

روش‌های مدیریت آب همراه نفت در صنعت نفت و گاز

حافظ گلستانی فر*، مدیریت HSE شرکت ملی نفت ایران ■ هرمز قلاوند، معاونت توسعه و مهندسی شرکت ملی نفت ایران

مقدمه

آب همراه^۱ آبی است که در مخزن همراه با منبع هیدروکربنی است و با نفت خام و گاز طبیعی استخراج می‌گردد. آب همراه غالباً هم‌زمان با تشکیل نفت و گاز در خلل و فرج مخزن تشکیل می‌شود که به علت چگالی بیشتر از مواد نفتی در لایه‌ی زیرین لایه هیدروکربنی قرار گرفته و به هنگام استخراج نفت و گاز به سطح زمین راه می‌یابد. آب همراه یا آب‌شور شامل آب سازند، آب تزریق‌شده به مخزن، مقدار کمی آب همراه میعان یافته و مقادیر کمی از ترکیبات شیمیایی استفاده شده در عملیات تولید است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب همراه معمولاً به موقعیت جغرافیایی میدان، سازند زمین‌شناسی که می‌تواند در تماس با آب همراه باشد و نوع هیدروکربن تولیدی و روش‌های تولید و استخراج بستگی دارد [۱].

بر اساس آمارهای سال ۲۰۰۳ تخمین زده شد که ۶۶۷ میلیون تن (حدود ۸۰۰ میلیون مترمکعب) از آب همراه در سراسر جهان تخلیه گردید که شامل ۲۱/۱ میلیون تن به آبهای دریایی شمال آمریکا، عمدتاً خلیج مکزیک آمریکا و ۴۱۹-۳۵۸ میلیون تن به آبهای دریایی اروپا عمدتاً دریای شمال است. همچنین بر اساس آمارهای سال ۲۰۰۴ در ایالات متحده‌ی آمریکا به‌طور متوسط به‌ازای هر بشکه نفت استخراجی، ۸ بشکه آب همراه از چاه بیرون می‌آید.

خصوصیات آب همراه و حجم آن در چاه‌ها و میدان‌های مختلف متفاوت است. آب همراه تولیدی از چاه‌های گازی با آب همراه تولیدی از چاه‌های نفتی متفاوت است. بزرگ‌ترین تفاوت آنها اینست که آب همراه تولیدی از چاه‌های گازی علاوه بر آب سازند حاوی آب میعان شده است. همچنین غلظت ترکیبات آلی فرار آب تولیدی این میادین بیشتر از میادین نفتی است [۲].

حجم آب تولیدی از مخازن گازی به‌مقدار قابل‌توجهی کمتر از مخازن نفتی است اما آلودگی آلی آن در مقایسه با چاه‌های نفتی بیشتر است. معمولاً در چاه‌های با عمر کم ممکن است مقدار آب همراه کم باشد اما در چاه‌های با عمر زیاد که مقدار زیادی مواد هیدروکربنی از آنها برداشت شده ممکن است تولید آب همراه بیشتر باشد [۳و۴].

در اکثر آب‌های همراه چندین گروه از ترکیبات وجود دارد:

- نمک (شوری، کل جامدات محلول یا هدایت الکتریکی)
- روغن و چربی
- ترکیبات آلی و معدنی (مانند مواد شیمیایی به‌وجود آورنده‌ی سختی مانند کلسیم، منیزیم، سولفات‌ها و باریوم)
- افزودنی‌های شیمیایی مورد استفاده در حفاری (شامل آنتی‌فوم، بیوسایدها، مواد فعال سطحی، بازدارنده‌های خوردگی)
- جامدات و گازهای محلول
- فلزات سنگین
- مواد رادیواکتیو طبیعی

یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی آب همراه، مدیریت صحیح آنست؛ به‌گونه‌ای که برخی مواقع هزینه‌های مورد نیاز جهت حذف آلودگی‌های یک پسماند یا کنترل انتشار آلودگی آن با اعمال مدیریتی صحیح و ابتکاری به‌میزان چشمگیری کاهش خواهد یافت. امروزه روش‌های متعددی برای مدیریت آب همراه (که مشخصات آن از مکانی به مکان دیگر متغیر است) وجود دارد. مدیریت آب همراه بین تأسیسات خشکی و دریا متفاوت است که دلیل آن فضا و محدودیت‌ها و آلاینده‌های اولیه‌ی حاصل از تخلیه در تأسیسات دریایی نسبت به خشکی است. در همه‌ی چاه‌ها آب همراه وجود دارد. بنابراین با اعمال روش‌های مدیریتی می‌توان از اثرات زیست‌محیطی آن کاست و دوباره از آن استفاده کرد.

