

بهینه‌سازی طراحی عملیات اسیدکاری با استفاده از نمودار نگار تولید (PLT) در یکی از مخازن گازی ایران

مهدی کارگر شورکی و مجتبی رحیمی*، گروه مهندسی نفت دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

چکیده

از مهمترین مسائل توسعه‌ی هر میدان هیدروکربنی، نرخ تولید و میزان برداشت از آن است که این مسئله به طور مستقیم به میزان دبی تولیدی از هر چاه مربوط می‌شود. از موثرترین روش‌های افزایش تولید، انگیزش چاه است. از رایج‌ترین روش‌های انگیزش چاه‌ها چه در ابتدای تولید و چه در حین تولید، عملیات اسیدکاری می‌باشد. عملیات اسیدکاری بسیار حساس بوده و اگر بدون اطلاعات صحیح انجام شود ممکن است تاثیر نامطلوب به دنبال داشته و باعث کاهش تولید چاه شود. استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی به دلیل دقیق بودن داده‌ها و داشتن اطلاعات کافی از ته چاه و سازند می‌تواند در انجام عملیات اسیدکاری بسیار مفید و کارآمد باشد. در این مقاله با استفاده از داده‌های تولیدی چاه و داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح در زمان حفاری، عملیات اسیدکاری طراحی می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های نمودار نگار تولید^۱ به بهینه‌سازی مقدار اسید و عملیات اسیدکاری پرداخته می‌شود. با نتایج به دست آمده از این پژوهش، تزریق اسید به درستی به سازند و لایه‌های مدنظر جهت بهبود وضعیت تولید چاه تزریق می‌شود و همچنین از هرزروی اسید و مواد افزودنی و تولید اسید اضافی که از نظر اقتصادی مهم است، جلوگیری می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۴/۲۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۱۰/۰۱

واژگان کلیدی:

اسیدکاری، نمودار نگار تولید، پتانسیل تولید چاه، فشار میانگین، تراوایی، آسیب سازند.

مقدمه

کار نکردن تفنگ، سوراخ نشدن لوله‌ی جداری و یا نرسیدن گلوله به سازند سوراخ نشده و ارتباط با مخزن برقرار نشده باشد، وجود دارد. حتی محتمل‌تر است که عمق‌های داده شده Off Depth باشند یعنی چند متر بالاتر و یا پایین‌تر باشند که برای طراحی اسید مهم است و اگر اشتباه باشند طراحی اسیدکاری را نیز به اشتباه می‌اندازند.

مشکل دیگر این است که مشبک‌کاری به درستی انجام شده است و عمق آنها نیز درست است اما در مدت زمانی که چاه در تولید بوده به دلیل وجود رسوبات معدنی^۲ و یا به وسیله‌ی میعانات گازی مسدود شده است. این مسئله بسیار زیاد مخصوصاً در چاه‌های گازی اتفاق می‌افتد و اطلاع از وقوع آن برای طراحی نیز بسیار مهم است. چون این یکی از مشکلات و موانع بر سر راه تولید و ضعیف شدن چاه نسبت به بقیه چاه‌ها می‌باشد و خود یکی از دلایل نیاز به اسید است.

علاوه بر تمام این مشکلات در چاه کاندید، نوع تکمیل نیز به دلیل لوله آستری بودن خود یک مشکل است. چون فضای بین لوله آستری و سازند یک فضای خالی است، باعث حرکت سیال از پشت آن شده و همچنین حرکت اسید را نیز با مشکل مواجه می‌سازد.

روش کار در عملیات اسیدکاری برای تمامی چاه‌های یک مخزن تقریباً مشابه است. با توجه به داده‌ها و اطلاعات قبلی مخزن شامل: تعداد لایه‌های مخزن، فشار هر لایه، تراوایی هر لایه و آسیب‌های معمول هر چاه، یک روش کار، آماده می‌شود. سپس با توجه به این اطلاعات اسید طراحی و ساخته و به سازند تزریق می‌شود.

