

آشنایی اجمالی با انواع روش های ازدیاد برداشت

همان گونه که در فصل پیش بیان شد سه مرحله برای ازدیاد برداشت نفت وجود دارد :

۱. مرحله اول تولید نفت (Primary Recovery)
۲. مرحله دوم تولید نفت (Secondary Recovery)
۳. مرحله سوم تولید نفت (Tertiary Recovery)

در مرحله اول تولید ، نفت توسط انرژی های طبیعی خود مخزن برداشت می شود . به تدریج با برداشت از مخزن طی چندین سال فشار مخزن کاهش پیدا می کند و به جایی می رسد که دیگر تولید از مخزن مقرون به صرفه نیست لذا از روش هایی تحت عنوان تولید ثانویه نفت نظیر تزریق آب یا تزریق گاز در مخازن نفتی بهره می جویند .

پس از این مرحله هنوز هم مقداری نفت در مخزن باقی خواهد ماند که از روش های ثالثیه نظیر روش های حرارتی ، روش های تزریق مواد شیمیایی ، روش میکروبی و زدن چاه های انحرافی استفاده می کنند .

به طور کلی روش های مرحله دوم و سوم بازیافت نفت را تحت عنوان (Enhanced Oil Recovery) یا EOR تقسیم بندی می کنند در این فصل به طور اجمالی انواع روش های ازدیاد برداشت معرفی می شوند در فصول ۳ تا ۶ روش های EOR بررسی و تشریح شده نهایتاً در فصل هفتم روش نوین ازدیاد برداشت یعنی روش میکروبی (MEOR) مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند .

- روش های به کار گرفته جهت افزایش بازده عبارتند از :

- * تزریق گاز
- * تزریق آب
- * تزریق متناوب آب و گاز
- * روش های حرارتی
- * روش های شیمیایی
- * استفاده از روش میکروبی (M.E.O.R)

۱- تزریق گاز :

روش تزریق گاز به دو صورت امتزاجی و غیرامتزاجی صورت می گیرد . در روش امتزاجی ، گاز طبیعی با افزودن ترکیبات هیدروکربنی میانی C_4 تا C_6 غنی می شود ؛ به طوری که بخش غنی شده گاز تزریقی که در ابتدای کار تزریق می گردد ، با نفت مخزن امتزاج یافته و آن را از درون خلل و فرج سنگ مخزن به طرف چاه های تولیدی هدایت می کند . راندمان افزایش بازیافت در این روش ، بیشترین درصد را به خود اختصاص می دهد و اگر سنگ مخزن دارای خواص همگن و یک دست و تراوایی آن نیز مناسب باشد ، به ۶۵ تا ۷۵ درصد حجم نفت باقی مانده ، می توان دست یافت .

در روش غیر امتزاجی ، گاز به مخازن نفتی تزریق می گردد که این تزریق نسبتاً ارزان است و در تعدادی از مخازن نفت خیز خشکی و دریایی ایران اعمال می گردد . در این روش ، گاز تزریقی در قسمت بالایی مخزن متراکم می شود و فشار مخزن را افزایش می دهد و حرکت نفت را سهولت می بخشد .

* روشهای امتزاج گاز برای بازیافت نفت عبارتند از:

- گاز کربنیک رویی (flooding Carbon Dioxide) ،

- تحریک دوره ای بادی اکسید کربن (Stimulation Cyclic Carbon Dioxide) ،

- نیتروژن رویی (Flooding Nitrogen)

- نیتروژن - گاز کربنیک رویی (Flooding CO₂ Nitrogen-) .