انتخاب یک روش مدیریت برای آب همراه در یک مکان خاص تابع عوامل مختلف از جمله موارد زیر است:

- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب
- موقعیت سایت
- در دسترس بودن زیرساخت‌ها و تجهیزات آب همراه
- حجم، رقیق‌سازی و میزان جریان آب تولیدی
- روش‌های تصفیه و دفع منطبق با مقررات ملی
- تمایل شرکت‌ها برای به‌کار بردن یک فن‌آوری مناسب طوری که نگرانی وجود نداشته باشد [۱].

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (hafezg143@gmail.com)

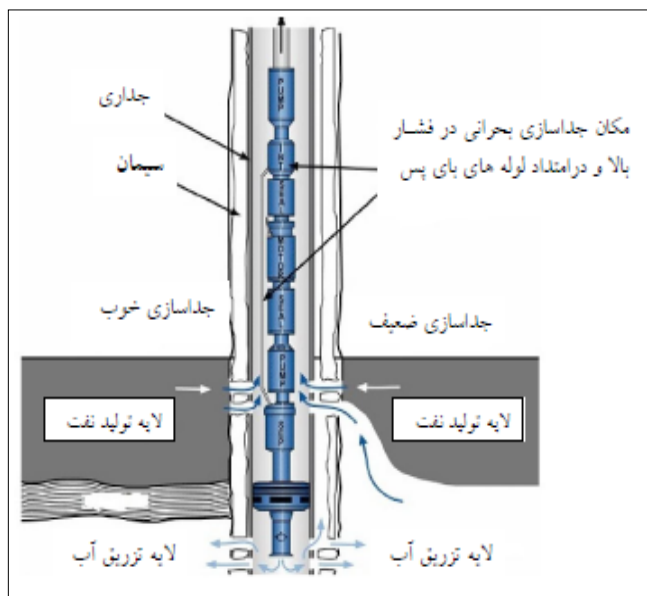
می‌شود و آب و نفت را در دهانه‌ی چاه جدا می‌کند. جریان غنی از نفت به سطح پمپ می‌گردد؛ در حالی که جریان غنی از آب بدون اینکه به سطح بیاید به‌طور مستقیم به یک سازند تزریق می‌شود. این امر می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها و بهبود حفاظت از محیط‌زیست گردد.

ب) فن‌آوری جداسازی آب/گاز؛ که در انتهای چاه گازی نصب می‌شود و گاز و آب را در دهانه‌ی چاه جدا می‌کند به چهار دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شود: ابزار بای‌پس، پمپ‌های میله‌ای پلانجر، پمپ‌های شناور الکتریکی و پمپ حفره‌ی پیش‌رونده. دو شاخص؛ آب همراه و عمق چاه تعیین می‌کنند چه نوع ابزاری از جداسازهای آب/گاز به کار روند [۵۶].

ج) فن‌آوری جداسازی بستر دریا؛ که با آن می‌توان آب همراه را به حداقل رساند و اجازه نداد آب همراه به داخل چاه وارد شود. همچنین حجم آبی را که به سطح یا سکو می‌رسد کاهش می‌دهد. این نوع از فن‌آوری برای جداسازی نفت و آب به کار می‌رود [۱].

