذخیره ی مخزن باقی مانده باشد	بیش از ۲ برابر فشار ترک مخزن

پارامترهای مرتبط با تکمیل چاه: این پارامترها به نوع و محدودیت های ناشی از نوع تکمیل چاه و همچنین محدودیت های اجرایی بر می گردد. در انجام فرایند غربالگری پارامتر های مربوط به تکمیل چاه بسته به انجام عملیات در چاه های موجود و یا چاه های مورد نظر برای حفاری در آینده می تواند متفاوت باشد. به عنوان پیشنهاد کلی می توان چنین مطرح کرد که انجام عملیات شکافت هیدرولیکی در طراحی و نوع تکمیل چاه هایی که در طرح توسعه برای حفاری در نظر گرفته می شوند از ابتدا لحاظ شود. در غیر این صورت و یا در مواردی که انجام عملیات در چاه های موجود و قدیمی مد نظر است محدودیت های جدی عملیاتی میتواند منجر به عدم انتخاب و یا عدم نتیجه گیری مناسب و بهره بردن از مزایای این فناوری در مخزن و چاه مورد مطالعه باشد. این محدودیت ها شامل، محدودیت های فشاری تجهیزات تکمیل چاه، انقباض لوله جداری چاه، محدودیت فشار سرچاهی، لوله مغزی های کم کیفیت، پیوندهای سیمانی ضعیف می باشد.

۲-۳- پارامترهای غیر فنی

جدا از پارامتر های علمی و فنی تاثیر گذار در فرایند غربالگری فناوری شکافت هیدرولیکی، یکسری از پارامتر های تاثیر گذار دیگری که الزاما طبیعت فنی ندارند در این فرایند وجود دارند. این پارامتر های غیر فنی در دو دسته پارامترهای اقتصادی-هزینه ای و پارامترهای مربوط به نگرش ها و ملاحظات کارفرمایی تقسیم بندی می شوند.

۲-۳- روش های غربالگری

تکنیک های مورد استفاده در غربالگری، به سه دسته ی روش های معمول یا مبتنی بر نظر کاربر، روش های آماری چند معیاره و روش های هوشمند تقسیم می شوند. در روش های معمول کارشناسان و متخصصان با در نظر گرفتن جنبه های مهندسی، زمین شناسی و ... اقدام به تصمیم گیری می نمایند. از جمله این روش ها می توان به تعریف کردن اندیس های خاص برای مخزن یا چاه و تصمیم گیری بر اساس محدوده تغییرات اندیس تعریف شده در گزینه مورد مطالعه اشاره کرد. از جمله این روش ها می توان به اندیس تولید اشاره کرد. یکی دیگر از روش های معمول برای غربالگری تعیین پارامترهای مهم و تاثیر گذار ذاتی (زمین شناسی، ژئومکانیکی، مخزنی و تولیدی-تکمیلی) و اظهار نظر کیفی بر اساس این پارامترها است. در این روش، پارامترها از نظر اهمیت در شکافت هیدرولیکی توسط کارشناسانی که به شرایط میدان اشراف کامل اطلاعاتی دارند انجام می شود و بر اساس میزان همخوانی پارامترها با عملیات شکافت هیدرولیکی غربالگری انجام می گیرد. اما با توجه به پیچیدگی فراوان و عدم قطعیت بالا در مسئله ی مورد نظر، امروزه کاربرد روش های هوشمند و داده محور به سرعت در حال افزایش است. در روش های آماری پارامترهای ورودی که بر اساس آنها تصمیم سازی انجام می گیرد در سطوح مختلف از نظر اهمیت قرار می گیرند و تصمیم گیری نهایی بر اساس ترکیب ورودی ها و سطوح اهمیتی انجام خواهد شد.

۲-۴- انجام غربالگری بر روی میداین ایران

بر اساس پارامترهای توضیح داده شده، پایگاه داده ای از میداین ایران تهیه گردیده است. بر اساس پایگاه داده تهیه شده، غربالگری میدان جهت انتخاب بهترین میدان کاندید به منظور اجرای عملیات شکافت هیدرولیکی انجام گرفته است. برای انجام غربالگری پارامترهای مختلفی در مقیاس کلی و عمومی تا پارامترهای فنی و عملیاتی دقیق نقش داشته است.

۲-۵- اولویت بندی مخازن از نقطه نظر فنی

برای این منظور اطلاعات فنی جمع آوری شده بر مبنای روند اطلاعات فنی و مناسب یا نامناسب جهت اجرای عملیات شکافت هیدرولیکی دخیل داده شدند. بر این اساس سه گروه از نظر اولویت تعریف گردید.

جدول ۲-۳: گروه بندی مخازن از نظر فنی

گروه	میزان انطباق اطلاعات فنی با معیار های اجرای موفق عملیات شکافت هیدرولیکی
۱	$> 80\%$
۲	$50\% > \text{و} > 80\%$
۳	$< 50\%$

جدول ۲-۴: گروه فنی ۱

ردیف	نام میدان	نام مخزن
۱	جفیر	ایلام
۲	آذر	سروک
۳	منصوری	بنگستان
۴	آزادگان	سروک
۵	رگ سفید	سروک
۶	بند کرخه	ایلام
۷	بند کرخه	سروک
۸	دانان	آسماری
۹	دانان	ایلام
۱۰	دانان	سروک

۲-۶- اولویت بندی نهایی مخازن

در این مرحله با توجه به گروه بندی مخازن از نظر درصد وجود اطلاعات و از نظر میزان درصد اطلاعات فنی، نسبت به اولویت بندی آنها جهت انجام غربالگری کیفی نهایی اقدام شد. بدین منظور با آگاهی از درجه اهمیت هر یک از این گروهها، معیارهایی برای اولویت بندی مخازن تعیین شدند که در جدول ۲-۵ ذکر شده اند.

جدول ۲-۵: اولویت بندی مخازن

اولویت نهایی	شماره گروه از نظر فنی	شماره گروه از نظر وجود اطلاعات
۱	۱	۱
۲	۱	۲
۳	۲	۲
۴	۲	۱
۵	۳	۲
۶	۳	۱

در اینجا مخازن میادین با اولویت ۱ آورده شده است. سایر جداول اولویت ها در گزارش فاز ۲ به تفصیل موجود است.

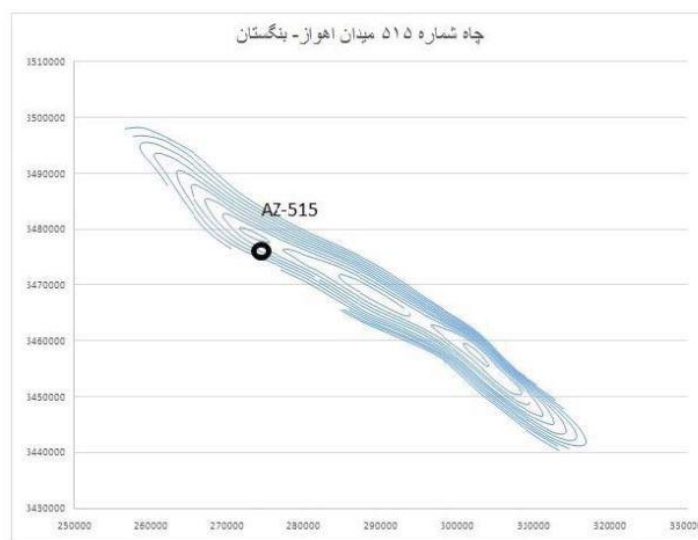
جدول ۲-۷: مخازن میادین نفتی-خشکی با اولویت ۱

ردیف	نام میدان	نام مخزن	نکات مثبت
۱	سپهر	ایلام	فشار کم ، عمق مناسب ، تخلخل مناسب، ضخامت مناسب ، نفت سبک، در طرح توسعه میدان، عملیات شکافت ذکر گردیده است.
۲	یاران شمالی	سروک بالا	عملیات شکافت در طرح توسعه شرکت پرشیا قرار دارد.
۳	جفیر	ایلام	خواص سازندی و دینامیکی مناسب، در طرح توسعه میدان عملیات شکافت موجود است.
۴	منصوری	بنگستان	شرایط عمقی و فشار مناسب -شرایط مخزنی مناسب
۵	آزادگان	سروک	شرایط عمقی و فشار مناسب -شرایط مخزنی مناسب
۶	رگ سفید	سروک	شرایط عمقی و فشار مناسب -شرایط مخزنی مناسب
۷	بند کرخه	ایلام	عملیات شکافت در طرح توسعه قرار دارد.

