

تولید نفت از یک مخزن نفتی طی سه مرحله صورت می گیرد ، در مرحله اول نفت با استفاده از فشار داخل مخزن تولید می شود . به تدریج با گذشت زمان و تولید از مخزن ، میزان فشار مخزن کاسته شده و پیرو آن تولید نفت مخزن نیز رو به کاهش خواهد گذاشت . به این ترتیب مخزن به مرحله دوم تولید خود وارد می شود در این مرحله برای حفظ تولید از مخزن باید از فرآیندهای افزایش یا حفظ فشار استفاده نمود . مهمترین روش هایی که در این مرحله به کار گرفته می شود ، روش های تزریق آب ، تزریق گاز و تزریق دوره ای بخار آب می باشد . در پایان مرحله دوم تولید نفت مخزن ، هنوز حجم زیادی از نفت در مخزن باقی مانده است که روش های متنوعی برای تولید آن استفاده می گردد . این مرحله از تولید مرحله سوم تولید نفت می باشد ، در این مرحله از روش های مختلف ، همچون تزریق گازهایی مانند دی اکسید کربن و ازت ، تزریق مواد شیمیایی ، روش های حرارتی ، روش های میکروبی و ... استفاده می شود .

به طور کلی روش های تولید نفت در مرحله دوم و سوم را فرایند ازدیاد برداشت می نامند . به علت باقی ماندن حدود سی الی هفتاد درصد نفت در مخازن ، بعد از به کار گیری روش های داخلی اولیه و ثانویه برداشت نفت ، گران بودن هزینه های تزریق مواد شیمیایی و گاز ، افزایش هزینه های اکتشاف و گسترش حدود و مرزهای میدان نفتی ، تاکید زیادی روی شناخت و بکار گیری روش های جدید برداشت نفت شده است .

سالانه مبالغ زیادی در جهان ، صرف بودجه های تحقیقاتی بر روی روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی می گردد و دارندگان این ذخایر می کوشند تا با روش های جدید تر ، کم هزینه تر و با کارایی بالاتر از منابع خود بهره جویند یکی از راه های جدید در افزایش بازده مخازن نفتی ، روش میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery) می باشد .

کاربرد بیوتکنولوژی در عرصه نفت روز به روز گسترش بیشتری می یابد امروزه کارشناسان علوم بیوتکنولوژی در کنار مهندسان نفت می کوشند تا بازده تولید از مخازن نفتی را ارتقاء بخشند . روش میکروبی ، روش مبتنی بر کاربرد میکروب های خاص به منظور افزایش تولید نهایی از چاه است .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

ازدیاد برداشت به وسیله میکروب ها (MEOR) به همه تکنیک های ازدیاد برداشت که در آنها به نوعی از میکروارگانیسم ها یا تولیدات آنها استفاده می شود ، اطلاق می گردد .
پیشرفت های اخیر در شناخت و غربال گری میکروارگانیسم ها و نیز تولید انبوه آنها ، روش MEOR را به عنوان جایگزینی مناسب برای بسیاری از روش های مرسوم ازدیاد برداشت معرفی کرده است . بعلاوه مزیت هایی مانند هزینه های کمتر این روش به نسبت سایر روش ها ، وجود کار کرد های متفاوت این فناوری در مخزن و کمک به حفاظت از محیط زیست از دیگر عوامل توجه به این تکنولوژی می باشد .

تاریخچه روش ازدیاد برداشت به وسیله میکروب ها (MEOR) :

اولین مورد مکتوب استفاده از میکروب ها در ازدیاد برداشت نفت در سال ۱۹۱۳ توسط ج . ب . دیویس (J.B.Davis) ارائه شد ولی بررسی های اولیه بکارگیری روش های میکروبی در تولید نفت به سال ۱۹۲۶ بر می گردد . در این سال بکمن (Bekman) دریافت که با وجود اصطکاک و جاذبه بین سنگ و نفت ، بخش زیادی از نفت بعد از توقف تولید چاه ، در مخزن باقی می ماند ، و ایده استفاده از میکروارگانیسم ها برای کاهش ویسکوزیته نفت باقی مانده را مطرح نمود . در سال ۱۹۴۶ سی . ای . زوبل (C.A.Zobell) فرایندی برای بازیافت ثانویه نفت با استفاده از میکروب های بی هوازی و مکانیزم انحلال مواد معدنی سولفاتی ثبت کرد .

