

بازیابی بهینه و ازدیاد برداشت نفت سنگین با استفاده از میکرو ارگانیسیم ها

MEOR

آرش تقوی

دانشجوی رشته مهندسی نفت- مخازن نفت دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، گروه مهندسی نفت، قوچان، ایران

arash_taqavi@yahoo.com

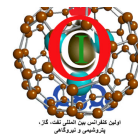
چکیده:

روش ازدیاد برداشت میکروبی یک تکنولوژی ترسیمی می باشد که حقیقتاً سازگار با محیط است و می تواند برای جایگزینی و تقویت و تکمیل بسیاری از فناوریهای رایج و مرسوم استفاده شود. این فرآیند به کمک میکروبهایی بی هوازی و انحلال مواد معدنی و سولفات صورت می گیرد و یکی از راه های موثر اقتصادی در میان روش های ازدیاد برداشت و بهبود کارایی برداشت است. تبدیل گوناگونی فوق العاده میکروارگانیسیم ها و نقش آنها در عملکردهای میدان نفتی توجه به این روش مهم می باشد. پیش بینی می شود این فرآیند طی چند سال آینده جایگزین بسیاری از روش های رایج و پر هزینه خواهد شد.

کلمات کلیدی: ازدیاد برداشت میکروبی، بیوپلیمر، PH، شوری، دما

مقدمه:

کمبود منابع انرژی فسیلی و افزایش روزافزون مصرف آنها در دنیای امروز اهمیت منابع نفتی را دوچندان کرده است و با توجه به درصد پایین برداشت از مخازن بررسی روش های ازدیاد برداشت نفت مورد توجه قرار گرفته است. پس از حفرچاه ها و رسیدن به مخازن نفتی بطور طبیعی نفت موجود براساس اختلاف فشار درون مخزن به سوی دهانه خروجی چاه جریان می یابد که می توان به کمک آن 30 تا 50 درصد نفت موجود در مخازن را استخراج نمود که به این روش روش طبیعی برداشت اطلاق می شود. {1} برای برداشت باقی مانده نفت از مخازن باید از روش های ازدیاد برداشت استفاده کرد. یکی از این روشها که نسبت به سایر روش های دیگر صرفه اقتصادی تری دارد استفاده از میکروبه ها برای تولید گاز به منظور افزایش بازده یا دفع موادی که باعث کاهش غلظت و گرانیوی نفت و انتقال آسان آن به سمت چاه های تولیدی می گردد، تحت عنوان روش MEOR شناخته می شود. روش های میکروبی از روش های نوین افزایش بازده ذخایر به شمار می روند و از جنبه های نوین کاربرد علوم بیو تکنولوژی در صنعت نفت می باشند. {2} که تاریخچه آن به سال 1926 بکمن (Beckman) باز می گردد و در سال 1940 انجمن نفت آمریکا تحقیقاتی را به سرپرستی زوبل (Zobell) انجام داد و فرآیندی برای بازیافت نفت با استفاده از میکروبهایی بی هوازی و انحلال مواد معدنی سولفاتی پیشنهاد داد. {3} زوبل و همکارانش در طی مدت فعالیتشان تحقیقات بسیار زیادی در زمینه منشأ نفت، چگونگی حرکت نفت در داخل سازندهای نفتی و میکروبیولوژیکی نفت انجام دادند. در واقع تحقیقات این فرد در ارتباط با تولید عوامل فعال سطحی توسط میکروارگانیسیمها و نقش این مواد در آزادسازی نفت از درون حفرات مخازن، نقش متان به عنوان یک محصول متابولیکی در پایین آوردن گرانیوی نفت و همچنین تولید میکروبی CO₂ و نقش این ماده در بالا بردن فشار مخزن و حرکت کردن نفت اساس روشهایی بود که در حدود ۳۵ تا ۴۰ سال بعد توسط دیگر محققان در ازدیاد برداشت میکروبی نفت به کار گرفته شد {4}. اولین آزمایش میدانی ازدیاد برداشت به روش میکروبی در سال 1954 در یکی از میدانهای نفتی آرکانزاس انجام گرفت. اما با وجود موفق بودن این روش بدلیل در دسترس بودن منابع نفتی ارزان قیمت این شیوه کنار گذاشته شد.



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

در دهه 1970 مجدداً به دلیل ناپایداری قیمت نفت و گرایش به بیوتکنولوژی روش ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی مورد توجه قرار گرفت. در روش ازدیاد برداشت به روش میکروبی از میکرو ارگانیسم ها استفاده می شود و محصولات متابولیکی آن شامل: مواد فعال سطحی بیولوژیکی (bio surfactant)، بیوپلیمرها، بیو مسها، اسیدها، حلالها، گاز و اغلب آنزیمها می باشد {5} لین فرآیند نسبت به فرآیندهای دیگر ساده تر و ارزاتر است، محصولات آن همگی قابلیت تخریب زیستی دارند و در محیط زیست تجمع نمی یابند. جمعیت میکروبی را می توان با مقدار ماده مغذی موجود تنظیم نمود یعنی اگر مواد مغذی تزریق نشوند میکروبها از بین نمی روند و در نتیجه حضور جمعیت میکروبی قابل کنترل است. {6} در ۱۷ مارس ۱۹۴۴ در یک سند، مکانیزمهای آزادسازی نفت توسط فعالیت های میکروبی به ثبت رسید. مکانیزم های بالقوه در آزاد سازی نفت بر اساس این سند عبارتند از:

۱- تولید اسید برای حل کردن سنگهای کربناتی

۲- حل شدن مواد معدنی سولفات

۳- تولید گاز و بالا بردن فشار مخزن و همچنین بیرون راندن مواد نفتی از بین حفرات مخزنی

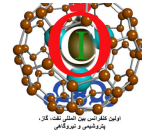
۴- تولید مواد فعال سطحی بیولوژیکی

۵- کاهش گرانیوی، در نتیجه شکسته شدن زنجیره های سنگین نفتی و یا حل شدن گازهای تولیدی در نفت.

در یکی از این فعالیت ها که توسط شرکت Socony Mobil انجام پذیرفت باکتری های احیا کننده سولفات ها به عنوان عواملی مضر و بالقوه خطرناک برای مخازن شناخته شدند که این موضوع به خاطر توانایی این دسته از باکتری ها در تولید سولفید آهن رسوبی و موثر بودن بروی خوردگی تجهیزات سرچاهی بود. در همین سال ها و توسط شرکت Magnolia Petroleum گزارشی در مورد کاربرد MEOR منتشر کرد. در این پروژه با استفاده از گونه باکتریایی Clostridium acetobutylicum و رشد آن در محیط همراه با ملاس برای تولید دی اکسید کربن و هیدروژن به منظور جابجایی نفت میزان تولید ۲۵ درصد افزایش یافت. همچنین نسبت تولید آب به نفت از ۶۵۰ به ۱ به مقدار ۲۲۰ به ۱ کاهش یافت {7}. در طی این آزمایشها مکانیزم آزاد سازی نفت در اثر وجود مواد فعال سطحی و در غیاب سایر مکانیزم های ازدیاد برداشت مورد تایید قرار گرفت. در بعضی از موارد این فرآیند باعث کاهش تولید نهایی می گردید که این موضوع به خاطر اثرات گرفتگی ناخواسته در مخزن و به علت رشد سریع باکتری ها بود {8}. در پایان دهه ۱۹۷۰ پایه مناسبی از تحقیقات آزمایشگاهی و نتایج تست های میدانی در مورد مکانیزم ها، استراتژی ها و راندمان روش های مختلف ازدیاد برداشت میکروبی بدست آمده بود. در ۱۹۷۹ همزمان با اوج گیری بسیار شدید قیمت نفت توجه جهانی بیشتری به این شیوه ها صورت گرفت و استراتژی های گوناگون مانند تزریق کشت های مخلوط و یا خالص، تبدیل مواد ارزان قیمت ملاس به مواد مفید در ازدیاد برداشت، مورد شناسایی بیشتر قرار گرفتند. در طول دهه ۱۹۸۰ میلادی تلاش های بسیاری در کشورهای مختلف برای کاربرد MEOR صورت پذیرفت. در این دوره انتخاب مخزن هدف و گسترش سیستم مورد توجه زیادی قرار گرفت و رفته رفته معیارهای انتخاب مخزن هدف بر حسب خصوصیات مخزن عمومیت یافت. در طول این دهه تست های میدانی به صورت بهتری انجام گرفت و نتایج آنها مستند سازی شد {9} و در طول سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ کشورهای عربی نظیر کویت، امارات، عربستان و مصر نیز آزمایشات MEOR را آغاز کردند. {10}.