گاز کربنیک رویی (Carbon Dioxide Flooding) :

این روش اغلب برای بازیافت نفت از مخازنی استفاده می شود که فشار اولیه مخزن طی مرحله برداشت اولیه و یا آب رویی کاهش یافته است. ابتدا آب درون مخزن تزریق می شود تا فشار مخزن به حد قابل قبولی برسد، سپس CO_2 توسط چاههای تزریق، وارد مخزن می شود. در حین تزریق گاز کربنیک در مخزن، یک ناحیه CO_2 امتزاجی با هیدروکربنهای سبک تشکیل می شود که قابل حل در نفت است و باعث تسریع حرکت آن به سمت چاههای تولیدی می شود. به دنبال این توده اولیه گاز کربنیک، معمولاً تزریق آب یا CO_2 انجام می شود زیرا استفاده از آب می تواند باعث

بهبود ضریب رانش نفت و کاهش میزان CO_2 لازم شود. تولید از توده نفتی صورت می گیرد که در جلوی جبهه امتزاجی تشکیل میشود. درحین تولید سیالات مخزن از چاههای تولیدی، CO_2 به شکل گاز آزاد شده و عملی مشابه با فرازآوری با گاز (Gas lift) توسط فشار گاز طبیعی مخزن را انجام می دهد.

گاهی اوقات از دی اکسیدکربن (CO_2) برای بالا بردن میزان جابجایی نفت در مخزن استفاده می شود. دی اکسیدکربن بطور طبیعی در بعضی مخازن به صورت همراه با گاز طبیعی یا به طور تقریباً خالص ممکن است موجود باشد. دی اکسیدکربن را می توان از کارخانه های تولید محصولات شیمیایی یا جداسازی از گازهای حاصل از احتراق نیروگاهها بدست آورد.

وقتی فشار مخزن طی برداشتهای اولیه و آب رویی کاهش می یابد، قبل از آغاز تزریق CO_2 به مخزن باید این فشار به حالت اولیه بر گردد که برای این کار آب از طریق چاههای تزریق درون مخزن پمپ می شود تا فشار به حد قابل قبولی برسد، در این هنگام CO_2 از طریق همان چاههای تزریق به درون مخزن وارد می شود.

ابتدا حتی ذره ای از CO_2 با نفت امتزاج نمی یابد ولی با افزایش فشار تزریق، عمل امتزاج با مولکولهای کوچک هیدروکربنهای سبک بطور آهسته صورت می گیرد و موجب تشکیل یک جبهه امتزاجی میشود. این جبهه امتزاجی ذاتاً یک توده گاز غنی است که حاوی CO_2 و هیدروکربنهای سبک می باشد. در شرایط مناسب دما و فشار، این جبهه قابلیت انحلال در نفت را دارد که باعث تسهیل حرکت نفت به سمت چاههای تولیدی می شود. این توده اولیه CO_2 اغلب به وسیله تزریق متناوب آب و CO_2 دنبال میشود. بکار بردن آب برای افزایش ضریب رانش و کاهش میزان CO_2 مصرفی است.

تولید از توده نفتی، که در جلوی جبهه امتزاجی تجمع می یابد، صورت می گیرد. در حین برداشت سیالات مخزن از چاههای تولیدی CO_2 به شکل گازی خود بر می گردد و باعث انجام عمل مشابه گازرانی (Gas lift) با گاز طبیعی مخزن میگردد. در سطح زمین CO_2 را می توان از سایر سیالات استخراج شده جدا کرده و دوباره در چاه تزریق نمود که به کاهش مصرف CO_2 کمک کرده و یک سیکل بازیافتی CO_2 ایجاد می کند. این مراحل می تواند بطور مکرر اجرا شود تا زمانی که دیگر استخراج مقرون به صرفه نباشد.

تحریک دوره‌ای با دی‌اکسید کربن (Cyclic Carbon Dioxide Stimulation)

اغلب به عنوان یکی از روشهای *huff & puff* شناخته شده و روشی سریع برای تولید نفت در هر چاه منفرد می‌باشد. مانند پروژه تحریک دوره‌ای با بخار، گاز CO_2 به درون مخزن نفت تزریق شده و چاه برای مدتی بسته می‌شود تا پریود خیساندن (Soak Period) طی شود. در این مرحله چاه باز شده و نفت و سیالات دیگر استخراج می‌گردند. انحلال CO_2 در نفت باعث کاهش گرانروی نفت و متورم شدن آن و سهولت پیشروی نفت در مخزن می‌شود. از این روش می‌توان در مخازن نفت سنگین و جاهایی که اجرای روشهای حرارتی در آنها امکان‌پذیر نیست توسط تزریق CO_2 با فشار بالا (به منظور سهولت امتزاج بین نفت و گاز کربنیک) استفاده کرد. در این فرآیند، تولید نفت اضافی از طریق برخی یا همه مکانیزمهای زیر صورت می‌گیرد:

۱- CO_2 در نفت حل شده و با کاهش گرانروی، اجازه حرکت آزادانه نفت به سمت چاه تولیدی را می‌دهد.

