

فناوری تحریک با استفاده از چند شاخه‌ی جانبی (استخوان ماهی)

رضا اخزری^{*}، فرزاد برزگر، کارشناسی ارشد مهندسی نفت پژوهشگاه صنعت نفت ■ فلور شایق، رئیس فناوری و نوآوری پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

در بسیاری از موارد، چاه‌های نفت کربناته با استفاده از تزریق اسید یا شکافت اسیدی با هدف افزایش بهره‌وری تحریک می‌شوند. تحریک با استفاده از شکافت با چالش‌هایی همراه است، زیرا تمام بازه‌های مورد هدف باید به‌طور مداوم تحریک شوند. همچنین پیش‌بینی رشد شکافت‌های هیدرولیکی در جهت عمودی می‌تواند سخت باشد که در نتیجه ممکن است ریسک وارد شدن به سازندهای آبی یا گازی را ایجاد کند. در نتیجه می‌توان گفت که این عملیات‌ها می‌توانند پیچیده و پرهزینه باشند و همچنین به چالش‌های زیست‌محیطی منجر شوند. فناوری تحریک با استفاده از چند شاخه‌ی جانبی^۱ که به دلیل چند شاخه بودن و تشابه ظاهری ابزار استفاده شده به اسکلت ماهی با عنوان فناوری استخوان ماهی^۲ شناخته شده است، یک روش ساده، کارآمد و قابل کنترل تر تحریک با اثرات زیست‌محیطی کمتر است که اخیراً توسعه داده شده و به صورت میدانی مورد استفاده قرار گرفته است. این فناوری با ایجاد تعداد زیادی شاخه‌ی جانبی از دهانه‌ی چاه به داخل سازند، چاه را تحریک می‌کند. این فناوری از سیالات کمتری استفاده می‌کند، خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد و باعث حذف جریان برگشتی سیال ناشی از انگیزش می‌شود. در این مقاله، ابتدا مقدمه‌ای کوتاه در ارتباط با تحریک چاه و ضرورت و اهمیت آن بیان شده است. در ادامه، فناوری استخوان ماهی معرفی و تکامل آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. همچنین نخستین نصب آزمایشی این فناوری در یک چاه افقی در مخزن کربناته‌ی آستین در تگزاس، در سال ۲۰۱۴ بررسی می‌شود. این نصب آزمایشی، کارآیی و اثربخشی این فناوری انگیزشی را با ایجاد ۶۰ شاخه‌ی جانبی، هر کدام به طول ۴۰ فوت، در عرض چند ساعت پمپاژ اثبات کرده است. در نهایت نیز مزایای استفاده و همچنین راهبرد پیاده‌سازی این فناوری بیان می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۱/۱۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۲/۱۹

واژگان کلیدی:

چندشاخه‌ی جانبی، فناوری تحریک، فناوری استخوان ماهی.

مقدمه

از اسیدهای آلی، معدنی و یا ترکیبی از این اسیدها، به تنهایی و یا با مواد فعال‌کننده‌ی سطحی، ضد خوردگی و... برای تحریک چاه استفاده می‌شود. در این عملیات، اسید با دبی و فشارهای طراحی شده به درون دهانه‌ی چاه تزریق می‌شود. اسیدکاری با از بین بردن آسیب سازند ضریب پوسته را تا حد زیادی کاهش و تولید از چاه را افزایش می‌دهد. این روش در مخازن کربناته کاربرد بیشتری دارد. [۱] شکست هیدرولیکی روشی است که با ایجاد شکاف در سنگ مخزن موجب تحریک تولید چاه‌های نفت و گاز می‌شود. شکاف هیدرولیکی به وسیله‌ی تزریق سیال با سرعت بیشتر از ظرفیت جریانسی مخزن ایجاد و با تزریق پروپانت نگهداری و حفظ می‌شود. به عبارت دیگر، شکست هیدرولیکی، فرآیندی است که در آن سیال با نرخ تزریق نسبتاً بالای درون چاهی به سازند با نفوذپذیری پایین پمپ می‌شود. قبل از پمپ کردن سیال، یک مشبک‌سازی اولیه در دیواره‌ی چاه انجام می‌شود. همزمان با پمپ شدن سیال، فشار در چاه افزایش می‌یابد. این عملیات تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که فشار به حد لازم جهت آغاز شکست برسد و شکاف در دیواره‌ی چاه رشد کند.

