

توسعه میادین کربناته آمریکا الگویی عملی برای توسعه میادین نفتی خاورمیانه

◀ بهروز شاکر شیران *

مقدمه

منطقه خاورمیانه به دلیل دارا بودن میادین نفتی عظیم که حاوی مقادیر قابل توجهی از منابع نفت خام می باشد نقش برجسته‌ای در تأمین نیازهای روز افزون جهانی به انرژی ایفاء می کند. با توجه به اینکه مخازن کربناته بخش عمده‌ای از مخازن نفت خام خاورمیانه را شامل می شود، بازیافت بهینه نفت خام در این مخازن با چالش‌های عمده‌ای مواجه می باشد. در این میان استفاده از تجربیات به دست آمده در مخازن مشابه در سایر نقاط دنیا می تواند در تبدیل این چالش‌ها به فرصت‌ها جهت دستیابی به ضریب بازیافت بهتر در این گونه مخازن مؤثر واقع شود. در این مقاله تجربیاتی که از توسعه و تولید از مخازن کربناته بزرگ و قدیمی آمریکا به دست آمده به عنوان نمونه‌هایی از نحوه اجرای طرح‌های توسعه‌ای در مخازن کربناته دنیا، به شرح ذیل ارائه می گردد.

پارامترهای مؤثر بر بازیافت نفت خام

برای توسعه میادین کربناته باید پارامترهای مختلفی را که بر عملکرد پروژه‌های مختلف از دید برداشت نفت خام در این میادین مؤثر هستند مشخص نمود و بسته به ماهیت این پارامترها نحوه توسعه میدان را طراحی نمود. در ذیل به برخی از این پارامترها اشاره می گردد:

توصیف مخزن: توصیف دقیق مخزن امری حیاتی در فهم و پیش بینی عملکرد سیلاب‌زنی و نیز بهینه نمودن بازیافت نفت خام می باشد. علاوه بر توصیف کامل ساختار، چینه‌بندی و خصوصیات مخزن، توصیف مخزن همچنین باید شامل اطلاعاتی در خصوص چاه‌آزمایی‌های ناپایدار (transient well tests) و راندمان فعلی بهره‌برداری از مخزن نیز باشد. به

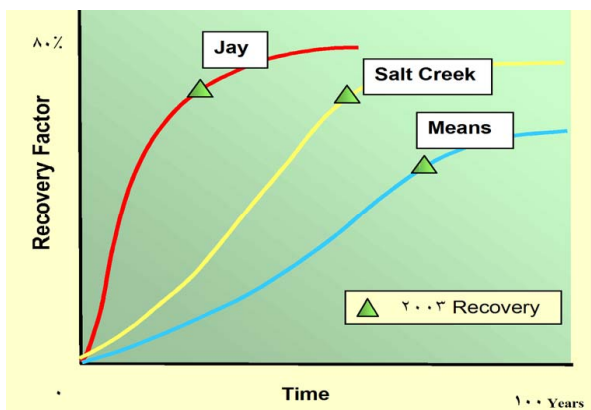
افزایش بازیافت نفت خام از میادین نفتی و استفاده بهینه از زیرساخت‌های موجود در این خصوص از چالش‌های کلیدی سازمان‌های تولیدکننده نفت خام در دنیا می باشد. امروزه خاورمیانه به لحاظ تأمین انرژی مورد نیاز جهان از طریق کاربرد روش‌های ثانویه و ثالثیه ازدیاد برداشت نفت خام در مخازن عظیم کربناته در موقعیت منحصر به فردی قرار گرفته است. با توجه به اینکه اکثر میادین نفتی خاورمیانه با تخلیه طبیعی و یا تزریق آب پیرامونی تولید می کنند، بنابراین زمان برای انجام مطالعات و برنامه‌ریزی برای کاهش فواصل چاه‌ها در میادین، تقویت فشار مخازن و انتخاب منابع تزریقی به سرعت فرا می رسد. در این مقاله تجربیات به دست آمده از اجرای طرح‌های توسعه‌ای برای سه میدان نفتی کربناته آمریکا به عنوان نمونه‌هایی از نتایج استفاده سیستماتیک و بهینه از تکنولوژی‌های موجود، انجام مطالعات جامع و جمع‌آوری مستمر اطلاعات مخازن نفتی ارائه شده است. در این سه میدان ضریب بازیافت نهایی نفت خام در اثر مطالعات مستمر و اعمال فرآیندهای بهینه بهره‌برداری، به طور تصاعدی افزایش یافته است. رویکرد سیستماتیک و یکپارچه به مدیریت مخزن در این میادین باعث فهم بهتر خواص سنگ و سیال هر مخزن و پارامترهای دخیل و مؤثر در بهبود کارایی این مخازن شده است. در نتیجه این رویکرد و حصول فهم و آگاهی بیشتر، طرح توسعه این میادین طوری اجرا شده که با استفاده از بهترین فن‌آوری‌های موجود، بازیافت هیدروکربور در این میادین و ارزش سرمایه حداکثر شود.