اولین آزمایش میدانی ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی در سال ۱۹۵۴ در یکی از میدانی نفتی آرکانزاس انجام گرفت اما با وجود موفق بودن ، به دلیل در دسترس بودن منابع نفتی ارزان قیمت این شیوه ها کنار گذاشته شدند .

در دهه ۱۹۷۰ مجدداً به دلیل ناپایداری قیمت نفت و گرایش به بیوتکنولوژی این شیوه ها مورد توجه قرار گرفتند . از ۱۹۸۰ به بعد به دلیل افزایش قیمت نفت در کشور های مختلف این روش ها کم و بیش متداول شدند .

علی رغم وجود سابقه هفتاد ساله از این ایده ، استفاده از آن در صنایع نفت ، به دلیل عدم وجود ساز و کار مناسب برای انتقال این تکنولوژی به صنعت ، به دهه های اخیر بر می گردد .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

در ابتدای سال ۱۹۹۰، Brown نتایج روی مقیاس وسیع و کاربرد میدانی روش MEOR روی ۱۴۶ چاه گزارش نمود و در واقع این طرح، اولین طرح MEOR بوده که در مقیاس وسیع و در سطح تجاری به کار گرفته شده است. در سال ۱۹۹۲ استفاده از روش MEOR در میدان های نفتی Romashkinskye موجب افزایش ۱۵ تا ۴۵٪ در کل تولید نفت شده است.

در سال های اخیر نتایج بسیار خوبی از بکار گیری این روش در میدانی نفتی چندین کشور گزارش شده است، به طور مثال استفاده از این روش در مخازن دلتاییک اوکلاهما در آمریکا موجب تغییر تراوایی مخزن و افزایش برداشت از ۶۹۰۰۰ بشکه به حدود ۴۰۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰۰ بشکه گردیده است.

به کارگیری این روش در میدانی نفتی در اندونزی نیز موجب افزایش برداشت نفت از این میدانی گردیده است. همچنین مطالعات متخصصین عربستانی نشان داده است که با استفاده از این روش در مخازن این کشور می توان ۳۰ درصد نفت باقی مانده در مخزن را تولید نمود.

مخازن مناسب برای MEOR

مخزنی برای به کار گیری روش میکروبی مناسب است که دارای شرایط زیر باشد :
دما کمتر از 75°C ، شوری تا ۱۰۰۰۰۰ ppm، pH بین ۴ تا ۹، تراوایی بیش از 75_{mD} ، سنگینی نفت بر اساس API بیش از ۱۸، فشار تا ۱۲۰۰۰ atm و عمق کمتر از ۳۵۰۰ m.
در این میدانی بیشترین تأثیر مربوط به دما و تراوایی است.

نقش میکروارگانیسمها در ازدیاد برداشت از مخازن :

میکروارگانیسمها به روش های مستقیم یا غیر مستقیم می توانند موجب افزایش برداشت نفت گردند این روش ها عبارتند از :

۱- تولید گاز :

گاز های حاصل از متابولیسم میکروب ها در مخزن شامل آمونیاک، متان، نیتروژن و دی اکسید کربن می تواند موجب افزایش فشار مخزن و کاهش وسکوزیته نفت گردد. این گاز ها باعث می

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

شوند که نفت از فضا های مرده به خارج رانده شود و از این رو مانند استفاده از روش تزریق گاز عمل می نمایند .

۲- تولید اسید آلی :

اسید تولیدی توسط برخی میکروارگانیسم ها موجب حل شدن سنگ مخزن و توسعه کانال ها و در نتیجه افزایش تراوایی مخزن می گردد .

۳- بستن شکاف ها :

باکتری ها با تولید فیلم و بستن شکاف ها و کانال های بزرگ موجب مهاجرت آب به منافذ ریزتر شده و در نتیجه خروج نفت از این منافذ و افزایش برداشت خواهد شد ، به عبارتی دیگر میکروب ها ، بیوپلیمری تولید می کنند که به طور انتخابی مناطقی با تراوایی بالاتر را مسدود نموده در نتیجه جریان سیال به طرف نقاطی با تراوایی کمتر هدایت می شود .

۴- شکست مولکول های بزرگ :

برخی از باکتریها از خود هیدروکربن برای تغذیه استفاده می کنند که این امر موجب سبک شدن نفت و کاهش گرانروی آن و در نتیجه افزایش برداشت خواهند شد .