با توجه به افزایش تقاضا برای نفت و گاز در سال‌های اخیر، متولیان صنایع نفت و گاز در فکر یافتن روش‌های جدید و با بازدهی بیشتر جهت تولید هیدروکربن از مخازن هستند. تا امروز روش‌های متفاوتی برای افزایش میزان بهره‌دهی چاه‌ها ارائه و انجام شده است، که هر یک می‌توانند به طریقی موجب بهبود عملکرد چاه‌ها شوند. روش‌های تحریک چاه به‌منظور بهبود در میزان تولید و سرعت بخشیدن به تولید نفت و گاز در میادین مختلف به کار می‌روند. روش انگیزش، متناسب با ویژگی‌های خاص هر سازند انتخاب می‌شود. گاهی اوقات یک چاه دارای نفوذپذیری پایین است، بنابراین انگیزش با اسید، نفت‌خام یا بخار لازم است تا سنگ، متخلخل شود و تولید از مخزن آغاز شود. انگیزش همچنین زمانی استفاده می‌شود که نیاز است نفوذپذیری و جریان از یک چاه بهبود داده شود. از آنجایی که بیش از ۸۵ درصد مخازن هیدروکربنی کشورمان از نوع کربناته بوده و اکثر آنها با معضل افت فشار مواجه هستند، استفاده از روش‌های مناسب انگیزشی جهت بهبود تولید، ضروری به نظر می‌رسد. اسیدکاری و شکست هیدرولیکی دو روش اساسی انگیزش چاه هستند. در اسیدکاری

* نویسنده عهد در مکاتبات (reza.akhzari@gmail.com)

این روش بیشتر در مخازن ماسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایجاد شکاف باعث کاهش ضریب پوسته و نیز افزایش قابلیت هدایت جریان به‌سوی چاه می‌شود. [۲] فناوری استخوان ماهی اساساً جایگزینی برای شکافت هیدرولیکی به مهندسان ارائه می‌کند. هدف این فناوری افزایش بهره‌وری چاه، یا قابلیت تزریق در چاه‌های تزریقی، با اتصال بهتر مخزن به چاه است. این فناوری در سازندهایی با نفوذپذیری پایین برای ایجاد پوسته‌ی منفی شبیه به فرآیند شکافت هیدرولیکی برای مخزنی عملی و کاربردی است که: [۳]

- دارای شکافت طبیعی، لایه‌ای یا بخش‌بندی شده هستند.
- مانعی برای داشتن شکافت هیدرولیکی ندارند.
- در جایی که قرارگیری شکافت هیدرولیکی چالش‌برانگیز است، تحلیل رفته‌اند.
- از دقت عمق کافی برای قرارگیری چاه برخوردار نیستند.

۲- فناوری استخوان ماهی

فناوری استخوان ماهی یک روش نوین برای انگیزش چاه‌های حفره باز است. در این روش علاوه بر انگیزش چاه، یک عملیات تکمیل دائم برای چاه‌های افقی و قائم حفره باز انجام می‌شود. در واقع این فناوری یک روش تکمیل چاه حفره باز است که بدون داشتن مشکلات شکافت هیدرولیکی، چاه و مخزن را به هم متصل می‌کند. [۳] همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در این فناوری با توجه به نوع سازند از دو نوع لوله‌ی آستری جانبی^۲ جهت ایجاد شاخه‌های جانبی استفاده می‌شود. لوله‌ی آستری جانبی که از روش تزریق پرفشار استفاده می‌کند، شامل چهار لوله با قطر کم و مقاومت بالا است که سوزن^۴ نامیده می‌شوند که هر کدام از سوزن‌ها یک افشانک^۵ در انتها دارند. این نوع لوله‌ی آستری جانبی در سازندهای کربناته، زغال‌سنگی و نفت‌سنگین به کار می‌رود. همچنین لوله‌ی آستری جانبی که از روش حفاری استفاده می‌کند و دریم لاینر^۶ نامیده می‌شود، شامل سه سوزن است که در ابتدای هر کدام از سوزن‌ها یک توربین جهت کنترل جریان سیال حفاری و در انتهای آنها یک مته‌ی کوچک جهت حفاری تعبیه شده است. دریم لاینر در تمام سازندها از جمله سازندهای ماسه‌سنگی فشرده استفاده می‌شود. لوله‌های آستری جانبی از یک پوشش جامد ساخته شده‌اند و از قطعات جدایی‌ناپذیر لوله‌ی آستری اصلی در چاه بدون جداره هستند که در طول سازند و در جایی که انگیزش، مطلوب است بر روی لوله‌ی آستری اصلی قرار می‌گیرند. سوزن‌ها در داخل لوله‌ی آستری جانبی، محل تماس لوله‌ی آستری جانبی و اصلی، قرار می‌گیرند. برای تحریک چاه با استفاده از فناوری استخوان ماهی، لوله‌ی آستری با یک آویز استاندارد آویزان می‌شود تا لوله‌های آستری جانبی در محل موردنظر قرار گیرند. در ادامه با توجه به نوع سازند و ابزار مورد استفاده تزریق پرفشار سیال با گردش گل حفاری انجام می‌شود.