فصل سوم: طراحی شکاف هیدرولیکی در چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز

۳-۱- زمین شناسی 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 بین طول های جغرافیایی ۴۸ و ۴۹ درجه و عرضهای جغرافیایی ۳۱ و ۳۲ درجه قرار دارد. طول میدان اهواز ۶۷ کیلومتر و عرض آن ۶ کیلومتر است. این میدان نفتی در حاشیه شمال شرقی شهرستان اهواز، بین میادین مارون در شرق، بندکرخه و سوسنگرد در غرب و در بخش های جنوب شرقی و جنوب غربی آن به ترتیب میادین شادگان و آبتیمور واقع شده است و جزء میادین نفتی عظیم محسوب می شود. در این طرح چاه شماره ۵۱۵ میدان که در ضلع جنوب غربی میدان قرار دارد (شکل ۳-۱) مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل ۳-۱: موقعیت چاه شماره ۵۱۵ اهواز در نقشه همتراز عمقی بر مبنا مختصات Lambert

سازندهای آسماری، ایلام و سروک مهمترین سنگ مخزن این میدان را تشکیل می دهند. در چاه شماره ۵۱۵ سازند مخزنی هدف شامل سازند ایلام و سروک می باشند. سازند ایلام با دو رخساره عمیق و کم عمق دیده می شود. برش الگوی این سازند که نشانگر رخساره عمیق است در بخش شمال باختری کبیرکوه در ۱۲ کیلومتری شهرستان ایلام قرار دارد. در این برش، سازند ایلام شامل ۱۹۰ متر سنگ آهک های رسی دانه ریز پلاژیک

خاکستری رنگ با لایه بندی منظم و میان لایه های نازک شیل و سن سانتونین-کامپانین است. همچنین رخساره های کم عمق سازند ایلام، در نواحی فارس و خوزستان گسترش دارد که شامل سنگ آهک های قلوه ای است که همچنان سن سانتونین تا کامپانین دارد. در برخی نقاط می توان ارتباط بین انگشتی دو رخساره پلاژیک و کم عمق سازند ایلام را می توان دید. سازند سروک دو رخساره متفاوت دارد. در محل برش الگو و فارس ساحلی، رخساره های کم عمق این سازند گسترش دارد. در حالی که در ناحیه لرستان، می توان رخساره های عمیق سازند سروک را دید.

۳-۲- زون های مخزنی سازند ایلام و سروک در چاه مورد مطالعه

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. همچنین سایر زونها بجز زونهای C1 و C2 تخلخل بسیار پایینی دارند. لذا از نظر پتروفیزیکی زون C1 مخزن ایلام مناسب ترین زون تولیدی می باشد. مخزن سروک نیز به شش زون (D, E, F, G, H, I) به همراه تعدادی زیر زون تقسیم شده است. این مخزن آب اشباع شدگی از ۳۰ تا ۴۵ درصدی و تخلخل کمتر از ۶ درصد دارد، بجز زون I2 که تخلخل در حدود ۱۱ درصد و آب اشباع شدگی ۳۲ درصدی دارد. لذا زون I2 یکی از مناسب ترین زون های تولیدی مخزن سروک می باشد. اطلاعات جزئی تر از زون های مختلف مخزن ایلام و سروک در چاه شماره ۵۱۵ در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱: میانگین خصوصیات پتروفیزیکی در زون های مختلف مخزن ایلام و سروک در چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز.

Az#515								
Formation	Reservoir Zonation	Depth (m)	Hydrocarbon Column (m)	Sw (%)	Porosity (%)		Thickness (m)	
					Total	Effective	Total	Effective
Gurpi	Gu	3205.5	-	-	-	-	-	-
Ilam	A	3402.7	0.1	44.8	6.6	4.3	19.1	1.8
	B	3421.7	0.0056	46.8	5.3	2.7	13.3	0.2
	C1	3435.0	6.4	14.4	18.5	18.4	40.5	40.2
	C2	3475.6	5.1	15.6	16.1	16.1	37.8	37.8
	C3	3513.4	4.1	25	11	8.3	73.3	49.8
Sarvak	D	3586.6	0.032	27.8	5.5	0.7	41.6	0.8
	E1	3628.3	0.6	21.3	6.4	2.4	107	11.7
	E2	3735.3	3.8	26.5	9	5.6	129.1	57
	F1	3864.4	0.1	26.7	6.1	2.3	43.4	1.8
	F2	3907.8	0	-	-	1.5	43	0
	G1	3950.7	0.6	33.8	5.6	3.6	74.1	17.1
	G2	4024.8	1.5	37.1	9.2	6.4	51.4	26.2
	H	4076.1	0.023	45.9	5.5	2.6	29.3	0.8
	I1-1	4105.5	0.041	42.6	6.6	4.5	31.5	1.1
	I1-2	4136.9	0	-	-	1.7	46.5	0
	I2	4183.5	5.8	32.1	11.3	11.2	86.4	75.7

۳-۳- عمق سر سازندها

دکل حفاری در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۲ شروع به کار کرده که در طی ۲۸۵ روز به عمق نهایی ۴۲۸۸ متری رسیده است. عمق سرسازندها در حفاری چاه شماره ۵۱۵ در جدول ۲-۳ ارائه شده است. در این چاه سازند هدف سروک می باشد که سر سازند آن در عمق ۳۵۸۶ متری دیده شده است. در این بخش میدان سازند سروک در حدود ۷۰۰ متر ضخامت دارد.

جدول ۲-۳: عمق سر سازندهای حفاری شده در چاه شماره ۵۱۵

عمق سرسازندها		سازند	عمق سرسازندها		سازند
واقعی	پیش بینی		واقعی	پیش بینی	
۲۴۳۸	۲۴۸۲	گچساران ۲	سطح	سطح	آغاجاری
۲۵۸۴	۲۵۹۰	پوش سنگ	۱۶۵۵	۱۶۳۸	میشان
۲۶۲۶	۲۶۳۱	آسماری	۱۷۴۲	۱۷۳۸	گچساران ۷
۳۰۷۴	۳۲۹۴	پابده	۱۸۳۱	۱۸۳۰	گچساران ۶
۳۲۱۷	۳۲۲۴	گورپی	۱۹۶۷	۱۹۶۵	گچساران ۵
۳۴۰۱	۳۴۱۳	ایلام	۲۱۸۳	۲۱۸۸	گچساران ۴
۳۵۸۴	۳۵۸۶	سروک	۲۳۱۶	۲۳۶۸	گچساران ۳

۴-۳- مدلسازی ژئومکانیکی

۴-۳-۱- داده های مورد نیاز

در طراحی یک عملیات شکافت هیدرولیکی نیازمند داده در بخش زمین شناسی، پتروفیریک، ژئومکانیک، مخزن و تکمیل چاه می باشیم. در بخش زمین شناسی تعیین درصد کانی های رسی، کلسیت و دولومیت بعلاوه مطالعه

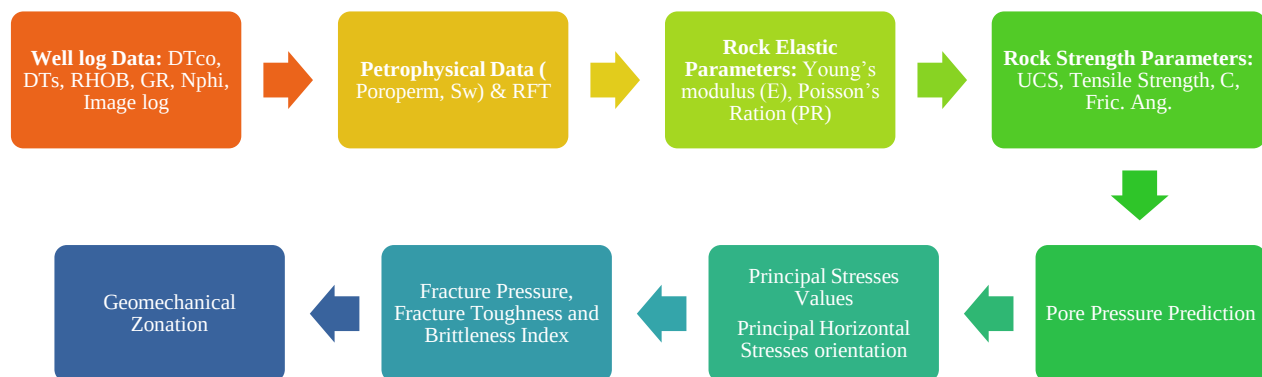
شکستگی ها طبیعی از اهمیت بسیاری برخوردار است. همچنین در بخش پتروفیزیک به داده های تخلخل، تراوایی و آب اشباع شدگی نیاز است. در بخش ژئومکانیک به داده های لاگها و در صورت امکان نمونه مغزه به منظور تعیین پارامترهای مکانیک سنگی لازم می باشد. در بخش مخزن و تکمیل چاه مهمترین داده های مورد نیاز شامل فشار استاتیک مخزن، نتایج آزمون چاه، وضعیت مشبککاری، داده دما و فشار سیال، لاگهای تولیدی و خصوصیات لوله جداری می باشد. داده های مورد نیاز برای طراحی شکافت هیدرولیکی در یک چاه در شکل ۳-۲ ذکر شده است. البته اگر داده های آزمون چاه، تاریخچه تولید چاه و داده های دما و فشار سیال در دسترس بود، پیش بینی تولید پس از عملیات شکافت هیدرولیکی در چاه انجام می شد.