۵- تغییر ترشوندگی سنگ :

طبق تعریف ترشوندگی تمایل یک سیال برای پخش شدن یا چسبیدن به سطح جامد می باشد . باکتری ها با تولید مواد فعال سطحی موجب تغییر ترشوندگی می گردند و باعث می شوند که کشش سطحی و کشش فصل مشترک نفت - آب کم شده و نفت از سنگ جدا شود .

۶- احیاء گوگرد در ترکیبات گچی و انیدریدی و مواد معدنی سولفاتی که نفت به دام افتاده در آنها را آزاد می کند .

۷- تولید حلال هایی از قبیل اتانول ، استون و الکل که با انحلال یا تورم رسوبات آلی به تحرک فاز نفت کمک می کنند .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

۸- یکی از اجزاء نامطلوب همراه نفت خام ، آب و ترکیبات گوگردی نظیر H_2S می باشد که کاربرد روش میکروبی می تواند راهکاری برای جذب آنها و جلوگیری از مسئله خوردگی تجهیزات انتقال نفت خام باشد .

باکتری مناسب برای MEOR باید :

- ۱- کوچک باشد ،
- ۲- رشد سریعی داشته و از تحرک لازم برای انتقال در داخل چاه برخوردار باشد ،
- ۳- ترکیبات متابولیکی مناسب از قبیل گاز و اسید و حلال تولید کند ،
- ۴- قادر به تحمل شرایط محیطی خشن از قبیل دما و فشار و شوری بالا باشد ،
- ۵- برای رشد و متابولیسم به مواد مغذی پیچیده نیاز نداشته باشد ،
- ۶- بتواند مواد ضد خوردگی و میکروب کش را به خوبی تحمل کند ،
- ۷- در حضور فلور میکروبی چاه جمعیت غالب باشد و
- ۸- بتواند شرایط بدون اکسیژن یا غلظت اندک آن را تحمل کند .



شیوه های متداول استفاده از میکروب ها در ازدیاد برداشت :

الف : روش برون محل (Ex-Situ) :

در این روش محصولات میکروبی از قبیل پلی ساکارید ها و سورفاکتانت ها (فعال کننده های سطحی) در فرماتور هایی تولید شده و پس از جداسازی و خالص سازی به مخزن اضافه شود .

ب : روش در محل (Situ-In) :

۱- تحریک جمعیت میکروبی مخزن به وسیله تزریق مواد مغذی برای افزایش فعالیت میکروبی .
۲- تزریق مواد مغذی مانند ملاس همراه با میکروب ها به داخل مخزن . این میکروب ها می توانند فعالیت مناسبی در مخزن داشته و محصولات 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 .)

از بین روش های فوق بهترین شیوه ، ۲- ب است چرا که در شیوه ۱ به دلیل قابل تجزیه بودن محصولات ، مواد ورودی به سرعت توسط میکروب های موجود در مخزن تجزیه می شوند . روش ۲- الف هم به دلیل این که 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 .

علی رغم محدودیت هایی که ممکن است فعالیت میکروبی مخزن را تحت تأثیر قرار دهد ، گزارش های متعددی از حضور میکروب ها ارائه شده است و به همین علت انواع گوناگونی از باسیلوس ، پسودوموناس ، میکروکوکوس ، مایکوباکتریوم ، کلاستریدیوم ، اشیریشیاکلی و برخی دیگر از انواع انتروباکتریاسه در MEOR به کار می روند . با وجود حضور میکروب ها در مخازن ، 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 .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

از آنجایی که فعالیت میکروب های بومی در مخزن بسیار اندک است، تغییر قابل ملاحظه ای در ترکیب نفت مشاهده نمی شود. اما در صورتی که منبع غذایی و فاکتور های مکمل مناسب فراهم شوند ترکیب نفت تغییر خواهد کرد. نفت فقط شامل مواد هیدروکربوری نیست و هر گونه 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.

مزایا و محدودیت های استفاده از روش MEOR :

روش MEOR مانند سایر روش های ازدیاد برداشت دارای مزایا و محدودیت هایی است که در ادامه به برخی از مزایا و محدودیت های این روش اشاره می شود.