در روش تزریق پرفشار سیال، سیال موردنظر، HCl برای سازندهای کربناته، پمپاژ می‌شود. این سیال از افشانک انتهای سوزن‌ها با فشار بالا به داخل سازند تزریق می‌شود و سازند جلوی لوله‌ها با ترکیبی از فرسایش و تجزیه‌ی شیمیایی اسید روبرو می‌شود. اختلاف فشار در طول لوله‌ی آستری، سوزن‌ها را به داخل سازند هدایت می‌کند و تا زمانی که سوزن‌ها به‌طور کامل باز شوند، در سنگ نفوذ می‌کنند. فشار معمولی تزریق^۷، ۳۰۰۰ psi است. در روش دریم لاینر گردش سیال حفاری موجب چرخش توربین‌ها و در ادامه، نفوذ سوزن‌ها با استفاده از مته‌های انتهای آنها به داخل سازند می‌شوند. تمام شاخه‌های جانبی به‌طور همزمان در طول فعالیت کوتاه‌مدت پمپاژ یا گردش گل ایجاد می‌شوند و به تکمیل چاه با ایجاد چندین شاخه‌ی جانبی از لوله‌ی مرکزی منجر می‌شوند. (شکل ۳) میزان نفوذ برای سوزن‌ها به ترکیب سازند، تخلخل، دمای پایین چاه، پیکربندی نازل، سیال تزریقی و فشار تزریق بستگی دارد. سوزن‌ها با زاویه‌ی تقریبی ۴۰ درجه از لوله‌ی آستری جانبی خارج می‌شوند. خم شدن از طریق دریچه‌ی خروجی باعث ایجاد شاخه‌های جانبی با یک زاویه‌ی نهایی حدود ۹۰ درجه نسبت به چاه می‌شود. سوزن‌ها ممکن است به مکانیزم شناسایی مثبت^۸ مجهز باشند که جریان را هنگامی که سوزن به‌طور کامل باز می‌شود (نفوذ می‌کند) قطع می‌کند. کفشک شناور^۹ مناسب موجب گردش لوله‌ی آستری در هنگام راندن در چاه می‌شود اما در روش تزریق پرفشار تماس با اسید را می‌بندد تا سیستم فشار بسته‌ای برای تزریق ایجاد شود. بسته به طول چاه افقی، دمای پایین چاه و تعداد شاخه‌های جانبی، تعدادی از لنگرهای حفره‌ی باز در لوله‌ی آستری قرار می‌گیرند تا مانع حرکت محوری این لوله در حین تزریق اسید یا گردش سیال حفاری شوند. نفوذ سوزن‌ها به داخل سازند، تونل‌های جانبی به قطر ۱/۲ تا ۳/۴ اینچ یا بزرگ‌تر ایجاد می‌کنند. نفت عمدتاً در فضای بین شاخه‌های جانبی و سوزن‌ها به داخل چاه، جاری می‌شود، جایی که از طریق شیرهای تولیدی وارد لوله‌ی آستری جانبی، لوله‌ی آستری تولیدی و نهایتاً بالای چاه می‌شود. هر لوله‌ی آستری جانبی دو دریچه‌ی تولیدی دارد که ۱۸۰ درجه فاصله دارند. این دریچه‌ها در طول فرآیند تزریق، مانع جریان خروجی می‌شوند، اما جریان ورودی را در طول تولید فعال می‌کنند. [۳]

فناوری استخوان ماهی در طول چند سال گذشته بارها آزمایش شده است. علاوه بر تست واجد شرایط و بهینه بودن هر بخش به‌صورت جداگانه، آزمایشات کامل در چاه‌های آزمایشی انجام شده است. این آزمایش‌ها نفوذ ۴۰ فوتی سوزن‌ها، تزریق همزمان و مسیر سوزن‌ها را تایید کرده است. آزمایش‌های سیستم مقیاس کامل دیگری برای تایید توالی عملیات با بستن کفشک شناور آزادکننده‌ی اسید، قرار دادن لنگر، تزریق، فعال‌سازی مکانیزم شناسایی مثبت و باز کردن دریچه‌های تولید با موفقیت انجام شده است.