مکانیزم های ازدیاد برداشت میکروبی نفت (MEOR)

روش MEOR شامل قسمت های مختلفی می باشد که عمده ترین آنها شامل آماده سازی محلولهای حاوی مواد مغذی و میکروبی، سپس تزریق این مواد به داخل مخزن است. در مرحله بعد مجموعه این مواد مغذی و میکروارگانیسم در داخل مخزن منتشر شده و از طریق نفوذ به قسمت های مختلف مخزن می رسند، سپس با انجام فرآیند های متابولیکی، میکروارگانیسم ها مواد مغذی موجود را مصرف و مجموعه ای از مواد بیولوژیکی مفید را که باعث جابجایی و افزایش راندمان تولید نفت می شوند تولید می کنند. در نهایت به واسطه مجموعه تغییرات فیزیکی و شیمیایی رخ داده در مخزن در اثر فعالیت های میکروبی، راندمان تولید مخزن بالا می رود. باید به این نکته نیز توجه داشت که باکتری های مورد استفاده در این روش باید دارای خصوصیات زیر باشند:



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

1) کوچک باشند 2) رشد سریعی داشته باشند از تحرک لازم برای انتقال در داخل چاه ها برخوردار باشند 3) ترکیبات متابولیکی مناسب از قبیل گاز، اسید و حلال تولید کنند 4) قادر به تحمل شرایط محیطی خشن از قبیل دما، PH، و شوری بالا باشند 5) برای رشد و متابولیسم به مواد پیچیده نیاز نداشته باشند.

چگونگی عملکرد فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی نفت

در بین مراحل مختلف فرآیند MEOR یکی از مهمترین قسمت ها مرحله انجام فرایند های متابولیکی و تولید محصولات بیولوژیکی میباشد. در حین فرایند های متابولیکی در MEOR محصولات متنوعی تولید می شود که هر یک از آنها به نحوی در افزایش راندمان بازیابی نفت موثرند. مهمترین این محصولات متابولیکی و اثرات آنها عبارتند از:

1- گازهای تولیدی به وسیله میکروارگانیسم ها که شامل CO_2 , H_2 , CH_4 می باشند. که باعث افزایش فشار مخزن و کاهش گرانروی و چگالی سیالات مخزنی می شود.

2- مواد فعال سطحی بیولوژیکی که باعث کاهش کشش سطحی و کشش بین فازی سیستم می شود.

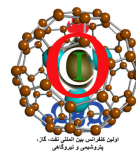
3- اسیدهای آلی سبک و اسیدهای چرب که باعث بالا بردن نفوذ پذیری مخزن از طریق حل کردن سازندهای مخزنی از جنس کربنی و ایجاد واکنش با سنگ های کربناتی و تولید CO_2 می شود.

4- پلیمرهای زیستی که وظیفه کنترل کردن حرکت از طریق پر کردن منافذ و یکنواخت کردن نفوذ پذیری و بالا بردن گرانروی، سیالات تزریقی به مخزن را بر عهده دارد.

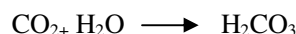
5- تولید حلال ها، الکل ها و عوامل کمکی مواد فعال سطحی که به بالا بردن راندمان عملکرد عوامل فعال سطحی کمک می کند.

6- توده سلولی که یکنواخت سازی نفوذ پذیری مخزن، ایجاد تغییرات فیزیکی در سیالات مخزن از طریق واکنش های متابولیکی، ایجاد تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سنگ های مخزنی را بر عهده دارد.

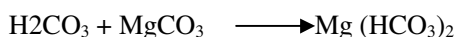
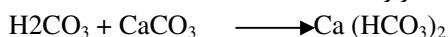
میکروب ها با سازوکارهای مختلفی افزایش برداشت نفت کمک می کنند مانند: تولید اسیدهایی با وزن مولکولی کم توسط میکروارگانیسم ها در حضور مواد مغذی کربوهیدراتی و در شرایط بی هوازی اثرات مختلفی در مخزن به جای می گذارند که از آن جمله افزایش نفوذ پذیری و خلل و فرج مخزن و همچنین تولید گاز CO_2 در اثر واکنش با سنگ های کربناتی می باشد {11}. این مکانیزم به خصوص در مورد مخازن آهکی و دولومیتی که در آنها ترکیب کلسیت و کربنات و $CaMg(CO_3)_2$ یافت می شود و اصولاً جریان نفت در این مخازن با توجه به پایین بودن میزان نفوذپذیری باکندی زیادی صورت می گیرد، با توجه به اینکه نیمی از موجودی نفت دنیا در این نوع مخازن یافت می شود {12}. همانطور که ذکر شد مشکل این نوع مخازن نفوذپذیری پایین آنها است که در نتیجه حرکت نفت را بسیار کند می کند. برای رفع این مشکل یکی از راه هائی که وجود دارد تزریق اسیدهای معدنی به داخل مخزن و ایجاد کانال و شکاف های مصنوعی به منظور بالا بردن نفوذپذیری میباشد که این روش با مشکلاتی از جمله مشکلات زیست محیطی و خوردگی تجهیزات همراه است. به همین دلیل تولید بیولوژیکی اسیدهای آلی به صورت درجا درون مخزن و به وسیله میکروارگانیسم ها که نه مشکل زیست محیطی به همراه دارد و نه مشکلاتی مانند خوردگی و غیره می تواند راه حلی مناسب برای بالا بردن راندمان تولید در این نوع از مخازن باشد {13}. احیاء گوگرد در ترکیبات گچی و انیدریدی و مواد معدنی سولفاتی که نفت به دام افتاده در آنها را آزاد می کند. تولید گازهایی از قبیل متان، دیاکسیدکربن، هیدروژن و نیتروژن که نفت را از فضاهای مرده به خارج می رانند. بسیاری از گونه های باکتری هایی قادر به تولید گازهای CO_2 , H_2 , N_2 , CH_4 در شرایط مخزن می باشند که این مواد از راه های گوناگونی مانند افزایش فشار مخزن، افزایش حرکت نسبی سیالات مخزنی و کاهش گرانروی و چگالی هیدروکربن ها از طریق حل شدن در آنها و تسهیل حرکت آنها، باعث ازدیاد بازیابی نفت از مخازن نفتی می گردند. {14, 15, 16, 17 و 18}. یکی از اثرات تولید مواد گازی تسهیل حرکت هیدروکربن ها در اثر فرآیند جابجایی امتزاجی (Miscible Displacement) می باشد. برای به حرکت در آمدن نفت باقیمانده در مخازن نیاز به امتزاج پذیری (Miscibility) و یا گرادیان فشاری بالا است. مشخص شده است که راندمان چنین فرآیندی بستگی به نیرو های موینیکی و کشش بین فازی دارد. در MEOR سعی بر این است که فرآیند جابجایی امتزاجی از طریق تزریق میکروارگانیسم ها به داخل



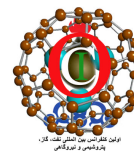
مخزن انجام پذیرد. نفت خام موجود در مخزن و گازهای تولیدی در حال تعادل ترمودینامیکی نمی باشند. در نتیجه انتقال بین فاز (Phase Exchange) سیستمی با ترکیب M1 و متشکل از دو فاز تشکیل خواهد شد. با توجه به اینکه در این شرایط فاز گازی دارای تحرک (Mobility) بیشتری در مقایسه با فاز مایع است در نتیجه توده گازی حرکت و با توده نفتی جدیدی با ترکیب متفاوت برخورد خواهد کرد مجدداً پس از انجام فرآیند انتقال بین فاز، سیستم دو فاز جدید بوجود خواهد آمد و این فرآیند همچنان ادامه پیدا می کند تا جایی که ترکیب فاز گازی همراه با نفت به حدی برسد که دیگر سیستم به صورت دو فاز در نیاید. در این شرایط این فرآیند به پایان می رسد. نتیجه نهایی این فرآیند انتقال مقادیری از قطرات نفتی به سمت چاه تولید می باشد. طراحی چنین فرآیندی با استفاده از باکتری های تزریق شده نیاز به تحقیقات آزمایشگاهی فراوان دارد و پارامترهای زیادی را به این منظور باید مورد توجه قرارداد که این پارامترها عبارتند از: خواص فیزیکی نفت خام مانند چگالی و گرانشی دما، فشار، خصوصیات مخزنی مانند عمق، نفوذپذیری و ... در بین گازهای تولیدی به وسیله میکروارگانسیم ها گاز متان بیشترین اثر را در فرآیند جابجایی امتزاجی دارد. یکی دیگر از گازهایی که در حین فرآیند MEOR تولید می شود، دی اکسیدکربن می باشد. این گاز در شرایط مخزن در نفت خام و آب همراه حل شده و باعث کاهش گرانشی نفت و در نتیجه حرکت ساده تر نفت می گردد. اثر عمده دیگری که تولید CO₂ به همراه دارد. تأثیر اسیدکربنیک ناشی از حل شدن CO₂ در آب است:



اسید کربنیک تولیدی حلال سنگ های Calcareous که این واکنش ها طبق معادلات زیر است:



ترکیبات تولیدی در اثر این واکنش ها در آب محلول می باشد و این فرآیند باعث افزایش نفوذپذیری سنگ های کربناته می گردد. تولید حلال های مختلف از قبیل اتانول، استون و الکل که با انحلال یا تورم رسوبات آلی به تحرک فاز نفت کمک می کنند. تولید مواد فعال سطحی و دترجنت که کشش سطحی و کشش فصل مشترک نفت و آب را کم می کنند و نفت را از سنگ جدا می کنند. بیوسورفاکتانت ها به مولکول های فعال کننده سطحی که بوسیله سلول های زنده تولید می شوند، و اغلب به وسیله میکروارگانسیم ها تولید می گردند. سورفاکتانت معمولاً دارای هر دو بخش هیدروفیل و هیدروفوب می باشد ولیکن برای توصیف ساختمان مولکولی بیوسورفاکتانت واژه بیو امولسیفایر (Bio emulsifier) نیز مورد استفاده قرار می گیرد. لغت بیو امولسیفایر را اغلب برای توصیف تمام ترکیبات فعال کننده سطحی ترشح شده توسط سلول ها که با تشکیل امولسیون باعث تسهیل مصرف سو بسترهای نامحلول می شوند، بکار برده می شوند. ویژگی مولکولی سورفاکتانت ها مرهون طبیعت مخلوط (هیدروفیلی/هیدروفوبی) آنها می باشد. سورفاکتانت ها می توانند به صورت میسلی (micelles) میسل های معکوس (reversed micelles) یا به فرم مجتمع (aggregate) و یا به صورت میسل های طویل (Rod shaped) و یا به صورت دولایه ای (bilayer) و یا به صورت وزیکولی (Vesicles) درآیند. به طور کلی وقتی در یک محیط کشت میکروبی تولید سورفاکتانت نشان داده می شود، که فعالیت سطحی آن اندازه گیری شود. متداول ترین روش بررسی فعالیت سطحی، اندازه گیری کشش سطحی کل محیط کشت مایع یا محیط کشت رقیق شده می باشد. اگر مقدار زیادی سورفاکتانت تولید گردد در صورت رقیق کردن مایع کامل، تازمانی که کشش سطحی در Critical Micelle Concentration افزایش یابد، میتوان تخمینی از تولید بیوسورفاکتانت را بدست آورد. روش های دیگری نیز وجود دارد که می تواند فعالیت سطحی را تأیید نماید. یکی از این روش ها کاهش کشش بین دو سطح بین فازهای آبی و آلی می باشد. پایداری امولسیون روغن و آب نیز می تواند معیاری در این مورد باشد. کف کردن (Foaming) نیز بیا نگر فعالیت سطحی می تواند باشد. علاوه براین خصوصیت تجزیه کنندگی نیز یکی از مشخصات سورفاکتانت ها است. ارگانسیم هایی که قادر به آمیزندگی روغن در آب می باشند، از هیدروکربن ها می توانند به عنوان تنها منبع کربن استفاده نمایند و بدین ترتیب این چنین ارگانسیم هایی به علت ترشح بیوسورفاکتانت نتوانایی رشد روی سو بسترهای نامحلول در آب را خواهند داشت. بهترین بیوسورفاکتانت هایی که مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته اند گروه سورفاکتین ها و امولسان ها می باشند. این بیوسورفاکتانت ها توسط گونه های مختلف باکتری ها بخصوص Acinetobacter و Bacillus تولید می شوند. لیپوپپتید ها از گونه های مختلف باکتری ها و مخمرها جدا شده است، اما فقط در تعداد اندکی از آنها ویژگی ها و خصوصیات سورفاکتانتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مهمترین بیوسورفاکتانت های لیپوپپتیدی گزارش شده از Bacillus licheniformis و Bacillus subtilis جدا شده است. این مواد با نام های سورفاکتین (Surfactin) و لیکنسیسین (lichenicin) نام گذاری شده است.

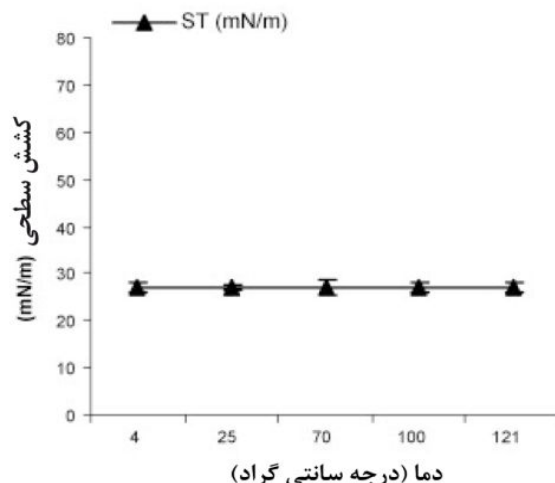


اولین بیو امولسان که مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است، RAG-1 امولسان می باشد. امولسان یک بیوسورفاکتانت لیپوپلی ساکاریدی خارج سلولی، با وزن مولکولی 1000KDa است که از باکتری *calcoaceticus Acinetobacter* تولید می شود. ساختمان این پلیمر از دو قسمت پلی ساکاریدی (هیدروفیلیک) و اسید چرب (هیدروفوبیک) تشکیل شده است. این دو قسمت بوسیله پیوندهای استری و آمیدی به هم متصل شده اند. (Gutnick 1987). ساختار آمفی پاتیک بیوسورفاکتانت ها، امکان قرارگرفتن در مرز بین فازهای مایع (نفت/آب) را به این ترکیبات می دهد. در واقع بیوسورفاکتانت ها با پوشش ذرات نفت در بین سطوح (نفت/آب) باعث تشکیل (امولسیون پایدار نفت/آب) می شود.

افزایش میکرو بی بازیافت نفت با استفاده از بیوسورفاکتانت ها (مواد فعال سطحی بیولوژیکی)

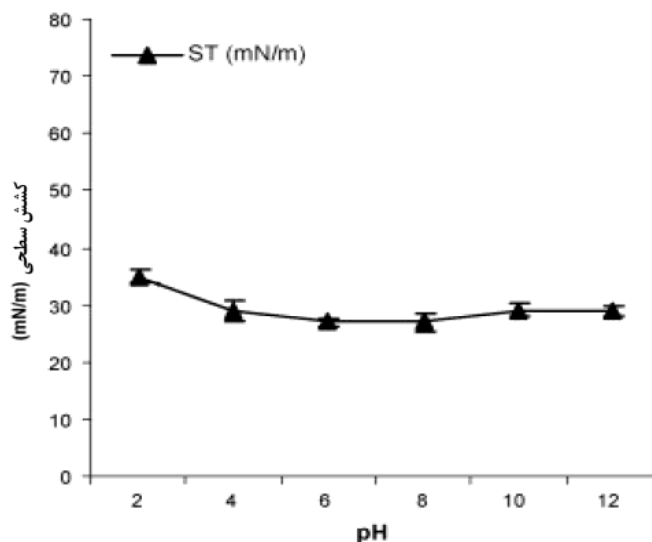
یکی از جنبه های کاربردی بیو سورفاکتانت ها مسأله MEOR می باشد. تخمین زده می شود که بین ۳۰٪ تا ۵۰٪ نفت از منابع نفت خام بوسیله تکنیک های متداول پمپ کردن استخراج می شود. استفاده از بخار می تواند کمک به بازیافت نفت نماید، ولی بخار باعث ایجاد احتراق می شود. بیوسورفاکتانت ها می توانند جایگزین ترکیبات نسبتاً گران سولفونات یا لیگنوسولفونات شوند، که در سالهای اخیر بدین منظور مورد استفاده قرار می گیرند. در MEOR میکروارگانیسم ها نظیر *Bacillus* و *Clostridium* و یا فراورده های آنها در جهت تولید پلیمرها و بیوسورفاکتانت تلخیص به داخل مخازن نفت می شوند. بیوسورفاکتانت با کاهش کشش سطحی در فضای بین نفت خام و صخره ها به بازیافت میکروبی نفت یا MEOR کمک می کنند. برای تولید طبیعی سورفاکتانت ها در داخل مخازن، با افزودن سو بسترهای ارزان قیمتی مثل ملاس و مواد غذایی معدنی، رشد میکروارگانیسم ها تحریک می شود. ولیکن این روش مستلزم این است که مخازن واجد باکتری هایی باشد که بتوانند مقادیر کافی بیوسورفاکتانت تولید نمایند، در غیر این صورت این چنین سو به هایی باید وارد چاه های نفت شود. ارگانیسم هایی که داخل چاه های نفت وارد می شوند با توده های بومی میکروبی در اتصال به صخره ها و استفاده از مواد غذایی رقابت می کنند. از طرفی القای رشد میکروبی در داخل چاه های نفت روی کیفیت نفت تأثیر می گذارد. به عنوان مثال وجود باکتری های احیاکننده سولفات در چاه های نفت باعث اسیدی شدن نفت خام و نهایتاً خوردگی تجهیزات و وسایل می شوند. {22} مواد فعال سطحی تولید شده به وسیله گروه های گوناگون میکرو ارگانیسم ها مانند: باکتری ها، مخمرها و قارچ ها به عنوان مواد فعال سطحی بیولوژیکی شناخته می شود. {23} این ماده تماس با قطره های کوچک نفت محصور شده در خلل و فرج سنگ مخزن قرار می گیرد و باعث کاهش چشم گیر میزان کشش سطحی و افزایش عدد موینگی نفت می گردد. {5} مواد فعال سطحی بیولوژیکی در برابر تغییرات دما تا رنج 120 درجه سانتیگراد مقاوم هستند و افزایش دما هیچ تأثیری بر روی عملکرد آنها نمی گذارد. (شکل 1) {24و25}