Geological Data	• Percent of Clay ✗ • Percent of Calcite and Dolomite ✓ • Natural Fracture Distribution ✗
Petrophysical Data	• Compressive wave velocity ✓ • Shear wave velocity ✓ • Density ✓ • Porosity ✓ • Image logs ✗
Geomechanical Data	• Uniaxial Compressive Strength test ✗ • Tri-axial compressive test ✗ • Fracture toughness test ✗ • Brazilian test ✗ • Waves velocity test ✗
Well Test Data	• MDT ✗ • RFT ✓ • XPT ✗ • LOT ✗ • XLOT ✗
Reservoir/Completion Data	• PVT and Well Test Data ✗ • PLT ✗ • Pressure Survey ✓ • Perforation Data ✓ • Tubing and liner burst/Collapse analysis & Annulus pressure history ✗

شکل ۳-۲: داده های مورد نیاز در طراحی شکافت هیدرولیکی. داده هایی که علامت تیک آبی دارد در طراحی شکافت هیدرولیکی چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز در دسترس بوده است.

۳-۴-۲- تخمین پارامترهای ژئومکانیکی

برای یک عملیات موفق شکافت هیدرولیکی علاوه بر تجهیزات سر چاهی مناسب و یکپارچگی ستون چاه، خصوصیات ژئومکانیکی زون های انتخاب شده برای عملیات شکافت 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. با آگاهی از عوامل تأثیرگذار بر طراحی شکافت هیدرولیکی، مطالعات ژئومکانیکی انجام می شود؛ بنابراین تعیین خواص ژئومکانیکی سنگ از قبیل تنشهای اصلی، مقاومت سنگ، چقرمگی شکست، فشار منفذی، فشار شکست، و ضرایب الاستیک برای طراحی شکست هیدرولیکی امری ضروری است. در شکل ۳-۳ روند انجام مطالعات ژئومکانیکی رایج در یک عملیات شکافت هیدرولیکی نشان داده شده است.



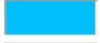
شکل ۳-۳: روند انجام مطالعات ژئومکانیکی

۳-۴-۳- تعیین زون کاندید برای عملیات شکافت هیدرولیکی از نظر ژئومکانیکی

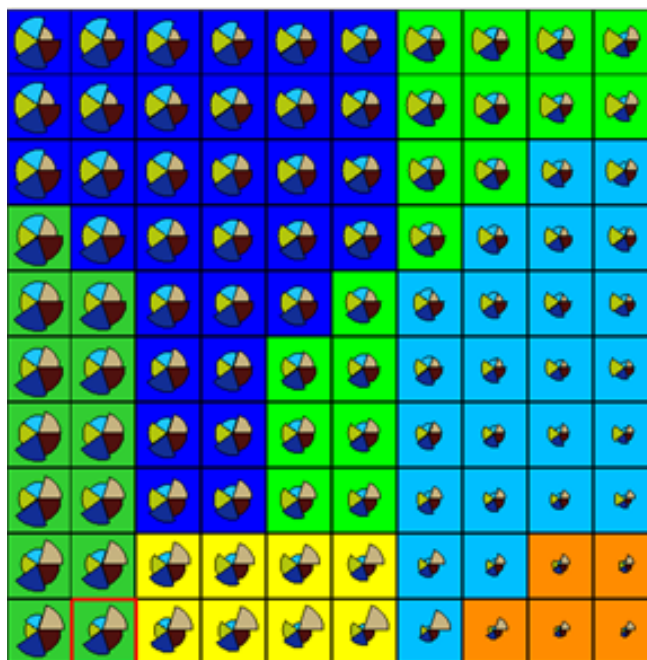
به منظور تحلیل بهتر چگونگی تغییرات پارامترهای ژئومکانیکی لازم است که چاه مورد مطالعه به زون‌های ژئومکانیکی تقسیم بندی شود و در نهایت بهترین زون ها برای اجرا عملیات شکاف هیدرولیکی مشخص می شوند. برای این منظور از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. روش خوشه بندی یکی از بهترین روش‌های تعیین زون در سازندهاست. در این مطالعه از روش خوشه بندی درختی برای تعیین زون‌های ژئومکانیکی استفاده شده است. بعد از آماده کردن داده‌ها برای خوشه بندی، در مرحله بعد روش خوشه بندی درختی برای تعیین خوشه‌های بهینه استفاده شد. برای این منظور نمودارهای مقاومت تک محوره، مدول یانگ، چقرمگی شکست، اندیس شکنندگی، و ضریب پواسون به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب گردیده است. بعد از انتخاب متغیرهای ورودی در ادامه با استفاده از درخت خوشه‌ای، شماره تعداد گونه‌های سنگی بهینه مشخص گردید. شش خوشه به عنوان

تعداد خوشه‌های بهینه انتخاب گردیده است. شکل ۳-۴ نقشه خود سازماندهی^۱ خوشه‌ها را برای چهار پارامتر انتخابی برای خوشه بندی بر اساس رنگ‌های نشان داده شده است. جدول ۳-۳ همچنین میانگین خصوصیات مکانیک سنگی را برای هر یک از خوشه‌های ژئومکانیکی را نشان می‌دهد که برای هر پارامتر از ۱ تا ۶ و رنگ‌های مختلف هر خوشه به تفکیک آورده شده است. در شکل ۳-۴ خوشه‌های ژئومکانیکی به همراه پارامترهای مکانیک سنگی استفاده شده، نشان داده شده است. بر اساس این خوشه بندی بازه مورد مطالعه به ۱۳ زون تقسیم شده است. زون‌های A، E، G و I ترکیبی از تمامی خوشه‌ها هستند. در صورتی که زون B با ضخامت تقریبی ۷۰ متر، به طور یکنواختی از خوشه ۶ و تا حدود بسیار کمی از خوشه ۲ تشکیل شده است و از آنجایی که این دو خوشه پایین‌ترین مقادیر پارامترهای مکانیک سنگی را دارا هستند می‌تواند به عنوان یک کاندید مد نظر قرار گیرد. از طرفی زون C همانند زون F و J و M عمدتاً از خوشه ۲ تشکیل شده است که نشان دهنده میزان پایین مقادیر مکانیک سنگی در این زون‌ها است. همچنین زون‌های D، H و I عمدتاً از خوشه ۴ و ۱ تشکیل شده‌اند که بالاترین مقادیر پارامترهای مکانیک سنگی را از آن خود کرده‌اند. قرار گرفتن این زون‌ها در کنار زون‌های کاندید دیگر می‌تواند به عنوان یک سد در برابر رشد عمودی شکاف در چاه عمل کند.

جدول ۳-۳: پارامترهای مکانیک سنگی استفاده شده در خوشه بندی، میانگین هر پارامتر در خوشه‌های مختلف

Name	1	2	3	4	5	6
Color						
Poisson Ratio (Static)	 0.3040	0.2848	0.3229	0.2972	0.3255	0.2842
Young's Modulus (Static)	 25.56	13.61	25.12	18.87	15.87	8.31
BI	 5.8580	5.3182	5.6060	5.7351	5.4563	4.7170
KIC	 1.9793	1.3464	2.1409	1.6652	1.6732	0.9859
UCS	 57.05	40.34	62.47	47.80	48.27	32.12