مزایای روش MEOR :

- ۱— کاربرد روش MEOR در مقایسه با سایر روش ها نظیر تزریق گاز ساده تر بوده و با استفاده از تجهیزات به کار گرفته شده در عملیات سیلاب زنی قابل انجام است.
- ۲— هزینه های تزریق میکروب به مخازن معمولاً پایین است و همچنین استفاده از این روش نیاز به صرف انرژی زیادی ندارد.
- ۳— از آنجایی که بهترین انتخاب برای تزریق میکروب به یک مخزن خاص، میکروبی است که از خود مخزن حاصل شده باشد، با شناسایی دقیق و مطالعه میکروارگانیسم های موجود در مخزن می توان بهترین میکروب برای انجام عملیات ازدیاد برداشت را انتخاب نموده، به این ترتیب نیازی به ورود میکروب از خارج وجود ندارد.
- ۴— فرآیند MEOR به راحتی قابل کنترل است و می توان با کنترل شرایط زیست میکروب عملیات را به صورت دلخواه پیش برد.
- ۵— روش میکروبی در مخازن ماسه سنگی و مخازن آهکی قابل استفاده است. البته بیشتر مطالعات صورت گرفته در دنیا بر روی مخازن ماسه سنگی صورت گرفته است اما مواردی از کاربرد این روش در مخازن آهکی نیز گزارش شده است.

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

- ۶- می توان از ضایعات و پساب های سایر صنایع مانند ملاس کارخانه های تولید شکر به عنوان خوراک مصرفی میکروب ها استفاده نموده ، و به این ترتیب ضمن کنترل آلودگی های زیست محیطی ، ناشی از ورود این پسابها به آب های جاری ، برداشت از مخازن را نیز افزایش داد .
- ۷- بر خلاف برخی روش های ازدیاد برداشت که برای نوع خاصی از نفت قابل استفاده هستند ، این روش برای گستره وسیعی از نفت های خام سبک و سنگین قابل استفاده است .
- ۸- قبل از تزریق می توان از مواد پرکننده که فضاهای خالی سنگ را پر می کنند یا ترکیباتی که مانع از جذب میکروب به سطح می شوند استفاده کرد تا میکروب در یک نقطه تجمع نیابد . همچنین می توان از اسپور ها یا اولترامیکرو باکتری ها استفاده کرد .
- ۹- 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 تزریق ضربانی از به دام افتادن سلول ها جلوگیری می کند .

محدودیت های روش MEOR :

مهمترین محدودیت که در استفاده از MEOR با آن مواجه هستیم این است که در این روش بر خلاف سایر روش های ازدیاد برداشت با موجود زنده روبه رو هستیم و به ناچار باید شرایط رشد و ادامه حیات را برای آن فراهم کنیم . به این ترتیب این روش در مخازنی قابل استفاده است که در آن حداقل شرایط مورد نیاز برای رشد میکروب فراهم باشد . به طور کلی روش میکروبی ازدیاد برداشت در مخازن با دمای بالا (بالاتر از ۵۰ درجه سانتیگراد) و یا مخازن با درجه شوری آب زیاد کاربرد ندارد . البته برخی از میکروب ها هستند که در مقابل دما و شوری مقاومت بیشتری نشان می دهند اما به طور کلی این دو عامل ، عواملی هستند که استفاده از این روش را با محدودیت روبه رو می کنند .

به طور کلی برای استفاده از این روش مخزن باید شرایط زیر را داشته باشد :

- ۱- دمای مخزن زیر ۵۰ درجه سانتی گراد و شوری آب آن کمتر از ۱۵ درصد باشد . (البته این محدودیت ها در مورد میکروب های گرما دوست و بی هوازی صدق نمی کند) .
- ۲- عدم وجود عناصر فلزی سنگین در محیط زیرا این فلزات اغلب موجب مسمومیت باکتری ها خواهند شد .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

۳- برای انجام این روش بررسی دقیق میکروارگانیسم های موجود در مناطق نفتی لازم و ضروری بنظر می رسد .

۴- این روش در مخازن با عمق بیش از ۳۰۰۰ متر کاربرد چندانی ندارد . زیرا در این مخازن فشار و دما بیش از حد تحمل میکروب ها می باشد .

۵- تراوایی سنگ مخزن بیش از ۵۰ میلی داریسی بوده و تخلخل آن نیز حداقل ۱۳/۵ درصد باشد .