این روش توانایی گاز در بهبود راندمان جابه‌جایی و توانایی آب در بهبود راندمان جاروب‌زنی با هم تلفیق شده و در نتیجه بازیافت نفت خام افزایش می‌یابد.

مدیریت فرآیند سیلاب‌زنی: راندمان جاروب‌زنی با بهینه کردن دبی تزریق سیال و فشار تزریقی کنترل می‌گردد طوری که کل محدوده سیلاب زنی به طور یکنواخت هم به صورت عمودی و هم به صورت جانبی جاروب می‌شود. در مخازن کربناته به شدت غیرهمگن، حرکت سیال در فضای سه بعدی به ندرت شعاعی و یا یکنواخت است بنابراین مدیریت دبی تزریقی و کنترل منطقه تزریق هم در چاه‌های تولیدی و هم در چاه‌های تزریقی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

مطالعات موردی

در این قسمت مطالعات موردی که تنوع فرآیندهای سیلاب‌زنی و روش‌های اجرای این فرآیندها را نشان می‌دهند بررسی می‌گردند. این مثال‌ها شامل تزریق امتزاجی گاز نیتروژن (N_2) و تزریق امتزاجی گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) به صورت متناوب (WAG) در مخازن کربناته می‌باشد. شکل (۱) تغییرات ضریب بازیافت را نسبت به زمان در سه میدان مورد نظر نشان می‌دهد. شکل (۲) فرآیندی را نشان می‌دهد که در ضمن آن یک میدان نفتی کشف شده توسعه یافته و در نهایت متروکه می‌گردد.



شکل ۱- تغییرات ضریب بازیافت نسبت به زمان در سه میدان Jay, Salt Creek, Means

منظور معرفی دقیق رفتار سیال تزریقی به مدل شبیه‌ساز، توزیع‌پذیری و پیوستگی نفوذپذیری مخزن باید در مقیاسی بیان گردد که مناسب فرآیند سیلاب‌زنی باشد.

ترکیبات سیال: نفت خام‌های سبک بیش از نفت خام‌های سنگین متمایل به جابه‌جا شدن می‌باشند. نسبت تحرک (mobility ratio) برای نفت‌های سبک به خاطر گرانشی پایین این نفت‌ها مطلوب می‌باشد. همچنین در این گونه نفت‌ها احتمال رسوب ترکیبات سنگین‌تر و آسفالتین در اثر تماس با گاز تزریقی کمتر می‌باشد.