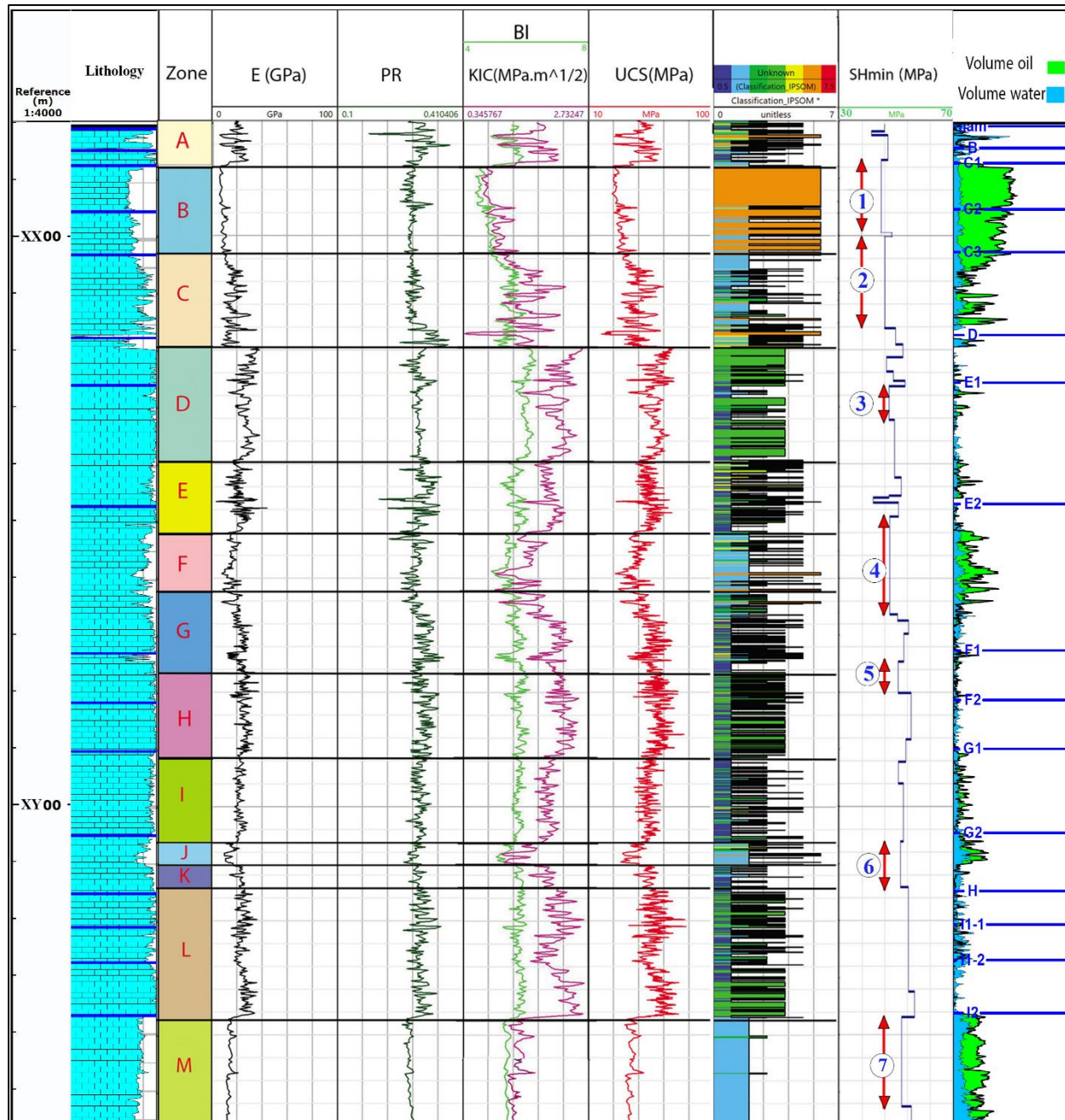
^۱Self organizing map



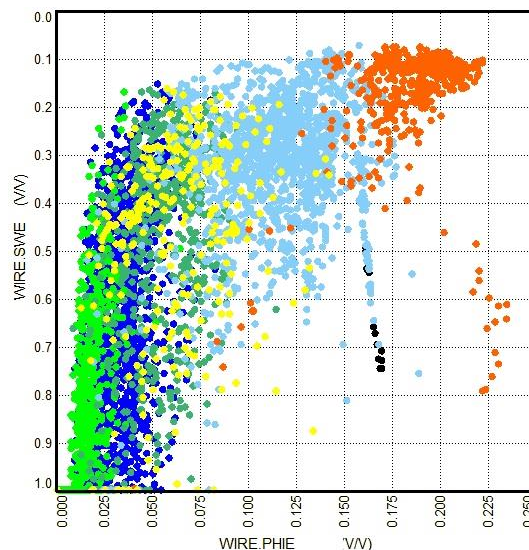
شکل ۳-۴: نقشه خود سازماندهی خوشه‌ها را برای چهار پارامتر انتخابی برای خوشه بندی

با توجه به اینکه یکی از اساسی‌ترین پارامترها در تعیین هندسه شکاف تنش افقی مینیمم می‌باشد، بایستی در نظر داشت در زون‌ها مشخص شده، هر زونی که برای شکافت هیدرولیکی کاندید باشد بایستی چگونگی تغییرات تنش در آن زون مورد بررسی قرار گیرد. ایده آل‌ترین حالت این است که یک زون با تنش کمتر در بین دو زون با تنش بیشتر قرار گرفته باشد (سد تنشی). این نواحی در تراک تنش افقی مینیمم در شکل ۳-۵ مشخص شده‌اند. در بخش پایینی زون A تنش کاهش یافته و این کاهش یک بازه عمقی ۳۲ متری را در زون B ایجاد می‌کند (بازه ۱ در شکل ۳-۵). با یک افزایش جزئی در تنش مجدداً یک ناحیه با اختلاف تنش در قسمت پایینی زون B و قسمت بالایی زون C ایجاد می‌شود (بازه ۲ در شکل ۳-۵). قسمت میانی زون D (بازه ۳ در شکل ۳-۵)، زون F و بالای زون G (بازه ۴ در شکل ۳-۵)، در زون J و K (بازه ۶ در شکل ۳-۵) و بالاخره زون M (بازه ۷ در شکل ۳-۵) که بسیار مساعدتر از موارد دیگر به نظر می‌رسد، مشاهده می‌شود.

در ادامه لیتولوژی و زون‌های مخزنی تعیین شده در مقابل زون‌های ژئومکانیکی آورده شده است (تراک آخر شکل ۳-۵). همانطور که مشاهده می‌شود در چندین زون مرزهای زون‌های مخزنی و ژئومکانیکی انطباق خوبی نشان می‌دهند. از میان زون‌های ژئومکانیکی تعیین شده، پارامترهای مخزنی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت و زون‌های کاندید نهایی مشخص خواهد شد. نکته قابل توجه میزان اشباع آب و سیال هیدروکربنی است، که بایستی برای زون‌های کاندید در نظر گرفته شود. زون‌هایی که تولید طبیعی آنها از نظر اقتصادی بسیار قابل توجه است (تخلخل و تراوایی بالا) و همچنین زون‌هایی که اشباع آب آنها بالاست، از زون‌های کاندید حذف خواهند شد. با در نظر گرفتن این موضوع و با توجه به شکل ۳-۶ می‌توان نتیجه گرفت که کلاس‌های ۲، ۵ از لحاظ وضعیت تخلخل و اشباع شدگی آب مناسب هستند چرا که در خوشه ۶ تخلخل به صورت طبیعی بالاست و از ۱۵ درصد بیشتر است.



شکل ۳-۵: پارامترهای مکانیک سنگی استفاده شده برای خوشه بندی، خوشه ها، زون های تعیین شده و نمودار تنش افقی
مینیمم به صورت پیوسته



شکل ۳-۶: نمودار اشباع آب - تخلخل با لحاظ خوشه‌های تعیین شده

در فاز دوم همین پروژه پارامترهای ضروری جهت غربالگری و انتخاب چاه و لایه مخزنی برای انجام عملیات شکافت هیدرولیکی معرفی گردید. همانطور که ذکر گردید، در کنار پارامترهای ژئومکانیکی و تنش‌های موجود، خصوصیات پتروفیزیکی از قبیل تخلخل، اشباع شدگی، تراوایی نیز جهت انتخاب زون مناسب مخزنی باید مورد بررسی قرار گیرد. اگر در یک بازه مخزنی تخلخل بالا (بالتر از ۱۸ درصد) وجود داشته باشد و تراوایی نیز بیشتر از ۱۰ میلی داری باشد زهکشی و تخلیه مخزن بصورت طبیعی اتفاق می افتد و دیگر نیازی به عملیات شکافت هیدرولیکی نخواهد داشت. از طرف دیگر، اگر میزان تخلخل کمتر از ۵ درصد باشد و تراوایی هم کمتر از ۱ میلی داری باشد میزان ذخیره مخزن در حدی نخواهد بود که عملیات را اقتصادی کند. بنابراین، کالبره کردن زون‌های مناسب از منظر مکانیک سنگی و تنشی با نتایج پتروفیزیکی، در این چاه نیز ضروری است.

از آنجایی که زون‌های کاندید بایستی از لحاظ اشباع شدگی آب و نفت مورد بررسی قرار گیرند در این بخش، زون‌های ژئومکانیکی مشخص شده در بخش قبل در مقابل اشباع شدگی آب و نفت قرار گرفته تا انتخاب بازه‌های کاندید امکانپذیر گردد. در مخزن مورد مطالعه زون‌های پتروفیزیکی (C1-C3، E2، G2، و I2) دارای اشباع هیدروکربنی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند که این زون‌ها کاندید مناسبی از نگاه پتروفیزیکی هستند (شکل ۳-۶).