۲- انحلال CO_2 در نفت حجم آن را زیاد کرده و اشباع شدگی فاز نفت را بیشتر می‌کند.

۳- با افزایش میزان CO_2 و گازهای آزاد شده از نفت (به علت پایین بودن فشار مخزن) نیروی رانش گاز محلول در نفت افزایش می‌یابد.

۴- هیدروکربنها توسط گاز CO_2 فوق‌بحرانی استخراج می‌شوند. این فرایند در مخازن نفت سنگینی که در آنها اشباع نفت و دما و فشار بالاست و مانع آمیزش نفت و CO_2 می‌شود، نیز قابل اجراست. پارامترهای مهم عملی بودن این روش، حجم CO_2 تزریقی در یک سیکل، تعداد سیکلها و میزان فشار پشت نفت در حین تولید هستند.

این فرایند می‌تواند چندین بار تکرار شود ولی با افزایش سیکلها، کارایی آن کاهش خواهد یافت. تحریک دوره‌ای با CO_2 برای بازیافت نفت سنگین وقتی قابل استفاده است که روشهای حرارتی امکان‌پذیر نباشند.

نیتروژن رویی (Nitrogen Flooding) :

از این روش برای بازیافت نفتهای سبکی استفاده می‌شود که توانایی جذب گازهای افزوده شده به مخزن را در شرایط خاص دارند. این شرایط عبارتند از میزان متان کم و عمق دست کم

۵۰۰۰ فوت که باعث می شود سنگ مخزن در مقابل فشار زیاد تزریق لازم برای مخلوط شدن نفت با نیتروژن مقاومت کرده و شکستگی در آن ایجاد نشود. وقتی نیتروژن در مخزن تزریق می شود با تبخیر ترکیبات سبکتر نفتی یک جبهه امتزاجی تشکیل می دهد. با حرکت این جبهه از چاههای تزریقی به درون مخزن، یک منطقه امتزاجی یا محلول در نفت ایجاد می شود. تزریق مداوم باعث جابجایی توده نفتی به سمت چاههای تولیدی می شود. به منظور بازیافت بیشتر و افزایش ضریب رانش نفت می توان به طور متناوب از تزریق آب نیز استفاده کرد. مزیت نیتروژن آن است که خاصیت خوردگی ندارد و با هزینه کم در محل بوسیله جداکنندهای خاصی از هوا به دست می آید. نیتروژن رویی در صورتی می تواند به عنوان روش بازیافت نفت برای یک مخزن انتخاب شود که شرایط زیر در مخزن مورد نظر موجود باشد:

۱- نفت مخزن باید غنی از اتان تا هگزان (CO_2) یا هیدروکربنهای سبک باشد. این ترکیبات نمایانگر نفت سبک با درجه API بالاتر از ۳۵ می باشد.

۲- ضریب حجمی نفت باید بالا باشد تا قابلیت جذب گاز اضافه را تحت شرایط مخزن داشته باشد.

۳- نفت باید در شرایط زیر اشباع و یا میزان کم متان (CH_4) باشد.

۴- مخزن باید دارای عمق حداقل ۵۰۰۰ فوت باشد توانایی تحمل فشار تزریق بالا (بالاتر از ۵۰۰۰ PSI) برای امتزاج کامل نیتروژن با نفت را بدون شکسته شدن سازند داشته باشد.