اما مشکلاتی در این روش وجود دارد. اولین مورد که باید به آن اشاره کرد، غیرهمگنی^۲ مخزن است. توزیع فشار و تراوایی در تمام نقاط مخزن یکسان نیست، همچنین عددی که در طراحی استفاده می‌شود برای تست چاه‌آزمایی در زمان حفاری می‌باشد. با توجه به اینکه چاه چند سال تولید کرده قطعا این اعداد تغییر کرده‌اند و با در نظر گرفتن این اعداد، طراحی اسید به مسیر اشتباه، منحرف خواهد شد.

مشکل دوم این است که امکان دارد ضخامت و عمق لایه‌های مخزن متفاوت باشد و اگر از داده‌های دیگر چاه‌ها برای یک چاه کاندید استفاده شود باعث اشتباه در طراحی می‌شود.

مشکل دیگر اطمینان از درستی اطلاعات عمق‌های مشبک‌کاری است. اعدادی که از مشبک‌کاری وجود دارد، داده‌های مربوط به زمان حفاری است. احتمال اینکه قسمتی از مشبک‌های گفته شده به دلایل مختلف از جمله:

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (rahimi@iaukhsh.ac.ir)

پیشینه تحقیق

شروع اسیدکاری در سازندهای حامل هیدروکربن اعم از نفت و گاز به دهه‌ی ۱۸۹۰ میلادی باز می‌گردد. از همان ابتدا انواع مختلف اسید و افزایش‌های متعددی تحت آزمایش و مطالعه قرار گرفتند تا به کمک آنها اسیدکاری با بازدهی بالاتری انجام شود. اسید هیدروکلریک اولین اسیدی بود که برای انگیزش چاه‌های نفت و گاز و از بین بردن صدمات وارده به سازند مورد استفاده قرار گرفت. هنوز هم این اسید به علت داشتن قدرت حلالیت بالای سنگ، تولید نکردن محصولات واکنش غیرمحلول، واکنش دادن با کربنات‌ها و نرخ واکنش سطحی بالا در اسیدکاری سازندهای کربناته بسیار استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۳، Boussa و Bencherif [۱] تحقیقی را در زمینه‌ی بهینه‌سازی تولید از میدان گاز میعانی Hassi R'Mel انجام دادند. ایشان با تفکیک ۳۴ حلقه چاه به سه بخش و بررسی نمودار نگار تولید قبل و بعد از اسیدکاری به تاثیر اسیدکاری بر روی میزان جریان ته چاهی و سطحی، فشار جریانی، فشار بسته^۴، افت فشار تولیدی و شاخص بهره‌دهی پرداختند و طراحی اسیدکاری را با نرم‌افزار Emeraude بهینه‌سازی کردند.

در سال ۲۰۱۶، کین و همکاران [۲]، تحقیقاتی بر روی اثرات AICI₃ موجود در اسید بر سازند مخزنی انجام دادند. آنها اثرات این ماده را با استفاده از لاگ NMR^۵ اندازه‌گیری کردند و متوجه شدند که این ماده واکنش اسید را با سازند به تاخیر می‌اندازد و سبب تاثیر گذاری بهتر اسید می‌شود. در سال ۲۰۱۷، گالواتو و همکاران [۳] تحقیقاتی بر روی روش‌های محاسبه‌ی میزان اثر پوسته در لایه‌های مختلف تولیدی با کمک نمودار نگار تولید انجام دادند. این تحقیق کمک شایانی جهت پیشنهاد روش و میزان اسید مورد نیاز ارائه می‌دهد. این مقاله به بررسی طراحی اسید و عملیات اسیدکاری و بهینه‌سازی آن با استفاده از نمودار نگار تولید می‌پردازد.

