

آنالیز بهبود آسیب چندگانه چاه با استفاده از لایه شکافی اسیدی^۱ در یکی از مخازن نفتی جنوب غرب ایران

حمید محمودان - شرکت نفت و گاز پارس

مصطفی صداقت زاده - شرکت ملی حفاری ایران

امیر حسین زاده هاله* - شرکت نفت فلات قاره ایران

چکیده

لایه شکافی اسیدی به منظور افزایش بهره‌دهی چاه در سازندهای قابل حل در اسید (مثل سنگ آهک، دولومیت و گچ) انجام می‌شود. در این روش معمولاً از اسید هیدرولیک برای ایجاد شکافک حکاکی^۲ که عامل اصلی بازماندن شکاف در زمان تولید از چاه است استفاده می‌شود. روشی دیگر برای ایجاد شکاف در سازندهای کربناته، لایه شکافی پروپانتی^۳ است که در آن از پروپانت برای بازنگه‌داشتن شکاف استفاده می‌شود. به دلیل شرایط خاص مخازن کربناته از جمله فشار و تفسیر داده‌های چاه آزمایی، این گونه مخازن از پیچیدگی و اهمیت خاصی برخوردارند. مهم‌ترین نتایج حاصل از چاه آزمایی، پی‌بردن به مقدار ضریب پوسته^۴ و نفوذپذیری می‌باشد.

در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار PanSystem بررسی جامعی روی یکی از چاه‌های میدین نفتی جنوب غرب ایران انجام شده است. این چاه به علت نفوذپذیری کم ناشی از آسیب چندگانه سازندی توسط گل حفاری و مشکلات حاصل از نفت سنگین تولیدی، جهت عملیات لایه شکافی اسیدی انتخاب شده است. در این بررسی اثر غلظت اسید بر شاخص‌های اسید کاری (تغییرات نفوذپذیری و تخلخل) مورد توجه قرار گرفته است. کاهش آسیب سازندی و رسیدن ضریب پوسته به ۳/۵-، کارایی این روش را نمایان کرده و در نهایت شرایط بهینه ارائه شده است.

واژگان کلیدی: انگیزش، اسید کاری، ضریب پوسته، چاه آزمایی، کربناته

مقدمه

یکی از روش‌های پر کاربرد در فرآیند انگیزش چاه اسید کاری است. اسید کاری موفقیت‌آمیز مخازن کربناته (با توجه به وسعت و تعداد این مخازن) از عوامل مؤثر در بازگشت سریع سرمایه است [۱]. با توجه به اینکه حدود ۷۰ درصد از مخازن سازندهای کربناته سرتاسر جهان نفتی هستند و هم‌چنین نیاز به ساده‌سازی عملیات‌های انگیزشی ماسه‌سنگی، باید مزایای لایه شکافی اسیدی و امکانات بیشتر آن برای سازندهای ماسه‌سنگی و کربناته در نظر گرفته شود [۲]. با توجه به اینکه در لایه شکافی اسیدی فشار تزریق اسید از فشار شکست سازند بیشتر است، واکنش ناهمگن اسید با سازند باعث حکاکی شکاف می‌شود که عامل اصلی بازماندن شکاف در زمان تولید چاه است. در لایه شکافی پروپانتی، با تزریق پروپانت از بسته‌شدن شکاف جلوگیری به عمل می‌آید.

غالباً لایه شکافی اسیدی نسبت به لایه شکافی پروپانتی اهمیت کمتری داشته و به‌عنوان گزینه دوم در نظر گرفته می‌شود [۳]. آنچه سبب برتری لایه شکافی پروپانتی می‌شود، مدل‌سازی آسان‌تر آنست. به‌علاوه اثر خواص مکانیکی سنگ بر میزان هدایت شکاف^۵ حکاکی شده توسط اسید و هدایت شکاف پروپانتی در یک سازند یکسان با داشتن هدف واحد عملیاتی و در نظر گرفتن حجم و نوع اسیدها، حکایت از برتری لایه شکافی پروپانتی دارد. در لایه شکافی اسیدی، نسبت انگیزش به‌وسیله دو مشخصه طول شکاف هدایت‌کننده که پس از عملیات باز می‌ماند و

نسبت هدایت شکاف به نفوذپذیری سازند توسط اسید، کنترل می‌شود. طول شکاف اسیدی و میزان هدایت آن بیشتر تحت تأثیر طراحی عملیات و استحکام سازند است [۴].

