



## افزایش بهره‌برداری از مخازن کربناته در اثر ایجاد

### کانال‌های اسیدی توسط دستگاه لوله مغزی سیار:

تکنیکی برای ایجاد چاه‌های رگه‌ای که سطح مقطع و متعاقب آن تولید از سازندهای کربناتی را افزایش می‌دهد.

◀ امین‌گزین\*

## چکیده

سازندهای کربناته ۳۵٪ از کل مخازن نفتی دنیا را تشکیل می‌دهند. در عین حال این مخازن به طور تقریبی ۶۰ تا ۷۰٪ مخازن کلاسیک دنیا را در بر می‌گیرند. این مخازن در اکثر مناطق نفت‌خیز دنیا و به طور مشخص در خاورمیانه آسیای مرکزی، آمریکا، کانادا و اروپای شمالی یافت می‌شوند. مخازن کربناته مهم در سوماترا، برونئی، چین، ونزوئلا و نقاط دیگر قرار دارد.

مخازن کربناته مانند مخازن ماسه‌ای با به کارگیری تکنیک‌های کلاسیک قابل حفاری و تکمیل هستند، اما حفاران اغلب شاهد ترکیبی از ویژگی‌های جالب سنگ‌های کربناتی از قبیل استحکام مکانیکی و حلالیت بالای آن در اسید می‌باشند. حلالیت کربنات در اسید هیدروکلریک بیش از ۹۵٪، تا ۹۹/۵٪ نیز افزایش پیدا می‌کند. این ویژگی مربوط به برخی از تکنیک‌های نوین ایجاد حفره‌های تخلیه در این سازندها می‌باشد. استفاده از نازل مناسب جهت تزریق اسید توسط Coiled Tubing (که نیاز به اتصالات اضافی را حذف می‌کند) ممکن است باعث ایجاد حفره‌های بدون استفاده از مته حفاری شود (شکل ۱-).

**واژه‌های کلیدی:** افزایش بهره‌برداری، مخازن کربناته، کانال‌های اسیدی، دستگاه لوله مغزی سیار.

## مقدمه

مهم‌ترین هدف کارشناسان نفتی، به حداکثر رساندن تولید از مخازن نفتی و در عین حال جلوگیری از آسیب دیدن سازند تولیدی می‌باشد. یکی از روش‌های رسیدن به این هدف در مخازن کربناته ایجاد ارتباط بیشتر و مؤثرتر بین سازند تولیدی و چاه است، این مهم توسط ایجاد کانال‌های اسیدی به‌وسیله دستگاه لوله مغزی سیار انجام می‌پذیرد و با انجام این عملیات می‌توان سطح مقطع حفره‌های ارتباطی و متعاقب آن تولید از سازندهای کربناته را افزایش داد. در این مقاله تزریق اسید و ایجاد کانال‌های ارتباطی توسط دستگاه لوله مغزی سیار

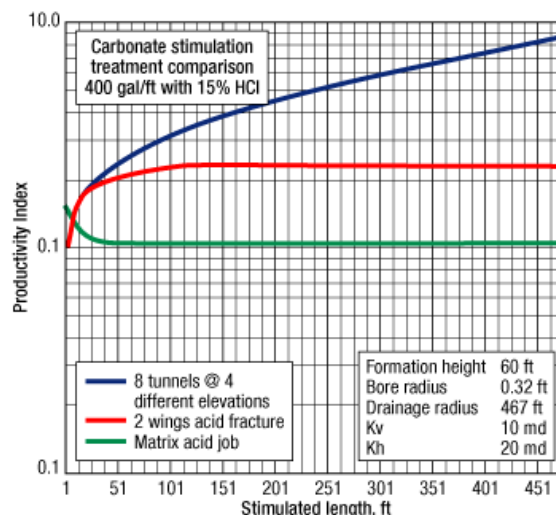
بررسی و تجربه انجام موفقیت‌آمیز این روش در کشور ونزوئلا ارائه می‌شود.

در این مقاله فرآیند تزریق اسید توسط CT توضیح داده شده و یک گزارش موردی انجام شده در یکی از مناطق نفت‌خیز ونزوئلا ارائه می‌شود.

## پیشینه

با افزودن ابزار جهت یاب و راهنما (Orienting & indexing tools) می‌توان با حل کردن سنگ، چندین حفره تخلیه ایجاد کرد. گذشته از این، به دلیل ویژگی مکانیکی سنگ می‌توان حفره‌ها

شکل ۲- مقایسه کاربردهای اسید: ماتریکس اسید زدن در برابر کانال‌های اسیدی و شکاف‌های اسیدی



شکل ۱- حفرة ایجاد شده بر اثر jetting اسید در سنگ کربنات



چاه وجود دارد. اغلب اوقات کانال‌ها بیضی شکل با عرض ۳ تا ۴ اینچ و ارتفاع ۱۰ تا ۲۰ اینچ می‌باشد.