۳- مزایای استفاده از فناوری استخوان ماهی

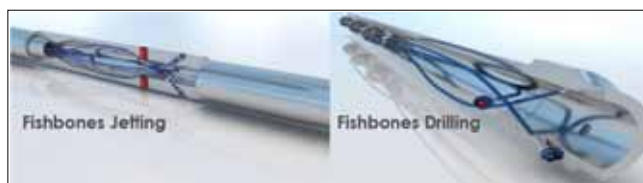
با استفاده از این فناوری، تا حدود ۲۰۰ کانال جانبی در مخزن ایجاد می‌شود که هر یک ۴۰ فوت طول دارند و به اپراتور این امکان را می‌دهند تا نرخ بازیافت را افزایش دهد و مخزن را سریع‌تر از شکافت هیدرولیک تخلیه کند. شکافت هیدرولیکی با چالش‌هایی همراه است، زیرا تمام بازه‌های مورد هدف باید به‌طور مداوم تحریک شوند. همچنین پیش‌بینی رشد شکاف‌های هیدرولیکی در جهت عمودی می‌تواند سخت باشد که در نتیجه ممکن است ریسک وارد شدن به سازندهای آبی یا گازی را ایجاد کند. در نتیجه می‌توان گفت که این عملیات می‌تواند پیچیده و پرهزینه باشد. در مقابل استفاده از چندین کانال کوچک‌تر، خطر بیش از حد نفوذ کردن در سنگ را محدود می‌کند. این فناوری کمتر از ۵ درصد از سیال و مواد شیمیایی که به‌صورت طبیعی در عملیات شکست استفاده می‌شود نیاز دارد که منجر به کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی آب‌های زیرزمینی و همچنین در معرض سیال انگیزشی بازیافتی قرار گرفتن شود. اثرات مستقیم زیست‌محیطی ناشی از انگیزش چاه شامل آلودگی منابع آبی، ایجاد زلزله و تاثیر بر کیفیت هوا می‌شود. استفاده از مواد شیمیایی کم خطرتر باعث کاهش آلودگی منطقه‌ای اطراف آن می‌شود. این فناوری همچنین استفاده از نیروی انسانی و تجهیزات گران‌قیمت را به حداقل می‌رساند. کل عملیات بدون نیاز به

سیالات کمتر، ساده می‌شود. [۶]

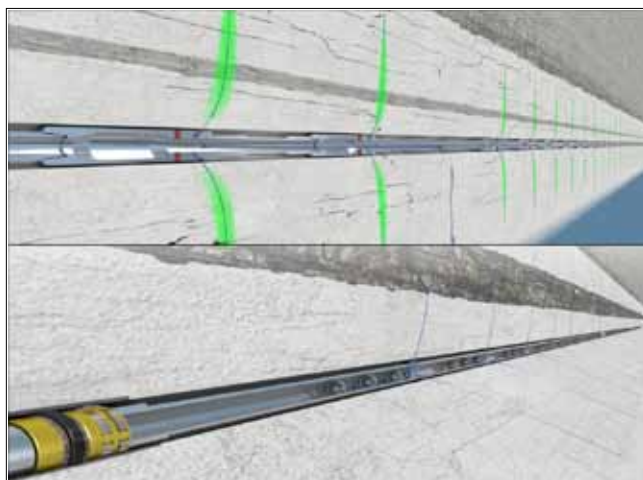
در نتیجه می‌توان گفت که این سیستم بدون کاهش دقت، سرعت و سادگی را ارائه می‌کند و گزینه‌ای کارآمدتر و ایمن‌تر نسبت به عملیات شکست است. سهولت عملیات و یکپارچه‌سازی به معنای ساعات کاری کمتر موردنیاز برای تکمیل انگیزش مخزن است. فرآیندی که معمولاً چند روز طول می‌کشد امروزه تنها چند ساعت طول می‌کشد که ریسک آسیب از دست دادن زمان^{۱۱} را نیز کاهش می‌دهد.

به‌طور خلاصه مزایای استفاده از این فناوری را می‌توان شامل موارد زیر دانست:

- افزایش نرخ بازیافت
- کاهش زمانی فعالیت انگیزش از روز به ساعت
- کاهش استفاده از سیالات و مواد شیمیایی تا ۹۵ درصد
- بهبود ایمنی
- افزایش تولید چاه
- افزایش عملکرد تزریق‌کننده
- افزایش نقاط تماس در مکانی که نفوذپذیری پایین است
- اتصال مخازن چینه‌ای یا دارای شکست طبیعی
- دور زدن موانع نفوذپذیری
- انگیزش مخازن هدف با دقت بالا
- اجتناب از تولید آب یا گاز ناخواسته به‌خاطر تعیین محل و میزان نفوذ قابل پیش‌بینی شاخه‌های جانبی
- ورود به نقاط مناسب
- انجام تحریک چاه برای فواصل مختلف بر اساس سیستم‌های فشاری متفاوتی که دارند
- اطمینان از عدم قطع شدن جریان با کاهش پدیده‌های کاهش فشار^{۱۱} و مخروط‌شدگی



شکل ۱ | انواع لوله‌ی آستری جانبی در فناوری استخوان ماهی [۴]



شکل ۲ | تکمیل چاه با استفاده از فناوری استخوان ماهی به روش تزریق پرفشار (بالا) و دریم‌لاینر (پایین) [۵]