بدین صورت که تغییری در مقدار کشش سطحی قبل و بعد از عملیات حرارتی روی نمی دهد. {23}



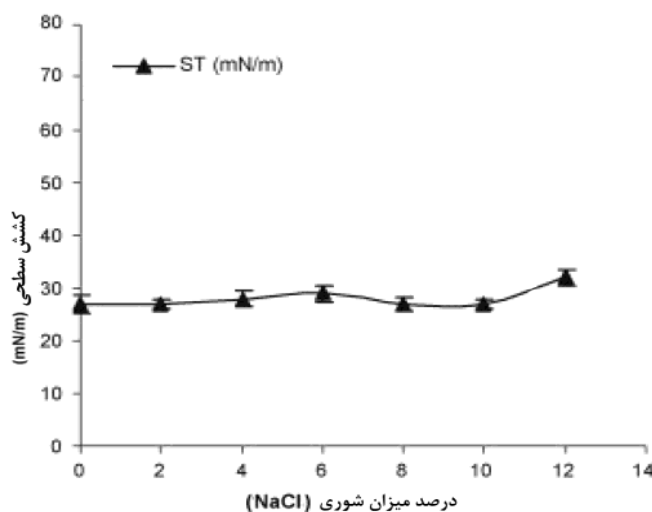
شکل 2- نمودار تاثیر دما بر عملکرد مواد فعال سطحی بیولوژیکی {24}

همچنین فعالیت مواد فعال سطحی تحت تاثیر PH می باشد که نتایج حاصل از بررسی محققین بیانگر این است که افزایش PH در بازه 2 تا 6 باعث کاهش مقدار فعالیت مواد سطحی بیولوژیکی می گردد. {24}. یا به عبارتی دیگر در شرایط اسیدی مواد فعال سطحی بیولوژیکی نه نشین می گردند. {23}. PH مطلوب برای مواد فعال سطحی بیولوژیکی عدد 8 می باشد، ضمن اینکه افزایش PH از 8 الی 12 تاثیری بر فعالیت مواد فعال سطحی بیولوژیکی یا همان سورفکتانت ها نمی گذارند. (شکل 2) {24 و 25}

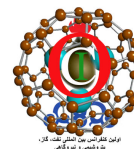


شکل 2- نمودار تاثیر PH بر عملکرد مواد فعال سطحی بیولوژیکی {24}

با توجه به مطالعات انجام گرفته افزایش مقدار شوری تا غلظت 10٪ تاثیر محسوسی بر عملکرد مواد فعال سطحی بیولوژیکی نمی گذارد اما در غلظت های بالاتر (12٪) کشش سطحی افزایش می یابد. (شکل 3) {24}.



شکل 4- نمودار تاثیر شوری بر عملکرد مواد فعال سطحی بیولوژیکی {24}



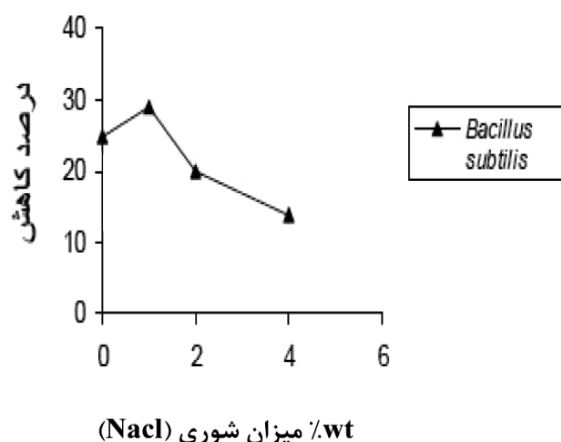
استفاده از بیوپلیمرها در افزایش بازیافت نفت

در فرآیند ازدیاد برداشت پلیمرها به دو صورت کاملاً متفاوت مورد استفاده قرار می گیرند: ۱- استفاده از پلیمرها به عنوان عامل گرانترو کننده آب: این روش در شرایطی که در فرآیند سیلابزنی آبی، نفت گرانتروی بسیار بالاتری نسبت به آب دارد مفید می باشد، در چنین حالتی فرآیند جابجایی راندمان بالایی نخواهد داشت چون راندمان جارو بی در مقیاس ماکروسکوپی پایین است. راندمان فرآیند در شرایطی که گرانتروی آب و نفت مساوی یا نزدیک باشند بسیار بالاتر خواهد بود. روش سیلابزنی پلیمری صرفاً پروی مکانیک سیالات و منطقه جاروب شده موثر می باشد و در واقع در این فرآیند با کاهش نسبت تحریک راندمان جارویی در مقایسه با حالتی که از آب به تنهایی و بدون عوامل گرانتروکننده استفاده میشود، بالا می رود. مشکلی که در اینجا وجود دارد این است که به نظر می آید وقتی که آب برای اولین بار به درون مخزن تزریق شود همان مسیر قبلی را بپییماید که این به معنی کانالیزه شده آب و عدم بهره دهی فرآیند سیلابزنی آبی است. سایر مشکلاتی که ممکن است در طی فرآیند سیلابزنی پلیمری رخ دهد عبارتند از امکان جذب پلیمرها، تجزیه آنها در اثر دما، وجود رایکالهای آزاد، PH، تنش، و یا میزان شوری این موارد خصوصاً در مورد کاربرد پلیمرهایی مانند Polyacrylamid، صمغ و Xanthan، پلی ساکاریدها وجود دارد. همچنین نگهداری، اختلاط و حفاظت از این موارد در برابر فعالیت باکتری هایی در خارج از مخازن نفتی نیز می تواند مشکل ساز باشد. ۲- استفاده دیگر از پلیمرها در فرآیندی به نام conformance adjustment است که در آن از پلیمرها برای کاهش نفوذ پذیری حجمی انتخاب شده از مخزن استفاده می شود. در این فرآیند هدف نفت باقی مانده در مناطق جاروب نشده می باشد. بزرگترین مشکل در بهره وری در ازدیاد برداشت ناهمگنی مخازن می باشد که باعث می شود سیالات تزریقی به مخزن کانالیزه شده و ترجیحاً از مناطق با نفوذپذیری بالاتر عبور کرده و در نتیجه مناطقی از مخزن را تحت پوشش قرار ندهند. در فرآیند conformance adjustment سعی بر این است که تا با استفاده از پلیمرها مناطق با نفوذپذیری بالا بسته شده و یا نفوذ پذیری آنها کاهش داده شود و به این ترتیب هم از کانالیزه شده سیالات تزریقی به داخل مخزن جلوگیری گردیده و هم حجم بیشتری از مخزن تحت تاثیر فرآیند سیلابزنی قرار بگیرد. امروزه در این زمینه تلاش هایی برای تولید مواد پلیمری مانند: xeroglucan و xanthan به صورت بیولوژیکی صورت گرفته است. مکانیزم عمل از طریق تنظیم کردن گرانتروی سیال جابجا کنند یا هل دهنده در برابر گرانتروی سیال جابجا شوند، که در واقع نفت است، می باشد و بدین طریق باعث کاهش اثر دور زدن و یا fingering effect می شود. پلیمرها علاوه بر تاثیر روی گرانتروی مایعات در جریان MEOR با ایجاد انسداد انتخابی در بستر متخلخل مخزن و تغییر تراوایی آن باعث جهت دهی به جریان نفت و ممانعت از اثر دور زدن می شود یکی از متداولترین راه های ازدیاد برداشت سیلابزنی است که در این روش تزریق آب از چاه های تزریقی باعث به جلو رانده شدن نفت به سمت چاه های تولیدی می شود. از جمله دلایل شکست این روش ناهمگنی تراوایی در مخزن است. برای محافظت از این شکست می بایست به نوعی آب تزریقی را به سمت مناطق غنی از نفت که تراوایی کمی داشته اند سوق داد که در واقع محلی را که آب از آنجا جریان داشت بوسیله پلیمرها مسدود میکنند و جهت حرکت آب را به سمت مناطق مذکور تغییر می دهند. پلیمرهای میکروبی به خوبی ما را در رسیدن به این هدف یاری میکنند. در رابطه با تولید بیوپلیمر به صورت درون جا و ایجاد انسداد انتخابی تحقیقات گسترده ای روی *Leuconostoc mesenteroides* انجام شده است. این بیوپلیمرها نه تنها خودشان در رسیدن به هدف کار آمد هستند بلکه با ایجاد حالت چسبندگی باعث اتصال میکروب ها به هم و ایجاد لایه های میکروبی و نهایتاً انسداد انتخابی با کنترل تلقیح میکروب و مواد غذایی خاص در مخزن می شوند. طبق مطالعات وسیع و دقیقی که روی میکروب های بومی ایزوله شده از میداین نفتی تاتارستان و سیبری انجام شده است. مشخص شده است که تمام گونه های جدا شده قادر به تولید ترکیبات آزاد کننده نفت مانند بیوپلیمرها، اسیدهای آلی و گازها هستند. در یک مطالعه بررسی دقیقتری روی باکتریوم متانوژن جدا شده از آب سازند در زمین های نفتی تاتارستان (Bondushskoe) به نام *Methanococcoides euhalobius* انجام گرفته است. این آبها دارای شوری 140 gr/l بوده و واجد غلظت بالایی از Ca^{+2} و Mg^{+2} است. دمای بهینه رشد در آزمایشگاه 37 درجه سانتیگراد و PH بهینه 6/8 تا 7/2 بود و این باکتری در این شرایط و غلظت NaCl بین 30-120 gr/l قادر به متانوژن زد بود. به این باکتری به منظور رشد و متانوژن، متانول، و متیل آمینها به عنوان سو بستر داده شد. رنگ آمیزی سیتو شیمیایی این باکتری حضور پلی ساکارید را در دیواره سلولی نشان داد. لایه خارجی دیواره سلولی تمایل به شکافته شدن دارد و رنگهای سیتو شیمیایی وجود ترکیبات پلی ساکاریدی را نه تنها در پوشش سلولی بلکه همچنین در محیط کشت رشد باکتری نشان دادند. میکروگرافهای الکترونی ترشح مواد سلولی را به داخل محیط کشت (مدیوم) نشان می دهند. این ترکیبات ترشح شده ایجاد لایه ای را می کنند که به وضوح در عکسهای بدست آمده بوسیله میکروسکوپ الکترونی Scanning مشهود است. سلول ها به این لایه می چسبند. در محیط های طبیعی احتمالاً این لایه پلی ساکاریدی سلولها را به هم می چسباند و ایجاد یک جمعیت می کند. خصوصیات فیزیکی همچون ویسکوزیته، مقاومت برشی، تحمل شوری باعث شده است تا پلی