۱-۲-۲- روش زهکشی آب در محل

این روش که به آن تولید مجزا نیز می‌گویند بر اساس تئوری هیدرودینامیکی کنترل مخروطی شدن آب، باعث جریان ورودی مجزای آب و نفت به داخل چاه می‌شود. مطابق این تئوری اگر نفت و آب در سنگ مخزن به‌طور کاملاً مستقل و مجزا تشکیل گردند به‌طور طبیعی از یکدیگر جدا می‌شوند و



سیستم هیدروسیکلون نوع درون‌چاهی جداسازی آب-نفت نصب شده

مراحل مختلفی که در یک طرح مدیریت آب همراه باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

- جلوگیری از تشکیل و تولید آب در ته‌چاه و جلوگیری از راه‌یافتن آن به سطح زمین
- تزریق مجدد آب به لایه‌های زیرزمینی به‌منظور نگهداری و تأمین فشار مخزن
- تصفیه و استفاده‌ی مجدد در سطح زمین
- دفع آب همراه تولیدی در لایه‌های عمیق آبی

۱-۱- فن‌آوری‌های مدیریت آب همراه

۱-۱-۱- فن‌آوری‌هایی برای کاهش حجم آب وارد شده به چاه

در این روش که از طرق شیمیایی و مکانیکی از راه‌یافتن آب به لایه‌های زیرزمینی جلوگیری می‌شود دو روش معمول به‌کار می‌روند؛ وسایل انسدادکننده‌ی مکانیکی و شیمیایی.

۱-۱-۱-۱- وسایل مسدودکننده‌ی مکانیکی

در این روش با استفاده از سیمان و وسایل مکانیکی مسیر جریان آب را در مخزن مسدود می‌کنند. روش‌های مختلفی برای مسدود کردن آب واردشده به چاه وجود دارد؛ از جمله: سیمان، توپک دوتایی، مسدودکننده‌ی موقت، توپک لوله‌ی استخراج، مجرایند ماسه‌ای چاه، متروکه کردن چاه، حفاری بین‌چاهی، کنترل الگوی جریان، چاه‌های افقی

۱-۱-۲- مواد شیمیایی مسدودکننده

در روش‌های شیمیایی با تزریق مواد پلیمری خاص به مخزن، گرانشی آب همراه را افزایش می‌دهند تا یک ماده‌ی ژل‌مانند پایدار به‌وجود آید و بدین ترتیب قابلیت جریان یافتن آب محدود می‌شود.

۱-۲-۱- فن‌آوری‌هایی برای کاهش حجم آب رسیده به سطح

در این روش که در ته چاه انجام می‌شود از راه یافتن آب به سطح زمین جلوگیری می‌گردد. عملیات جداکننده‌ی آب و فاز هیدروکربنی در چاه‌های گاز توسط مکانیسم جداسازی ثقلی و در چاه‌های نفت توسط یک ماده‌ی شیمیایی مایع به مایع انجام می‌شود.

۱-۲-۱- جداسازهای درون‌چاهی

الف) فن‌آوری جداسازی نفت/آب؛ که در انتهای یک چاه نصب

انسداد سازند یا صدمه به تجهیزات نشود [۸].
تصفیه‌ی آب همراه قبل از تزریق بر اساس استانداردهای علمی به‌طور معمول نیازمند جلوگیری از کاهش بار تزریق است. این کار شرایط را برای تخلیه‌ی آب همراه به داخل زیستگاه‌های دریایی فراهم می‌آورد؛ حتی اگر در نوبت تزریق با شکست مواجه شود. بر اساس توصیه‌ی OSPAR^۳ سال ۲۰۰۶ حداقل میزان تخلیه‌ی آب همراه ۳۰ mg/l باشد.

۱-۳-۳-۳- تزریق زیرزمینی برای استفاده در آینده

آب همراه می‌تواند به‌طور بالقوه در سفره‌های آب کم‌عمق زیرزمینی برای استفاده در آینده ذخیره شود. این فرآیند به‌عنوان ذخیره‌ی آبخوان و بازیابی (ASR)^۴ شناخته شده است. اکثر آبهای همراه بسیار شور است. هزینه‌ی از بین بردن شوری آب همراه مانعی برای تزریق آن به یک سفره به‌شمار می‌رود. به‌ر حال بسیاری از آبهای همراه نسبتاً تازه می‌توانند به‌طور مستقیم، بدون تصفیه یا با تصفیه‌ی کم استفاده شوند.