در این مطالعه، انگیزش چاه به روش لایه شکافی اسیدی باعث بهبود قابل توجه شرایط تولیدی و کاهش روند افت فشار شده و این روش نسبت به لایه شکافی پروپانتی به‌عنوان یک عملیات محافظ کارانه‌تر، کم‌هزینه‌تر، مؤثر و کارآمد جهت دست‌یابی به اهداف مورد نظر معرفی گردیده است. نظر به اینکه کلیه اسید کاری‌هایی که در سنگ‌های کربناته میدین نفتی جنوب غرب ایران انجام شده با موفقیت کامل همراه نبوده [۵] در خصوص تاریخچه این روش می‌توان گفت اسید کاری شبیه هنری است که نمی‌توان به‌طور کامل بر آن تسلط یافت و همواره فرصت برای کسب تجربیات بیشتر، کشف قانون‌های جدید و ارائه پیشنهادها نو وجود دارد.

۱- مزایای لایه شکافی اسیدی

از مزایای مهم لایه شکافی اسیدی اینست که یک شکاف می‌تواند هدایت‌پذیری را در سازند کربناته و نه در نواحی نامطلوب ماسه‌سنگی و یا شیل ایجاد کند. علاوه بر این اگر هدایت‌پذیری مؤثر ناشی از حکاکی اسید بتواند شکل گیرد، انتظار می‌رود اغتشاش جریان درون شکاف ناشی از لایه شکافی اسیدی، کمتر از اغتشاش ناشی از لایه شکافی پروپانتی باشد [۶]. هرچند یکی از معایب لایه شکافی اسیدی مشکل بودن کنترل هرزروی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (amir.hosseinzadeh@yahoo.com)

شرایطی و نیز تحت اختلاف فشار زیاد می‌تواند باعث عمیق‌تر شدن آسیب سازند شود. سیال مخزن نفت تک‌فاز بوده که ترکیب بسیار سنگینی دارد و تمایل به ایجاد امولسیون و رسوب دادن ترکیبات پارافینی و آسفالتینی دارد. با توجه به افت فشار فوق‌العاده زیاد سیال هنگام ورود به چاه، رسوب کردن ذرات آسفالتینی در خلل و فرج سازند در نزدیک دیواره حتمی به نظر می‌رسد. لذا آسیب سازند در اثر تغییر در خاصیت ترشوندگی و رسوب ذرات آسفالتینی و ایجاد امولسیون‌ها در خلل و فرج چندگانه شناسایی شده است. داده‌های اصلی مربوط به سیال مخزن در جدول ۱ آورده شده است. هدف از اسیدکاری، انگیزش فاصله ۳۸۳۴-۳۸۵۰ متری در چاه است که در لایه ۵- سازند سروک قرار دارد. این چاه در فاصله یاد شده تقریباً به صورت عمودی بوده و تاکنون هیچ‌گونه عملیات انگیزشی روی آن صورت نگرفته است. جزئیات مربوط به مشبک کاری چاه در جدول ۲ و بعضی از مشخصات مخزن و چاه در جدول ۳ ذکر شده است.

با چاه آزمایشی به روش آزمایش افزایش فشار^۸ قبل و بعد از عملیات اسیدکاری و مقایسه نتایج حاصل، موفقیت‌آمیز بودن عملیات انگیزش مشهود است. داده‌های سرچاهی تغییرات فشار بر حسب زمان قبل از عملیات اسیدکاری تا قبل از بسته‌شدن چاه با فشار ۱۶۶۰ psi وجود داشته که از زمان بسته‌شدن چاه با فشار ۸۸۵/۸۹ psi شروع شده و به مدت ۱۰/۷۳۳ ساعت با فشار ۱۵۸۵/۱۴ psi ادامه داشته است.