۴- سابقه‌ی به‌کارگیری فناوری استخوان ماهی

مطالعه روی این فناوری از سال ۲۰۰۹ و از طریق یک پروژه‌ی صنعتی

فناوری استخوان ماهی برای نخستین بار با موفقیت در یک چاه افقی جدید در یک سازند ماسه‌سنگی فشرده در دریای نروژ با ایجاد ۴۸ لوله‌ی آستری جانبی (۱۴۴ شاخه‌ی جانبی) به روش دریم لاینر و با استفاده از ۷ لنگر حفره باز و در مدت زمان ۶ ساعت نصب شد. [۵]

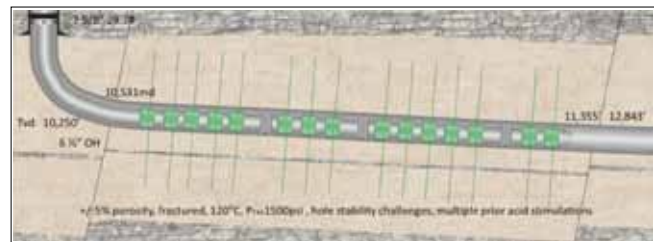
۵- مطالعه‌ی میدانی

یک چاه آزمایشی در سازند کربناته‌ی آستین در شهر براز، تگزاس، انتخاب شد. این چاه از قبل برای بستن و راهسازی پس از ۲۰ سال چرخه‌ی عمر تولیدی مشخص شده بود. این چاه از یک شاخه‌ی جانبی افقی بدون جداری به قطر ۶/۱۶ اینچ و در عمق حقیقی عمودی ۱۰۲۵۰ فوت تولید کرده است. سازند آستین در این منطقه یک سازند آهکی فشرده با تخلخل ۵ درصد و نفوذپذیری ۰.۵ میلی‌داری است. اعتقاد بر این بود که سازند نزدیک این چاه، تخلیه شده و هدف اصلی این نصب اطمینان از صحت مکانیکی سیستم بود. اپراتور از قبل به این نکته پی برده بود که چرخش برای نصب موفق لوله‌های آستری در چاه‌های افقی موجود، ضروری است که به همین دلیل تجهیزات، برای چرخش برنامه‌ریزی شده بود. چاه، سطح سیال پایینی داشت و توانایی برای ایجاد گردش حین راندن لوله‌ی آستری وجود نداشت. زمین‌شناسی چاه به‌منظور تعیین نقاط تحریک مناسب و همچنین عمق مناسب برای نصب لوله‌های آستری جانبی و لنگرها مورد بررسی قرار گرفت. راندن لوله‌ی آستری و به‌کارگیری سیستم تزریق پرفشار در محیطی با سطح سیال پایین با توجه خاصی مدنظر قرار گرفت. تجهیزات آویز لوله‌ی آستری و ابزار عملیات برای تطبیق با سیستم فناوری استخوان ماهی بررسی و برنامه‌ریزی شد. نمونه‌های مغزه‌ی چاه آستین برای تعیین میزان نفوذ و حجم اسید موردنیاز برای تاسیسات، آزمایش شدند. نتایج این آزمایشات و همچنین تست‌های تزریق برای تعیین حجم موردنیاز اسید HCl ۱۵ درصد، میزان پمپاژ بهینه و فشار مورد انتظار در طول انگیزش استفاده شد. ۱۵ لوله‌ی آستری جانبی در فناوری استخوان ماهی برای ایجاد ۶۰ شاخه‌ی جانبی در سازند نیاز بود. سه لنگر برای ایمن‌سازی لوله‌ی آستری در چاه بدون جداری برنامه‌ریزی شد. [۳]

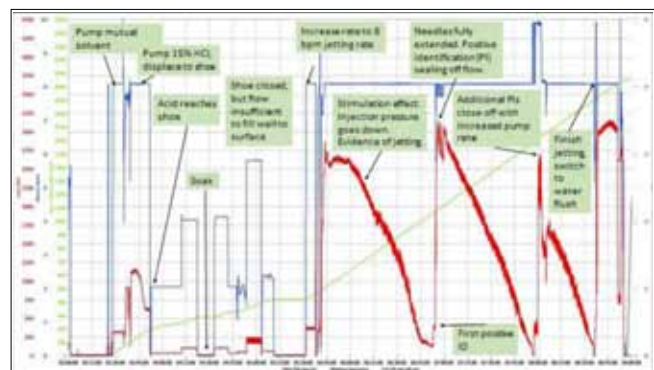
۱-۵- نصب فناوری استخوان ماهی

برای نصب سیستم فناوری استخوان ماهی، از یک دکل حفاری تعمیری استفاده شد. به‌منظور ایجاد دسترسی برای لوله‌ی آستری، رفت‌وبرگشت اندکی در چاه بدون جداره انجام شد. تجهیزات فناوری استخوان ماهی ساخته و به داخل چاه منتقل شدند و همچنین از جداری ۴/۱۶ اینچی برای قرار دادن این فناوری در عمق موردنظر برای انگیزش استفاده شد. هنگامی که کفشک آستره به نقطه‌ی موردنظر در چاه رسید، چرخش برای کمک به رساندن لوله‌ی آستری به انتهای چاه ایجاد شد. هنگامی که لوله‌های آستری جانبی به مناطق هدف رسیدند، آویز لوله‌ی آستری، پکرها و همچنین

