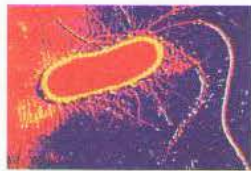


# ازدیاد برداشت از مخازن نفتی به روش میکروبی MEOR



مهدی نجف‌پور - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی  
محمد خشنودی - عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان  
علی وطنی - عضو هیات علمی دانشگاه تهران  
نادر نیک‌کام - کارشناس مهندسی شیمی

متخلخل مورد استفاده قرار داده‌اند. همچنین Jang و همکاران، مدلی یک‌بعدی را برای شمارش و تخمین انتقال میکروب‌ها در یک محیط متخلخل شبیه‌سازی شده به کار برده‌اند. به‌طور کلی آزمون‌های آزمایشگاهی و میدانی بیشتری برای بررسی هرچه دقیق‌تر حرکت میکروب‌ها در داخل مخزن مورد نیاز است.

یک سیستم عملی MEOR شامل میکروب و مواد غذایی است. مشکلات و راه‌حل‌های متداول در این سیستم‌ها به شرح زیر هستند:

۱- آیا کاهش یا قطع تزریق به دلیل انسداد حفره چاه ناشی از تجمع میکروبی صورت می‌گیرد؟  
قبل از تزریق می‌توان از مواد پرکننده که فضاهای خالی سنگ‌ها را پرمی‌کنند یا ترکیباتی که مانع از جذب میکروب به سطح می‌شوند استفاده کرد تا میکروب در یک نقطه

آزمایشگاهی و تست‌های میدانی نشان داده است که گونه‌های خاصی از میکروب‌ها در شرایطی خاص در مخزن نفوذ می‌کنند. در واقع مشخص شده است که میکروب‌ها در محیط شن و ماسه با نفوذپذیری بالای 100md می‌توانند نفوذ و حرکت کنند. برای عملیات (Profile-Modification) به ایجاد گرفتگی در لایه‌های مخزن با نفوذپذیری بالا نیاز است. میکروب‌های تولیدکننده پلیمر، Biomass (توده سلولی) و مواد چسبنده تا حد زیادی باعث کاهش نفوذپذیری می‌شوند. همچنین گرفتگی چاه در بعضی از تست‌های میدانی مشاهده شده است. محققان دانشگاه اوکلاهما یک مدل ریاضی ساده و یک بعدی را برای توضیح فرایند ایجاد گرفتگی میکروبی ارائه کرده‌اند. آنها این مدل را در فشار ثابت برای بررسی رشد میکروبی و باقی ماندن میکروب‌ها به منظور کاهش نفوذپذیری یک محیط

## انتقال میکروبی در محیط متخلخل

مساله مهم در کاربرد MEOR، توانایی حرکت میکروب‌ها در داخل مخزن و تولید مواد شیمیایی برای حرکت دادن نفت است. سرعت نسبی نفوذ مواد مغذی و میکروب‌های تزریقی داخل مخزن تاثیر زیادی در انتخاب روش و یا استراتژی تزریق مواد برای تولید بهینه نفت دارد. برای مثال در شرایطی که جمعیت میکروبی باید فاصله زیادی را در داخل مخزن طی کند، باید اطمینان حاصل کرد که مواد مغذی به موقع و در مکان درست در اختیار میکروب‌ها و به منظور فعالیت متابولیکی قرار گیرد. همچنین استراتژی دیگری که در این شرایط می‌توان اختیار کرد به این ترتیب است که میکروب‌ها در دهانه چاه از مواد مغذی استفاده کنند و در نتیجه فعالیت متابولیکی، مواد بیولوژیکی مورد نیاز را تولید و سپس این مواد به داخل مخزن نفوذ کنند. مطالعات