۳- بحث و تفسیر

در شکل ۱- نمودار لگاریتمی آزمایش افزایش فشار قبل اسیدکاری و بعد از Matching نشان داده شده است. وجود اختلاف زیاد میان نمودار تغییرات فشار و Derivative Plot نشان‌دهنده آسیب سازندی است که خود یکی از مهم‌ترین عوامل ترغیب به عملیات انگیزش است. قبل از اسیدکاری با عملیات Matching روی نمودار جریان شعاعی^۹ (تغییرات فشار بر حسب لگاریتم زمان) ضریب ظرفیت چاه (CS)^{۱۰} برابر با ۰/۲۷۱ bbl/psi خواهد بود و با توجه به مقدار زیاد عرض از مبدا، مقدار ضریب پوسته برابر با ۰/۷۳۷۷ به دست می‌آید. مقدار P_i معادل ۱۶۳۸/۵۰۶۳ psi می‌باشد. نمودار Production Forecasting Plot قبل از اسیدکاری نیز در شکل ۲- نشان داده شده است. هم‌چنین نتایج حاصل پس از انتخاب مدل در نمودار لگاریتمی قبل

اسید است ولی بدون استفاده از تجربیات قبلی در یک سازند مشخص، نمی‌توان هدایت‌پذیری ناشی از حکاکی و طول شکاف را پیش‌بینی کرد و این به دلیل مشخص نبودن هرزروی اسید است. بنابراین یکی از مزیت‌های لایه‌شکافی پروپانتی نسبت به لایه‌شکافی اسیدی، پیش‌بینی دقیق‌تر ضریب هرزروی، شکل شکاف و میزان هدایت پروپانت است. دلیل اصلی این امر نیز استفاده از سیال غیراسیدی است [۷]. عوامل انتخاب لایه‌شکافی اسیدی در سازندهای کربناته به شرح زیر است:

- اکثر سازندهای کربناته دارای شکاف‌های طبیعی هستند که این شکاف‌ها باعث پیچیدگی‌های فراوان در لایه‌شکافی پروپانتی می‌شود.
 - سازند از نظر تخلخل و تراوایی غیر همگن است که این امر موجب درجه بالایی حکاکی دیفرانسیلی^{۱۱} در دیواره‌های شکاف می‌شود.
 - ناحیه تولیدی به نواحی ناخواسته آب یا گاز بسیار نزدیک باشد.
 - تراوایی سازند نسبتاً زیاد باشد یا سازند آسیب دیده باشد.
 - دیواره شکاف به‌طور مکانیکی نتواند پروپانت را قبول کند.
- به‌طور حتم در آینده، انجام اسیدکاری‌های بعدی از طریق تونل‌های اسید ایجاد شده (با استفاده از فن‌آوری‌های حال حاضر و آینده سیال لایه‌شکافی اسیدی) می‌تواند برای انگیزش عمیق سازند هدایت شود یا حتی به چاه شجری^۷ تئوری نزدیک گردد [۸].

۲- معرفی مخزن و چاه مورد مطالعه

حفر این چاه به‌منظور تولید از سازند سروک در مخزن بنگستان بوده که مراحل حفاری و تکمیل آن در سال ۲۰۰۰ میلادی به پایان رسیده است. با توجه به اینکه برای حفاری چاه مورد مطالعه از گل حفاری پایه‌روغنی استفاده شده، وجود اختلاف فشار زیاد بین گل و سازند باعث نفوذ زیاد گل حفاری به داخل سازند شده است. هم‌چنین در هنگام مشبک کاری نیز چاه از سیال پایه‌روغنی (گازوئیل) پر بوده که انجام مشبک کاری در چنین

۱ | مشخصات سیال مخزن

پارامتر	مقدار
درجه سنگینی (API)	۲۷
گرانروی نفت (cp)	۲/۵۲
Oil Formation Volume Factor (Rbbl/STB)	۱/۲

۳ | مشخصات سنگ مخزن و چاه

پارامتر	مقدار
ضخامت لایه (فوت)	۲۹۰
تخلخل متوسط سازند (درصد)	۰/۱
تراکم‌پذیری کل (psi ⁻¹)	۸×۱۰ ^{-۶}
فشار لایه (psi)	۱۶۵۷/۴۸
شعاع چاه (فوت)	۰/۲۵۵۲