طراحی اسیدکاری به روش معمول

در طراحی اسید به روش معمولی برای چاه کاندید شده در این پژوهش، با توجه به داده‌های حفاری می‌توان گفت که مخزن مورد مطالعه دارای چهار لایه است. جداول ۱ و ۲ عمق لایه‌های سازندی مخزن مورد مطالعه و بازه‌های مشبک کاری شده را که در زمان حفاری اندازه‌گیری شده‌اند، نشان می‌دهد.

۱ | عمق لایه‌های مخزنی چاه کاندید

لایه	از عمق (m)	تا عمق (m)
M ₁	۳۲۶۸	۳۴۳۷
M ₂	۳۴۳۷	۳۵۰۹
M ₃	۳۵۰۹	۳۷۱۱
M ₄	۳۷۱۱	۳۸۴۴

۲ | عمق بازه‌های مشبککاری شده

بازه‌ی مشبککاری	از عمق (m)	تا عمق (m)
۱	۳۲۶۳/۸۷	۳۴۲۵/۹۳
۲	۳۴۳۷/۴۸	۳۴۹۵/۵۱
۳	۳۵۰۶/۹۵	۳۶۹۲/۶۴
۴	۳۷۰۴/۲۴	۳۸۲۰/۰۷

داده‌های چاه‌آزمایی در هنگام حفاری نشان می‌دهد که چاه در فشار سرچاهی ۲۷۵ بار با دبی MMSCFD ۷۳/۴ تولید داشته است. فشار بسته‌ی این چاه ۲۸۹/۲ بار است.

بر اساس کلیه‌ی داده‌های گفته شده، میانگین فشار تزریق اسید را می‌توان از عدد فشار بسته‌ی ۲۸۹/۲ بار در نظر گرفت. برای محاسبه‌ی دبی اسید، حجم چاه و حجم سازند که قرار است اسیدکاری شود را با هم جمع می‌کنیم. برای محاسبه‌ی حجم چاه به شعاع چاه و عمق چاه و برای محاسبه‌ی حجم سازند مورد نیاز برای اسیدکاری به شعاع موثر اسیدکاری، تخلخل سازند و ضخامت بازه‌ی اسیدکاری نیاز داریم. محاسبه‌ی حجم اسید طبق معادله‌ی ۱ انجام می‌شود.

$$V = \pi r_w^2 H + \pi (r_s^2 - r_w^2) h \phi \quad \text{معادله‌ی (۱):}$$

در اینجا V حجم اسید کل محاسبه شده، r_w شعاع چاه کاندید، H عمق حفاری شده‌ی چاه کاندید، r_s شعاع شبیه‌سازی شده‌ی اسیدکاری، h بازه‌ی کلی مشبک کاری و ϕ تخلخل سازند شده، است. برای چاه کاندید مورد مطالعه در این پژوهش اعداد زیر در نظر گرفته شدند:

$$r_w: ۸/۵ \text{ اینچ} = ۰/۲۱۵۹ \text{ متر}$$

$$H: ۳۸۴۳/۹۶ \text{ متر}$$

$$r_s: ۲۱۲ \text{ اینچ} = ۵/۳۸۴۸ \text{ متر}$$

$$h: ۵۵۶/۲ \text{ متر}$$

$$\phi: ۱۰ \text{ درصد}$$

حجم کلی محاسبه شده‌ی اسید برابر ۵۶۲۰/۸۲ مترمکعب است. البته معمولاً ستون چاه را با یک سیال دیگری غیر از اسید مثلاً آب دریا پر می‌کنند. با احتساب این مقدار، میزان حجم اسید مورد نیاز برابر ۵۰۵۷/۹۲ مترمکعب می‌باشد.

به طور معمول ۱۰ درصد حجم کلی اسید را پیش اسید^۶، ۴۰ درصد اسید اصلی^۷، ۴۰ درصد منحرف کننده^۸ و ۱۰ درصد پست اسید^۹ استفاده می‌شود.