فرایند MEOR داشته باشند. وجود میکروارگانیسم‌ها در محیط متخلخل و یا مواد مغذی تزریقی می‌تواند بر سیستم میکروب تزریقی در فرایند MEOR موثر باشد. بعضی میکروارگانیسم‌های مخزن می‌تواند باعث توقف رشد میکروارگانیسم‌های تزریقی شوند. عمده میکروارگانیسم‌های مورد استفاده برای تست‌های میدانی، میکروارگانیسم‌های جدا شده از مخازن آزمایش شده هستند و در نتیجه قابلیت انطباق خوبی را با شرایط مخزن به ویژه دما، فشار، غلظت نمک و غیره دارند. دقتی که درباره تزریق مواد مغذی حاوی ترکیبات سولفات و یا آب حاوی این مواد باید صورت پذیرد، این است که این مواد نباید باعث ایجاد رشد مضاعف در باکتری‌های احیاکننده سولفات (SRB) شوند. باکتری‌های احیاکننده سولفات باعث تولید  $H_2S$  می‌شوند. اثر وجود SRB در یک مخزن از ترش شدن مخزن در نتیجه فعالیت‌های میکروبی مشخص می‌شود. همچنین این دسته از باکتری‌ها منجر به گرفتگی در مخزن در نتیجه تولید سولفید آهن رسوبی و نیز بر خوردگی تجهیزات سرچاهی موثرند. همانند کلیه فرایندهای ازدیاد برداشت، تاریخچه تولید مخزن و خصوصیات آن قبل از فناوری میکروبی باید مورد مطالعه قرار گیرد و نمونه‌هایی از سیالات مخزنی برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن و جامدات حل شده جمع‌آوری شود. همچنین انجام تست‌های امکان‌سنجی برای سیالات مخزنی در شرایط شبیه‌سازی شده مخزن از نظر دما، فشار و درجه غلظت نمک، ضروری است. این آزمایش‌ها امکان تخمین راندمان ازدیاد برداشت را فراهم می‌آورد. همچنین

گیرد. مثلاً فناوری MEOR می‌تواند برای برطرف‌سازی مشکل کانالیزه شدن و ایجاد تغییرات در نفوذپذیری سیستم در یک منطقه خاص از مخزن طراحی شود. از اهداف مهم طراحی فناوری MEOR، تعیین مشخصات مخزن است. مطالعاتی همچون آنالیز Well log، تست Pressure transient، مطالعات Tracer ها در شناسایی مشکل کانالیزه شدن و مناطق با نفوذپذیری بالا مفید هستند. بررسی ساختارهای تشکیل دهنده مخزن از نظر زمین‌شناسی نیز از طریق نمونه برداری صورت می‌پذیرد. برای مثال، وجود مواد رسی در ساختار مخزن می‌تواند باعث توقف میکروب‌ها به خاطر جذب و یا فیلتراسیون شود. همچنین پخش مواد رسی در داخل خلل و فرج مخزن باعث جذب مواد فعال سطحی و حلال‌های تولید شده به وسیله میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه کاهش راندمان فرایند می‌شود. تزریق میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اسید در مخازن کربناتی و یا مخازن حاوی مواد کربناتی باعث افزایش نفوذپذیری این مخازن می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت اثر نوع ماده تشکیل دهنده ساختار مخزن بر روی انتقال میکروب‌ها هنوز مشخص نشده است. اما دانستن نوع این مواد می‌تواند در فهم چگونگی رخداد فرایند گرفتگی انتخابی مفید باشد. برای اعمال فناوری میکروبی، هر مخزن باید دارای شرایطی باشد. هر مخزن نفتی شامل برخی جمعیت‌های میکروبی بومی هستند و به همین دلیل ضروری است که آب و نفت تولید شده از مخزن از نظر میکروارگانیسم‌های بومی مورد بررسی قرار گیرد. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند اثر مثبت و یا منفی بر روی

تجمع نیابد. همچنین می‌توان از اسپورها یا اولترامیکروباکتری‌ها استفاده کرد.

۲- آیا انتشار موفق و انتقال تمام ترکیبات ضروری به نقاط هدف صورت می‌گیرد؟

عوامل مختلفی از قبیل خواص فیزیکی و شیمیایی سنگ، خواص سلول میکروبی و نحوه تزریق از قبیل نرخ تزریق، محتوای نمک و چگالی سوسپانسیون سلولی مهم هستند. استفاده از تزریق ضربانی از به دام افتادن سلول‌ها جلوگیری می‌کند.