ساکاریدها به عنوان پلیمر مناسب برای استفاده در ازدیاد برداشت نفت شناخته گردید. بیوپلیمرها برای عملکرد مناسبی در مخازن نفتی که دمای کمتری از 55 درجه سانتیگراد، PH بین 6 تا 9، فشار کمتر از 500 اتمسفر و غلظت و شوری 4٪ است، می باشد. {5}.

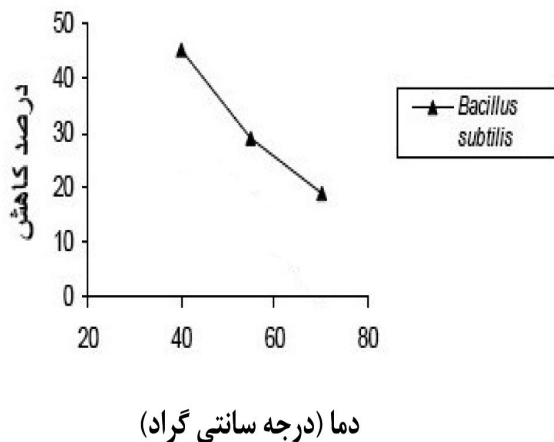
استفاده از باکتری باسیلوس سابیتلیس (*B. Subtilis*)

یک باکتری گرم مثبت است که قابلیت تولید اسپور و بیوپلیمر را دارد. هم بصورت هوازی و هم بصورت غیرهوازی عمل می کند. {26}. به همین دلیل عملکرد مناسبی در فرآیند ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی دارد. با توجه به نتایج ارائه شده توسط محققین دما و شوری و نقش مهمی در عملکرد باکتری باسیلوس سابیتلیس دارند. افزایش شوری بر رشد و تولید میکروارگانیسم ها تاثیر می گذارد. بنابراین غلظت شوری یک پارامتر مهم در بهینه سازی فرآیند می باشد. {27}. برای باکتری باسیلوس سابیتلیس بیشترین کاهش تراوایی در شوری 1٪ روی می دهد در حالیکه با افزایش میزان شوری کاهش تراوایی، کاهش می یابد. به عبارت دیگر میزان کاهش تراوایی توسط باکتری باسیلوس سابیتلیس به میزان شوری محیط بستگی دارد. (شکل 4) {26}.

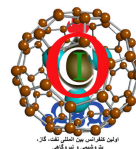


شکل 4- میزان کاهش تراوایی در دمای 55 درجه سانتیگراد {26}

افزایش دما در بازه 40 تا 70 درجه سانتی گراد کارایی باکتری را در کاهش تراوایی کاهش میدهد. {26}. البته باید توجه داشت که دمای بالا باعث تجزیه مواد فعال سطحی بیولوژیکی و میکروارگانیسم ها و حتی اجزا سبک نفت می گردد. {27}.



شکل 5- نمودار کاهش تراوایی در شوری 1٪ {26}



بطور کلی باکتری باسیلوس سابتلیس از پتانسیل بهتری برای کاهش تراوایی محیط متخلخل برخوردار است و استفاده از این باکتری در فرآیند ازدیاد برداشت نفت به منظور یکنواخت سازی تراوایی مخزن توصیه می گردد. دو روش متداول برای استفاده از این میکرو ارگانیسم ها در ازدیاد برداشت نفت عبارتند از:

1) روش برون محلی (Ex-situ) 2) روش های درون محلی (In-situ)

روش برون محلی (Ex-situ)

در این روش محصولات میکروبی از قبیل پلی ساکارید و فعال کننده های سطحی در فرمانتورهای تولید شده و پس از جدا سازی و خالص سازی به مخزن اضافه می گردد

روش درون محلی (In-situ)

الف) تحریک جمیت میکروبی به وسیله تزریق مواد مغذی برای افزایش فعالیت میکروبی:

میکرو ارگانیسم ها بومی برای ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی دارای مزایای زیادی نسبت به میکروارگانیسم های تزریقی به داخل مخزن می باشد. از مزیت های آن می توان به سازگار بودن با محیط و رشد راحت در مخازن نفتی اشاره نمود. باکتری های بومی به دو گروه باکتری های مفید که شامل باکتری های کاهنده هیدروکربن و باکتری های فاقد نیترات و باکتری های تولید کننده متان می باشد که با تولید حلال ها، اسیدها، گازها، مواد فعال سطحی و پلیمرها باعث افزایش برداشت نفت می گردد و باکتری های مضر از قبیل کاهنده سولفات، باکتری آهن و باکتری سولفور می باشد تقسیم می گردد. به این نکته هم باید توجه داشت که باکتری های مضر از ترکیبات سولفور موجود در ساختار آب به عنوان خوراک استفاده می کنند و با تولید ماده سمی هیدروژن سولفید علاوه بر ایجاد گاز سمی باعث خوردگی تجهیزات استخراج نفت می گردد {19}.

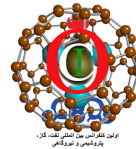
ب) تزریق میکروب هایی خاص همراه با مواد مغذی به داخل مخزن:

این میکروب ها می توانند فعالیت مناسبی در مخزن داشته و محصولاتی را تولید نمایند که باعث تحرک نفت می شوند (این میکروب ها را می توان از مخزن جدا کرد و پس از تغییرات ژنتیکی به مخزن تزریق نمود). میکرو ارگانیسم های تزریق شده در چاه باعث کاهش کشش سطحی می گردد. که علت آن تولید مواد فعال سطحی بیولوژیکی توسط میکرو ارگانیسم ها می باشد. این میکروارگانیسم ها باعث کاهش غلظت، ویسکوزیته و پارافین نفت خام و افزایش مقدار متان و کاهش مقدار دی تکسید کربن می گردد. این میکروارگانیسم ها باعث تولید مواد فعال بیولوژیکی سطحی، اسید چرب و افزایش برداشت نفت می شوند. نتایج نشان داد که تکنولوژی آبرویی میکروبی پتانسیل ازدیاد برداشت نفت را در دماهای بالای مخازن دارا می باشد. {20}. از بین روش های فوق بهترین شیوه تزریق میکروب هایی خاص همراه با مواد مغذی به داخل مخزن است چرا که در روش برون محلی که به آن اشاره کردیم برای افزایش فعالیت میکروبی به دلیل قابل تجزیه بودن محصولات، مواد ورودی به سرعت توسط میکروب های موجود در مخزن تجزیه می شوند. روش تحریک جمیت میکروبی به وسیله تزریق مواد مغذی برای افزایش فعالیت میکروبی هم به دلیل اینکه تعداد، نوع و نحوه فعالیت میکروب های مخزن مشخص نیست روش چندان جالبی به شمار نمی رود به دلیل تنوع مکانیزم های MEOR از آن می توان در مواردی که به سازند، در اثر، اعمال شیوه های دیگر MEOR آسیب رسیده باشد یا کاهش تراوایی نفت اتفاق افتاده باشد یا به دلیل نیروهای موئینگی نفت به دام افتاده باشد یا در شرایطی که در مخزن رسوب پارافینی یا نمک های حاصل از رسوب در حین تزریق آب باشد، استفاده نمود. علیرغم محدودیت هایی که ممکن است فعالیت میکروبی مخزن را تحت تاثیر قرار دهد، گزارش های متعددی از حضور میکروب ها ارائه شده اند و به همین علت انواع گوناگونی از باسیلوس، سودوموناس، میکروکوکوس، مایکو باکتریوم، کلسترییدیوم، اشرشیا کلی و برخی دیگر از انواع انتروبا کتریاسه بکار میروند. در MEOR با وجود حضور میکروب ها در مخزن، فعالیت آنها به دلایل زیر اندک است:

۱- شرایط بی هوازی مخزن که در این شرایط امکان تجزیه ترکیبات نفتی وجود ندارد و در نتیجه فقدان منبع کربن داریم.