پیش اسید: ۵۰۵/۷۹۲ مترمکعب

اسید اصلی: ۲۰۲۳/۱۶۸ مترمکعب

منحرف کننده: ۲۰۲۳/۱۶۸ مترمکعب

پست اسید: ۵۰۵/۷۹۲ مترمکعب

SIP دو بازه با توجه به تولیدی بودن مشبک‌ها در نظر گرفته شد که در جدول ۳ آورده شده است.

شکل ۱ و جدول ۴ نمودار و نتایج نهایی SIP حالت تصحیح شده‌ی ناحیه‌های تولیدی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، فشار میانگین لایه‌ی تولید I۱ از I۲ کمتر است که به ما نشان می‌دهد در موقع اسیدکاری، اسید بیشتری به ناحیه‌ی I۱ خواهد رفت. همچنین میزان تولید نهایی I۱ نیز بیشتر است. با توجه به شاخص بهره‌دهی می‌توان گفت که در طراحی اسیدکاری باید به ناحیه‌ی I۱ توجه بیشتری کرد.

با توجه به محاسبات انجام شده و تفسیر داده‌های نمودارگیری و SIP، کمترین فشار لازم برای اینکه جریان بین لایه‌های I۲ در بین لایه‌های سازند اتفاق نیفتد، ۳۸۹۰ psi است. کمترین میزان دبی نیز ۳۵ MMSCFD است. این اعداد برای طراحی اسید بسیار مهم و ضروری هستند.

برای محاسبه‌ی تراوایی و آسیب سازند نیز مانند محاسبه‌ی SIP دو ناحیه‌ی تولیدی I۱ و I۲ در نظر گرفته شدند. برای انجام این تست بعد از انجام عملیات نمودارگیری، چاه بسته و تغییرات فشاری آن ثبت شد.

محاسبه‌ی فشار میانگین^{۱۰} (SIP)، تراوایی و آسیب سازند^{۱۱} (PTA) با استفاده از نمودار نگار تولید

اسیدکاری به روش معمول بسیار مبهم است و احتمال بهبود یافتن چاه را پایین می‌آورد. پس قبل از عملیات اسیدکاری، نمودار نگار تولید در چاه رانده می‌شود تا سهم هر لایه و حتی هر مشبک، فشار هر لایه به تفکیک، فشار میانگین مخزن و همچنین تراوایی و آسیب سازند برای هر لایه مشخص شود. در چاه کاندید مورد مطالعه، نمودار در حالت بسته‌ی چاه و در حالت جریان در دبی‌های مختلف (۳۰، ۵۰، ۷۰ MMSCFD) گرفته شده است.

