

انگیزش چاه به روش اسیدکاری

موحد، عطا¹

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت

سخنران مقاله: موحد، عطا

چکیده

3/5 cm

انگیزش چاههای نفت و گاز به منظور افزایش تولید و یا تزریق پذیری چاههای نفت و گاز تولیدی و یا متروک شده به کار گرفته می شوند. در صورتی که در مخازن نفت و گاز، نفوذ پذیری سنگ مخزن در اطراف چاه کم باشد، سعی در بالا بردن آن و در نتیجه تولید بهتر و راحت تر انجام می گیرد. یکی از راههایی که می توان به این هدف دست یافت، اسید زدن به سنگ مخزن می باشد. اسید کاری سازند بعنوان یکی از بهترین روشهای انگیزش جهت بهبود بهره وری چاه های تولیدی نفت و گاز و همچنین تزریق پذیری چاه های تزریقی مورد توجه بوده است. با توجه به این موارد، انتخاب اسید مناسب جهت این عملیات از امتیاز خاصی برخوردار است. موفقیت عمل اسید زدن به انتخاب نوع اسید، مقدار آن و محدودیت های مربوط به آن بستگی دارد. این اسیدها می توانند از نوع معدنی، آلی و یا ترکیبی از هر دو انتخاب شوند.

واژه های کلیدی: انگیزش - چاههای نفت و گاز - سنگ مخزن - اسید کاری - سازند - نفوذ پذیری

1- مقدمه

اسید کاری سازند از سال 1930 بعنوان یکی از بهترین روشهای انگیزش جهت بهبود بهره وری چاه های تولیدی نفت و گاز و همچنین تزریق پذیری چاه های تزریقی مورد توجه بوده است. بطوری که قدمت آن به حفاری نیز میرسد. با گسترش روز افزون کاربرد این روش، سازندهای مختلف با مسائل و مشکلات جدیدی روبرو شدند. برای حل این مسائل از روشهای متعددی استفاده شد. با وجود عمیق تر شدن چاه ها و سخت تر شدن شرایط در دماهای بالاتر و همچنین افزایش تعداد چاه های افقی این روش نیز به روز شده و هنوز بعنوان یک گزینه مناسب و مقرون بصره جهت انگیزش و بهبود بهره دهی مدنظر می باشد.

2- اسیدکاری سازند

در خصوص مخازن نفت و گاز، سعی بر این است که در صورت کم بودن نفوذ پذیری سنگ مخزن در اطراف چاه، به نحوی در بالا بردن آن و در نتیجه، تولید بهتر و راحت تر تلاش شود. یکی از راههایی که می توان به این منظور دست یافت، اسید زدن به سنگ مخزن می باشد. اسید به دلیل دارا بودن قدرت افزایش نفوذ پذیری سنگ مخزن مورد استفاده قرار می گیرد. این امر با ایجاد خوردگی در خود سنگ مخزن و یا حمل ذراتی که باعث انسداد خلل و فرج موجود در سنگ مخزن می شوند، محقق می گردد. امروزه در جهان 75 تا 80 درصد از کل عملیات های انگیزش مربوط به اسیدکاری سازند میباشند، این در حالیست که این روش فقط 20 تا 25 درصد از هزینه کل انگیزشها را شامل می شود که ناشی از آسیب دیدگی و کاهش نفوذپذیری سازند اطراف چاه میباشد. یکی از معمولترین روشهای کاهش اثر پیوسته ای، انگیزش چاه به روش اسیدکاری سازند است [1]. اما قبل از انجام هرکاری جهت درمان این بیماری، درک درستی از طبیعت آسیب دیدگی به همراه همه پارامترهایی که شاخص بهره برداری را کنترل می کنند لازم است تا بتوان بهترین روش انگیزش و درمان را اتخاذ کرد. همانطوری که می دانیم، ضریب پوسته ای بعنوان معیاری برای افت فشار اضافی حاصل از آسیب دیدگی سازند از تحلیل داده های چاه آزمایشی بدست می آید. از آنجا که این ضریب بدست آمده حاصل از آنالیز داده های چاه آزمایشی، شامل مؤلفه هایی است که با مکانیزم های مختلف بوجود آمده اند، لذا شناخت همه این مؤلفه ها بمنظور انجام یا عدم انجام عملیات انگیزش ضروری بنظر می رسد. جالب آنکه بررسی اجمالی نشان می دهد بسیاری از این مؤلفه ها را نمی توان توسط اسید کاری یا دیگر روشهای انگیزشی تغییر داد. انگیزش چاه بروش اسیدکاری، رابطه تنگاتنگی با آنالیز داده های مربوط به چاه آزمایشی دارد. گاهی اوقات بسیاری از پارامترهایی که در انتخاب کاندیدای مناسب جهت انگیزش به این روش نقش مؤثری دارند در نظر گرفته نمی شود [2].