استفاده از نیتروژن گازی شکل برای مخازنی با این مشخصات به این دلیل مطلوب است که نیتروژن با هزینه ای کمتر از دیگر گزینه های ممکن قابل دسترسی است. نیتروژن را می توان به وسیله جداسازهای سرمایشی از هوا بدست آورد و هوا هم یک منبع نامحدود است ضمن آنکه نیتروژن یک گاز خنثی است و باعث خوردگی نمی شود. معمولاً وقتی نیتروژن در مخزن تزریق می شود با تبخیر برخی ترکیبات سبکتر نفتی باعث تشکیل یک جبهه امتزاجی میشود. این جبهه گاز که تا حدودی از ترکیبات سبک غنی است، به حرکت خود درون سازند ادامه داده و با مقدار بیشتری نفت برخورد کرده و باعث تبخیر ترکیبات بیشتری میشود و خود را غنی تر می کند. همینطور که این حرکت ادامه می یابد، لبه پیشرونده این جبهه گازی چنان غنی می شود که به حالت محلول یا امتزاجی

در نفت مخزن وارد می شود. در این موقع فصل مشترک بین گاز و نفت از بین رفته و سیالات با هم مخلوط می شوند.

ادامه تزریق نیتروژن باعث هل دادن جبهه امتزاجی (که به طور مداوم در حال نوسازی خود است) درون مخزن و جابجایی توده نفت به سمت چاههای تولیدی می شود. توده های آب نیز بطور متناوب بجای نیتروژن تزریق می شوند تا باعث بهبود ضریب رانش و بازیافت نفت شوند. در سطح زمین سیالات بدست آمده از مخزن جداسازی میشوند که در آنها نه تنها نفت بلکه سیالات گازی و نیتروژن تزریق شده نیز وجود دارند.

نیتروژن - گاز کربنیک رویی (Nitrogen- CO_2 Flooding):

برای اینکه هزینه کاهش یابد می توان نیتروژن را همراه با CO_2 تزریق نمود که نیتروژن باعث جابجایی توده CO_2 و نفت در مخزن می شود.

تزریق نیتروژن و CO_2 در واقع اصلاح روش رانش با دی اکسید کربن برای کاهش هزینه های استفاده از CO_2 است که بایستی با خط لوله یا تانکر به محل آورده شود و طبیعتاً هزینه آن نیز زیاد خواهد بود. زیرا نیتروژن می تواند در محل و با هزینه بسیار کمتر تولید شود که در نتیجه به عنوان یک گزینه جذاب مورد توجه می باشد.

نیتروژن را می توان توسط یک جداسازی سرمایشی از هوا، که منبعی نامحدود است، جدا کرد. همچنین CO_2 گازی خنثی و غیر خورنده است. در هنگام استفاده از این روش نیتروژن برای راندن توده دی اکسید کربن و نفت همراه آن به درون مخزن تزریق می شود.

روش های حرارتی

برای تولید بیشتر و افزایش ضریب برداشت از مخازن از روش های حرارتی هم استفاده می شود. روش های بازیافت حرارتی برای مخازن نفت سنگین مناسب تر است ولی در مواردی برای نفت سبک هم قابل اعمال می باشد و بر خلاف روش های شیمیایی که عموماً تغییرات شیمیایی اثر بخش است در روش حرارتی بیشتر پدیده های فیزیکی است که باعث تاثیر متقابل بین سنگ و سیال می گردد.

پدیده های ناشی از تاثیر روش های حرارتی بدین شرح است:

- کاهش گرانروی

- تغییر خاصیت ترشوندگی (Wettability)

- کاهش کشش سطحی

- انبساط حرارتی

- تبخیر هیدروکربوری سبک تر

روش های حرارتی معمولاً به دو طریق می باشد :

الف - روش احتراق درجا

ایجاد حرارت در خود مخزن توسط سوزاندن بخشی از نفت که با تزریق گاز دارای اکسیژن در مخزن و ایجاد یک جبهه آتش پیش رونده صورت می گیرد که به (Front Forward Combustion) موسوم است .