۲- در اکثر مخازن نفتی غلظت فسفر پایین است.

۳- غلظت اندک نیتروژن می تواند دلیل کم بودن تعداد میکروب ها باشد. از آنجایی که فعالیت میکروب های بومی در مخزن بسیار اندک است، تغییر قابل ملاحظه ای در ترکیب نفت مشاهده نمی شود. اما در صورتیکه منبع غذایی و فاکتورهای مکمل مناسب فراهم شوند ترکیب نفت تغییر خواهد کرد. نفت فقط شامل مواد هیدروکربوری نیست و هرگونه تغییر در محتوای آن می تواند منجر به تغییر قابل ملاحظه ای در مشخصه های نفت خام گردد که از آن جمله تولید گاز است که منجر به سبک شدن نفت می شود.



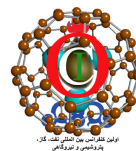
مقایسه ازدیاد برداشت میکروبی بادیگر روش های شیمیایی و مزایای این روش

با وجود محصولات میکروبی گوناگون که در فرآیند MEOR تولید می شوند. به غیر از یک مورد توده سلولی سایر فرآورده ها جزء دسته ای از ترکیبات شیمیایی مرسوم و مورد استفاده در روش های شیمیایی ازدیاد برداشت می باشند که در حال حاضر در روش های سیلا بزی شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند. همانطور که مورد بحث قرار گرفت اثرات این مواد شیمیایی با اثرات مواد بیولوژیکی تولید شده در MEOR یکسان می باشد و حتی می توان چنین گفت که اثرات ناشی از تولید توده میکروبی نیز تا حدود زیادی مشابه اثرات مواد شیمیایی است. {17} بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که روش های میکروبی ازدیاد برداشت از یک دیدگاه روشی نوین و جایگزین برای ازدیاد برداشت ارائه نمی کند و در واقع عمده ترین تفاوت MEOR با روش های شیمیایی ازدیاد برداشت در نحوه تزریق مواد شیمیایی به داخل مخزن می باشد. بنابراین می توان این فرآیندها را نیز به مانند سایر فرآیندهای ازدیاد برداشت بخصوص روش های شیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در ارتباط با اهمیت این موضوع یعنی تولید در جای محصولات بیولوژیکی در MEOR و اثر آن در راندمان این فرآیند تحقیقاتی صورت گرفته است. در یکی از این تحقیقات که توسط Bryant و همکاران در سال ۱۹۸۹ در آمریکا انجام گرفته است در واقع در این تحقیق که در مقیاس آزمایشگاهی انجام پذیرفته است اثر محصولات میکروبی به صورت خالص و در حضور میکروارگانیسم ها مورد مقایسه قرار گرفته است. به این ترتیب که در یک سری از آزمایشات محصولات میکروبی به صورت درجا و درون دستگاه سیلا بزی بوسیله میکروارگانیسم ها تولید و اثر آنها بر روی تولید بررسی شد و در سری دوم محصولات میکروبی به صورت جداگانه تولید و بدون دستگاه تزریق شد. نتایج این تحقیق بیانگر این موضوع است که حضور مستقیم میکروارگانیسم در سیستم، کاملاً مؤثر و باعث بالا رفتن راندمان میگردد که علت این موضوع نیز تولید هم زمان با فرآیند محصولات میکروبی به صورت درجا و با غلظت بالاست که می تواند سیالات مخزنی و سنگ های مخزنی را به صورت مؤثرتری تحت تأثیر قرار داده و باعث بالا رفتن راندمان تولید گردد. با توجه به آزمایشات و تحقیقات مزایای این روش را بطور خلاصه می توان این چنین بیان کرد: 1. جلوگیری از خوردگی تجهیزات نفت: بدلیل اینکه میکروارگانیسم ها سولفات خوار هستند و فعالیت SRB را کاهش می دهند. 2. افزایش بازیافت مخزن نفتی: تا کنون مطالعات مختلفی و زیادی پیرامون این روش صورت گرفته و نتایج رضایت بخش گزارش شد بعنوان مثال در ایران 26٪ در کشور هلند 20٪ همچنین میدان نفتی آرکانزاس با افزایش تولید 25 درصدی همراه بود. 3. افزایش طول عمر مخزن: طبق بررسی های انجام شده روی 146 چاه مشخص شد این روش نسبت به سایر روش ها باعث افزایش طول عمر مخازن می شود که این امر باعث برتری این روش نسبت به سایر روش هاست. 4. قابلیت کنترلی بودن جمعیت میکروبی: از مزایای مهم این روش کنترل جمعیت میکروبی است که می توان با استفاده از تزریق مولد مغزی به چاه این فرآیند را تحت کنترل قرار داد. بدین صورت که اگر این مولد به میکروب ها نرسد فعالیت آنها متوقف می شود زیرا میکروب ها برای اکتیواسیون نیاز به مولد دارند. 5. زیان آور نبودن برای محیط زیست: در این روش می توانیم از پساب و ضایعات صناعی مثل چغندر قند و پساب کارخانه های پنیرسازی به عنوان مادی مغزی استفاده کرد که این مواد به خودی خود از دغدغه های دوستداران محیط زیست می باشد. که پس گذشتن مراحل به مواد مورد نیاز میکروب تبدیل شده و تجزیه می شوند در نتیجه این روش بر خلاف سایر روش های شیمیایی برای محیط زیست زیان آور نیست. 6. از بین بردن مشکلات تولید: به کمک این روش می توان از تجزیه پارافین ته نشین شده و گرفتگی چاه، آسیب های سازند نفتی و پدیده ترشوندگی جلوگیری کرد. بدلیل اینکه تولید اسید از میکروارگانیسم ها باعث خورده شدن سنگ کربناتی و ایجاد کانال می شوند و در مواردی که پارافین ته نشین شده ایجاد مزاحمت در عملیات می کند این روش با از بین بردن آن کمک بزرگی می کند. 7. کاربرد وسیع: این روش برای نفت خام سنگین و سبک قابل استفاده است. بیشتر مطالعات صورت گرفته روی مخازن ماسه سنگی است اما مواردی از کاربرد این روش در مخازن آهکی در دنیا گزارش شده است. 8. افزایش نفوذپذیری و کاهش ویسکوزیته: تحرک پذیری بصورت نسبت نفوذپذیری به ویسکوزیته تعریف می شود مقدار بیشتر این کسر به معنای افزایش تحرک پذیری است با این روش نفوذپذیری افزایش و ویسکوزیته کاهش می یابد. 9. قدرت نفوذ پذیری میکرو ارگانیسم ها: میکروارگانیسم ها می توانند فضاهایی را در خلل و فرج سنگ اشغال کنند که مواد دیگری در روش های ازدیاد برداشتی نمی توانند ای عمل را انجام دهند در نتیجه قدرت نفوذ پذیری و تاثیرپذیری در این روش بسیار بالا می باشد. {29}

معیارگزینش مخازن جهت فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی

فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی نفت MEOR نیز به دلایل مختلف با محدودیت های گوناگونی رو برو می باشند. با توجه به نقش اساسی میکرو ارگانیسم ها در فرآیند MEOR عمده محدودیت های مربوط به این نوع فرآیندها نیز به همین موضوع بر می گردد. در واقع بعضی

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

از خصوصیات مخزنی می باشند که در مواردی باعث محدودیت فعالیت میکروبی و در نتیجه عدم کارکرد MEOR می شوند. مهمترین این خصوصیات عبارتند از:

- دمای مخزن
 - درجه شوری آب همراه موجود در مخزن
 - اندازه حفره های سازندهای نفتی
 - خواص فیزیکی سنگ های مخزنی
 - میزان نفوذپذیری مخزن
 - میزان PH آب همراه درون مخزن
 - نوع هیدروکربن های نفتی
 - ترکیبات غیرآلی موجود در مخزن
- مخازن مناسب برای روش MEOR باید ویژگی هایی از قبیل: 1- دمای مخزن کمتر از 75 درجه سانتیگراد 2- شوری حداکثر تا 10000ppm 3- PH بین 4 تا 9 تراوایی بیشتر از 5-75md نفت سنگین بر اساس API بیشتر از 18 باشد. 6- حداکثر فشار مخزن 12000atm باشد 7- عمق کمتر از 3500m که بیشترین تاثیر مربوط به دما و تراوایی است. {28}.