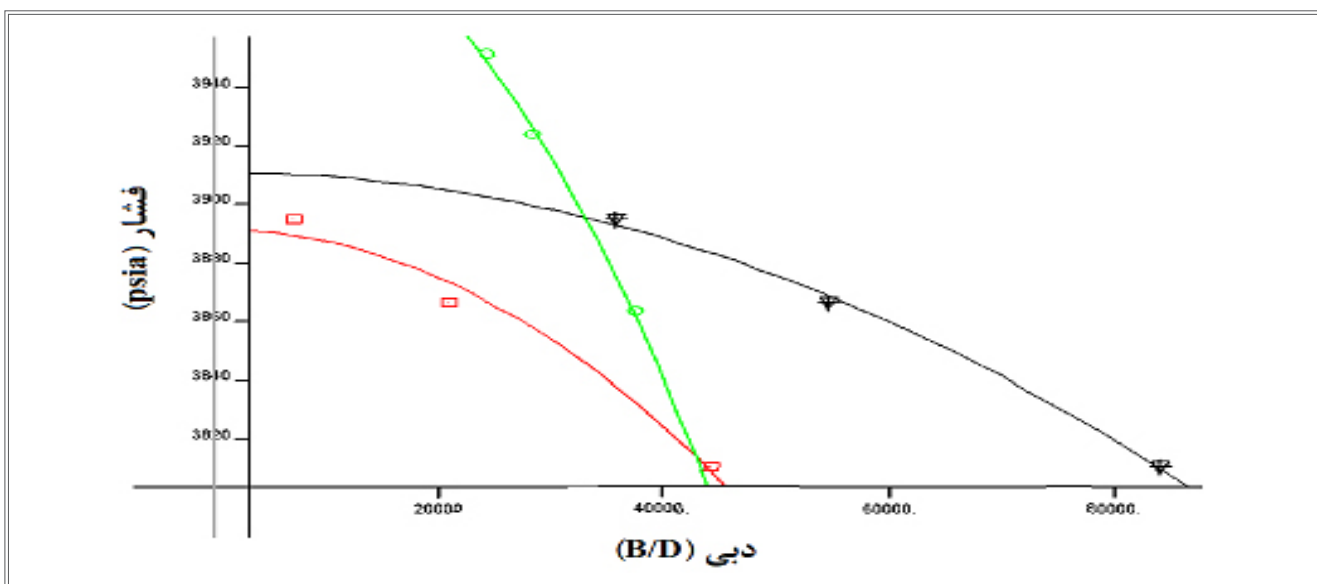
در تفسیر داده‌های نمودارگیری مشخص شد که تمامی مشبک‌ها تولیدی نیستند و بعضی از آنها به دلایلی تولید نمی‌کنند. این خود یکی از دلایل کاهش تولید این چاه به نسبت چاه‌های مجاورش است و دلیلی بر نیاز به اسیدکاری در این چاه می‌باشد. به همین دلیل برای تفسیر نمودار نگار تولید و

۴ نتایج نهایی SIP با در نظر گرفتن دو ناحیه‌ی تولیدی

ناحیه	نوع	فشار میانگین (psia)	AOFP (B/D)	شاخص تولید (B/D/psi)
I۱	تولیدی	۳۸۹۱/۲۷	۱۷۱۰۰۰	۴۳/۹۴
I۲	تولیدی	۴۰۰۷/۱	۱۱۰۰۰۰	۲۷/۴۵

۳ عمق بازه‌های تولیدی تصحیح شده

ناحیه	از عمق (m)	تا عمق (m)
I۱	۳۴۵۲/۸	۳۴۷۷/۹
I۲	۳۷۱۸	۳۸۱۶



۱ نمودار SIP با در نظر گرفتن دو ناحیه‌ی تولیدی

جدول ۵ و اشکال ۲ و ۳ مدل سازی نرم افزار با توجه به داده های اندازه گیری شده و شرایط چاه را نشان می دهد. تطبیق گرفته شده از نرم افزار به روی داده ها به خوبی انجام شده و درصد خطای کمی را مشاهده می کنیم. داده های یک ساعت اول (P hr¹) نشان دهنده ی ذخیره ی درون چاه^{۱۳} می باشند. داده ها، حرکت خوب سیال را تشخیص می دهند. با توجه به داده ها، افت فشار به مرز مخزن نرسیده است. بنابراین می توان مخزن