ب - روش تزریق بخار آب

تولید حرارت در خارج مخزن و تزریق سیال داغ (آب یا بخار آب داغ) بصورت مداوم یا مرحله موسوم به Steam Flooding یا Cycling Steam Injection در روش حرارتی علاوه بر پدیده های فیزیکی بعضی از تغییرات شیمیایی هم ممکن است صورت گیرد . عمل اکسیداسیون در مرحله اولیه Combustion و در درجه حرارت های پایین تر اتفاق می افتد و همچنین تشکیل کک در مخزن هم ممکن است اتفاق بیفتد .

استفاده از روش های حرارتی از سال های ۱۹۵۰ میلادی شروع شده است و در حال حاضر متداول ترین روش های EOR در تمام دنیا می باشند . اکثر پروژه هایی که در این زمینه انجام شده اقتصادی بوده اند . تزریق همزمان بخار آب و گاز کربنیک نیز در پاره ای از مخازن جهان نتایج مناسبی داشته است .

روش های شیمیایی

تزریق مواد شیمیایی فرایندی است که به طور کلی مناسب اجراء در مخازن دارای نفت با درجه سبکی بالا تا متوسط می باشد . تزریق پلیمر ، تزریق مواد کاهنده کشش سطحی و تزریق

مواد قلیایی از مهمترین روش های تزریق مواد شیمیایی می باشد که تاکنون در تعدادی از مخازن مختلف در دنیا صورت گرفته است . انجام هر یک از این روش ها دارای محدودیت ها و شرایطی است که در اینجا به پاره ای از آنها اشاره می شود .

۱- تزریق پلیمر :

محدودیت های فنی در کاربرد این روش در درجه اول خصوصیات محلول و ثابت مواد شیمیایی در شرایط مخزن می باشد . دمای بالا ، شوری زیاد و پلمه سنگ های حساس به آب شیرین نیز از محدودیت های قابل ذکر هستند . مخازن دارای تراوایی کمتر از ۵۰ میلی داری اکثرأً مواجه با مشکل تزریق پذیری بخصوص در پلیمر های دارای وزن مولکولی زیاد می باشند . روش تزریق پلیمر و مواد قلیایی دارای پیچیدگی های خاص می باشند ولی از تزریق مواد کاهش دهنده کشش سطحی به عنوان پیچیده ترین روش در پروژه های ازدیاد برداشت از مخازن یاد می گردد . در بین این روش های تزریق پلیمر متداول ترین و اقتصادی ترین روش می باشد . معمولاً افزایش برداشتی بیش از ۵ درصد با این روش ها قابل پیش بینی نیست و از بین دهها پروژه ای که در آمریکا با این روش انجام شده است حدود CO_2 آنها اقتصادی بوده است .

۲- تزریق مواد قلیایی :

اساس فرایند مواد قلیایی بر فعل و انفعال محلول قلیایی با اسید آلی موجود در نفت خام می باشد که باعث فعال شدن مواد محرک سطحی می شود . این مواد یا در سطح جدایی آب و نفت در مخزن حرکت می نمایند یا در سطح تماس سنگ مخزن و سیال جذب می شود . در حالت اول کشش بین سطحی را کاهش داده و در حالت دوم خاصیت ترشوندگی را تغییر می دهند . این روش در مخازنی موثر است که میزان اسید های آلی آن در سطح قابل قبولی باشند . هزینه بسیار بالا و بازیافت محدود از موارد محدود کننده این روش می باشند .

۳- تزریق مواد کاهش دهنده کشش سطحی :

اگر چه اولین تحقیقات مربوط به تزریق مواد کاهش دهنده کشش سطحی مربوط به سال ۱۹۲۷ است ولی توجه به این روش عمدتاً به سال های دهه ۶۰ میلادی بر می گردد . نظریه مواد کاهش دهنده کشش سطحی بر این مبنا می باشد که نیرو های موئینه و کشش سطحی باعث نگهداری نفت

باقیمانده در سنگ مخزن می باشد . بمنظور کاهش کشش سطحی بین آب و نفت به میزان قابل توجهی از کاهنده های کشش سطحی استفاده می شود که تا حدودی قابلیت حل شدن در نفت و به همان میزان قابلیت حل شدن در آب را دارند و می توانند فاصله رسیدن به امتزاج بین این دو سیال را کاهش دهند .