۲ | فواصل مشبک کاری در چاه

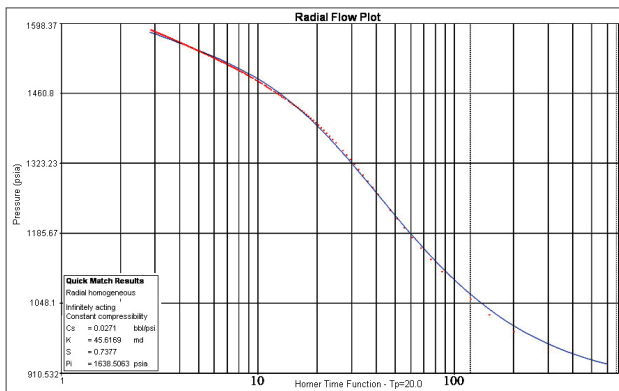
عمق (متر)	ضخامت (متر)	جنس سنگ
۳۸۳۴-۳۸۵۰	۱۶	کربنات
۳۹۲۹-۳۹۳۲	۳	کربنات
۳۹۵۸-۳۹۶۲	۴	کربنات

Semi-Log قبل از اسید کاری، نشان دهنده کاهش ضریب پوسته به ۳/۵- است. هم چنین اثر ظرفیت چاه برابر 0.14 bbl/psi و P_i برابر 1638.503 psi به دست آمده است. با استفاده از بخش Deliver نرم افزار که در اصطلاح به آن منحنی Production Forecasting Plot گویند، موفقیت یا عدم موفقیت عملیات انگیزش نمایان خواهد شد که در اینجا مقایسه آن با قبل از اسید کاری، نشان از موفقیت آمیز بودن عملیات دارد. شکل ۶- نیز نشان دهنده این نمودار بعد از عملیات انگیزش است.

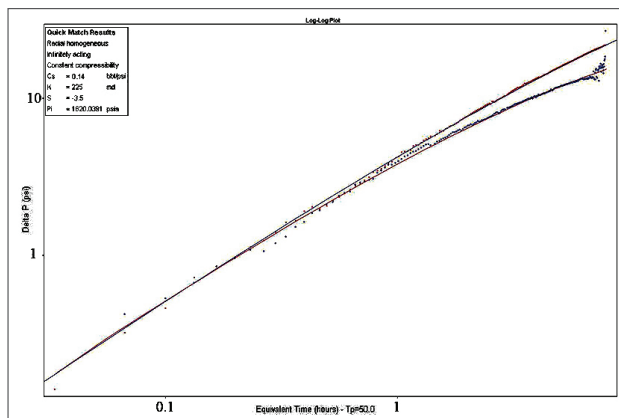
نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که غلظت اسید در فرآیند انگیزش از اهمیت ویژه ای برخوردار است و زیاد بودن غلظت لزوماً با افزایش عملکرد آن هماهنگ نبوده و برای هر مخزن و هر چاه نفتی باید طبق شرایط آن مخزن، غلظت بهینه را انتخاب کرد. در این مقاله نتایج به دست آمده با اسید کلریدریک با غلظت ۱۵ درصد شرایط مناسب تری را ایجاد خواهد کرد.

ضریب پوسته قبل از اسید کاری برابر 0.7377 بود که پس از آن به 0.375 - کاهش یافت. این تفاوت نشان دهنده موفقیت این عملیات در بهبود وضعیت پوسته است. بررسی نمودار جریان شعاعی (شکل ۵-) نیز



شکل ۳ | نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات Matching (قبل از اسیدکاری)

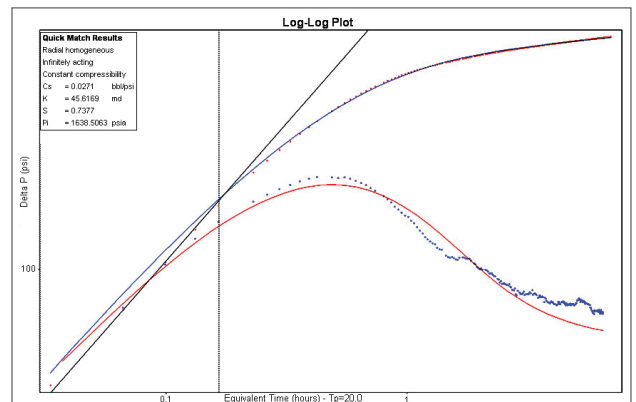


شکل ۴ | نمودار لگاریتمی پس از عملیات Matching (بعد از اسیدکاری)