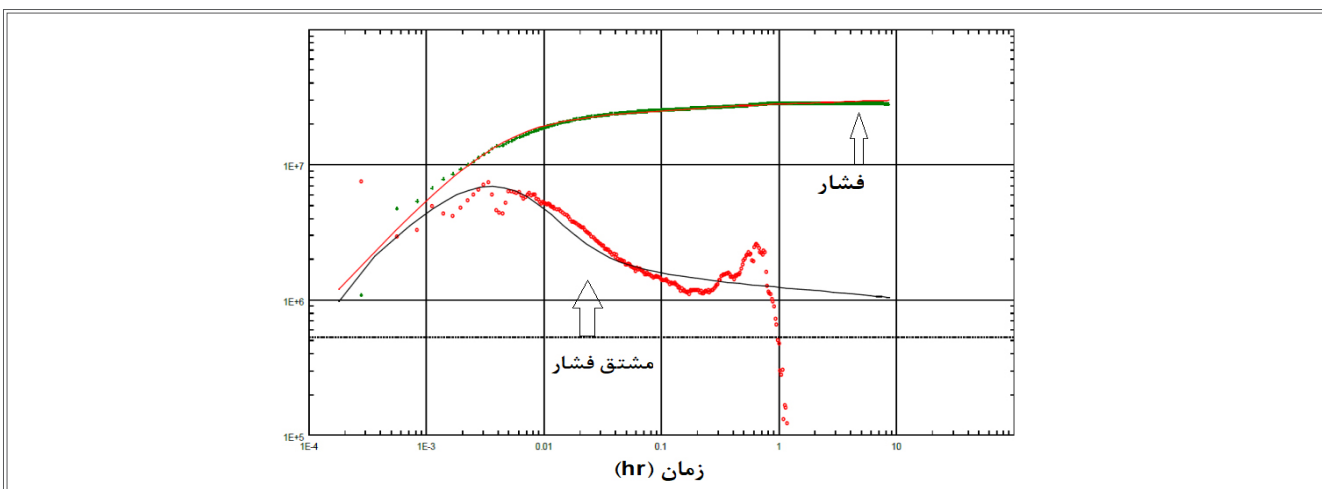
را بدون مرز در نظر گرفت. جدول ۶ نتایج آنالیز داده های فشاری را برای ناحیه های در نظر گرفته شده، نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود آسیب سازند برای ناحیه ی I۱ یک عدد مثبت بسیار بزرگ و برای ناحیه ی I۲ یک عدد منفی است. همچنین تراوایی ناحیه ی I۱ از ناحیه ی I۲ بیشتر است.

جدول ۵ | مدل در نظر گرفته شده برای چاه کاندید مورد مطالعه در نرم افزار

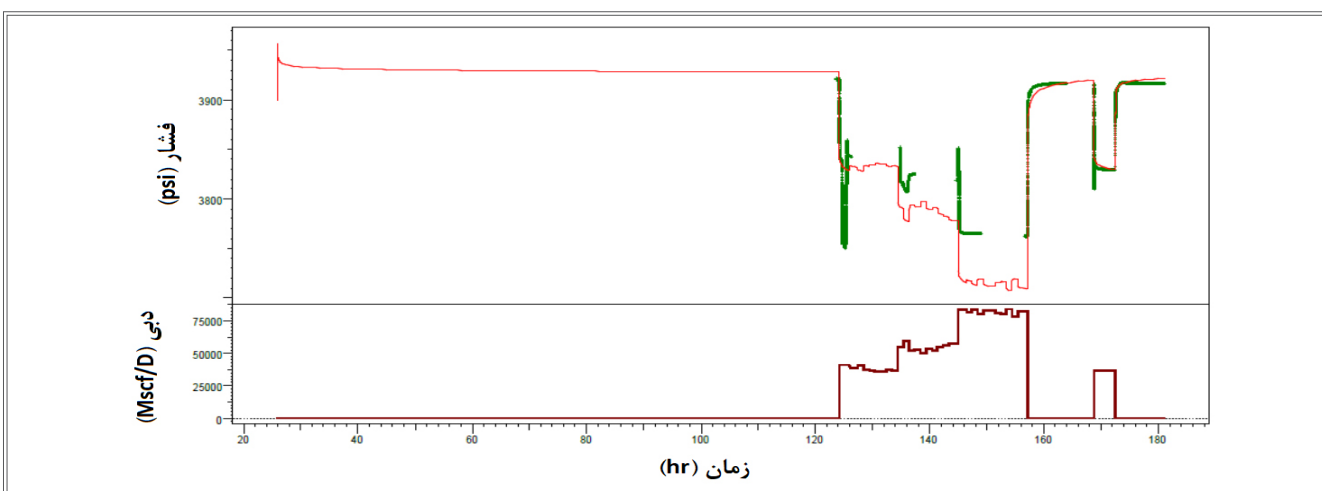
حالت مدل	Multi-Layer, Commingled, Layered Pi
چاه	عمودی
مخزن	همگن
مرز	محدود
C	۰/۰۴۰۱ bbl/psi
آسیب کلی	۱۳
کلی K.h	۱۹۱۰۰ md.ft
تراوایی میانگین	۱۹۴ md
شاخص بهره دهی	۴۶۸/۴۷ MSCFD/psi