روش های میکروبی :

این روش ها عبارتند از :

- رانش میکروبی (Microbial Flooding)

- بازیافت میکروبی دوره ای (Cyclic Microbial Recovery)

رانش میکروبی (Microbial Flooding) :

رانش میکروبی توسط تزریق محلولی از میکروارگانیسمها و مواد غذایی مانند ملاس صنعتی درون چاه تزریقی حفر شده در مخزن نفت صورت می گیرد. تغذیه میکروارگانیسمها از مواد غذایی آنها باعث ایجاد مواد مختلفی از جنس اسیدها و سورفاکتانتها تا گازهایی مانند هیدروژن و دی اکسیدکربن می شود. این محصولات به روشهای گوناگونی بر نفت در جا تأثیر گذاشته و موجب حرکت آسانتر آن در مخزن به سوی چاه های تولیدی می شوند.

بازیافت میکروبی دوره ای (Cyclic Microbial Recovery) :

روشهای میکروبی برای رانش و بالا بردن تولید نفت شامل رانش میکروبی و بازیافت میکروبی دوره ای می باشد. بازیافت میکروبی دوره ای، یکی از جدیدترین روشهای EOR است که نیاز به تزریق محلولی از میکروارگانیسمها و مواد غذایی به درون مخزن نفت دارد. این تزریق بسته به عمق و تراوایی سازند نفت دار در طول چند ساعت قابل انجام است.

وقتی که عمل تزریق صورت گرفت چاه به مدت چند روز یا چند هفته بسته می شود. در طول این مدت که اصطلاحاً زمان کشت میکروب (incubation) یا دوره خیساندن (Soak period) نامیده می شود میکروارگانیسمها با استفاده از غذای آماده شروع به تکثیر و رشد می کنند. تولیدات

متابولیسمی این میکروارگانیسمها به روشهای مختلف باعث حرکت آسانتر نفت درجا و تسهیل در تولید نفت می‌گردند، بسته به نوع میکروارگانیزم استفاده شده، محصولات مختلفی همچون اسیدها، سورفاکتانت‌ها و برخی گازها عمدتاً هیدروژن و دی‌اکسید کربن در مخزن تولید می‌شوند. در انتهای این دوره زمانی، چاه باز شده و نفت و محصولات ناشی از این فرایند استخراج می‌گردند. در این روش نیاز به تزریق همیشگی و پیوسته وجود ندارد ولی وقتی فاز تولید به انتها رسید، میکروارگانیزمها و مواد غذایی جدید در صورت نیاز به تکرار عملیات باید دوباره در مخزن تزریق گردند.

شکافت هیدرولیکی (Hydraulic Fracturing):

علاوه بر روشهای بازیافت که در اشکال قبل به آنها اشاره شد، روش شکافت هیدرولیکی را نیز می‌توان به عنوان یکی از روشهای بهبود تولید نفت به حساب آورد. از روش شکافت هیدرولیکی برای ایجاد گذرگاههایی در سنگ مخزن استفاده می‌شود که باعث سهولت حرکت نفت به سمت چاههای تولیدی می‌شوند. این روش برای مخازنی کاربرد دارد که در آنها سنگ مخزن فشرده شده و منافذ بین تخلخلها تنگ یا مسدود شده‌اند و در مقابل جریان نفت مقاومت می‌کنند. برای ایجاد شکستگی در سنگ و تسهیل حرکت نفت، از تزریق سیالات محتوی ماسه به درون مخزن تحت فشار مناسب استفاده می‌شود. البته باید خیلی مواظب بود که شکافها به قسمت آبدار مخزن برخورد نکنند وگرنه میزان آب در زونهای تولید نفت بالا خواهد رفت. برای انجام این کار چندین تکنیک مختلف توسط امور پژوهش وزارت انرژی امریکا طراحی شده‌اند.