۱-۳-۳-۴- استفاده برای اهداف هیدرولوژیکی

علاوه بر ارزشی مانند آب، آب همراه سیالی است که می‌تواند برای اشغال فضا، مقاومت زمین یا حرکت سیال (مثلاً برای اهداف هیدرولوژیکی) استفاده شود. تزریق آب همراه برای افزایش بازیابی نفت مثالی خوب از استفاده‌ی هیدرولوژیکی آب همراه برای فشار آوردن نفت به سمت چاه تولیدی است.

۱-۳-۳-۵- کنترل فرونشست

از آب همراه می‌توان برای کنترل فرونشست سطح زمین استفاده کرد. کنترل فرونشست بدلیل کاهش افت ارتفاع سطح زمین در اثر حذف آبهای زیرزمینی نفت و گاز اتفاق می‌افتد. این سیالات حمایت فیزیکی از خاک و لایه‌های بالاتر از آن را فراهم می‌کنند. هنگامی که مقدار زیادی از مایعات استخراج می‌شود ممکن است سازندهای بالایی فشرده شوند یا فرو بریزند.

۱-۳-۳-۶- استفاده در کشاورزی

اگر آب همراه مطابق با نیازمندی‌های کیفیت آب مورد استفاده در کشاورزی باشد به‌طور بالقوه می‌تواند به‌عنوان جایگزین آن به‌کار رود. در مناطق خشک و کم‌آب اگر آب همراه آلودگی کمی داشته باشد و پس از تصفیه به شرایط مساعدی برسد می‌تواند برای استفاده‌هایی مانند آبیاری، آب

آب، به مواد هیدروکربنی آلوده نخواهد شد. در واقع، چاه به‌طور دوگانه تکمیل می‌گردد. بدین ترتیب که حفره‌های پایینی در ناحیه‌ی آبی قرار می‌گیرد و آب می‌تواند همزمان، اما مستقل از نفت، در مخزن تشکیل شود. این دو جریان تولیدی (آب و نفت) به‌وسیله‌ی یک توپک از یکدیگر جدا می‌شوند تا از اختلاط آب با فاز هیدروکربنی جلوگیری به‌عمل آید [۱].

۱-۳-۳-۱- فن‌آوری‌های بازیافت و استفاده‌ی مجدد

آب همراه را با لحاظ شرایط خاص کیفیت آن می‌توان دوباره استفاده کرد. برای فعالیتهای تولید دریایی، آب همراه معمولاً پس از تصفیه، به اقیانوس تخلیه‌ی مستقیم می‌شود. برای فعالیتهای تولید در خشکی، مدیریت آب همراه روش‌های مختلفی دارد. می‌توان آب همراه را از طریق تخلیه، تزریق زیرزمینی جهت دفع، تزریق زیرزمینی جهت افزایش بازیافت نفت، تبخیر، دفع تجاری خارج از مکان تولید و استفاده‌ی مجدد مفید در مصارف آبیاری (کشاورزی و دامداری)، اطفاء حریق، استخر ذخیره، کنترل گرد و غبار و ... مدیریت و استفاده کرد [۷].

۱-۳-۳-۱- تزریق برای افزایش بازیابی نفت

تزریق مجدد آب همراه به یک سازند زیرزمینی روش اکثراً معمول برای مدیریت آب همراه است. مقداری از آب همراه صرفاً برای دفع تزریق می‌شود و اکثر آب همراه به‌منظور حفظ فشار مخزن به سمت یک چاه تولیدی تزریق می‌گردد. این عمل را می‌توان افزایش بازیابی نفت^۲ (EOR) نامید. در آمریکا حجم قابل‌ملاحظه‌ای از آب همراه در تزریق می‌شود که در کالیفرنیا نزدیک به ۲۵۰۰۰ چاه تزریق آب همراه وجود دارد. حجم تقریبی تزریق سالانه ۱/۸ میلیارد بشکه است؛ ۳۶۰ میلیون بشکه به چاه‌های دفعی، ۹۰۰ میلیون بشکه تزریق آب به مخزن و ۵۶۰ میلیون بشکه تزریق بخار. تزریق بخار یکی از روش‌هایی است که به‌طور گسترده برای استخراج نفت‌های سنگین به کار می‌رود [۱].