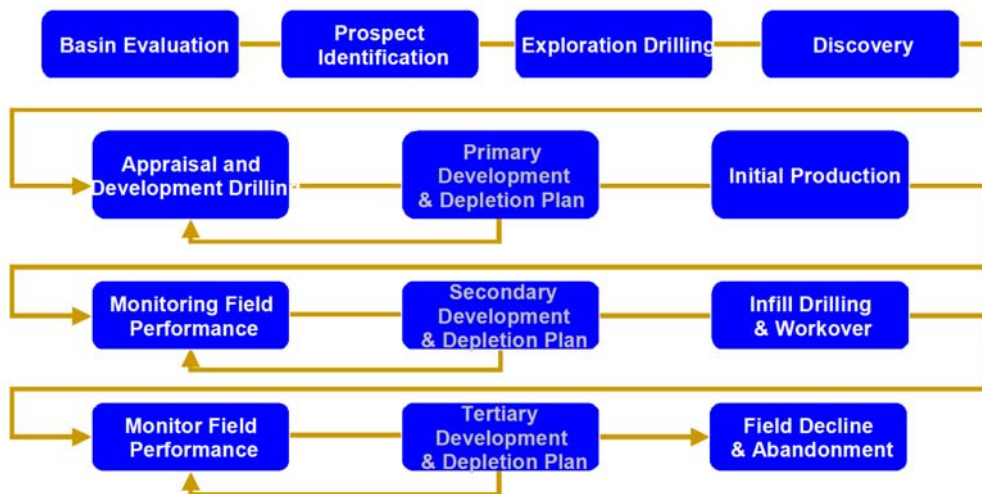
نفوذپذیری نسبی: راندمان جابه‌جایی گاز اغلب بهتر از آب می‌باشد. اما وقوع و شدت حالت انگشتی شدن (fingering effect) و نیز تفکیک ثقلی (gravity segregation) در تزریق گاز معمولاً بیشتر از تزریق آب می‌باشد. این امر به تحرک سیالات جابه‌جاکننده و جابه‌جاشونده و در نهایت به نفوذپذیری نسبی بستگی دارد. در مخازن با ترشوندگی ترکیبی و یا مخازن نفت‌دوست حجم زیادی از سیال تزریقی باید به نواحی نفتی تزریق گردد تا راندمان جابه‌جایی دلخواه حاصل گردد.

فشار مخزن: فشار پارامتری اساسی در تعیین اینکه گاز تزریقی در نفت خام مخزن امتزاج‌پذیر خواهد بود یا نه، می‌باشد. بازیافت نفت خام معمولاً زمانی که گاز تزریقی در نفت مخزن امتزاج‌پذیر باشد حداکثر می‌باشد.

موقعیت چاه‌ها و نحوه تکمیل آنها: موقعیت چاه‌ها با توجه به خصوصیات مخزن و سیال تزریقی، جهت جلوگیری از میان‌شکنی زودهنگام سیال تزریقی (breakthrough) از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. کیفیت تکمیل چاه به منظور حداقل کردن افت فشار در دهانه چاه نیز در قابلیت تزریق و انتقال چاه مؤثر است. کاربرد چاه‌های افقی در مخازنی که دارای خصوصیات مطلوب می‌باشند ارجح است اما باید توجه داشت که در این گونه چاه‌ها، طراحی چاه باید طوری باشد که بتوان به راحتی ورود سیال تزریقی (آب و یا گاز) را به چاه کنترل کرده و در همان ابتدای کار نواحی مورد نظر را ایزوله کرد.

انتخاب فرآیند: آب و گاز دو انتخاب رایج به عنوان سیال تزریقی می‌باشند. به شرط تأمین سیال تزریقی با توجیه اقتصادی، در هر مخزن با توجه به خصوصیات منحصر به فرد آن، از آب یا گاز به عنوان سیال تزریقی جهت توسعه اولیه آن مخزن استفاده می‌شود.

راندمان جابه‌جایی گاز معمولاً مطلوب می‌باشد، اما راندمان جاروب‌زنی تزریق گاز معمولاً ضعیف‌تر از راندمان جاروب‌زنی تزریق آب است. فرآیند تزریق متناوب آب و گاز (WAG) معمولاً به عنوان روش ثانویه ازدیاد برداشت بعد از تزریق آب و یا گاز اجرا می‌گردد. در



شکل ۲- مراحل کشف و توسعه یک میدان نفتی

تزریق گاز نیتروژن (N₂) به صورت امتزاجی در میدان جی (Jay field)