3- انتخاب کاندیدای مناسب جهت عملیات انگیزش (تشخیص چاههای با بهره وری کم)

فرایند انتخاب چاه های کاندیدای مناسب جهت عملیات انگیزش در واقع شامل شناسایی چاه هایی است که بهره دهی شان کمتر از پتانسیل واقعی تولیدشان می باشد. شرایط زمین شناسی، پتروفیزیکی و مخزنی یک چاه، نقش عمده ای در تعیین پتانسیل تولید یک چاه دارند. از لحاظ تئوری اطلاعات کاملی از شرایط زمین شناسی و مکانیزمهای تولید مخزن لازم است تا بتوان پتانسیل تولیدی واقعی یک چاه را مشخص نمود.

در بسیاری از موارد چنین اطلاعاتی موجود نبوده و مهندس بهره برداری تنها به مقایسه بهره دهی چاه با چاه های مشابه و تاریخچه تولید آن میدان بسنده می کند. شاخص بهره دهی (PI)، شاخص بهره دهی در واحد ضخامت سازند (PI/h)، دبی تولیدی (برحسب شبکه در روز)، دبی تولیدی در واحد ضخامت سازند- تخلخل (BOPD/Prosity-ft) متغیرهایی هستند

که می توان از آنها بدین منظور استفاده نمود. انتخاب متغیر بستگی به میزان اطلاعات موجود و در دسترس دارد. این فرآیند امکان مقایسه بهره دهی چاه های یک میدان و بررسی رابطه آنها با یکدیگر را ممکن می سازد. پس از آنکه با استفاده از اطلاعات موجود، پتانسیل موجود یک چاه مشخص شد میتوان آن را با شاخص بهره دهی واقعی چاه مقایسه نمود. در صورت کمتر بودن دبی تولیدی چاه از میزان پتانسیل واقعی آن، دلیل یا دلایل موجود باید مورد بررسی قرار گیرند و سپس یک روش درمانی متناسب با آن انتخاب گردد. بعنوان مثال در مواردی که انرژی موجود مخزن، توانایی فراز آوری سیال بطور طبیعی را ندارد، قرار دادن چاه تحت فرازآوری مصنوعی می تواند راه حل مناسبی باشد، همچنین در مواردی که دبی تولید بدلیل محدودیت های مکانیکی مانند اندازه نامناسب لوله مغزی یا دیگر وسایل سرچاهی کاهش یافته است، استفاده از روشهای انگیزش چاه به هیچوجه مثمر ثمر نخواهد بود.

انتخاب چاه کاندیدای مناسب جهت عملیات انگیزش باید بر مبنای میزان افزایش بهره وری باشد. پر واضح است که چاه هایی با پتانسیل تولیدی بیشتر بر دیگر چاه ها ارجح خواهند بود. توجه داشته باشید در این فرآیند تحلیل ماکزیمم دبی تولیدی باید بر اساس ماکزیمم افت فشار مجاز که موجب تولید ماسه نگردد مدنظر قرار گیرد.

تعیین پتانسیل چاه های کاندیدای عملیات اسیدکاری بر مبنای استفاده از تحلیل داده های چاه آزمایشی (PTA) و محاسبه نسبت دبی واقعی و ایده آل می باشد، شاخص بهره دهی هر چاه بعنوان یک معیار خوب برای تعیین و مقایسه عملکرد چاه ها است. همچنین استفاده از تحلیل داده های چاه آزمایشی در تعیین عامل پوسته ای، آسیب دیدگی سازند اطراف چاه و به تبع آن پتانسیل واقعی چاه مورد استفاده قرار می گیرد.