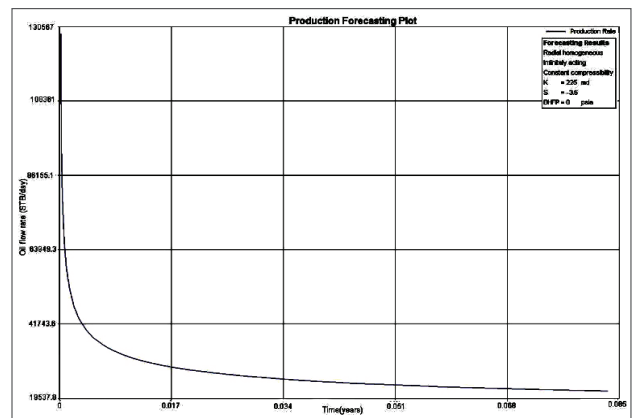
از عملیات اسید کاری، نشان دهنده وجود جریان شعاعی در مخزن و عملکرد مخزن به صورت نامحدود^{۱۱} است. این نتایج در نمودار جریان شعاعی در شکل ۳- نشان داده شده است.

سنگ های مخزن با تخلخل زیاد مثل گچ ها تمایل به ایجاد فضاهای خالی بزرگ با منافذ بسیار کوچک دارند و در این موارد محلول اسیدی رقیق تر ارجحیت دارد؛ چراکه اسید فقط باید گلوگاه ها را بزرگتر کند و واکنش سریع و انحلال سنگ مخزن می تواند ساختار را تخریب کرده و موجب ریزش سنگ مخزن گردد [۹]. لذا در لایه شکافی اسیدی از اسید کلریدریک با غلظت ۱۵ درصد استفاده شده است. پس از عملیات، دوباره آزمایش افزایش فشار روی چاه انجام شد و فشار از ابتدا $1556/83 \text{ psi}$ بود که بعد از $9/43333$ ساعت به $1578/79 \text{ psi}$ رسیده است. شکل ۴- نیز نشان دهنده نمودار لگاریتمی بعد از عملیات Matching و بعد از اسید کاری است. مقایسه این نمودار با شکل ۱- و نزدیکی بسیار زیاد دو منحنی فشار و نرخ جریان، نشان دهنده کاهش آسیب و منفی شدن مقدار ضریب پوسته در چاه مورد مطالعه است.

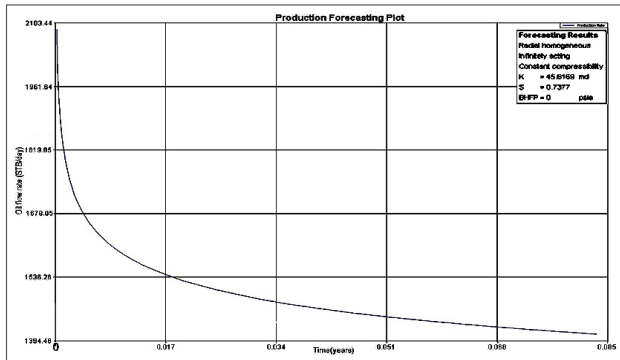
هم چنین در شکل ۵- عملیات Matching روی نمودار جریان شعاعی مربوط به بعد از اسید کاری نشان داده شده است. میزان شیب کمتر منطقه ای که تحت تأثیر عملکرد مخزن است در مقایسه با نمودار



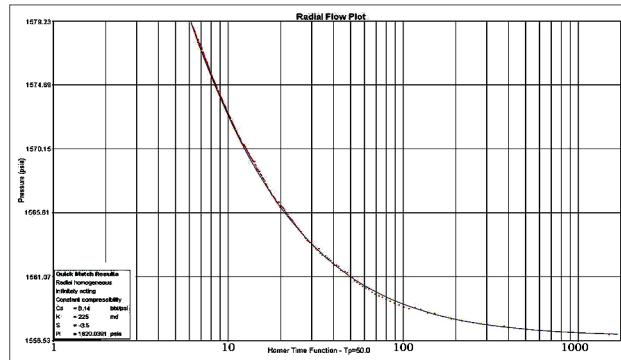
شکل ۱ | نمودار لگاریتمی پس از عملیات Matching (قبل از اسیدکاری)