میدان جی در جنوب غربی آمریکا و در ناحیه مرزی بین ایالت فلوریدا و ایالت آلاباما قرار گرفته و در ژوئن سال ۱۹۷۰ کشف شده است. بخشی از میدان که در ایالت آلاباما قرار گرفته به (LEC) Little Escambia Creek معروف است. میدان جی میدانی نسبتاً عمیق، با درجه حرارت و فشار بالا (فشار اولیه ۷۸۵۰ پام، دمای ۲۸۵ فارنهایت) می‌باشد. بهره‌برداری در این میدان از سازند ژوراسیک بالایی که کربناته است و در عمق ۱۵۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ فوت قرار دارد صورت می‌گیرد. ضخامت لایه مخزنی در این میدان به طور میانگین ۳۵۰ فوت و تخلخل و نفوذپذیری آن به ترتیب حدود ۱۴ درصد و ۲۰ میلی داریسی می‌باشد. مخزن این میدان حاوی نفت سبک و ترش با درجه سبکی API ۵۱ و هیدروژن سولفور ۸/۸ درصد مولی است. نفت خام این میدان در شرایط اولیه در حالت فوق اشباع قرار داشته است.

مخزن Jay با حفاری ۱۳۷ حلقه چاه توسعه یافت. در سال ۱۹۷۴ عملیات سیلاب‌زنی با آب برای جلوگیری از افت شدید فشار در این میدان به اجرا درآمد. متعاقب عملیات سیلاب‌زنی با آب، عملیات تزریق امتزاجی گاز نیتروژن (N₂) به صورت تناوبی با آب (WAG) در سال ۱۹۸۱ شروع شد. این میدان از زمان شروع تولید هدف مطالعات گسترده زمین‌شناسی و مهندسی مخزن بوده است که حاصل آن یافته‌های کلیدی نظیر تشخیص وجود نواحی سیمانی شده همراه با استیلولیت‌ها (Stylolites) و نیاز به وارد کردن این مشخصه‌ها در مدل‌های شبیه‌سازی مخزن و ضرورت به حساب آوردن اثرات ترکیبی (compositional effect) فرآیند تزریق امتزاجی گاز نیتروژن (N₂) می‌باشد.

مطالعات گسترده آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های سنگ و سیال این میدان نشان داد که روش تزریق امتزاجی گاز نیتروژن (N₂) در این میدان مؤثر بوده است. تا به حال حدود ۴۴۰ میلیون بشکه نفت خام از این میدان تولید شده که حدود ۵۳ درصد نفت خام در جا را شامل می‌شود پیش‌بینی می‌گردد که ضریب بازیافت نفت خام در این میدان به حدود ۶۰ درصد برسد. در صورتی که تزریق امتزاجی گاز نیتروژن صورت نمی‌گرفت ضریب بازیافت نهایی به حدود ۵۰ درصد می‌رسید بنابراین تزریق امتزاجی گاز نیتروژن ضریب بازیافت نفت خام را حدود ۱۰ درصد افزایش داده است. شکل ۳- روند بازیافت نفت خام در این میدان را در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق امتزاجی گاز نیتروژن نشان می‌دهد.

سیلاب‌زنی با آب و تزریق گاز دی اکسید کربن به صورت WAG در میدان سالت کریک (Salt Creek)

میدان سالت کریک در ناحیه کنت (Kent) ایالت تگزاس واقع شده و در سال ۱۹۵۰ کشف شده است. عملیات تزریق گاز به منظور تثبیت فشار در این میدان در سال ۱۹۵۲ شروع شد و متعاقب آن عملیات تزریق آب در ماه می ۱۹۵۳ به اجرا درآمد. بهره‌برداری در این میدان از مخزن

ناهمگن Canyon line در عمق ۶۳۰۰ فوتی صورت می‌گیرد. فشار اولیه مخزن ۲۹۰۰ پام و فشار حباب مخزن ۱۲۵۰ پام بوده است. مخزن در ابتدا دارای نفت خام سبک و شیرین با درجه سبکی API ۳۹ بوده است. این میدان از دو مخزن آهکی تشکیل شده که هیچ ارتباط فشاری با هم ندارند. میانگین تخلخل در این مخزن ۱۱ درصد می‌باشد و نفوذپذیری از ۱ میلی داریسی تا ۲۰۰۰ میلی داریسی متغیر است. با توجه به نتایج مطالعات مخزن در این میدان توسعه این میدان در فازهای مختلفی به اجرا در آمده است. عملیات تزریق گاز در سال ۱۹۵۲ و تزریق آب در سال ۱۹۵۳ شروع شد. در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ تعدادی چاه میدانی (infill wells) حفاری گردید و به منظور تثبیت فشار و بهبود راندمان جاروب‌زنی چندین چاه تولیدی به چاه تزریقی تبدیل شدند.