برای تعیین معیار عملکرد یک چاه، شاخص بهره دهی (PI) در حالت ایده آل را می توان از اطلاعات مخزنی محاسبه نموده و نسبت شاخص بهره دهی واقعی (PIs) به PI ایده آل را بعنوان معیار عملکرد چاه در نظر گرفت.

$$\frac{kh}{142.2\mu B \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} PI = \quad (1)$$

$$IP_s = \frac{kh}{141.2\mu B \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s} \quad (2)$$

که در آن S عامل پوسته ای بی بعد که نمایانگر افت فشار اضافی حاصل از آسیب دیدگی سازند و دیگر عوامل است. معادلات فوق را برای یک چاه می توان بشکل زیر ساده کرد که در آن PIs و PI0 بترتیب شاخص بهره دهی نهایی و اولیه (بشکه در روز بر پام) S و S0 عامل پوسته ای اولیه و نهایی می باشد.

$$\frac{PI_s}{PI_0} = \frac{7.5 + S_0}{7.5 + S} \quad (3)$$

مقدار $\ln(r_e/r_w)$ بدلیل عدم حساسیت زیاد به این جمله برابر 7.5 در نظر گرفته شده است. تجزیه نشان داده است که چاه هایی که دبی تولیدشان کمتر از 75٪ دبی ایده آلشان هستند می توانند کاندیدای مناسبی جهت عملیات انگیزش باشند. همچنین در مورد چاه های کم فشار یا با نفوذپذیری کم، عملیات اسیدزنی سازند نمیتواند از لحاظ اقتصادی روش انگیزش خوبی برای این نوع چاه ها باشد. بلکه در این موارد ایجاد شکاف مصنوعی مناسب تر بنظر میرسد.

نتایج حاصل از شبیه سازی های عملیات اسیدکاری و تجربیات عملیاتی نشان دادند که در مخازن ماسه سنگی 90٪ کاهش، در عامل پوسته ای و برای مخازن کربناتی عامل پوسته ای نهایی برابر 2- برای طراحی مناسب و اجرای عملیات معیار خوبی بشمار می آید.

4- تشخیص آسیب دیدگی سازند

باتوجه به اینکه یکی از دلایل اصلی پایین بودن بهره دهی و یا تزریق پذیری چاه های نفتی و گازی آسیب دیدگی سازند می باشد. روشهای مختلفی بمنظور تشخیص آسیب دیدگی یک چاه وجود دارند که خلاصه ای از آن در جدول 8-1 نشان داده شده اند. با توجه به اینکه انواع مختلف آسیب دیدگی وجود دارند که می توانند موجب کاهش پتانسیل تولید چاه شوند، برخی از آنها در جدول 1 آمده است.

جدول شماره 1

توضیحات	روش
تحلیل داده های چاه آزمایی حاصل از آزمایشهایی مانند آزمایش افت فشار (Drawdown)، ساخت فشار (Buildup)، آزمایش ساق مته (DST) و ... و محاسبه اثر پوسته ای (S).	چاه آزمایی
مقایسه بهره دهی چاه با دیگر چاههای اطراف که از همان سازند تولید می کنند.	مقایسه ای
بررسی هرگونه گزارش در تاریخچه مینی بر تولید ماسه، رسوبات نمکی، یا آلی از قبیل آسفالتین، واکس و ...	تاریخچه تولید
تشکیل رسوبات آلی از قبیل واکس، آسفالتین، و یا رسوبات معدنی (Scale) و دبی زیاد تولید (مهاجرت و تولید ماسه)	بهره برداری
ذرات موجود در سیال تکمیلی و فیلتر شده، نوع تکمیل چاه از قبیل Gravel Packing و Perforations.	تعمیر و تکمیل
تشکیل رسوب بدلیل عدم سازگاری سیال تزریقی و سازند	تزریق آب و گاز
این نوع آسیب دیدگی که حین انجام عملیات حفاری اتفاق می افتد بستگی به زمان تماس گل با دیواره چاه، فشار اضافی ستون گل و خواص سنگ مخزن و سیال حفاری دارد.	کیک حاصل از گل حفاری
این نوع رسوب ممکن است از یونهای موجود در آب سازند (بدلیل تغییر دما یا تبخیر) و یا تماس آب تزریقی و آب سازند بوجود آیند. میزان رسوب بستگی به فشار، دما و Ph و ... دارد.	رسوبات معدنی (Scale) کربنات و سولفات کلسیم و باریم، اکسید آهن
ناشی از ترکیبات آهن محلول در عملیات انگیزش	رسوب ترکیبات آهن دار

5- طراحی عملیات اسیدکاری

طراحی عملیات اسیدکاری شامل تعیین انواع سیالات تزریقی و محاسبه حجم آنها می باشد.