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 پارمترهای غربالگری، این زون ها می توانند در شرایط موجود به صورت طبیعی تخلیه شوند و نیازی به عملیات شکافت 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 شکافت 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 ۴-۷ تراک ۸). این زون نیز با ارزش پایین تر از زون بالایی مناسب عملیات شکافت 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 شکافت هیدرولیکی قرار می گیرد.

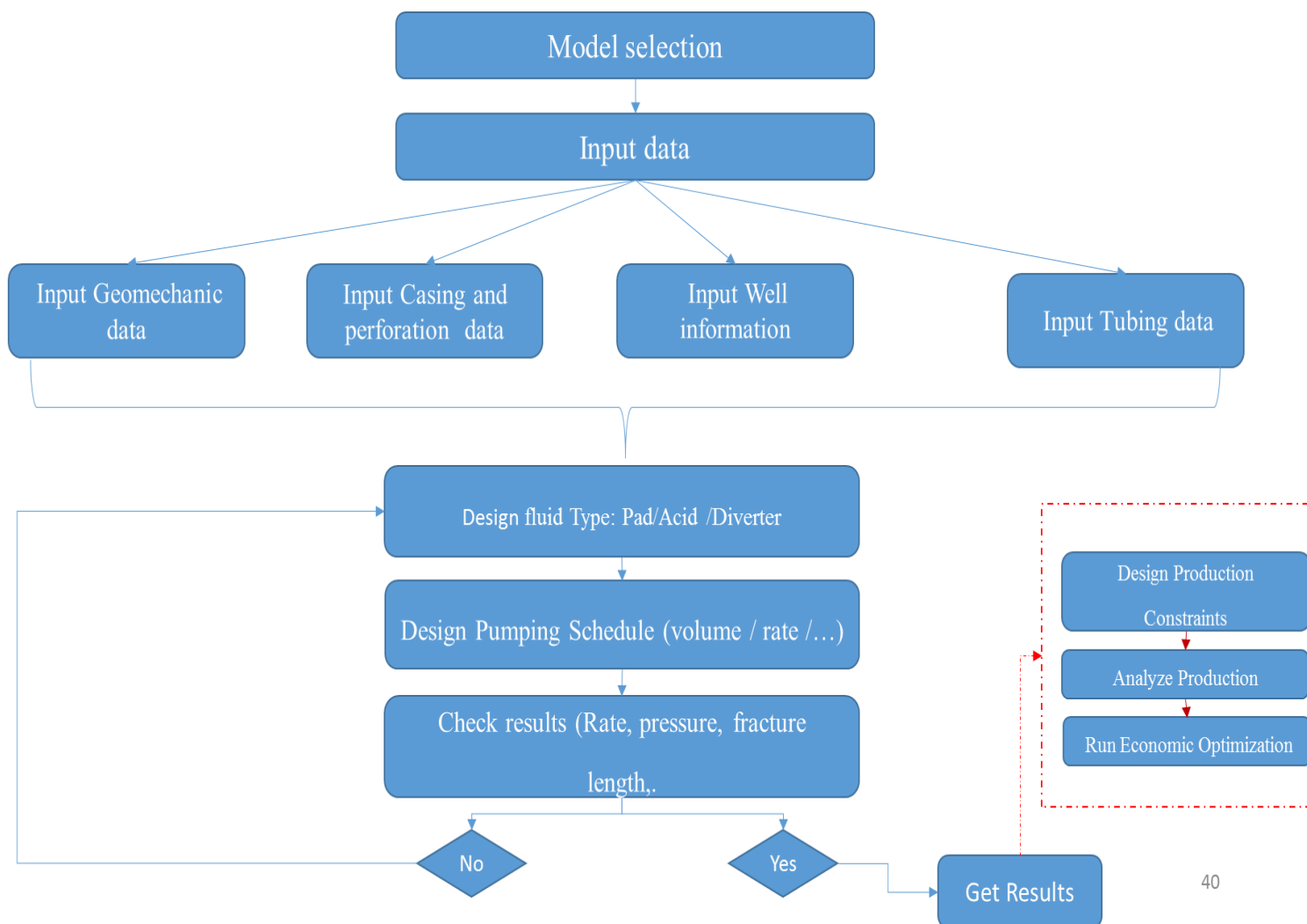
۳-۵- شبیه سازی شکاف چاه شماره ۵۱۵ میدان اهواز

۳-۵-۱- مقدمه

چاه شماره ۵۱۵ اهواز (E: 274818, N: 3476731) در سازند بنگستان در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۲ شروع به حفاری شده و در تاریخ ۱۳۹۸/۰۹/۲ تکمیل شده است. با توجه به برنامه شکاف اسیدی، لاینر ۷ اینچ تا انتهای بازه ی حفاری شده رانده شده و رشته تکمیلی ۴،۵ اینچ (فشار کاری ۱۰,۰۰۰ پام) در سازند کربناته ایلام تا عمق ۳۶۷۶ متری تکمیل شده است. لایه تولیدی این چاه در بازه ی ۴۲۰۵-۴۲۴۵ متری مشبک کاری شده است. با توجه به مطالعات ژئومکانیکی صورت گرفته تمامی زون تولیدی مشبک کاری شده به عنوان لایه کاندید برای انجام عملیات شکاف اسیدی در نظر گرفته شده است. با توجه به آنالیز داده های فشار منفذی در طول بازه ی کاندید شده احتمال شکستگی در بازه ی ۴۲۰۵ تا ۴۲۴۵ متری پیش بینی می گردد. وضعیت سیمان پشت لوله جداری در

بازه ی مشبک کاری شده خوب گزارش شده ولی اطلاعاتی از وضعیت فشار مچالگی و ترکیدگی لاینر ۷ اینچ در دسترس نمی باشد. 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.

داده های ورودی این شبیه ساز طبق فلوچارت شکل شماره ۳-۷ به ترتیب وارد شبیه ساز شده و در نهایت به خروجی مورد نظر می رسد.



40

شکل ۳-۷: فلوچارت کلی طراحی شکافت هیدرولیکی

طبق فلوچارت ارائه شده برای روند شبیه سازی در چاه شماره ۵۱۵، ابتدا داده های مورد نیاز شامل داده های ژئومکانیکی محاسبه شده، مشخصات حفاری و رشته ی تکمیلی، مشبک کاری به ترتیب وارد مدل می شوند. پس از ورود اطلاعات اولیه، از پایگاه داده خود شبیه ساز، ۴ سیال شامل: پد ویسکوز، اسید، سیال منحرف کنندف، سیال جابجا کننده استفاده شد. سیال انتخاب شده در این طراحی به اسم تجاری Prime Frac در شرایط دمایی بالا آزمایش های رئولوژی آن انجام شده است. حداکثر ویسکوزیته ظاهری بدست آمده طبق داده های خود سیال در نرخ برشی ۱۷۰ (1/sec) حدود ۲۶۵ cp ثبت شده است. جهت ایجاد خوردگی در سطح شکاف و همچنین جلوگیری از خوردگی اجزا رشته تکمیلی از اسید 15 % HCL استفاده شده است. از مزایای این سیال اندک بودن میزان ضریب اصطکاک با توجه به ویسکوزیته پایینی که دارد می باشد.

با توجه به تجربه های طراحی پیشین سیال منحرف کننده جریان VDA انتخاب گردید (البته این سیال در شرایط عملیاتی نیازمند طراحی و فرمولاسیون خاص خود را دارد). در انتخاب این سیال پارامتر ویسکوزیته از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد. بدین منظور سیال VDA (Visco Elastic Diverting Agent) را از کتابخانه خود شبیه ساز انتخاب کرده به عنوان سیال منحرف کننده به صورت پایه در طراحی استفاده می کنیم. در انتها سیال جابجا کننده (در اینجا دیزل) انتخاب شده است.

طبق فلوچارت ۳-۷، ترتیب تزریق سیالات مرحله بعدی می باشد. 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. 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 پس از محاسبات از شاخص تزریق تقریباً ۳۸۰ گالن/ فوت به عنوان حجم اولیه (نزدیک به مدل Daccord) برای سیالات اسید و VDA با حجم پد حدود ۱۰۰ بشکه جهت شروع شبیه سازی در نظر گرفته شد و طراحی پمپاژ اولیه طبق برنامه زیر در شکل ۳-۸ طراحی گردید.