۳- افزایش فعالیت متابولیکی در محل چگونه صورت می‌گیرد؟

با مطالعه دقیق شرایط میکروب و مخزن و سازگار کردن میکروب با شرایط مخزن این مشکل برطرف خواهد شد.

۴- از رقابت یا فعالیت نامطلوب میکروب‌های بومی چگونه می‌توان پیشگیری کرد؟

آزمایشات میدانی نشان می‌دهد که در MEOR که با تزریق مواد مغذی از قبیل ملاس همراه باشد رقابت با میکروب‌های بومی عامل مهمی نیست.

### طراحی یک پروژه میدانی MEOR

فناوری میکروبی یک مخزن همانند کلیه فرایندهای MEOR نیاز به استفاده از قابلیت‌های «مهندسی مخازن» به عنوان یک رشته پراهمیت در طراحی فرایندهای ازدیاد برداشت است. براساس مطالعات انجام گرفته، طراحی و به‌کاربری یک پروژه MEOR مستلزم استفاده از یک برنامه‌ریزی و روند مشخص است. طراحی فناوری MEOR می‌تواند با اهداف گوناگونی صورت

MEOR - از نظر اقتصادی برای میداین تولید فرعی مناسب است.

- هزینه مواد تزریقی به قیمت نفت وابسته نیست.

- اجرای فرایند فقط نیاز به اصلاحات اندک بر روی تسهیلات میدانی موجود، دارد و در نتیجه هزینه زیادی نخواهد داشت.

- این شیوه به سادگی به تجهیزات موجود برای آبرویی قابل اجراست.

- اجرای MEOR نسبت به فرایندهای دیگر ساده تر و ارزان تر است.

- محصولات MEOR همگی قابلیت تخریب زیستی دارند و در محیط زیست تجمع نمی یابند.

- جمعیت میکروبی را می توان با مقدار ماده مغذی موجود تنظیم کرد.

به عبارت دیگر اگر مواد مغذی تزریق نشود میکروب ها از بین می روند و در نتیجه حضور جمعیت میکروبی قابل کنترل است.

[11,12,14,15]

## برخی از کاربردهای میدانی

MEOR:

میدان نفتی کانادا Loyid Minister: ۶٪، میکروب لکونوستوک (هوازی) با غلظت 104/ml, 102-103/ml میکروب نفتی حمل می شوند (شکل ۵).



شکل ۵- سهولت حمل میکروب ها و مواد مغذی به میداین نفتی

نوع میکروب، نفت خام و شرایط مخزن از ۱ تا ۸ دلار به ازای هر بشکه نفت در نوسان است. این رقم برای استفاده از روش افزایش بازده شیمیایی و پلیمری از ۵ دلار تا ۱۰ دلار به ازای هر بشکه در نوسان است و کاربرد پلیمرهای گران تر تا ۱۲ دلار به ازای هر بشکه هزینه در پی دارد. شایان ذکر است هزینه های مربوط به تزریق بخار آب حدود ۳ تا ۶ دلار با توجه به شرایط در نوسان است. مقایسه های هزینه ای نشان می دهد که در آینده نزدیک، روش میکروبی با سایر روش های ازدیاد برداشت، قابل رقابت خواهد بود. روش میکروبی در حال حاضر در برخی مخازن آمریکا، مکزیک و ونزوئلا کاربرد یافته است. تحقیق در مورد MEOR در سال های اخیر پیشرفت سریعی داشته و این روند در آینده نیز حفظ خواهد شد و بارفع اشکالات و اقتصادی تر شدن آن، کاربردهای عمومی تری خواهد یافت. مزایای دیگری که می توان بیان کرد عبارتند از:

- میکروب ها و مواد مغذی تزریق شده ارزان هستند، به راحتی در دسترس بوده و به سهولت به میداین نفتی حمل می شوند (شکل ۵).