5-1- محاسبات مربوط به حجم سیال تزریقی

سیالی که در عملیات انگیزش به سازند تزریق می شود شامل سه قسمت اصلی: سیال پیشین، سیال اصلی (اسید) و سیال پسین است.

5-1-1- سیال پیشین

این سیال که قبل از اسید تزریق می شود معمولاً هدف از آن آماده سازی شرایط سازند جهت تزریق اسید است بطوری که باعث آسیب دیدگی سازند نشود. در اسیدکاری سازندهای ماسه سنگی سیال پیشین، آب شور، سازند را به جلو رانده و از مخلوط شدن آن با اسید فلوریک (HF) و تشکیل رسوب جلوگیری می کند. بطور معمول 100-50 گالن بر فوت سیال پیشین برای عملیات اسیدکاری لازم است.

5-1-2- اسید اصلی

در عملیات اسیدکاری حرکت سیال در محیط متخلخل اطراف چاه بشکل یک جبهه یکنواخت پایدار و پیستون مانند در نظر گرفته می شود بطوری که اولین سیال تزریقی، آخرین سیال تولیدی هنگام تولید از چاه خواهد بود. با این فرضیات رابطه 4 برای محاسبه حجم فضایی خالی بکار می رود:

$$[\varphi(r_s^2 - r_w^2) \pi] V_p = 7.48(4)$$

در این رابطه V_p حجم فضای خالی r_p تا فاصله (برحسب گالن بر فوت) میباشد. Φ کسر تخلخل و r_s شعاع آسیب یا سیال جابه جا شده از مرکز چاه بر حسب فوت است و r_w هم شعاع دهانه چاه می باشد. در مواردی که اسید مقدار زیادی از سازند را در خود حل نمی کند، حجم اسید تزریقی را می توان برابر با حجم فضای خالی بدست آمده از رابطه فوق در نظر گرفت. بعنوان مثال برای مخلوط Mud acid که مقدار زیادی از کانی های موجود در سنگ مخزن را حل نمی کند بلکه بیشتر مواد پرکننده موجود در خلل و فرج را حل می کند، می توان این رابطه را برای محاسبه حجم اسید بکار برد.

5-1-3- سیال پسین

سیال پسین که کار اصلی آن جابجایی اسید می باشد باید طوری انتخاب شود که موجبات تشکیل رسوب و یا تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن را فراهم نیاورد. بدین معنی که سیال پسین علاوه بر راندن اسید به ناحیه دور دست از چاه از تشکیل رسوب نیز جلوگیری می کند. میزان تزریق سیال پسین معمولاً برابر حجم اسید یا کمی بیشتر در نظر گرفته می شود تا اطمینان کامل از راه یافتن اسید به داخل سازند حاصل شود.

6- زمان بستن چاه و تمیز سازی

مدت زمان بستن چاه حین انجام عملیات بستگی به نوع سنگ سازند، دمای سازند و فشار آن دارد. تجربه نشان داده است که اسید کاری سازندهای ماسه سنگی توسط اسید کلریدریک بدلیل سرعت واکنش بالا نیاز به زمان بستن زیادی ندارد. در مورد سازندهای کربناتی توسط مخلوط mud acid نیز همین گونه است ولی اسیدکاری سازندهای کربناتی با Emulsified Acid به زمانی حدود 1 تا 2 ساعت نیاز دارد. دبی تولیدی از چاه بمنظور تمیز سازی، پس از پایان این مدت زمان باید بگونه ای باشد که منجر به تولید آب و یا ماسه نشود.

7- ارزیابی عملیات اسیدکاری

ارزیابی عملکرد عملیات پس از اتمام انجام آن ضروری بنظر می رسد. در این مرحله که دوباره از چاه تولید می کنیم، میتوان در مورد میزان تأثیر عملیات بر بهبود بهره دهی سازند قضاوت نمود.