شکل ۲ | نمودار Production Forecasting Plot (قبل از اسیدکاری)



شکل ۶ نمودار Production Forecasting Plot (بعد از اسیدکاری)



شکل ۵ نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات Matching (بعد از اسیدکاری)

■ به منظور بهبود بازده عملیات انگیزش در برآورد آسیب سازند، پیشنهاد می‌شود علاوه بر تشخیص نوع، میزان و نحوه توزیع کانی‌های مختلف در سنگ مخزن، کانی‌های اطراف خلل و فرج یا شبکه شکاف‌های طبیعی، نوع و خصوصیات سیالات مخزن و هم‌چنین اطلاعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی مخزن کسب شود. دانستن نوع سنگ، نفوذپذیری، تخلخل و چگونگی توزیع آنها در طول ناحیه تولیدی مهم است. ■ با توجه به اینکه عملیات حفاری فوق‌تعدالی یکی از مهم‌ترین عوامل در آسیب‌رساندن به سازند محسوب می‌شود، باید امکان به‌کارگیری عملیات حفاری زیر تعادلی (UBD)^{۱۲} در مخزن مربوطه بررسی شود. ■

نشان‌دهنده موفقیت این عملیات است. هم‌چنین از مقایسه دو شکل ۶ و ۵ می‌توان به افزایش بسیار زیاد نرخ جریان در مدت زمان مشخص پس از لایه‌شکافی اسیدی پی برد. ■ درجه سنگینی نفت در مخزن مورد مطالعه، حدود ۲۷ است که بر این اساس نفت خام میدان مورد مطالعه مستعد تولید آسفالتین در اثر تحریک توسط اسید می‌باشد. ■ در طراحی اسید و افزایش‌ها، وجود آسفالتین و پارافین لحاظ نشده است. هم‌چنین در طراحی اسیدکاری این میدان، وجود کانی‌های سیلیسی در نظر گرفته نشده است.

پانویس‌ها

- | | | |
|------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1. acid fracturing | 5. fracture conductivity | 9. radial homogeneous flow |
| 2. etched fracture | 6. differential etching | 10. wellbore storage coefficient |
| 3. proppant fracturing | 7. dendritic well | 11. infinitely acting |
| 4. skin factor | 8. pressure build-up test | 12. Under Balanced Drilling |

منابع

- [1] Best Practices: Carbonate Matrix Acidizing Treatments, Halliburton, 2002.
- [2] Leonard J. Kalfayan, BJ Services, Fracture Acidizing: History, Present state, and future, SPE, Texas, January 2007.
- [3] Michael J. Economides, Reservoir Stimulation, Schumberger Technology, University of Houston, USA, 2000.
- [4] D.R. Behenna. Acidating and other Matrix Treatments, Department of Petroleum Engineering, Heriot - watt University, 1999.
- [5] M.C.Cord Ahwaz Field Reservoir Study, Oil, Service Company of Iran, 1977.
- [6] Ely, John W., "Stimulation engineering handbook", Penn well publishing company, Oklahoma, 1994.
- [7] H.H. Abass, A.A. Al-Mulheim, M.S. Alqem, and K.R. Mirajuddin, "Acid Fracturing or Proppant Fracturing in Carbonate Formation? A Rock Mechanic's View" (paper SPE 102590 presented at the 2006 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, 24-27 September, 2006).
- [8] P.Moss, L. Portman, P. Rae, G. di Lullo, "Nature Had it Right After All! - Constructing a "Plant Root" - Like Drainage System With Multiple Branches and Uninhibited Communication With Pores and Natural Fractures" (paper SPE 103333, presented at the 2006 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, 24-17 September, 2006).
- [9] Ming Liu, Shicheng Zhang, Jianye Mou, "Effect of normally distributed porosities on dissolution pattern in carbonate acidizing", Journal of Petroleum Science and Engineering, Volumes 94-95, September 2012.