بررسی نقش دو باکتری اشريشیاکلی و باسیلوس لینکی فرمیس در امکان بازیافت نفت دریکی از مخازن ایران:

1. میکروب: باکتری اشريشیاکلی از آزمایشگاه میکروب شناسی بخش بیوتکنولوژی دانشگاه امیرکبیر و نمونه باسیلوس لینکی فرمیس از کلکسیون میکروب شناسی سازمان پژوهش های علمی و صنعتی بدست آمد. این دو میکروب بر روی محیط کشت مغزی مایع و در دمای 37 درجه سانتیگراد به مدت دو روز در گرمخانه نگهداری شدند و سپس در تهیه سوسپانسیون میکروبی بکار گرفته شدند.

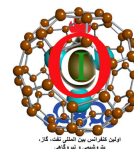
2. سنگ مخزن و نفت خام: نمونه ها از پژوهشگاه صنعت نفت تهیه شدند که مربوط به یکی از مخازن ایران بود. سنگ مورد نظر به اندازه 4/35 دانه بندی شد. سنگینی نفت براساس درجه API 37 بود.

3. محفظه آزمایش: شامل لوله مسی به ابعاد 4×25 و تخلخل آن 44 درصد بود.

4. آب نمک: شامل محلول 2 درصد سدیم کلرید و 5.1 درصد کلرید کلسیم بود.

روش کار بدین صورت بود که در هر مرحله 465 گرم از سنگ خرد شده با 17 میلی لیتر و 65 میلی لیتر نفت خام اشباع می شد و در داخل محفظه قرار می گرفت سپس 16 میلی لیتر سوسپانسیون میکروبی 1 درصد در آب نمک و 25 میلی لیتر مواد مغذی به ستون تزریق می شد و محفظه بسته شده به مدت دو روز در دمای 37 درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس از این مدت با تزریق 1 لیتر آب نمک، نفت جدا می شد و مقدار نفت آزاد شده سنجش می گردد. پارامترهای بررسی شده شامل: 1- نوع میکروب (اشريشیاکلی و باسیلوس فرمیس و مخلوطی از این دو با هم) و نوع محیط مغزی (ملاس 4 درصد، ملاس 2 درصد، آب پنییر 2 درصد) و منبع مغزی مکمل (بدون ترکیب مکمل، محلول 0.1 درصد نیترات آمونیوم، محلول 0.1 درصد فسفات سدیم) بودند. طراحی آزمایشات به روش تاگوجی انجام گرفت. نحوه چیدن پارامترها بصورت جدول یک است. پاسخ بررسی شده، میزان نفت آزاد شده بود که با مقدار نفت حاصل از یک نمونه کنترل بدون میکروب مقایسه شد.

شماره آزمایش	نوع میکروب	ماده مکمل	درصد نمک	نوع منبع نمک	نفت آزاد شده (میلی لیتر)	بازده بازیافت نمک %
1	E	-	2	ملاس 4%	22	15.69
2	E	NH ₄ NO ₃	4	ملاس 2%	27.5	26.47



15.1	21	آب پنیر 2/	7	Na ₄ PO ₄	E	3
19.61	24	آب پنیر 2/	4	-	B	4
15.1	21.7	ملاس 4/	7	NH ₄ NO ₃	B	5
1.96	15	ملاس 2/	2	Na ₄ PO ₄	B	6
7.84	18	ملاس 2/	7	-	E+B	7
11.76	20	آب پنیر 2/	2	NH ₄ NO ₃	E+B	8
16.47	22.4	ملاس 4/	4	Na ₄ PO ₄	E+B	9
0	14	ملاس 2/	2	-	-	10
27.45	28	ملاس 4/	4	NH ₄ NO ₃	E	11
16.47	22.4	آب پنیر 2/	7	Na ₄ PO ₄	E	12

جدول 1- نحوه انجام آزمایش، داده ها و نتایج

نتایج بدست آمده این چنین شد که اثرات عمده عوامل در جدول شماره یک آمده است که اهمیت فاکتورها به ترتیب: درصد نمک، نوع میکروبی، حضور عوامل غنی کننده و در نهایت نوع منبع کربنی در رده چهارم می باشد. با توجه به نتایج آزمایش متوجه می شویم که میکروبی اشیریشیالکی و غلظت 4/ و ملاس 4/ که با نیترات آمونیوم غنی شده، مقدار نفت آزاد شده 18 و مقدار پیش بینی شده 28.79 بود که خطای حاصل 2.7 درصد می باشد. مقدار بازده بازیافت نفت بصورت زیر تعریف می شود:

$100 \times \text{میکروبی تیمار بدون باقی مانده نفت} / (\text{تیمار از پس باقی مانده نفت}) - (\text{میکروبی تیمار بدون باقی مانده نفت})$

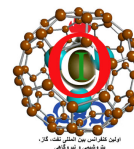
ملاحظه می شود که در بهترین حالت مقدار بازده نفت 26.47 درصد است که با توجه به مقدار نفت اولیه درجا در مخازن نفت و عمر زیاد آنها وسنگین بودن نفت مخازن بنظر می رسد در صورت عملی بودن این روش مقدار نفت آزاد شده رقم قابل ملاحظه ای باشد.

مشکلات و موانع فرآیند ازدیاد برداشت میکروبی نفت

فرآیندهای ازدیاد برداشت میکروبی با توجه به اینکه براساس فعالیت های میکروبی عمل می کنند در برگیرنده پیچیدگی های خاصی نیز می باشند که این پیچیدگی ها عمدتاً به نحوه فعالیت های میکروبی و واکنش های متابولیکی این موجودات بر می گردد. بعضی از مشکلات پیش روی چنین سیستم هایی عبارتند از: 1. مشکلات ناشی از خصوصیات فیزیکی مخزن مانند، دما، فشار و غلظت نمک بالا 2. مشکلات انتقال و توزیع مناسب کلیه مواد ضروری به منطقه هدف در مخزن و درمدت زمان مناسب 3. امکان وجود فعالیت های رقابتی و در نتیجه کاهش فعالیت های متابولیکی اصلی در اثر وجود میکروارگانیسم های بومی مخزن مانند باکتری های احیاء کننده سولفات

بررسی MEOR از دیدگاه اقتصادی

قیمت بالای نفت در سال های پایانی قرن بیستم و افزایش قابلیت های صنعتی فرآیندهای مبتنی بر اصول بیولوژیکی باعث ایجاد جدا بیت بیشتری برای استفاده از میکروبی ها و توانایی های آنها در ازدیاد برداشت نفت شده است. در حال حاضر حدود ۱۰۰۰ چاه نفتی در آمریکا با استفاده از روش های MEOR تولید خود را افزایش داده اند که این موضوع بیا نگر امکان پذیری استفاده از بیوتکنولوژی در داخل مخزن است. {30} MEOR. توانایی رقابت اقتصادی با سایر روشهای ازدیاد برداشت را دارا می باشد به این علت که این روش نه به انرژی بالایی مانند روش سیلابزنی با بخار (Steam flooding) احتیاج دارد و نه به مواد شیمیایی گران قیمت مانند روش های سیلابزنی شیمیایی (Chemical fooding) در واقع در این روش محصولات بیولوژیکی از طریق تغذیه میکروبی ها بوسیله مواد ارزان قیمت و در دسترس مانند ملاس تولید می شوند. بررسی مطالب منتشر شده در مورد MEOR بیانگر موفقیت ۷۸ درصد از پروژه های MEOR در کاهش میزان تولید آب همراه و افزایش تولید نفت می باشد. {31}. انجمن ملی تحقیقات نفت و انرژی آمریکا ارزیابی اقتصادی درباره میدان های نفتی phoenix , Mink Unit انجام داده است. در مطالعاتی که در فاصله سال های ۱۹۸۶ تا ۱۹۸۹



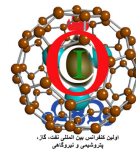
صورت پذیرفته است نتایج بیانگر این موضوع می باشد که میکروارگانسیم های تزریقی به مخزن همراه آب باعث ازدیاد موفقیت آمیز ۱۳ درصدی تولید شده اند. قیمت اضافی تمام شده در این پروژه ها معادل ۳/۲۴ دلار به ازای هر بشکه نفت بوده است. مطالعات عمیق تر و جامع تری که درباره میدان نفتی Phoenix در فاصله سال های ۱۹۹۰ تا ۱۹ انجام شد افزایش ۱۹/۶ درصد تولید را نشان میداد که در این حالت افزایش قیمت تولید بدون در نظر گرفتن قیمت میکروپ ها و ترکیب آنها معادل دلار به ازای هر بشکه بوده است. {7}. با بررسی پروژه های گوناگون دنیا می توان قیمت تمام شده برداشت هر بشکه نفت را براساس نوع مخزن، خصوصیات و مشکلات آن بین ۲ تا ۴ دلار در نظر گرفت. {32}. MEOR برای چاه هایی که به دلیل تزریق آب، دیگر قادر به تولید نفت نیستند و در اصطلاح غرقاب شده اند و همچنین چاه هایی که به دلیل رسوب ترکیبات آلی و معدنی مسدود شده اند روش مناسبی است. از آنجایی که حتی پس از تزریق آب و گاز حداکثر 38-40٪ از مخزن برداشت می شود، اگر با بکاربردن MEOR بتوان ۱٪ هم نفت آزاد نمود مقدار قابل ملاحظه ای خواهد بود.