اولین نشانه های این بهبود را می توان در سهولت شروع تولید، افزایش دبی تولید یافت. همچنین آنالیز نمونه های گرفته شده از سیال تولیدی (برگشتی) در مراحل اولیه تولید امکان بررسی سازگاری بین سیال مخزنی و سیال تزریقی را فراهم میکند.

مقایسه نتایج حاصل از تحلیل داده های چاه آزمایشی در این مرحله با نتایج بدست آمده قبل از انجام عملیات بهترین معیار برای قضاوت در مورد موفقیت در انجام عملیات بهبود می باشد. چاه آزمایشی و بدست آوردن اثر پوسته ای یا نسبت آسیب از تحلیل داده های مربوط به آن، معیار بسیار خوبی جهت ارزیابی عملیات می باشند. علاوه بر این نمودارهای بهره برداری می توانند از طریق مشخص نمودن سهم نواحی مختلف لایه مخزنی در تولید کلی مفید واقع گردند.

8- انتخاب سیستم اسید

عوامل مختلفی در انتخاب نحوه اسید زنی به چاه دخالت دارند که با در نظر گرفتن آنها سیستمی که هدف نهایی را برآورده نماید در نظر گرفته می شود. روشهای مختلفی برای اسید زدن به چاه وجود دارد. ساده ترین روش اسیدزنی، پمپ کردن اسید به داخل چاه بمنظور تمیز کردن چاه و در نهایت شستشوی داخل چاه بوسیله اسید می باشد. این نوع اسید کاری چندان مشکل نیست و فقط کافی است که مقداری اسید در مجاورت شبکه های موجود بر روی دیواره چاه و سطح تماس آنها با سنگ مخزن قرار گیرد. جهت تصمیم گیری در مورد اسید زدن به چاه موضوع مهم، داشتن کلیه اطلاعات لازم از چاه می باشند. کلیه اطلاعات موجود و بدست آمده اعم از مشخصات سنگ مخزن، وضعیت فشار چاه، شاخص بهره دهی و غیره تحت بررسی دقیق قرار می گیرند. با بررسی این اطلاعات هدف نهایی از اسید زدن مشخص می شود [3].

پیش از هر چیز با توجه به اطلاعات مربوط به چاه بررسی می شود که آیا اسید زدن مشکل چاه را حل خواهد نمود و آیا اسید کاری سازند و یا ایجاد شکاف در سنگ مخزن لازم است و یا اینکه فقط یک شستشوی داخلی چاه کافی است؟ موفقیت عمل اسید زدن بستگی به انتخاب نوع اسید، مقدار آن و محدودیت های مربوط به آن دارد. نمونه هایی از اسیدها که در عملیات اسیدکاری به چاه مورد استفاده هستند بقرار زیر می باشند:

8-1- اسید های معدنی

برخی اسیدهای معدنی که بدین منظور استفاده می شوند در ذیل آمده اند:

8-1-1- اسید کلریدریک (HCL)

معمولترین اسیدی که بکار برده می شود اسید کلریدریک است. این اسید با غلظت های 5٪ تا ماکزیمم 35٪ موجود است و نوع معمولی آن دارای 15٪ وزنی درجه خلوص است، معمولاً جهت خوردگی سنگ های آهنی و دولومیت مورد استفاده است و چون اسید قوی است و بر فلزات اثر می کند لذا همیشه مواد ضدخوردنده به همراه دارد.

8-1-2- مخلوط اسید کلریدریک و اسید فلوریدریک (HCL - HF)

کاربرد این نوع اسید معمولاً در سنگهای سیلیسی می باشد و علت آن هم قدرت خوردگی سیلیس توسط اسید فلوریدریک می باشد. در این حالت ابتدا اسید فلوریدریک اثر میکند و سپس اسید دوم (HCL) شروع به تأثیر گذاشتن می نماید. به این مخلوط Mud acid نیز گفته می شود.