۱-۳-۳-۲- تصفیه قبل از تزریق

فن‌آوری تصفیه‌ی آب همراه، تبدیل آب همراه با کیفیت کم به آب با کیفیت مناسب از طریق حذف آلاینده‌ها و ناخالصی‌هاست. آب همراه از طریق روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه می‌شود. موضوع مهم، اطمینان از سازگاری آب تزریقی به سازند با آب مخزن دریافت‌کننده‌ی آبست تا سبب

دام و تالابها به کار رود. شاید مهم‌ترین مانع برای استفاده از آب همراه جهت آبیاری مقدار آب‌نمک باشد. علاوه بر این، اگر آب نوشیدنی دام حاوی نمک بیش از حد باشد می‌تواند باعث افزایش اختلالات گوارشی شود. بنابراین آب همراه نباید حاوی نمک زیادی باشد.

۱-۳-۷- استفاده‌های صنعتی

از دیگر قابلیت‌های آب همراه امکان استفاده‌ی صنعتی از آنست. در مناطقی که منابع آبهای سطحی و زیرزمینی کمیاب است اگر آب همراه کیفیت کافی داشته باشد می‌تواند منبع جایگزین قابل توجهی در بسیاری از فرآیندهای صنعتی باشد. درجه‌ی قبل از تصفیه نیازمند کیفیت آب همراه است و استفاده‌ی صنعتی دارد.

۱-۴-۲- فن آوری‌های تصفیه‌ی آب همراه

در بسیاری از موارد تصفیه‌ی آب همراه برای دستیابی به کیفیت مورد نظر برای استفاده‌های سودمند مانند آبیاری، مصرف حیوانات، ترمیم زمین و آب آشامیدنی ضروری است. تصفیه‌ی آب همراه ممکن است نیازمند مطابقت با مقررات دفع یا استفاده‌ی مجدد از آنها باشد. آب همراه در خشکی و دریا باید تصفیه شود تا محتوای هیدروکربنی آن تا حد مجاز کاهش یابد [۱].

۱-۴-۱- شناورسازی

فن آوری شناورسازی به‌طور گسترده برای تصفیه‌ی آب همراه میادین نفتی استفاده می‌شود. مزیت اصلی شناورسازی بر ته‌نشینی آنست که در این روش می‌توان ذراتی که بسیار کوچک و سبک هستند و به آرامی ته‌نشین می‌شوند را کامل‌تر و در زمان کوتاه‌تری حذف کرد. در این فرآیند از حباب‌های گاز ریز (هوا) برای جداسازی جامدات معلق استفاده می‌گردد که نمی‌توانند از طریق ته‌نشینی جدا شوند. هنگامی که گاز به درون آب همراه تزریق می‌شود جامدات معلق و قطرات نفت به حباب‌های هوا می‌چسبند و با آن بالا می‌آیند و این منجر به تولید کف در سطح شده و توسط اسکیم در سطح جدا می‌گردند.

برخی انواع سیستم‌های شناورسازی عبارتند از:

■ واحدهای شناورسازی گاز حل‌شده (DGF)

■ واحدهای شناورسازی گاز پخش‌شده (IGF)

■ شناورسازی القایی گاز

■ شناورسازی القایی آی‌اس‌اف (ISF)

■ شناورسازی با خلأ

■ واحدهای شناور فشرده‌ی ایپکون (CFU)

۱-۴-۲- هیدروسیکلون‌ها

هیدروسیکلون‌ها چندین دهه است که برای تصفیه‌ی آب همراه استفاده می‌شوند. تا اواسط ۱۹۹۰ بیش از ۳۰۰ هیدروسیکلون در سکوها دریایی مستقر شدند. هیدروسیکلون‌ها برای جداسازی جامدات از مایعات بر اساس چگالی موادی که جدا می‌شوند به کار می‌روند.

هیدروسیکلون بر اساس اختلاف وزن مخصوص ذرات معلق در آب، به‌علاوه‌ی نیروی گریز از مرکز ایجاد شده توسط فشار ورودی آب، جداسازی ذرات جامد از مایع و زدودن قطرات نفت و روغن از آب آلوده به مواد نفتی را انجام می‌دهد. آب همراه به بخش مخروطی هیدروسیکلون پمپ می‌شود. آب سنگین‌تر به سمت جریان‌های گردابی خارج از سیکلون می‌رود؛ در حالی که نفت سبک‌تر به سمت جریان‌های گردابی داخل سیکلون می‌رود [۶].