بررسی مخزن از نظر وجود کانال ها و شکست ها، در طراحی فرایند ازدیاد راندمان جاروبی از طریق فناوری میکروبی لازم می باشد. مطالعات اندکی درباره تزریق مجدد میکروارگانیسم ها و مواد مغذی به داخل مخزن در شرایطی که میکروارگانیسم ها داخل مخزن وجود دارند، صورت گرفته است. بعضی از محققان گزارش کرده اند که تزریق اضافی مواد مغذی بعد از تزریق اولیه باعث ازدیاد برداشت می شود. حوزه دیگری مورد توجه مقدار مواد مغذی تزریقی است. با توجه به اثرات زیادی که ترکیب ملاس مورد استفاده می تواند در رشد و فعالیت میکروبی داشته باشد. آزمایش های امکان سنجی ضروری است. استفاده از ملاس هایی که مقدار مواد فیبری در آنها زیاد است، می تواند منجر به گرفتگی چاه های تزریقی شود. آنالیز کامل ملاس برای اندازه گیری غلظت موادی که ممکن است اثر مسمومیت کننده بر روی میکروب ها داشته باشد و همچنین کنترل کیفیت ملاس در منطقه عملیاتی لازم و ضروری است. از دیگر معیارهای موفقیت تست های میدانی MEOR، پیگیری و نمونه برداری، همراه آنالیز بعد از آغاز فرایند است. برای مثال، وضعیت حرکت میکروبی در چاه های مخزن باید کاملاً تحت کنترل باشد تا مبادا حرکت میکروبی به سمت چاه های غیر اصلی منحرف شود.

## مزایای اقتصادی MEOR:

مقالات متعدد اشاره دارند که MEOR از نظر هزینه، شیوه مناسبی برای افزایش تولید است. از بعد اقتصادی، هزینه کاربرد روش میکروبی با توجه به

که در مقایسه با راندمان بسیار مطلوب ۵۰ تا ۶۰ درصد قابل قبول است [14,15].

### مشکلات اجرایی طرح

با توجه به اقتصادی بودن، این روش هنوز آنچنان که باید توسعه نیافته است. علت آن را باید در پیدا و جدا کردن و مهندسی میکروب‌هایی دانست که بتوانند در شرایط سخت مخزن (شوری، دما و فشار بالا) فعالیت داشته باشند. از مشکلات دیگر این طرح:

- رساندن ترکیبات ضروری به محل هدف  
- کاهش یا قطع تزریق در اثر انسداد حفره چاه (در اثر وجود ذرات در محلول‌های غذایی، وجود بار در میکروب‌ها که باعث جذب این میکروب‌ها در حفرات می‌شود، تولید پلیمر در طی تزریق و...)  
- رقابت نامطلوب میکروب‌های نامربوط بومی که باعث مصرف مواد مغذی میکروب‌های هدف می‌گردند.

[12,13]

### مسائل زیست‌محیطی

در جامعه مهندسی وقتی صحبت از میکروب به میان می‌آید همه فکر و ذهن به انواع بیماری‌ها معطوف می‌گردد.

موفق به تولید میکروبی تحت عنوان سینوکال شده است که در بازیافت مخازنی با نفت غلیظ و گرانیوی زیاد کاربرد دارد. این میکروب (شکل ۶) به صورت یک محلول تیره‌رنگ با بوی بسیار قوی، به منظور تزریق، کاربرد می‌یابد. میکروب حاصله در ۱۲ گروه G1 تا G12 براساس نوع نفت خام و سایر مشخصه‌های مخزن طبقه‌بندی می‌شود و اساس کار آن واکنش شیمیایی با واکس، آسفالت و عناصر حلقوی نفت خام می‌باشد، یعنی در واقع گرانیوی نفت را کاهش دهد. بنابراین، بازده چاه نفت به طور معنی داری زیاد می‌شود. مشخصه‌های محلول میکروبی سینوکال به صورت زیر است:

- تمرکز و غلظت میکروب بیشتر از  $1 \times 10^{12}$  برای هر لیتر
- مقادیر ضخامت از ۱/۱۰ تا ۱ میکرومتر
- این میکروب می‌تواند در محیطی با فشار و دمای زیاد رشد کند و طول عمر آن ۷ تا ۹ ماه است.