برای حجم یکسان از اسید، کارایی عملیات اسید زدن به ماتریکس با ضریب شش و ایجاد شکاف به وسیله اسید با ضریب چهار، کارایی مخزن را افزایش داد، هر چند که چنین نتایجی همیشه تضمین نمی‌شود. (شکل- ۲)

به علاوه از آنجایی که چاه با استفاده از گل حفاری نمی‌شود، فیلتر کیک وجود ندارد و در نتیجه احتمال آسیب به سازند بسیار کم است.

فیلد کاری در بخش غربی دریاچه ماراکابو کشور ونزوئلا حدود ۹۵ حلقه چاه فعال و ۳۰۰ حلقه چاه غیر فعال با میزان بهره‌برداری متفاوت دارد.

در سال ۱۹۹۷ به درخواست شرکت ملی نفت ونزوئلا (PDVSA) (پنجمین صادر کننده نفت دنیا) یکی از چاه‌های حفاری شده مجدداً تکمیل شد که با استفاده از پمپ الکترونیکی درون چاهی روزانه حدود ۱۰۰ بشکه (۱۹ متر مکعب در روز) نفت تولید می‌کرد.

### روش کار

ابتدا برای اثبات صحت این فرضیه، مورد در مقیاس کوچک به صورت تجربی آزمایش شد و PDVSA آمادگی آزمایش تکنیک جدید و انحصاری تحریک و ایجاد حفره را در مقیاس وسیع پیدا کرد. هدف از انجام این آزمایش، ایجاد چاه رگه‌ای از طریق به وجود آوردن کانال‌های افقی در اعماق متفاوت حفره چاه و جایگزینی این تکنیک به جای تکنیک‌های معمول و رایج تحریک اسیدی از قبیل ماتریکس اسیدی و شکاف‌های اسیدی است.

طرز کار به این صورت است که اسید در سازند کربناتی به وسیله CT و از طریق سیستمی که به طور خاص برای سوار کردن اسید سوار شده است، پمپ می‌گردد تا حفره‌های جنبی با قطر ۸/۵ اینچ یا کانال‌هایی در اثر حل شدن سازند ایجاد شود

را بدون لوله جداری یا لوله مشبک شده به حال خود باقی گذاشت. این مورد به دلیل سادگی عملیات، کاهش هزینه و فراهم آوردن حداکثر ارتباط میان مخزن و درون چاه قابل توجه است. سرانجام می‌توان چاهی شامل یک حفرة اصلی (مادر) و چندین انشعاب در ارتفاع‌های متفاوت ایجاد کرد که هر کدام دارای مجاری کوچکتر و فشرده هستند و بر اثر تراوش اسید و در نتیجه حل شدن سنگ‌ها ایجاد می‌شوند. چنین پیکربندی، مجموعه‌ای از انشعاب متعدد که هر چه پیش می‌رود مجاری کوچکتری خواهند داشت به ریشه‌ها یا شاخه‌های یک درخت تشبیه می‌شوند و به همین دلیل به این نوع چاه‌ها، چاه (خوشه‌ای) گویند.

این نوع چاه‌ها در مقایسه با چاه‌های کلاسیک عملکرد جالبی دارند. چاه خوشه‌ای افزایش ارتباط مخزن و امکان بهره‌برداری بیشتر را از طریق توزیع جریان درونی در سطح گسترده، با داشتن منافذ گسترده و مارپیچی متعدد و جانبی، امکان پذیر می‌نماید.

این تکنیک برای تحریک چاه‌های قدیمی، جدید، افقی، عمودی و به خصوص چاه‌های تکمیل شده به صورت حفرة باز با سازندهای ضخیم‌تر از ۵۰ فوت قابل استفاده است.