مشترک بین شرکت فیشبون، شرکت نفت و گاز نروژی و استات اوپل^{۱۲}، انی^{۱۳}، لوندین^{۱۴}، نوآوری نروژ و شورای تحقیقات نروژ آغاز شد. در حال حاضر، ده شرکت بزرگ نفتی از جمله شل^{۱۵}، توتال^{۱۶} و بی‌پی^{۱۷} از این پروژه حمایت می‌کنند. لازم به‌ذکر است که با توجه به موفقیت‌آمیز بودن به‌کارگیری این فناوری در چند میدان نفتی، تقاضا برای استفاده از این فناوری افزایش یافته است. همچنین فعالیت شرکت فیشبون برای به‌کارگیری این فناوری در کشورهای عربی افزایش یافته است و با کشورهای عربستان، عمان، قطر، امارات و کویت در حال همکاری است. این فناوری برای نخستین بار در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش تزریق پرفشار در یک میدان زغال‌سنگی در جزیره‌ی سوماترا (اندونزی) برای بررسی پتانسیل منابع آن به‌کار گرفته شد. چاه حفر شده عمودی و دارای ۲ لوله‌ی آستری جانبی بود که توانست تولید را نسبت به چاه‌های اطراف، ۴ برابر افزایش دهد. همچنین یک سال بعد این فناوری در میدان کربناته‌ی آستین، تگزاس در یک چاه افقی به‌صورت موفقیت‌آمیز با ایجاد ۶۰ شاخه‌ی جانبی به روش تزریق پرفشار به‌کار گرفته شد و ۳۰ روز بعد شرکت گزارش داد که چاه بهتر از هر زمان دیگری تولید می‌کند. تولید، بیش از ۸ برابر افزایش یافت و شاخص تولید ۳۰ برابر افزایش یافت. در ژوئن سال ۲۰۱۵ نیز این فناوری در یک سازند سنگ آهکی فشرده دارای شکستگی طبیعی به‌نام بودا در تگزاس، آمریکا به‌صورت موفقیت‌آمیز با استفاده از ۱۵ لوله‌ی آستری جانبی و ایجاد ۶۰ شاخه‌ی جانبی به روش تزریق پرفشار در مدت زمان پمپاژ ۴ ساعت نصب شد. در جولای ۲۰۱۵،



شکل ۳ | شماتیک تکمیل چاه با استفاده از فناوری استخوان ماهی [۳]



شکل ۴ | داده‌های تزریق اسید در عملیات تحریک چاه [۳]

نشان می‌دهد. این جدول افت فشار را پس از یک دوره‌ی اولیه تزریق که سوزن‌ها به منطقه‌ی نزدیک چاه وارد شدند، را نشان می‌دهد. این افت فشار در نرخ جریان ثابت تایید می‌کند که سوزن‌ها در حال افزایش نفوذ به داخل مخزن هستند. [۳]

۲-۵- نتایج

دستاوردهای متعددی در نخستین به‌کارگیری این فناوری در یک سازند کربناته به‌دست آمد از جمله: [۳]

■ شاخه‌ی جانبی، هر کدام به‌طول ۴۰ فوت، در مدت زمان پمپاژ کمتر از ۵ ساعت ایجاد شدند.

■ ثابت شد که تجهیزات این فناوری را می‌توان به‌طور ایمن و عملی در یک چاه نصب کرد.

■ فناوری استخوان ماهی طبق برنامه و بدون مشکلات عمده اجرا شد و صحت مکانیکی تایید شد.

■ سوزن‌ها با موفقیت وارد سازند شدند و اثر انگیزی قوی داشتند.

■ استقرار کامل سوزن‌ها با توجه به نتایج جدول فشار، تایید شدند. این موضوع همچنین تایید می‌کند که روش شناسایی مثبت، موفقیت‌آمیز بوده است.

■ قابلیت فناوری استخوان ماهی برای نفوذ در سازندهای سخت ثابت شد.

■ کاربردی و عملی بودن استفاده از فناوری استخوان ماهی در یک مخزن که دچار افت فشار شده است، ثابت شد.

■ ثابت شد که نتایج آزمایشگاهی، یک روش موثر برای تخمین میزان نفوذ و همچنین حجم موردنیاز برای تزریق اسید است.

■ لنگرهای حفره باز به‌صورت موفقیت‌آمیز در چاه قرار داده شدند.