کاربرد این میکروب در یک چاه نمونه باعث شد تا نفت استحصالی از آن به مقدار ۳۶۸ تن در مدت ۶ روز افزایش یابد. یعنی افزایش تولیدی بالغ بر ۶ تن در روز در مقایسه با زمانی که از این روش استفاده نمی‌شد. نتیجه این روش، بازیافتی حدود ۳۰ درصد بود

بی‌هوازی و ۱۱/۶ مترمکعب ملاس در ۱۲ مترمکعب آب تزریق شده است. پاسخ مخزن تولید اسید و الکل و کاهش pH و کشش سطحی بوده است.

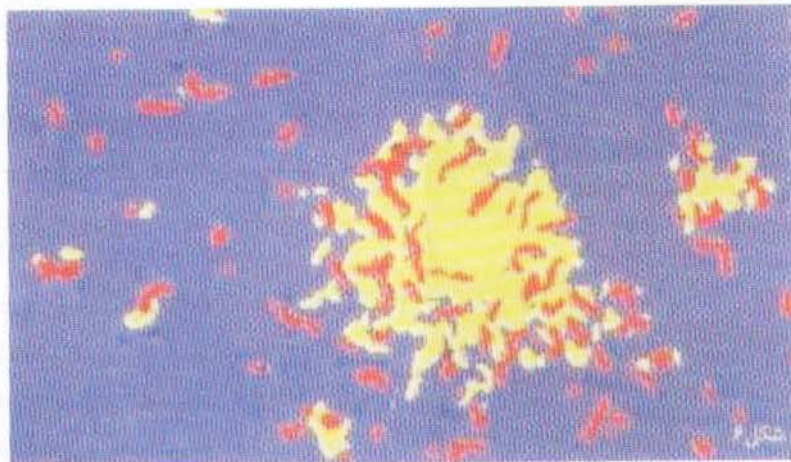
میدان‌های نفتی رومانی با شوری 5g/l-180: میکروب‌های باسیلوس - کلاستریدیوم، اشرشیاکلی و... با مخلوط میکروبی 4x108-9x109/ml تزریق شد. پاسخ، تولید گاز و اسید، افزایش تولید نفت، افزایش گرانیوی و چگالی نفت و افزایش کسر سبک نفت بوده است.

میدان نفتی لیسبون آرکانزاس با شوری 42000ppm: میکروب کلاستریدیوم و ملاس (4000gal محلول ۲٪ وزنی) تزریق شد. پاسخ به صورت تولید گاز (عمدتا H<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub>) و اسید بوده حداکثر نرخ افزایش تولید ۲۵٪ بوده است.

یکی از میدان‌های نفتی هلند: میکروب کلاستریدیوم و ملاس تزریق شد. پاسخ به صورت افزایش CO<sub>2</sub> و افزایش بازیافت حدود ۲۰-۲۵٪ بود.

### پیشرفت تحقیقات و کاهش هزینه‌ها

امروزه تحقیقات در زمینه حل مشکلات فنی و اقتصادی تر نمودن روش میکروبی به سرعت پیش می‌رود. تحقیقات آزمایشگاه ملی مهندسی و محیط‌زیست ایداهوی آمریکا (INEEL) اخیراً روش میکروبی را توسعه زیادی بخشیده و آن را با هزینه پایین تری ارائه کرده است. این تحقیق شامل تولید و کاربرد پلیمرهای میکروبی و بیوسورفکتانت‌ها (فعال‌کننده‌های سطحی میکروبی) از ضایعات کشاورزی، به منظور تزریق به میدان‌های نفتی می‌باشد. شرکت سینوکال (SINOCAL) نیز در آزمایشگاه میکروب‌شناسی خود در سال ۲۰۰۲