	Stage Type	Flow Rate (bpm)	Prop Conc (ppg)	Clean Vol (gal)	Step Length (min)	Cumul Time (min:sec)	Fluid Type
1	Circulation	5.00	0.00	9,770	46.52	46:31	Diesel
2	Main frac pad	25.00	0.00	4,200	4.00	50:31	PrimeFRAC 15
3	Main frac acid	25.00	0.00	19,530	18.60	69:07	15%HCl
4	Main frac slurry	25.00	0.00	20,790	19.80	88:55	VDA10
5	Main frac acid	25.00	0.00	19,530	18.60	107:31	15%HCl
6	Main frac slurry	25.00	0.00	20,790	19.80	127:19	VDA10
7	Main frac acid	25.00	0.00	19,530	18.60	145:55	15%HCl
8	Main frac flush	25.00	0.00	10,000	9.52	155:26	Diesel

شکل ۳-۸: توالی تزریق و نرخ های تزریق در برنامه پمپاژ سیالات

پس از تزریق سیالات طبق برنامه پمپاژ، هندسه ی ایجاد شده در طراحی اولیه ارزیابی شده که طول شکاف ایجاد شده برابر با ۸۱۴ فوت و طول تحت تاثیر خوردگی اسید برابر با ۳۳۲ فوت بوده که حدود ۴۰ درصد حاکاکی^{۱۲} شده تاثیر مهمی بر هدایت پذیری نهایی ایجاد نماید. بیشترین عرض بازدگی در دهانه ی مشبک ها برابر با 0.47 اینچ بوده و میانگین عرض برابر با 0.2 اینچ بوده که از این عرض بازشدگی به صورت میانگین 0.06 اینچ تحت تاثیر خوردگی اسید قرار گرفته است. حداکثر فشار سطحی ناشی از تزریق حدود ۸۶۶۰ پام بوده که با توجه به محدودیت فشار تاج سرچاهی می بایست این فشار در مراحل بهینه سازی مورد توجه قرار گیرد.

^{۱۲}Etching

در مرحله ی بعد تکرار انتخاب حجم، نرخ تزریق و توالی تزریق طبق روند اجرای شبیه سازی تا رسیدن به مقدار بهینه انجام گردید. حجم های اولیه سیالات اسیدی، بر اساس یک سری فرضیات بدست آمده و می بایست متناسب با خصوصیات لایه های مخزنی بهینه سازی گردند. بهینه سازی در چند سطح مختلف شامل، داده های ورودی (احجام ورودی، نرخ تزریق و نوع سیالات و پارامتر های رئولوژی و ..) که می بایست همگی بر یک شاخص هماهنگ اثر کاهشی یا افزایش داشته باشند، انجام گرفت.

در این مطالعه با توجه به داده های موجود و محدودیت فشار تجهیزات سطحی، این پارامتر به عنوان محدودیت اصلی تعیین کننده در طراحی در نظر گرفته شده است. منظور از شاخص، پارامتریست که بهینه سازی فاکتور های ورودی منجر به تغییر آن می شود. مهمترین شاخص در نظر گرفته در این مرحله از کار، هدایت پذیری بدون بعد می باشد که در انتهای عملیات در صورت ساخت مدل چاه و مخزن این پارامتر نقش کلیدی در پیش بینی مدل های تولید دارد.

به منظور رسیدن به طول و عرض بهینه شکاف، ابتدا بر اساس حجم اولیه، نرخ تزریق را بهینه سازی کرده و از نرخ تزریق ۲۰ بشکه در دقیقه تا ۵۰ بشکه در دقیقه (افزایش ۵ تایی نرخ تزریق در هر سناریو) بدین منظور ۸ سناریو بر پایه برنامه پمپاژ مطرح شده در نظر گرفته شد. نتایج نشان داده که با افزایش نرخ تزریق روند افزایشی طول شکاف مشاهده می شود.

سوال مطرح شده در طول ارزیابی این روند افزایشی این بود که فارغ از محدودیت فشار سطحی، تا کجا می توان نرخ تزریق را افزایش دهیم؟ هر مرحله از افزایش نرخ تزریق منجر به چقدر اختلاف طول شکاف نسبت به مرحله ی قبل می شود؟ لذا تغییرات طول (نسبت طول شکاف ایجاد شده به مرحله قبل) برای ارزیابی در نظر گرفته شد. اما با لحاظ کردن پارامتر تغییرات طول مشاهده گردید که بیشترین افزایش طول شکاف از نرخ ۲۰ به ۲۵

بشکه در دقیقه معادل ۶۵ فوت بدست آمده است و با افزایش نرخ تزریق تا مرحله ی ۶ فارغ از رد شدن حد توقف از فشار سطحی تاج سرچاهی میزان تغییرات طول شکاف نسبت به مرحله ی قبلی با کاهش همراه بوده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که از نرخ تزریق ۴۰ بشکه در دقیقه به بالا، به علت سرعت بالای تزریق مدت زمان تماس اسید با سطح شکاف کمتر بوده و عرض حکاکی شروع به کاهش می کند. البته در صورت استفاده از اسید های تاخیری میزان واکنش اسید در دهان ی اولیه شکاف (نزدیک دیواره چاه) کمتر شده و این مهم با طراحی اسید مناسب قبل از طراحی عملیات قابل دست یابی می باشد. هدایت پذیری شکاف، دیگر پارامتر بررسی شده می باشد که تغییرات کاهشی آن با افزایش نرخ تزریق نشان دهنده معکوس بودن روند تغییرات این پارامتر می باشد. باتوجه به تغییرات مشاهده شده در اثر افزایش نرخ تزریق، نرخ تزریق ۲۰ بشکه در دقیقه با توجه به بالا بودن هدایت پذیری شکاف در این نرخ و همچنین فشار سطحی در محدوده ی امن فشار کاری تاج چاه برای این چاه در نظر گرفته شد.

بعد از بهینه سازی نرخ تزریق، حجم سیال اسیدی می بایست متناسب با این نرخ بهینه شده محاسبه گردد. برای این منظور طبق جدول ۳-۴ (لازم به ذکر است که حجم پایه سناریو شماره ۳ بوده و سناریو ۱ و ۲ بعد از اتمام سناریو ها به منظور ارزیابی تاثیر حجم کمتر به ارزیابی ها وارد شده است) افزایش حجم اسید و سیال منحرف کننده در نظر گرفته شد.

جدول ۳-۴ : بهینه سازی حجم تزریقی

Stage Type	Flow Rate (bpm)	Volume 1	Volume 2	Volume 3	Volume 4	Volume 5	Volume 6	Volume 7	Volume 8	Volume 9
Diesel	5	9770	9770	9770	9770	9770	9770	9770	9770	9770
PAD	20	4,200	4,200	4200	4200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200
HCL	20	11718	15,819.3	19,530	21,483	23,436	25,389	27,342	29,295	31,248
VDA	20	12474	16,839.9	20,790	22,869	24,948	27,027	29,106	31,185	33,264
HCL	20	11718	15,819.3	19,530	21,483	23,436	25,389	27,342	29,295	31,248
VDA	20	12474	16,839.9	20,790	22,869	24,948	27,027	29,106	31,185	33,264
HCL	20	11718	15,819.3	19,530	21,483	23,436	25,389	27,342	29,295	31,248
Diesel	20	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Total Volume	Gal	84,072	105,108	124,140	134,157	144,174	154,191	164,208	174,225	184,242
	bbl	2,002	2,503	2,956	3,194	3,433	3,671	3,910	4,148	4,387
Fracture length (ft)		600.9	682	747	779	812	841	869	896	922
Etched Length (ft)		263	309	334	346	360	372	382	391	406
Average etched width (in)		0.053	0.062	0.077	0.085	0.077	0.083	0.089	0.095	0.101
surface pressure (psi)		7707	7710	7712	7714	7717	7717	7718	7719	7719
Avg Fracture conductivity (md.ft)		422.6	717.3	1238	1562	1576	1877	2212	2595	3071

همانطور که مشخص است از حجم تزریقی ۲۹۹۰ به بعد افزایش تغییرات طول حکاکی شده با افزایش ۱۰ درصدی سیال ورودی تغییر چندانی ندارد، لذا حجم ۳۱۹۴ بشکه به عنوان سناریو بهینه انتخاب شده است. در حجم بهینه انتخاب شده طول شکاف و طول حکاکی شده برابر با ۷۷۹ و ۳۳۴ فوت و همچنین میانگین عرض حکاکی شده برابر با ۰,۰۶ اینچ می باشد. از حجم ۲۹۵۰ در سناریو سوم به بعد روند ثابتی داشته و از سناریو ۵ به بعد افزایش اختلاف هدایت پذیری شکاف تغییرات زیادی ندارد، لذا با توجه این روند اختلاف هدایت پذیری شکاف، حجم بهینه ۳۲۰۰ بشکه انتخاب شده است. پارامتر بعدی برنامه پمپاژ سیالات تزریقی بوده که بدین منظور چند سناریو مختلف با حجم و دبی تزریق بهینه آنالیز و بهترین حالت سناریو اول شامل ۳ مرحله تزریق اسید و ۲ مرحله تزریق VDA انتخاب گردید.