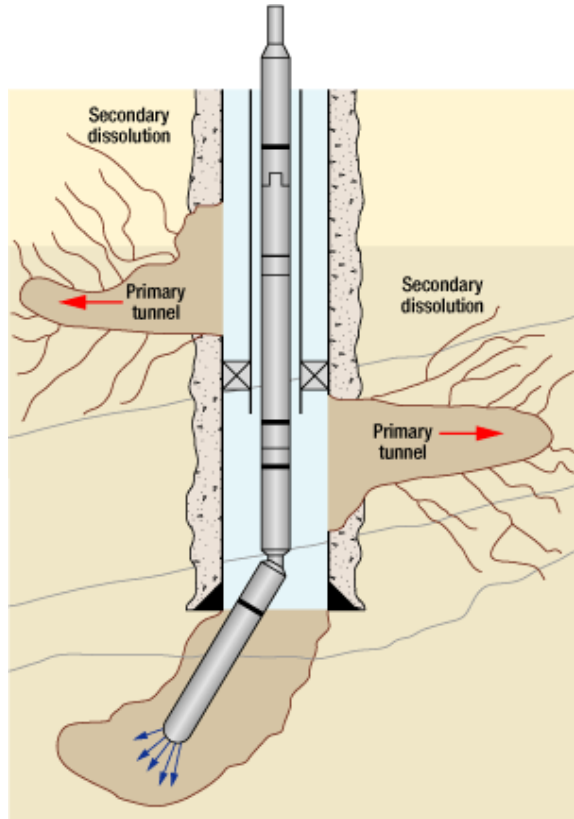
طول کانال‌های به‌وجود آمده با طول لوله CT قابل کنترل است در حالی که قطر کانال بستگی به فشار نازل، قدرت و حجم اسید و تعداد بالا و پائین کردن CT دارد.

از نظر علمی فرض بر آن است که در هر ۱۵ تا ۲۰ فوت جهات عمودی مختلف حفرة اصلی بر اثر اسید، چهار کانال ایجاد می‌گردد. همانطور که مشخص است تراوش اسید با افزایش نفوذ پذیری و تخلخل منطقه مجاور حفرة چاه، فراتر از آنچه در ایجاد جنبه‌های اصلی چاه انتظار می‌رود، اثر دارد. در فرآیند JETTING احتمال به‌وجود آمدن شاخه‌هایی جدا از عرض اصلی

جدول ۱ - ایجاد حفره باز در ۳ سازند، چاه DM-۱۵۴

| نام سازند | عمق شروع (فوت) | عمق پایان (فوت) |
|-----------|----------------|-----------------|
| Maraca    | ۵۵۳۰           | ۵۶۳۰            |
| Lisure    | ۵۶۳۰           | ۶۱۷۰            |
| Apon      | ۶۱۷۰           | ۶۸۲۰            |

شکل ۳ - ساخت تونل (حفره جانبی از طریق Jetting اسید در سنگهای کربناته که ذاتاً یکپارچگی مکانیکی و قابلیت حلالیت بالایی در اسید دارند قابل انجام است. به کمک یک خمیدگی (اتصال سگکی) که توسط فشار فعال می‌شود و تجهیزات درون چاهی خاص و نیمه خاص حفاری انجام می‌شود. پدیده نشت باعث ایجاد آرایه‌هایی شبیه ریشه‌های دندرتیک می‌شود.



(قطر کانال با توجه به میزان حلالیت اسید به طور چشمگیری بزرگ یا کوچکتر می‌باشد).  
به دلیل فرآیند انتخابی و استفاده از مقدار اسید کمتر در مقایسه با تحریک اسیدی، این تکنیک تخلیه سازند را افزایش می‌دهد. در این فرآیند از ابزار ویژه Jetting در انتهای CT استفاده می‌شود. هنگامی که ابزار به عمق دلخواه شروع کانال می‌رسد، با آغاز پمپاژ اسید، میزان فشار وارده به مقدار ۱۵ درجه CT را منحرف نموده تا ابزار به سازند برسد. (شکل ۳)  
برای شروع کانال حدود ۵۰ بشکه (۶/۴ متر مکعب) از اسید

کلریدریک ۱۵٪ Jet می‌شود. برای ادامه کانال از اسید ضعیف تر (اسید کلریدریک ۱۰٪) استفاده می‌شود.

با توجه به ویژگی معدنی و امکان وجود نفت یا گاز، طول کانال از ۴ تا ۶۰ فوت امتداد پیدا می‌کند. PDVSA در ایجاد کانال‌های ۱۰۰ فوتی (۳۰ متری) توسط Jetting موفق بوده است.

### تاریخچه مورد

با توجه به محاسبات انجام شده، انجام عملیات در هنگام شب امکان‌پذیر نبود، از این رو ایجاد کانال و تحریک در چهار روز (۴۸ ساعت عملیات) صورت گرفت. در ابتدا پمپ درون چاهی را بیرون کشیده و حفاری حفره با قطر ۸/۵ اینچ و انحراف ۵۳ درجه تا عمق ۶۸۴۰ فوت (۲۰۸۴ متر) MD ادامه پیدا کرد.