شکل ۶- میکروب سینوکال

مستلزم شناخت دقیق شرایط مخزن و انجام مطالعات دقیق امکان‌سنجی قبل و بعد از اعمال فناوری میکروبی است. گسترش بیش از پیش این تکنولوژی مستلزم همکاری گروهی متخصصان میکروبیولوژیکی و مهندسان نفت و مخازن است. همچنین حضور زمین‌شناسان در این گروه لازم است. تحقیقات بیشتر برای آگاهی بیشتر از مکانیزم‌های ازدیاد برداشت فعالیت‌های میکروبی و تداخل فعالیت‌های میکروبی با سیالات تزریقی، سنگ‌های مخزنی و آب موجود در مخزن ضروری است. همچنین فهم دقیق‌تر فرایند انتقال و حرکت میکروارگانیسم‌ها در داخل مخزن برای شبیه‌سازی هرچه دقیق‌تر مخزن لازم است. در نهایت مطالعات و انجام تحقیقات بیشتر می‌تواند باعث کمک به گسترش این تکنولوژی جدید و کاربردی شدن آن شود. —

شده‌اند و همچنین چاه‌هایی که به دلیل رسوب ترکیبات آلی و معدنی مسدود شده‌اند روش مناسبی است. از آنجایی که حتی پس از تزریق آب و گاز حداکثر ۴۰٪-۳۸٪ از مخزن برداشت می‌شود، اگر با به‌کاربردن MEOR بتوان ۱٪ نفت را آزاد کرد مقدار قابل ملاحظه‌ای خواهد بود. تاثیر اضافه‌کردن دوباکتری اشرشیاکلی و باسیلوس لیکنی فرمیس را بر ازدیاد برداشت نفت در یک مدل متخلخل حاوی نمونه‌هایی از سنگ مخزن و نفت گرفته‌شده از یکی از مخازن نفتی ایران، مورد بررسی قرار گرفته و افزایش بازده نفت، در اثر فعالیت میکروبی مشاهده شده است و مکانیزم‌هایی را که در ازدیاد برداشت نفت در اثر فعالیت باکتری در یک مدل آزمایشگاهی نقش داشتند، مطالعه کرده و به نتایج خوبی در این زمینه رسیده‌اند. به هر حال با توجه به جدید بودن این روش انجام آزمایشات تکمیلی ضروری به نظر می‌رسد [16, 17].

## نتیجه‌گیری

فناوری میکروبی یک روش بالقوه اقتصادی برای ازدیاد برداشت نفت به‌خصوص در شرایط اقتصادی امروزه است. ازدیاد برداشت با روش MEOR روی یک چاه می‌تواند سریع و با سرمایه‌گذاری که امکان‌پذیر است، انجام‌گیرد یا از طریق ازدیاد میکروبی آبرویی، که در نهایت باعث ازدیاد برداشت بیشتری می‌شود، صورت‌گیرد. میکروارگانیسم‌ها و مواد مغذی تزریقی موادی نسبتاً ارزان قیمت بوده، به‌سادگی به دست آمده و حمل و نقل آنها در میدان عملیاتی آسان انجام‌می‌پذیرد. کاربرد موفقیت‌آمیز میکروارگانیسم‌ها در فرایند آبرویی

ولی لازم به ذکر است که تعداد و تعدد میکروب‌های غیر بیماری‌زا بیشتر است. اخیراً استفاده از میکروب‌های بیماری‌زا در صنعت ممنوع شده و یافته‌های علمی و صنعتی از جمله MEOR بر پایه این میکروب‌ها فاقد اعتبار است. از انواع باکتری‌هایی که در چاه‌های نفتی یافت می‌شوند و می‌توانند در MEOR کاربرد داشته‌باشند، می‌توان از گونه‌های دسولفوویپرو، متائوژنز، انواع باسیل‌ها، انواع کلاستریدیوم‌ها و انواع انتروباکتریاسه اشاره کرد. باسیل‌های هوازی که در محدوده دمایی ۳۷ درجه سانتی‌گراد فعالیت دارند بیماری‌زا هستند و مدارکی که از بیماری‌زا بودن انواع بی‌هوازی و اختیاری این گروه که در MEOR کاربرد دارند در دسترس نیست. از کلاستریدیوم‌ها نیز گونه‌هایی یافت شده است که تولید بیماری‌کنند ولی این گونه‌ها انگل نیستند بلکه به صورت دیگری تولید بیماری می‌کنند. بعضی از انواع کلاستریدیوم‌ها به صورت بی‌هوازی در ملاس رشد کرده و مواد مفیدی (مقادیر زیادی گاز دی‌اکسید کربن، اسید، حلال، امولسیفایر) که در MEOR مدنظر هستند را تولید می‌کنند. [1, 2, 6]