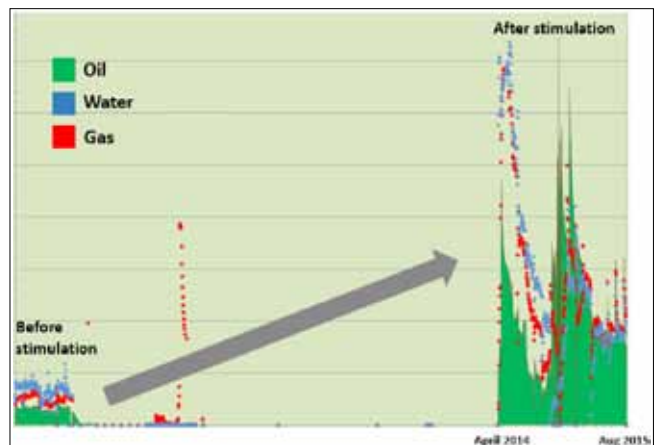
■ کفشک شناور به‌صورت موفقیت‌آمیز بسته شد.

نتایج تولید، انگیزش قابل توجه چاه با استفاده از فناوری استخوان ماهی را تایید می‌کند. در زمان ارائه‌ی گزارش، چاه به‌مدت ۸۰ روز جریان داشت. در ۳۰ روز اول، چاه ۸.۳ برابر افزایش در IP-۳۰ (تولید تجمعی نفت در ۳۰ روز اول) را در مقایسه با تولید قبل نشان داد. شاخص تولید در مقایسه با قبل از انگیزش، تا ۳۰ برابر افزایش یافت. شکل ۴ مقایسه‌ای از تولید چاه پیش و پس از تحریک چاه را نشان می‌دهد. قابل توجه است که کل حجم سیالات تولید شده (گاز، نفت و آب) تا ۹.۳ برابر پس از انگیزش افزایش یافته است. این در حالی است که افزایش میزان تولید آب و گاز معمولاً خوشایند نیست اما در این آزمایش احتمالاً به‌دلیل تخلیه‌ی مخزن و افزایش نرخ تولید است که خود اثبات‌کننده‌ی اثرات انگیزی فناوری مورد استفاده است.

۶- راهبردهای پیاده‌سازی

با توجه به اینکه مخازن ایران عمدتاً از نوع کربناته‌ی شکافدار هستند و همچنین با توجه به موفقیت‌آمیز بودن فناوری استخوان ماهی در چنین

تجهیزات پمپاژ برای انجام عملیات پمپاژ اسید، مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه اسید HCl ۱۵ درصد با سرعت ۸bpm پمپ شد. فشار، نرخ جریان و حجم، تحت نظارت قرار گرفتند و با مقادیر مورد انتظار در طول کار، مقایسه شدند. عملیات پمپاژ طبق برنامه انجام شد و نشانگرهای فشار، نفوذ کامل سوزن‌ها را نشان دادند. این سوزن‌ها در ۷ درصد حجم محاسبه شده از نتایج آزمایشگاهی به نفوذ کامل رسیدند. شکل ۲ شماتیک تکمیل چاه را با استفاده از ۱۵ لوله‌ی آستری جانبی، ۳ لنگر حفره باز و یک کفشک آزادسازی اسید نشان می‌دهد. شکل ۳ نیز داده‌های پمپاژ در طول عملیات تزریق اسید را



شکل ۵ | مقایسه‌ی تولید پیش و پس از انجام عملیات تحریک چاه با استفاده از فناوری استخوان ماهی [۵]



شکل ۶ | راهبرد پیاده‌سازی فناوری استخوان ماهی

به‌گونه‌ای که با کاهش ریسک و استفاده از بیشترین توان مخزن جایگزینی مناسب، برای انگیزش به روش شکافت هیدرولیک است. همچنین این فناوری می‌تواند به افزایش بازیافت نفت، کاهش برش آب و کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک کند.

■ فناوری استخوان ماهی با موفقیت در یک چاه افقی در یک سازند آهکی فشرده در آستین، نگزاس، ایالات متحده آمریکا، به کار برده شد. نصب آزمایشی ثابت کرد که این سیستم را می‌توان به‌طور ایمن در یک چاه نصب کرد. در نتیجه‌ی اجرای این عملیات ۶۰ شاخه‌ی جانبی در کمتر از ۵ ساعت زمان پمپاژ ایجاد شد. همچنین تولید اولیه اثر انگیزش قابل توجهی با ۸.۳ برابر افزایش در IP-۳۰ در مقایسه با میزان پیش از انگیزش و افزایش ۳۰ برابری شاخص تولید نسبت به مقادیر قبلی را نشان داد.

■ صرف‌نظر از پیچیدگی شرایط مخزن و وجود انواع عدم قطعیت‌ها، با توجه به وجود پتانسیل برقراری تولید ثابت و به‌دنبال آن کاهش هزینه‌ها، استفاده از فناوری استخوان ماهی می‌تواند در اکثر مخازن ایران بسیار موثر باشد.