پس از انتخاب سناریو بهینه، مدل را با این تغییرات اجرا کرده و نتایج هندسه ی شکاف و تغییرات فشار سطحی و دیگر پارامتر های خروجی را به عنوان مدل بهینه برای چاه مذکور در نظر گرفته است. با بهینه سازی پارامترهای

نرخ تزریق ۲۰ بشکه در دقیقه، حجم تزریقی ۳۲۰۰ بشکه و توالی تزریق مدل ساخته شده اجرا و نتایج پارامتر های خروجی قابل توجه بود. در خصوص طول شکاف ایجاد شده، مشاهده گردید که طول حکاکی شده با اسید برابر با ۳۴۶ فوت بدست آمده که نسبت به طول کلی شکاف ایجاد شده یعنی ۷۸۰ فوت به نسبت ۴۴ درصد بیشتر تحت تاثیر نفوذ اسید قرار گرفته است.

۳-۶- مدل سازی تولید و ارزیابی شاخص PI قبل و بعد از طراحی شکاف هیدرولیکی چاه شماره

۵۱۵ میدان اهواز

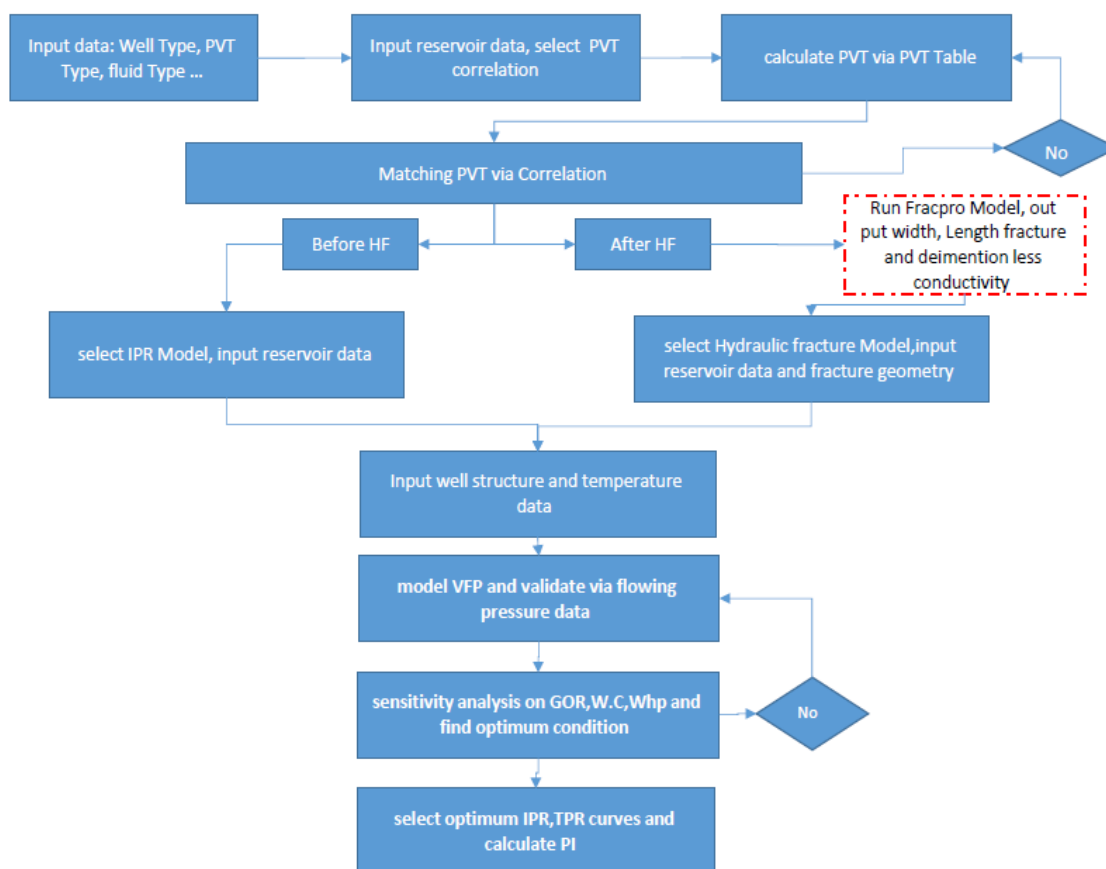
۳-۶-۱- مقدمه

هدف از ارائه این مدل تولید، ارزیابی عملکرد چاه شماره ۵۱۵ که در شرایط قبل و بعد از طراحی شکاف هیدرولیکی و بررسی وضعیت اثر پارامتر های موثر بر این عملکرد می باشد. این مطالعه توسط نرم افزار شبیه ساز Prosper از پکیج IPM صورت گرفته که ابتدا داده های اصلی ساختار چاه و مخزن به همراه داده های PVT به مدل وارد شده و در با توجه به داده های موجود از روابط سیال برای تطبیق داده های و صحت سنجی آن ها استفاده گردید. سپس مدل تولید چاه برای ایجاد نمودار عملکرد تولید IPR قبل از انجام شکاف هیدرولیکی بر اساس شرایط مخزنی چاه مذکور انتخاب شد. به منظور مدلسازی شرایط درون چاهی و ساخت مدل تولید ستون چاه از آنالیز گره ای استفاده گردید که جهت کالیبره کردن روابط فشار و دما از داده های فشار جریان درون چاهی استفاده شده است. پس از ساخت مدل، نقطه ی عملکردی محاسبه و شاخص تولید چاه حدود ۰,۹۸ stb/d/psi تخمین زده شد. به منظور بررسی وضعیت تولید چاه بعد از طراحی شکاف هیدرولیکی، داده های هدایت پذیری و طول شکاف جهت ساخت مدل عملکرد تولید، از مدل شبیه ساز شکاف استخراج و وارد شبیه ساز تولید شده که جهت ساخت نمودار عملکرد تولید از مدل Hydraulic fractured استفاده و طبق روابط تجربی جریان در ستون چاه با داده های سر چاهی مدل محاسبه شد. نتایج نشان دهنده ی حدود ۲ برابر افزایش شاخص PI بعد از طراحی در

نظر گرفته شده این چاه می باشد. در انتهای این مطالعه یک سری از پارامترهای مهم که بر محاسبات جریان در ستون چاه اثرگذار بوده مورد آنالیز حساسیت قرار گرفت

۳-۶-۲- فلو چارت کلی ساخت و بهینه سازی مدل تولید

هدف از ارائه این بخش، نگاه کلی به روند کار جهت ورود اطلاعات، نحوه ی Matching و بهتر شدن داده ها، انتخاب مدل و ساخت نمودارهای عملکرد تولید می باشد که طبق شکل شماره ۳-۹ در این مطالعه به آن پرداخته شده است.



شکل ۳-۹ : فلوچارت کلی شبیه سازی مدل تولید چاه

داده های ورودی مخزنی و تولید شامل ضریب حجمی نفت^۱ نسبت گاز به نفت تولیدی، ویسکوزیته نفت و فشار اولیه به منظور محاسبات PVT وارد مدل گردید. جهت اطمینان از این داده های اندازه گیری شده در آزمایشگاه ابتدا تست تطبیق با روابط تجربی موجود در خود شبیه ساز که معیار محاسبات PVT می باشند انجام شد. تست تطبیق پذیری داده های اندازه گیری شده با روابط تجربی در دما و فشار حباب برابر F_{264} با 1700 psi محاسبه گردید. در این چاه داده ی ضریب حجمی نفت موجود نبود که توسط روابط این پارامتر در فشار اشباع برابر با مقدار 1.27 bbl/stb محاسبه گردید. در این مرحله باتوجه به داده های محدود PVT برای انطباق داده های اندازه گیری شده از مدل Black Oil استفاده شده و در این مدل معادله حالت Standing برای محاسبه ضریب حجمی نفت، فشار نقطه ی حباب و نسبت گاز محلول در نفت و برای محاسبه ویسکوزیته نفت از معادله حالت Beggs استفاده شده است. با توجه به PVT Match صورت گرفته، بهترین رابطه برای محاسبه ضریب حجمی نفت و نسبت نفت و گاز با داده های اندازه گیری شده رابطه Laster با کمترین ضریب انحراف استاندارد می باشد.