چاه ۱۵۴-DM پس از برداشتن پمپ به دلیل عدم وجود فشار در مخزن کشته شد. بخش حفره باز ایجاد شده سه سازند شاخص را پوشش می‌داد که در جدول ۱ آمده‌اند.

با استفاده از این تکنیک کانال زنی اسیدی، ۱۵ کانال جداگانه ایجاد شد که بلندترین آن تا ۲۵ فوت در سازند و کوتاه‌ترین آن یک فوت بود که در جدول ۲ نشان داده شده است. مجموع طول کانال‌ها کمی بیش از ۱۵۰ فوت و ارتفاع ناحیه بهره ده، ۸۲۸ فوت (۲۵۲ متر) بود که این تفاوت در اندازه‌گیری عمق پایین و بالای کانال بود.

### بحث و نتیجه‌گیری

این امر بسیار خوشایند و غیر منتظره بود که پس از پایان عملیات، چاه به طور طبیعی به طرف سطح جریان پیدا کرد. بهره‌برداری از چاه بعد از این فرآیند نوین به ۳۰۰ بشکه نفت در روز (۴۸ متر مکعب نفت در روز) و (۷ Mcfg/D) (۱۹۸ متر مکعب در روز) گاز در قطر چوک ۳/۴ اینچ افزایش پیدا کرد. تنظیم فشار سر چاه در حد ۶۰۰ پام (۴۱ بار) تقریباً بهره‌برداری نفت اولیه را سه برابر کرد. این چاه تنها چاه منطقه در آن زمان بود که به طور طبیعی جریان داشت. علاوه بر این، در طول کل فرآیند فقط ۱/۳۰۰ (۲۰۷ m<sup>۳</sup>) اسید استفاده شد، حدود ۱/۳۰۰ bbl/ft (بشکه در فوت) (۴/۹ m<sup>۳</sup>/m) از آن صرف ایجاد تونل شد و ۶۳ gl/ft (گالن بر فوت) (۷۸۲) از آن، کل حفره چاه (wellbore) را پوشش داد. با یک حساب سرانگشتی، میزان اسید لازم برای ایجاد شکستگی (acid fracs) در حفره چاه مورد نظر ۴۰۰ gl/ft (۴/۹۶۸ l/m) بود که میزان آن برای این پروژه حدود

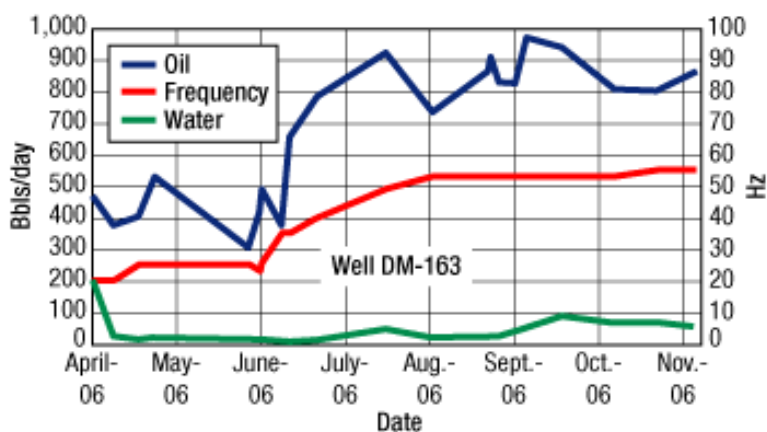
جدول ۲ - خلاصه تونل (کانال‌های ایجاد شده در چاه ۱۵۴-DM)

| Tunnel# | Formation | Length, ft | Total acid vol., bbl |
|---------|-----------|------------|----------------------|
| 1       | Apon      | 1          | 45                   |
| 2       | Apon      | 4.3        | 82                   |
| 3       | Apon      | 2.7        | 47                   |
| 4       | Apon      | 25         | 154                  |
| 5       | Apon      | 10.7       | 110                  |
| 6       | Apon      | 2.7        | 70                   |
| 7       | Apon      | 6          | 70                   |
| 8       | Apon      | 10.4       | 70                   |
| 9       | Lisure    | 2.1        | 94                   |
| 10      | Lisure    | 4.8        | 90                   |
| 11      | Lisure    | 23.6       | 10                   |
| 12      | Maraca    | 2.7        | 76                   |
| 13      | Maraca    | 16         | 80                   |
| 14      | Apon      | 20.5       | 100                  |
| 15      | Apon      | 20         | 96                   |