۶- تولید مواد زائد ناخواسته (مانند گاز های گوگردی) توسط برخی میکروب ها که موجب ایجاد خوردگی در دستگاه های استخراج می گردد . برای رفع این نقیصه بررسی دقیق عملکرد هر میکروب بسیار ضروری است تا خسارت های ناشی از این مورد به حداقل برسد .

امروزه تحقیقات در زمینه حل مشکلات فنی و اقتصادی تر نمودن روش میکروبی به سرعت در حال انجام است تحقیقات آزمایشگاهی موسسه ملی مهندسی و محیط زیست ایداهوی آمریکا (INEEL) اخیراً روش میکروبی را توسعه زیادی بخشیده و آن را با هزینه پایین تری ارائه نموده است این تحقیق شامل تولید و کاربرد پلیمر های میکروبی و بیوسرفاکتانت ها (فعال کننده های سطحی میکروبی) از ضایعات کشاورزی به منظور تزریق به میداین نفتی می باشد .

برخی از کاربرد های میدانی MEOR :

میدان نفتی کانادا Loyid Minister : به میزان ۶٪ ، میکروب لکونوستوک (هوازی) با غلظت ml/۱۰۲-۱۰۳ , ml/۱۰۴ میکروب بی هوازی و ۶ و ۱۱ متر مکعب ملاس در ۱۲۰ متر مکعب آب تزریق شده است . پاسخ مخزن تولید اسید و الکل و کاهش pH و کشش سطحی بوده است .

میدان های نفتی رومانی با شوری ۵-۱۸۰ g/l :

میکروب های باسیلوس — کلاستریدیوم ، اشرشیاکلی و ... با مخلوط . میکروبی -۹×۱۰۹/ml ۴×۱۰۸ تزریق شد . پاسخ ، تولید گاز و اسید ، افزایش تولید نفت ، افزایش گرانیروی و چگالی نفت و افزایش کسر سبک نفت بوده است .

میدان نفتی لیسبون آرکانزاس با شوری ۴۲۰۰۰ ppm :

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (Microbial Enhance Oil Recovery)

میکروب کلاستریدیوم و ملاس (۴۰۰۰ gal محلول ۲٪ وزنی) تزریق شد . پاسخ به صورت تولید گاز (عمدتاً H_2 , CO_2) و اسید بوده و حداکثر نرخ افزایش تولید ۲۵۰٪ بوده است .

یکی از میادین نفتی هلند : میکروب کلاستریدیوم و ملاس تزریق شد . پاسخ به صورت افزایش CO_2 و افزایش بازیافت حدود ۲۰۰ - ۲۰٪ بود .

شرکت سینوکال (SINOCAL) در آزمایشگاه میکروب شناسی خود در سال ۱۹۹۹ موفق به تولید میکروبی تحت عنوان سینوکال شده است که در بازیافت مخازنی با نفت غلیظ و گرانیوی زیاد کاربرد دارد .

این میکروب در واقع به صورت یک محلول تیره رنگ با بوی بسیار قوی به منظور تزریق کاربرد می یابد .

میکروب حاصله در ۱۲ گروه G_1 تا G_7 بر اساس نوع نفت خام و سایر مشخصه های مخزن طبقه بندی می شود و کار آن واکنش شیمیایی باواکس ، آسفالت و عناصر حلقوی نفت خام می باشد یعنی در واقع گرانیوی نفت را می تواند کاهش دهد بنابراین بازده چاه نفت به طور معنی داری زیاد می گردد .

مشخصه های محلول میکروبی سینوکال به صورت زیر است :

۱- تمرکز و غلظت میکروب بیشتر از $10^{11} \times 1$ برای هر لیتر .

۲- مقادیر ضخامت از ۰/۱ تا ۱ میکرو متر .

۳- میکروب نامبرده می تواند در محیطی با فشار و دمای بالا رشد نماید 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 ۶۰ روز افزایش یابد ، یعنی افزایش تولیدی بالغ بر ۶ تن در روز در مقایسه با زمانی که از این روش استفاده نمی گردید .

نتیجه این روش بازیافتی در حدود ۳۰ درصد بود که در مقایسه با راندمان بسیار مطلوب ۵۰ تا ۶۰ درصد قابل قبول است .

روش های ازدیاد برداشت میکروبی (**Microbial Enhance Oil Recovery**)