## اهمیت MEOR برای کشور

با توجه به قدمت چاه‌های نفتی ایران (نخستین چاه نفتی در ایران در سال ۱۲۸۷ در منطقه نفتون حفر شده است) و از آنجایی که MEOR معمولاً پس از اجرای روش‌های دیگر به کار می‌رود، به نظر می‌رسد اهداف متعددی در ایران برای این شیوه وجود داشته باشد. به ویژه این که MEOR برای چاه‌هایی که به دلیل تزریق آب، دیگر قادر به تولید نفت نیستند و در اصطلاح غرقاب

1. Hughes and N.Brealy "Revival of Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) Initiatives on Continental Shelf D". 2003. London. Collaborative Project on Enhanced Oil Recovery International Energy Agency Canada.
2. Y.Zhang, Z.Xu, Ping, Y.Zhang, Z.Xu, ping, Ji, and W.Hou, "Microbial EOR Laboratory Studies and Application Results in Daqing oilfield". 2000, Jakarta Conference.
3. Ehrlich, L., Brierley, C.L., 1990, "Microbial Mineral Recovery", Mc Graw-Hill, New York, pp:409-439.
4. Donaldson, E., 1989, "Microbial Enhanced Oil Recovery" Elsevier, Amsterdam.
5. Tanner, R.S., Udegbanam, E.O., Adkins, J.P., McInerney, M.J., Knapp, R.M., 1993, "The Potential for MEOR from Carbonate Reservoirs": Literature review and recent research" Proceeding of the 1992 International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery, Elsevier, Amsterdam, P:391-396.
6. "Process for Production Modified Microorganisms for oil, Treatment at High Temperature, Pressure and Salinity" U.S. Patent (5492828).
7. M.M. Yakimov, M.M. Amiro, M. Bock, K. Boseker, H.L. Fredrickson, D. G. Kesel, K.N Timmis., "The Potential of Bacillus Licheniformis Strains for In Situ Enhanced oil Recovery", elsevier. Germany.
8. W.Kleinitz, W.Littmann, "Reservoir Engineering Review of an Microbial Enhanced Oil Recovery Process in a North German Petroleum Reservoir", 1993, Hannover, Germany.
9. Rebecca S. Bryant, "Potential Uses of Microorganisms in Petroleum Recovery Technology", II T Research Institute for Petroleum and Energy Research.
10. Syldatk, C., S. Lang, U. Matulovix, and F.Z. Wagner, 1985, "Production of four interfacial active Rhamnolipids from n-alkanes or glycerol by resting Cells of Pseudomonas sp. DSM 2874, Z. Naturforsch 4.C:61-67.
11. Bryant, R.S., 1994, "Microbial Enhanced Hydrocarbon Recovery and its Potential for Application to North sea Reservoir". Trans Ichem E, Vol. 72, Part A, March, P:144-151.
12. M.J. McInerney, R.M Knapp, J.L. Chisholm, V.K Bhupathiraju, J.D. Coates" use of Indigenous or Injected Microorganisms for enhanced Oil Recovery". Microbial Ecology of Oil Field. USA.
13. Jack, T.R., 1993, "M.O.R.E to M.E.O.R: An Overview of Microbially enhanced Oil Recovery", Proceeding of the 1992 International conference on Microbial Enhanced Oil Recovery, P:7-16.
14. <http://www.obio.com/MEOR/htm>.
15. <http://www.sinocal.com/english-version/productcts/meort.html>.

۱۶. اعظم نقاشی، MEOR، پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.  
۱۷. محله مشعل، آبان ۸۶، انتشارات وزارت نفت.

شماره ۲۷ - آبان ۱۳۸۴