جدول ۳ - خلاصه‌ای از فعالیت‌های انجام شده برای ایجاد تونل توسط اسیدکاری در تاریخ‌های مربوطه

| Well         | Date    | Tunnels   | Total length, ft | Volume 15% HCl, bbl | Volume 10% HCl, bbl |
|--------------|---------|-----------|------------------|---------------------|---------------------|
| DM-160       | 10/2005 | 3         | 14               | 0                   | 270                 |
| DM-154       | 1/2006  | 15        | 152              | 635                 | 670                 |
| DM-118       | 5/2006  | 5         | 227              | 360                 | 285                 |
|              | 10/2006 | 5         | 170              | 300                 | 300                 |
| DM-163       | 5/2006  | 7         | 138              | 571                 | 455                 |
| DM-164       | 6/2006  | 8         | 425              | 660                 | 521                 |
|              | 9/2006  | 11        | 686              | 650                 | 660                 |
| DM-156       | 9/2006  | 7         | 280              | 420                 | 410                 |
| DM-165       | 10/2006 | 12        | 790              | 720                 | 720                 |
| DM-157       | 10/2006 | 9         | 390              | 540                 | 540                 |
| DM-155       | 10/2006 | 7         | 324              | 420                 | 420                 |
| <b>TOTAL</b> |         | <b>89</b> | <b>3596</b>      | <b>5276</b>         | <b>5251</b>         |

شکل ۴ - منحنی تولید برای چاه DM-۱۶۳ عملکرد مناسب را با ایجاد تنها هفت کانال اسیدی و در مجموع ۱۳۸ فوت طول نشان می‌دهد. سنجش تواتر (فرکانس) تابعی از عملکرد پمپ مغروق (submersible) الکتریکی است.



هنوز هم امکان پیشرفت‌های چشمگیر به منظور افزایش نفوذ و حلالیت مصرف اسید و در نهایت افزایش بهره‌برداری چاه در این تکنیک وجود دارد. به طور مثال شکل ۴ - تصویر لحظه‌ای (snapshot) از نتایج بهره‌برداری چاهی که در آن با اسید کانال ایجاد شده بود را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج و موفقیت‌های دیگر در این حیطه قابلیت این تکنیک ثابت گردید و انتظار می‌رود در بسیاری از مناطق نفتی دنیا این روش به کار رود.

**منابع:**

- Moss, P. and L. Portman, P. Rae, G. Di Lullo, «Nature had it right after all - Construction a 'plant root' like drainage system with multiple branches uninhibited communication with pores and natural fractures, « SPE 103333, SPE Annual Technical Conference and Exhibition San Antonio, Texas, Sept.24-27, 2006.
- نام مجله / World Oil Magazine, February 2007

**نویسندگان**

Victor Espina, Melvi Guerrero, Omar Colmenares, PDVSA; Jose Diaz, Phil Rae and Gino Di Lullo, BJ Services Company.

۷/۸۰۰ اسید (۱/۲۴۰ m<sup>۲</sup>) bbl بود.

در شرایط مشابه ماتریس اسیدی حدود ۱۵۰ گالن بر فوت (۱/۸۶۳ l/m) یا حدود ۳۰۰۰ بشکه (۴۷۷ متر مکعب) برای این کار لازم بود.

این تکنیک در میداین چاه‌های حفرة باز کربناتی کارایی دارد. چاه‌های دارای لوله جداری، نیاز به مشبک کاری دارند که فراهم کردن این امر نیاز به صرف هزینه بالا دارد، با این وجود دلیلی برای عدم به کار بردن این روند در چاه‌های لوله جداری وجود ندارد.

PDVSA از شروع تا کنون ۸۹ کانال در ۹ حلقه چاه ایجاد کرده است (جدول ۲). با استفاده از اسید کلریدریک ۱۵ و ۱۰٪ با تاثیر متوسطه ۰/۳۵ فوت بر بشکه کانال تشکیل شد که بلندترین آن ۸۹ فوت بود و جمعاً ۳۵۹۶ فوت کانال ایجاد شد. تمامی چاه‌ها به خوبی جوابگو بودند و PDVSA مقرر نمود که این تکنیک جایگزین دیگر تکنیک‌های تحریک اسیدی در منطقه شود.

در ادامه، مطالب بیشتری در خصوص فرآیند حرکتی آموخته شد و جنبه‌های گوناگون آن از قبیل حجم و قدرت اسید، میزان پمپاژ و غیره به خوبی تنظیم گردید.