نتیجه گیری:

از جمله مسائلی که باعث مطرح شدن روش MEOR در بین سایر روش های ازدیاد برداشت شده است، مزایای اقتصادی این روش می باشد. از دیدگاه اقتصادی مزایای زیر را می توان برای MEOR بر شمرد:

1. ارزان قیمت بودن میکروارگانسیم ها و مواد مغذی مورد نیاز در این فرآیند. 2. با توجه به نیاز آب در این فرآیند استفاده از MEOR در میادین دریایی از نظر اقتصادی با صرفه است. 3. قیمت مواد تزریقی ارتباط با قیمت نفت و نوسانات آن ندارد. 4. تجهیزات سیلابزنی آب در این مورد نیز قابل استفاده می باشند. 5. کلیه محصولات MEOR، زیست تخریب بوده و در محیط زیست تجمع نیافته و آلودگی محیط زیست را به همراه ندارند. 6. MEOR با سایر روش های ازدیاد برداشت از نظر اقتصادی رقابت می کند. براساس آزمایشات انجام گرفته در مورد تاثیر PH می توان گفت افزایش آن در بازه 2 تا 6 باعث کاهش مقدار فعالیت مواد فعال سطحی بیولوژیکی دارد اما در غلظت 12٪ باعث افزایش کشش سطحی میگردد. باکتری باسیلوس سابتلیس بیشترین کاهش تراوایی را در شوری 1٪ نشان می دهد در حالیکه با افزایش میزان شوری کاهش تراوایی، کاهش می یابد. این روش برای چاه هایی که بدلیل تزریق آب دیگر قادر به تولید نیستند و در اصطلاح غرقاب شده اند و نیز چاه هایی که بدلیل رسوب ترکیبات آلی و معدنی مسدود شده اند روش مناسبی است. طی تحقیقات و مطالعات صورت گرفته این روش برای مخازنی با دمای بیش از ۱۸۰ درجه فارنهایت و نمک بالاتر از ۱۵٪ کاربرد زیادی ندارد. وجود بعضی از فلزات سنگین آلاینده مواد غذایی، می تواند از رشد میکروارگانسیم ها ممانعت کند. برای استفاده از این روش نیاز به تستهای آزمایشگاهی و طراحی مهندسی می باشد. روش های بهینه سازی میکروپ و کاربرد آن برای یک مخزن، هنوز در حال گسترش و پیشرفت است. تحریک کننده های چاه که سبب افزایش بازیافت نفت می شوند، هنوز شناخته نشده اند.

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی



مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

منابع و مراجع:

ریانی، م.ر. آشنای با مهندسی مخازن نفت و گاز، دانشگاه صنعتی شریف، چاپ چهارم، 1386
قلیاقی زاده، مریم، روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین، مجله اکتشاف و تولید. {2}

Zobell, C., Bacterial release of oil from sedimentary materials, oil Gas J, 46 (1947) 62-65 {3}

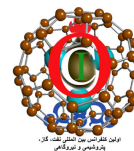
Bryant steren L. and Lockhart Thomas P. Oct, 2000

Reservoir Engineering Analysis of Microbial“ Enhanced Oil Recovery ”, SPE Paper 63229 Pres, at
The SPE annual technical conference and exhibition USA. {4}

Sen., R., Biotechnology in petroleum recovery: The microbial EOR, Progress in Energy and
Combustion science, 34 (2008) 714-724 {5}.

Cunningham, A., sharp, R., caccavo, F., Cerlach, R., Effects of starvation on bacterial transport
through porous media, 30 (2007) 1583-1592 {6}

Iazar, 1982 “Microbial Enhanced oil Recovery, Proc Int. Conf. Microbial Enhanced oil Recovery,”
Aften Ok, May 16-21, DOE Conf-8205140. 140-148 {7}



Surgiharjo, Legewo E.H., and et al., 1999, "Microbial Core Flooding Experiments Using indigenous Microbes," Society of petroleum, Engineers international (SPE57306),(25-26) Oct {8}

Jones Raina N, Nichols Eric, and et al., 1999, "The role of bio surfactant sorption in promoting the bioavailability of nutrients localized at the solid water interface," water science and technology, 37:791-98. {9}

Sayyounh m.H., 2002, " Microbial Enhanced Oil Recovery: Research studies in the Arabic Area During the last Ten Years," society of petroleum Engineers international(SPE75218), 13-17April {10}

Banat Lbrohim M., 1993 "The isolation of thermophiles Bio surfactant producing bacteria, Biotechnology letters 15:591-594. {11}

Reassessment of sequence- Based Targets for . "Blackwood K.S., Turenne C.Y. and et al., 2004 Identification of Bacillus species" Journal of climal microbiology. 42:4:1626-163. {12}

Blackwood K.S., Turenne C.Y. and et al., 2004. "Reassessment of sequence- Based Targets for Identification of Bacillus species" Journal of climal. Microbiology. 42:4:1626-1630. {13}

Bicca Flavio Correa, Fleek Leonardo Colomb, and et al., 1999. "production of bio surfactant by hydrocarbon degrading Rhedo coccus ruber and Rhodococcus erythropolis" , Rev. microbiol.voi:303. {14}

Beyant, Rebecca S. and Burch Field, Thomas E May 1986" .Review of Microbial Technology for Improving Oil Recovery", SPE reservoir Engineering. {15}

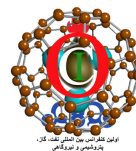
Bessor F.and Michel.G.1999 "Biosynthesis of iturin and surf action by Bacillus subtilis. Evidence for amino acid activating nzymes", Biotechnol. Lett., 14: 1013-1018.{16}

Baryant R.S. and Douglas I. "Evaluation of Microbial System in Porous Media for Enhances Oil Recovery," paper SEP 16284 at the 1987 SEP Int. Symp. On Oilfield Chemistry, San Antonin Feb.4-6.{17}

Abtani,Nima and Reestaazad,Reza,2001"Microbial Enhanced oil Recovery (MEOR) ", The 2th oil, Gas and petrochemical congress, Tehran.{18}

Bao, M., Kong, X., Jiang, G., Wang, X., Li, X., Laboratory study on activating indigenous microorganisms to enhance oil recovery in shengli oil field, Journal of Petroleum science and Engineering,66(2009)42-46. {19}

Jinfeng, L., Lijun, M., The field pilot of microbial enhanced oil Recovery in a high temperature {20}



Bar- Ness R. Abraham, Matsuyama and et al., 1998. "Increased cell surface hydrophobicity of a *Serratia niarcesens* NS 38 mutant lacking wetting activity" *J.Bacteriol.* 170:4361-4364. {21}

Abu Eela M., EI-Tayeb. S. and et al., 2002. "Effects of stimulating Indigenous Bacteria in oil Reservoir on Relative permeability curves", society of petroleum Engineering international (SPE7524.) , 13. 17 April {22}.

Amani, H., Sarrafzadeh, M.H., Haghghi, M., Mehrnia, M., Comparative study of Bio surfactant producing bacteria in MEOR applications, journal of petroleum Science and Engineering, 75 (2010) 204-209. {23}

Bagher, T., Shourian, M., Roostaazad, R., Rouholamini, A., Adelzadeh, M.R, Akbari Noghabi, K., An efficient bio surfactant-producing bacterium *Pseudomonas aevuginosa* MR01, Isolated from oil excavation areas in south of Iran, colloids and surfaces B:Biointerfaces, 69 (2009) 183-193.{24}

Bordoloi, N.K., Konwar, B.K., Microbial surfactant-enhanced mineral-oil Recovery under laboratory conditions, colloids and surface B: Bio interfaces, 63 (2008) 73-82. {25}

Soudmandasli, A., Ayatollahi, S.Sh., Mohabatkar, H., Assessing the effect of temperature and salinity on Microbial Enhanced Oil Recovery. {26}

Mozaffar, H., Roostaazad, R., Alemzadeh, I., Optimization of MEOR Process condition's in Iran's, Ahwas oil Reservious, fifth chemical Engineering Congress, 2007.{27}

Anderson, o.L.Preliminary Studies leading to microbial enhanced oil recovery (1986), SPE.15155. {28}

Hughesa and N.Brealy"revival of microbial enhanced oil recovery (MEOR) Initiativeson uk contin entral shel (FD.b London.collabrative prosecton enhanced oil recovery international energy agency Canada). {29}

Bento.F. M and Gaylard. C.1996 "The production of interfacial Emulsion by Bacterial isolates from Diesel Fulels" international bioderiation and biodeyration, (31-33). {30}

A. Imehaideh Reyadh, Zekriy.Abdulrazay, 2002 Reservoirs", society of petroleum Engineers Optimization of Microbial Fleeding in carbonate" Interational (SPE77796), (8-10) Oct. {31}

Makkar. RS, Cameotra. SS, 1998, "Biosurfactants production by a thermophilic *Bacillus subtilis* & strain," *Journal of industrial Microbiology Biotechnology* 18:37-42 {32}