۳-۷- ساخت مدل IPR^۲

مدل عملکرد تولید رابطه بین فشار جریان و میزان نرخ تولید را محاسبه می کند و نشان می دهد به ازای هر psi افت فشار بین فشار مخزن و فشار درون چاهی چه مقدار نفت در طول یک روز تولید می گردد. در این قسمت دو مدل IPR، یکی قبل از انجام عملیات شکاف هیدرولیکی و یک مدل هم برای بعد از انجام شکاف هیدرولیکی به منظور نشان دادن بهتر عملکرد عملیات انجام شده در نظر گرفته می شود. طبق آخرین گزارش با فشار سر چاهی 187 psi به مقدار 2000 بشکه در روز تولید داشته، لذا برای پیش بینی تولید قبل از انجام عملیات شکاف هیدرولیکی برای این چاه از مدل PI استفاده می شود. به منظور محاسبه شاخص تولید از داده های چاه های مجاور (داده های فشار جریانی ته چاه) جهت محاسبه این پارامتر استفاده گردید. فشار جریانی ته چاه در عمق

^۱Formation Volume Factor

^۲Inflow Performance Relationship

۴۲۳۰ متری برابر با ۴۰۶۰ پام محاسبه گردید. با مشخص شدن فشار جریان درون چاهی و نرخ تولید گزارش شده، میزان شاخص تولید 1.03 (STB/day/psi) حاصل گردید که به عنوان پارامتر ورودی و شبیه سازی نمودار عملکرد تولید استفاده شد.

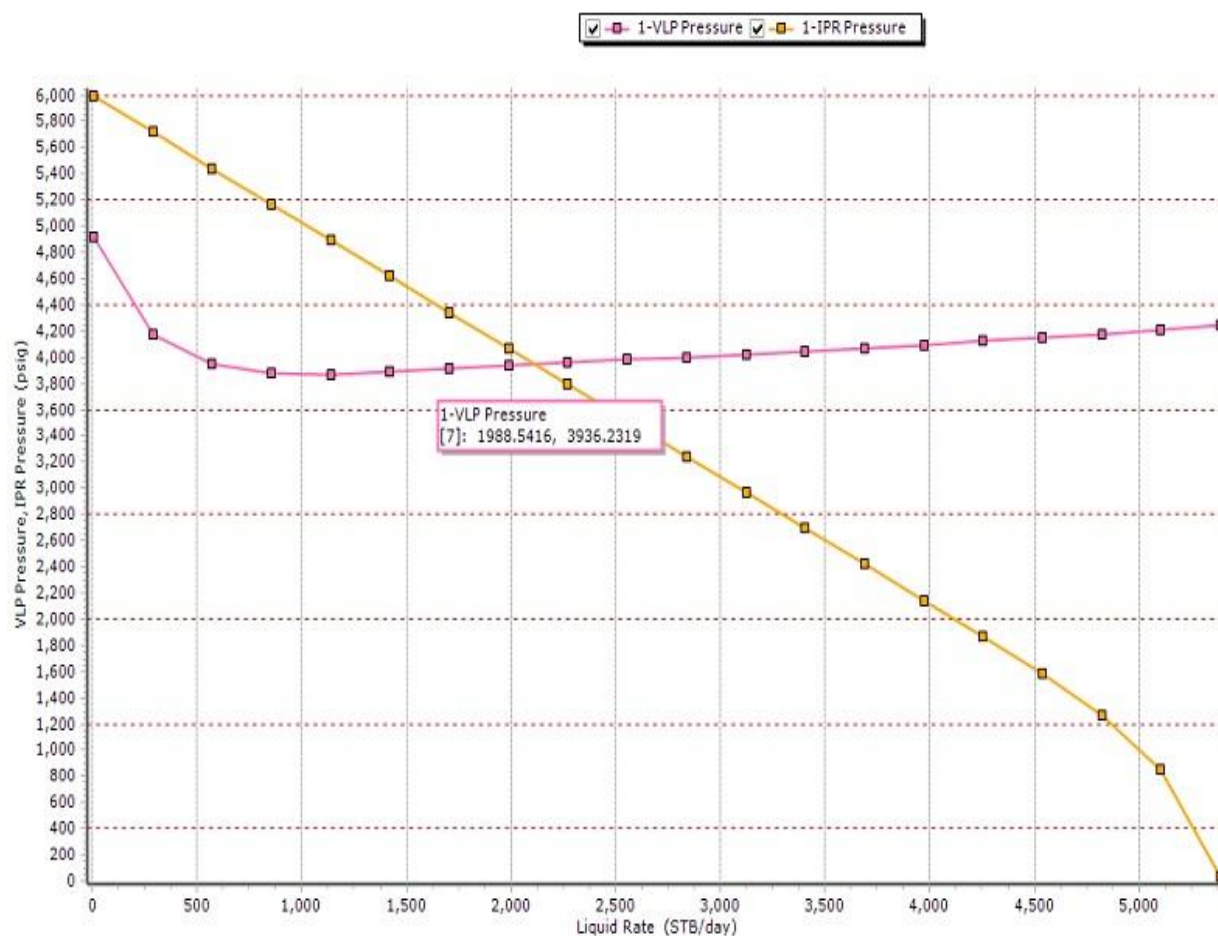
بعد از به دست آوردن شاخص تولید، شبیه ساز نمودار عملکرد چاه ۵۱۵ قبل از انجام عملیات شکاف هیدرولیکی را محاسبه نموده که به منظور محاسبه نقطه ی عملیاتی تولید نیازمند محاسبه نمودار فشار سطحی بر اساس قطر لوله مغزی، نسبت گاز به نفت تولیدی و شرایط دمایی ته چاه می باشد. لذا پس از ورود داده های رشته تکمیلی و عمق جداری ها، نمودارهای عملکرد سر چاهی ارا بر اساس روابط موجود در شبیه ساز محاسبه گردید.

برای محاسبه ی شاخص تولید از آنالیز گره ای^۲ استفاده شد. برای این منظور فشار Top Node در ایجا برابر با آخرین فشار سطحی سر چاهی (۱۸۷ پام) در نظر گرفته شد. برای محاسبه ی VLP از رابطه Petroleum expert 2 استفاده شده است. شبیه ساز Prosper نیاز به انتخاب تعدادی نرخ تولید دارد تا فشارهای VLP و IPR مربوط به این نرخ ها محاسبه شود. که در این چاه حدود ۲۰ نرخ به صورت افزایش خطی برای محاسبات وارد مدل گردید. خروجی مدل چاه شماره ۵۱۵ برای نمودارهای عملکرد تولید و VLP در شکل ۳-۱۰ آمده است. همانطور که در نقطه ی عملکرد^۳ مشاهده می گردد، فشار جریان درون چاهی با نرخ تولید حدود ۲۰۵۰ بشکه در روز و فشار سرچاهی ۱۸۷ پام برابر با معادل ۳۹۳۶ پام محاسبه شده که با مقدار تقریبی فشار جریان درون چاهی که از داده های چاه های مجاور در نظر گرفته شد با تقریب مناسبی نزدیک می باشد. همچنین شاخص عملکرد تولید با این فشار درون چاهی معادل 0.96 stbd/psi به دست آمده که نزدیک به مقدار محاسبه شده ی قبلی می باشد.

^۱Vertical lift Performance (VLP)

^۲Nodal Analysis

^۳Operating Point



شکل ۳-۱۰: نمودار عملکرد تولید و VLP چاه ۵۱۵

برای ساخت مدل IPR چاه بعد از ایجاد شکاف هیدرولیکی، ابتدار از مدل FRACPRO داده های طول شکاف حاکمی شده هدایت پذیری بدون بعد^۲ را بدست آورده، سپس داده های PVT طبق مدل قبل از ایجاد شکاف، تطبیق داده شد. بدین منظور برای محاسبه ی مدل IPR و TPR این چاه، از مدل Hydraulically fractured well استفاده می کنیم. مدل مذکور بر اساس مقاله Cinco et all (در سال ۱۹۸۷) رابطه ی رفتار جریان فشار گذرا^۳ در یک چاه با شکاف های عمودی با هدایت پذیری محدود در شبیه ساز Prosper ساخته شده است.

با توجه به مشخص نبودن مقدار فشار سطحی بعد از انجام عملیات شکاف هیدرولیکی آنالیز گره ای برای فشار سر چاهی (از فشار ۱۸۷ پام قبل از انجام عملیات شکاف هیدرولیکی افزایش تا ۱۲۰۰ پام) به صورت افزایشی در نظر گرفته شد. طبق جدول شماره ۳-۵ نقطه ی عملکردی چاه شماره ۵۱۵ با همان فشار سر چاهی قبلی ۱۸۷ psi برابر با دبی ۷۸۷۲ بشکه در روز و مقدار فشار جریانی ۳۱۵۳ psi بدست آمده که در این صورت مقدار شاخص تولید بعد از انجام شکاف هیدرولیکی $PI = 2.76 \text{ stb/day/psi}$ بدست می آید.

جدول ۳-۵: خلاصه وضعیت چاه ۵۱۵ قبل و بعد از انجام شکاف هیدرولیکی

P	P _{wh}	P _{wf}	Q	GOR	PI
psi	psi	psi	bbl/day	scf/stb	stb/d/psi
6000	187	3936	2000	400	0.988
6000	389	3519	7086	400	2.85

^۱Etched Length

^۲Dimensionless Conductivity

^۳Pressure Transient Analysis



جهاد دانشگاهی



شرکت نفت مناطق نفت خیز جنوب