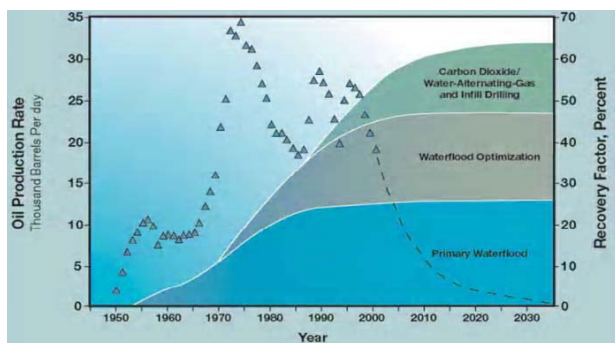
در دسامبر ۱۹۸۴ و به منظور بهبود راندمان جاروب‌زنی و افزایش عمر اقتصادی میدان، عملیات سیلاب‌زنی با پلیمر در دستور کار قرار گرفت. ضریب بازیافت در اثر تزریق پلیمر حدود ۱/۵ درصد افزایش یافت اما عملیات تزریق پلیمر به دلیل کاهش قیمت جهانی نفت خام در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی متوقف گردید.

طی دهه ۱۹۸۰ میلادی مطالعات مختلفی در خصوص ارزیابی فنی - اقتصادی اجرای عملیات تزریق گاز دی اکسید کربن (CO₂) صورت گرفت. در اکتبر ۱۹۹۳ فاز اول و در مارس ۱۹۹۶ فاز دوم تزریق گاز دی اکسید کربن در این میدان به اجرا درآمد. تزریق گاز دی اکسید کربن در این میدان هم به لحاظ اقتصادی و هم به لحاظ فنی موفقیت‌آمیز بود و حدود ۱۲ درصد ضریب بازیافت نفت خام را افزایش داد.

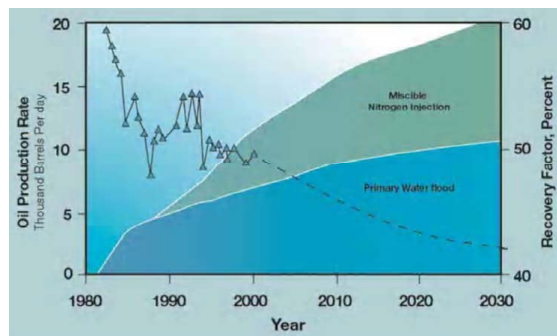
میدان سالت کریک (salt creek) در حال حاضر دارای حدود ۳۰۰ چاه فعال (۱۷۰ حلقه چاه تولیدی و ۱۳۰ حلقه چاه تزریقی) می‌باشد. تولید هیדרو کربور مایع در حدود ۱۶ هزار بشکه در روز و تولید گاز و آب به ترتیب حدود ۱۳۵ میلیون فوت مکعب در روز و ۳۲۰ هزار بشکه در روز می‌باشد. تمام آب تولیدی در این میدان دوباره تزریق می‌گردد. میانگین تزریق گاز CO₂ در این میدان نیز حدود ۱۵۰ میلیون فوت مکعب در روز می‌باشد. ضریب بازیافت نفت خام در این میدان در حال حاضر حدود ۵۴ درصد می‌باشد و پیش‌بینی می‌گردد که این رقم به بیش از ۶۰ درصد برسد. شکل ۴- روند بازیافت نفت خام در این میدان را در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق گاز دی اکسید کربن (CO₂) نشان می‌دهد.