8-2- اسیدهای آلی (اسید استیک و اسید فرمیک)

معمولی ترین نوع اسید آلی که جهت اسیدکاری مصرف می شود، اسید استیک ($\text{CH}_3\text{-COOH}$) است که معمولاً برای سنگهای آهکی و دولومیت مصرف دارد. این اسید معمولاً با غلظت وزنی تا 10٪ موجود است و نسبت به اسید کلریدریک دو مزیت دارد :

اول آنکه بر محفظه های فلزی اثر نمی کند و قابلیت خود را در دمای زیاد حفظ می کند.
دوم اینکه چون از اسید کلریدریک ضعیف تر است عمل خوردندگی سنگ مخزن را به آرامی صورت می دهد و فرصتی بوجود می آورد تا راحت تر بر تمام قسمت های مخزن تماس اثر داشته باشد، لیکن در مقایسه با اسید کلریدریک بسیار گران است و به همین علت مصرفی به اندازه آن ندارد.
اسید فرمیک نیز خواصی تقریباً مشابه اسید استیک دارد ولی سریع تر از آن اثر می کند و تا حدی خوردندگی آن بیشتر است.

8-3- هیبرید اسیدها

این نوع اسیدها عبارت اند از مجموعه ای از اسیدهای معدنی و آلی که متناسب با خواصشان مورد استفاده قرار می گیرند. بعنوان نمونه چون سرعت عمل اسید کلریدریک زیاد است برای افزایش عمر اسید قدری اسید آلی مثل اسید استیک که با سرعت کمتری اثر می کند بدان افزوده می شود.
بدیهی است در این حالت اسیدهای معدنی زودتر اثر کرده و تا جایی که خاصیت اسیدی آنها از بین نرفته است، اسید آلی همچنان بصورت فعال باقی می ماند و بعد از اسید معدنی شروع به فعالیت می کند. این نمونه از اسیدها مجموعه هایی از اسید کلریدریک - اسید استیک، اسید فرمیک - اسید کلریدریک و یا به صورت دیگر می باشند. بکار بردن این مجموعه اسید باعث می شود که عمق نفوذ اسید در سنگ مخزن افزایش یابد.

8-3-1- اسیدهای پودر شده و یا کریستال

اسیدهای پودر شده مانند اسید سولفامید یا اسید کلرواستیک از نظر عملکرد ضعیف تر از اسیدهای فوق الذکر می باشند؛ لیکن چون بصورت پودر و یا کریستال هستند حمل و نقل آنها راحتتر است. در محل استفاده براحتی در آب حل می شوند و مورد استفاده قرار می گیرند، اما مسأله در مورد آنها درجه حرارت است. در حرارتهای بالای 180 درجه فارنهایت تجزیه شده و خواص خود را از دست می دهند. از این نظر توصیه میگردد در حرارتهای بالای 160 درجه فارنهایت مورد استفاده قرار نگیرند.

9- نتیجه گیری و جمع بندی

- هدف از انگیزش، افزایش تولید و یا تزریق پذیری چاههای نفت و گاز است.
- اسیدکاری یکی از بهترین و موثرترین روش های انگیزش جهت بهبود بهره وری و تزریق پذیری چاههای تولیدی نفت و گاز است.
- جهت انگیزش چاههای نفت و گاز، اولویت با چاههایی است که بهره دهی آنها از حد معمول کمتر است.
- اسیدکاری سازندهای ماسه سنگی توسط اسید کلریدریک به دلیل سرعت واکنش بالا، نیاز به بستن چاه در مدت زمان زیاد، ندارد.
- موفقیت عملیات اسیدکاری بستگی به انتخاب نوع اسید، مقدار آن و محدودیت های مربوط به آن دارد.
- اسیدهای لازم جهت اسیدکاری، می توانند معدنی، آلی و یا ترکیبی از هر دوی آنها باشند.

مراجع



- [1] رضایی، محمدرضا، (1385)، "زمین شناسی نفت"، جلد اول، چاپ ششم، انتشارات نورپردازان.
- [2] سحابی، فریدون، (1381)، "زمین شناسی نفت"، جلد اول، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه تهران.
- [3] عوض علیپور، فریدون، (1381)، "مبانی مهندسی نفت"، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه نورپردازان.
- [4] McCain, Jr., (1999), "Behavior of petroleum reservoir", Third Ed., calgary university, Canada
- [5] Sero, O., (2007), "Well-log Interpretations", Second Ed., M.I.T university, U.S.A.
-