پیشنهادها

- بستری مناسب جهت اجرای فناوری استخوان ماهی با هدف حداکثرسازی بهره‌وری از مخازن در ایران ایجاد شود.
- بررسی و شناخت چالش‌های موجود در اجرای فناوری استخوان ماهی انجام شود.
- انجام مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی فناوری استخوان ماهی در مخازن نفت و گاز ایران جهت بررسی کارایی آن انجام شود. ■

میادینی، لذا این فناوری یک روش مناسب جهت بهبود بازیافت نفت در مخازنی با مشخصات مخازن ایران است. فناوری استخوان ماهی چندین سال است که به‌صورت موفقیت‌آمیز در میادین نفتی مورد استفاده قرار گرفته و جا دارد که ورود آن به کشور تسهیل شود. در خصوص ضرورت استفاده از این فناوری در ایران باید چند نکته مورد توجه قرار گیرد. افزایش تولید از مخازن نفت و گاز همواره مسأله‌ی مهمی برای کشور ما بوده است که براساس برنامه‌ی پنجم توسعه باید تا پایان این برنامه حدود ۲/۵ درصد به ضریب برداشت نفت ایران افزوده شود. از طرفی امروزه ۸۰ درصد تولید نفت کشور از میادینی است که در نیمه‌ی دوم عمر خود قرار دارند. برای بالا بردن نرخ تولید از مخازن، استفاده از روش‌های انگیزشی یکی از گزینه‌های موثر است. در نتیجه ارائه‌ی راهبردی مناسب جهت اجرای پروژه‌ی فناوری استخوان ماهی، امری ضروری است تا از این طریق بتوان جهت رسیدن به اهداف به‌کارگیری این فناوری گام برداشت. برای اجرای هرچه موفق‌تر عملیات این فناوری و دستیابی به اهداف آن باید چند مرحله مطابق شکل ۶ طی شود.

۷- نتیجه‌گیری

- با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد مخازن هیدروکربنی ایران از نوع کربناته بوده و اکثر آنها با معضل افت فشار مواجه هستند، استفاده از روش‌های مناسب انگیزشی جهت بهبود تولید، ضروری به‌نظر می‌رسد.
- فناوری استخوان ماهی با ایجاد کانال‌های با تراوایی زیاد، موجب افزایش بهره‌وری چاه می‌شود. این فناوری برخلاف فناوری‌های انگیزشی مرسوم، ارتباط کامل لایه‌ها و دقت بالای انگیزش در ناحیه‌ی مدنظر با بهره‌گیری از کمترین منابع موجود را تضمین می‌کند.
- این فناوری کاربردهای فراوانی در میادین نفت و گاز دارد،

پانویس‌ها

1. multilaterals stimulation technology
2. Fishbones technology
3. liner sub
4. Needle
5. jet nozzle
6. Dreamliner
7. Jetting
8. positive identification
9. Float shoe
10. risk of lost-time injury
11. drawdown
12. Statoil
13. Eni
14. Lundin
15. Shell
16. Total
17. BP

منابع

- reservoirs, VP Research, Development & Engineering, 24 October 2017.
- [5]. Renli E., Multilateral Stimulation Technology, Society of Petroleum Engineers (SPE) Aberdeen Section
- [6]. Multilateral well stimulation: bones of a revolution, <https://www.offshore-technology.com>, 12 June 2016.
- [7]. Torvund S., Stene K., Jensaas H., Renli E., Rice J.K., and Jorgensen T., First Installation of Multilateral Drilling Stimulation Technology in Tight Sandstone Formation, SPE 180390, SPE Western Regional Meeting, Anchorage, Alaska, USA, 23-26 May 2016.

- [۱]. فضایی، مریم؛ مدل‌سازی شکاف هیدرولیکی در اطراف چاه تولیدی مخزن نفتی (نفت و گاز) به‌منظور افزایش تولید در یکی از مخازن نفتی (نفت و گاز) ایران، ششمین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با رویکرد توسعه‌ی ارتباط دولت، دانشگاه و صنعت، شیراز، موسسه مدیران خبره نارون، ۱۳۹۶.
- [۲]. آبتالهی، مجیدرضا؛ پورکاویان، محمد حسن؛ تحلیل عددی عملیات شکست هیدرولیکی در چاه‌های مایل؛ تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مکانیک، آزمایشگاه خستگی و شکست، ۱۳۸۹.
- [3]. Rice J.K., Jorgensen T., and Waters J.W., First installation of efficient and accurate multilaterals stimulation technology in Carbonate oil application, SPE 171021, ADIPEC, Abu Dhabi, 10-13 November 2014.
- [4]. Solhaug K., Fishbones Technology for efficient stimulation of deepwater