سیلاب‌زنی با آب و تزریق گاز CO₂ به صورت WAG در میدان میزن (Means)

میدان میزن که در ناحیه اندروز ایالت تگزاس و در حدود ۵۰ مایلی شمال غربی شهر میدلند (Midland) واقع شده است در سال ۱۹۳۴ میلادی کشف شد. این میدان حاوی نفت خام با گرانی ۶ سانتی پوز، درجه سبکی API ۲۹ و فشار اشباع ۳۱۰ پام می‌باشد. توسعه اولیه این

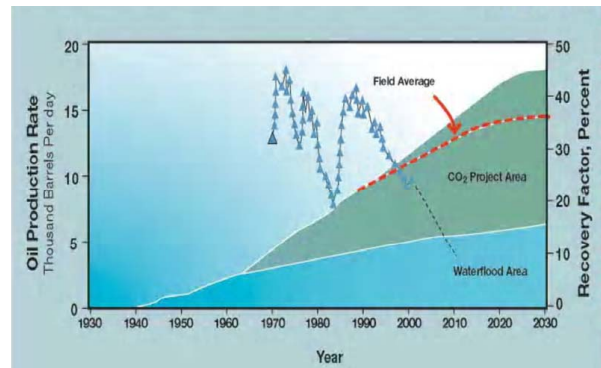


شکل ۴- روند بازیافت نفت خام در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق گاز دی اکسید کربن (CO₂) در میدان سالت کریک



شکل ۳- روند بازیافت نفت خام در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق امتزاجی گاز نیتروژن در میدان جی

میدان در دهه ۱۹۵۰ صورت گرفت و متعاقب آن عملیات بازیافت ثانویه (سیلاب زنی با آب) در سال ۱۹۶۳ آغاز گردید. عملیات بازیافت ثالثیه (تزریق گاز دی اکسید کربن) و حفاری گسترده چاه‌ها (infill wells) در دهه ۱۹۸۰ شروع شد. کارکرد میدان نشان می‌دهد که اجرای فازهای مختلف توسعه میدان و بازیافت اولیه، ثانویه و ثالثیه نفت خام با موفقیت همراه بوده است. بازیافت نهایی نفت خام ناشی از سیلاب‌زنی با آب در این میدان کمتر از ۲۰ درصد نفت خام درجا پیش‌بینی شده است. اما در بخش‌هایی از میدان که در آن عملیات تزریق گاز CO_2 اجرا شده است ضریب بازیافت نفت خام به ۴۵ درصد افزایش یافته است. در حال حاضر بیش از ۳۰ درصد نفت خام در جای این میدان تولید گردیده است. شکل ۵ - روند بازیافت نفت خام در این میدان را در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق گاز دی اکسید کربن (CO_2) نشان می‌دهد.



شکل ۵ - روند بازیافت نفت خام در اثر سیلاب‌زنی با آب و نیز تزریق گاز دی اکسید کربن (CO_2) در میدان مینز

نتیجه گیری:

روش‌های توسعه و بهره‌برداری از میداين فوق‌الذکر اگر همراه فرآیند سیستماتیک جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها، انجام مطالعات جامع و کاربرد تکنولوژی‌های مؤثر باشد می‌تواند در افزایش بازیافت از میداين مشابه در خاورمیانه مؤثر باشد. در این خصوص پیشنهادات ذیل ارائه می‌گردد:

- باید مدل‌های مخزن بعد از بازیافت هر ۵ تا ۱۰ درصد نفت خام درجا یا با تغییر استراتژی‌های تخلیه مخزن به روز گردند.
- باید ابزار مدیریت عملیات سیلاب‌زنی بعد از بازیافت هر ۱ درصد نفت خام درجا به روز گردد.
- چاه‌آزمایی‌های ماهیانه و مراقبت روزانه از تجهیزات به دقت و به طور منظم به خصوص در مرحله ثالثیه بازیافت نفت خام صورت گیرد تا مشکلات مربوط به توسعه مخزن و یا هرگونه انحراف از راندمان پیش‌بینی شده، مشخص شده و مرتفع گردند.

منابع:

1. SPE 88770
Lessons Learned from Mature Carbonates for Application to Middle East
2. J. R. Wilkinson, D.B. Genetti, G.T. Henning, SPE/ExxonMobil Production Company, R.W. Broomhall, ExxonMobil Exploration Company,
3. J. J. Lawrence, SPE/ExxonMobil Upstream Research Company