جدول ۶ | نتایج آنالیز داده های فشار گذرا

خواص	آسیب سازند	فشار اولیه (psi)	تراوایی (md)	ضخامت (ft)
I۱	۵/۱	۳۸۹۰	۱۰۷/۴	۳۲/۸
I۲	-۰/۲۶۱	۴۰۱۰	۴۰/۸	۶۵/۶



شکل ۲ | مدل تطبیقی نرم افزار برای فشار و مشتق فشار در نمودار لگاریتم-لگاریتم



شکل ۳ | تاریخچه ی نمودار تطبیق نرم افزار بعد از مدل سازی

طراحی بهینه‌ی اسیدکاری

با توجه به میزان آسیب سازند برای هر لایه‌ی تولیدی می‌توان گفت که لایه‌ی دوم نیاز به اسیدکاری ندارد و اسید فقط باید به لایه‌ی اول نفوذ کند. فشار لایه‌ی اول کمتر از لایه‌ی دوم و تراوایی آن بیشتر است و این نشان می‌دهد که سیال بیشتر به لایه‌ی اول نفوذ خواهد کرد.

با توجه به تعریف دو لایه‌ی تولیدی و فشار هر لایه، فشار میانگین برای تزریق ۳۹۵۰ psi می‌باشد. چون نیاز است که اسید فقط در لایه‌ی اول نفوذ کند اگر فشار میانگین برای فشار تزریق اسید در نظر گرفته شود اسید به داخل لایه‌ی دوم نفوذ نخواهد کرد یا به مقدار کمی نفوذ خواهد کرد و نتیجه‌ی موردنظر حاصل خواهد شد.

برای محاسبه‌ی میزان اسید مورد نیاز از معادله‌ی (۱) با کمی تغییر استفاده می‌کنیم.

$$V = \pi r_w^2 H + \pi (r_s^2 - r_w^2) h e \phi \quad (2)$$

که r_e شعاع موثر اسیدکاری^{۱۴} و $h e$ بازه‌ی مشبک‌کاری موثر است.

$$r_w : 8/5 \text{ اینچ} = 0/2159 \text{ متر}$$

$$H : 3843/96 \text{ متر}$$

$$r_e : 16 \text{ فوت} = 4/8768 \text{ متر}$$

$$h e : 98/4 \text{ متر}$$

$$\phi : 10 \text{ درصد}$$

حجم کلی اسید برابر ۱۲۹۶/۶۷ مترمکعب است که بدون در نظر گرفتن ستون چاه به عدد ۷۳۳/۷۷ مترمکعب می‌رسد.

این حجم را می‌توان به ۱۰ درصد حجم کلی اسید را پیش‌اسید، ۵۰ درصد اسید اصلی، ۲۰ درصد منحرف‌کننده و ۲۰ درصد پست‌اسید تقسیم کرد. علت کاهش درصد منحرف‌کننده دانستن این مطلب است که فشار تزریق اسید از فشار لایه‌ی غیردلخواه که I_2 باشد، کمتر است و اسید تمایلی به ورود و حرکت در این لایه را ندارد. پس به درصد اسید اصلی و پست‌اسید اضافه می‌شود.

$$\text{پیش‌اسید: } 73/377 \text{ مترمکعب}$$

$$\text{اسید اصلی: } 366/855 \text{ مترمکعب}$$

$$\text{منحرف‌کننده: } 146/754 \text{ مترمکعب}$$

$$\text{پست‌اسید: } 146/754 \text{ مترمکعب}$$

نتیجه‌گیری

اسیدکاری برای مخازنی که چند لایه‌ی تولیدی با فشار، تراوایی، تخلخل، ضخامت و آسیب سازند متفاوت از هم دارند، بسیار حساس است. اطلاعات در سطح از فشار، تراوایی و آسیب سازند به صورت میانگین بوده و از وضعیت هر لایه به طور جداگانه اطلاعی در دست نیست. با استفاده از داده‌های نمودار نگار تولید وضعیت فشاری، تراوایی، آسیب سازند و مهمتر از همه شاخص تولید برای هر لایه به طور جداگانه محاسبه شد.

با توجه به این اطلاعات محاسبه شده مشخص شد که فقط یکی از لایه‌ها نیاز به اسیدکاری دارد. فشار اسیدکاری با توجه به فشارهای هر لایه مشخص شده تا فقط سیال اسیدکاری به داخل لایه‌ی موردنظر برود. کمترین دبی نیز برای اسیدکاری مشخص شد تا از ایجاد جریان بین لایه‌ای جلوگیری کند. به دلیل اسیدکاری فقط یک لایه‌ی سازند، میزان حجم اسید اصلی کاهش یافت و به میزان حجم پست‌اسید اضافه شد.

سایر نتایج این پژوهش به این شرح است:

- یکی از پارامترهای مهم در طراحی اسیدکاری، نوع تکمیل چاه است. اگر با لوله‌ی آستری مشبک شده تکمیل شده باشد، به دلیل وجود فضای خالی بین لوله‌ی آستری تا سازند و مشخص نبودن دقیق وضعیت تولیدی هر لایه، برای طراحی و انجام عملیات اسیدکاری باید بسیار دقت کرد و پارامترهای بیشتری را در نظر گرفت. تکمیل چاه مورد بررسی در این پژوهش از نوع لوله‌ی آستری است.
- در طراحی اسیدکاری باید پارامترهای میزان آسیب سازند، میزان غیریکنواختی مخزن که فشار و تراوایی از مهمترین موارد مورد بررسی هستند، ضخامت و عمق لایه‌های مخزن و عمق‌های مشبک‌کاری شده، توجه ویژه داشت. چاه‌کاندید این مطالعه، عمودی حفر شده و به نسبت چاه جهت‌دار یا افقی، آسیب کمتری به سازند وارد شده است. مخزن از چند لایه‌ی مختلف با تراوایی و فشار مختلف تشکیل شده که کار را برای طراحی اسیدکاری بسیار سخت می‌کند.
- در طراحی بهینه‌ی عملیات اسیدکاری، با توجه به میزان آسیب سازند برای هر لایه‌ی تولیدی می‌توان گفت که لایه‌ی دوم نیاز به اسیدکاری ندارد و اسید فقط باید به لایه‌ی اول نفوذ کند. فشار لایه‌ی اول کمتر از لایه‌ی دوم و تراوایی آن بیشتر است و این نشان می‌دهد که سیال بیشتر به لایه‌ی اول نفوذ خواهد کرد. ■

پانویس‌ها

1. Casing collar locator
2. Recementation
3. Cement Bond Log
4. Sink
5. Liquid Holdup

منابع

- [1]. Al-Buraik, K. A., and J. M. Pasnak. "Horizontal Drilling in Saudi Arabian Oil Fields: Case Histories." SPE-25592. Society of petroleum engineers, 1993.
- [2]. Al-Naama, A., A. Al-SahlaWi, R. Staley, H. Albotrous, B. Ekamba, and P. Guo. "Enhanced reservoir characterization with horizontal well logs in Dukhan field, Qatar." IPTC-17517. Doha, Qatar: International petroleum technology conference, 2014.
- ادامه منابع در (دبیرخانه) موجود است.