۱-۴-۳- روش شمع‌های جاذب

به‌دلیل فضای کم سکوهای نفتی، شمع‌های جاذب که حداقل فضا را اشغال می‌کنند قابل استفاده در سکوها هستند. ساختار داخلی این شمع‌ها که به‌صورت یک استوانه‌ی فلزی عمودی در داخل دریا قرار می‌گیرند از تعدادی صفحه‌ی فلزی و یک لوله‌ی بالابرنده تشکیل شده است. آب آلوده به مواد نفتی از سطح سکو به داخل این استوانه فرستاده می‌شود. صفحات مورب تعبیه شده با توجه به زمان ماند پیش‌بینی شده برای پساب (۳۰-۱۰



شکل ۲ | واحد شناورسازی در یک سکوی دریایی [۶]

هیدروسیکلون‌ها کار می‌کنند و از طریق نیروی سانتریفیوژ روغن را از آب جدا می‌کنند و قادر به حذف قطرات روغن با قطرات کمتر است. در این سیستم‌ها حرکت چرخشی سیال باعث می‌گردد دو فاز نفت و آب از یکدیگر جدا شوند.

۱-۴-۶- فن‌آوری‌های فیلتراسیون غشایی (ممبران)

فرآیند غشایی که از فن‌آوری‌های معمول تصفیه‌ی نمک از آب همراه است به شیوه‌های فیزیکی برای جداسازی حلال از نمک‌های محلول در آن با استفاده از غشاهای نیمه‌تراوا اطلاق می‌شود. غشاء لایه‌ای نازک می‌تواند اجزای یک سیال را به‌طور انتخابی از آن جدا کند. تمام موادی که به‌عنوان غشاء عمل می‌کنند خاصیتی کلی دارند؛ بدین صورت که مواد مختلف را به‌طور انتخابی از خود عبور می‌دهند.

چهار نوع فرآیند فیلتراسیون غشایی برای تصفیه‌ی پساب‌های آلوده به ترکیبات نفتی وجود دارد:

- میکروفیلتراسیون (MF)
- اولترافیلتراسیون (UF)
- اسمز معکوس (RO)

ذرات جدا شده از سیستم را درون خود گیر انداخته و توسط لوله‌ی بالا برنده به سطح بالای استوانه منتقل می‌کند. نفت از قسمت بالا توسط پمپ خارج شده و آب تصفیه شده با یک لوله‌ی خروجی از پایین دستگاه خارج می‌گردد.

۱-۴-۴- روش استخراج حلال

از دیگر روش‌های جداسازی فیزیکی و شیمیایی جهت حذف روغن و مواد آلی از آب، روش استخراج حلال است. این فن‌آوری قادر به حذف اکثر روغن‌های پراکنده و محلول است. به‌طور معمول به‌سختی روغن محلول و آلی را حذف می‌کنند [۱]. انواع روش‌های استخراج جهت تصفیه‌ی آب آلوده به مواد هیدروکربوری عبارتند از:

- فن‌آوری استخراج پلیمری با محیط‌های متخلخل ماکرو (MPPE)
- فرآیند سی‌تور (CTour)

۱-۴-۵- سانتریفیوژها

سیستم‌های سانتریفیوژ تحت همان شرایط فیزیکی شبیه



■ نانوفیلتراسیون (NF)

۱-۴-۷- فن آوری های تصفیه حرارتی

فن آوری های تصفیه حرارتی برای آب همراه در ناحیه هایی به کار می روند که هزینه انرژی نسبتاً کم باشد. فن آوری های تصفیه حرارتی برای آب همراه قبل از توسعه فن آوری غشایی است. در سیستم های تقطیری، معمولاً با استفاده از انرژی حرارتی و تغییر فاز در محلول، آب پاکیزه به صورت بخار جدا شده و در قسمت های بعدی با تقطیر آن فرآیند نمک زدایی به پایان می رسد [۱].

فن آوری های تصفیه حرارتی شامل موارد زیر هستند:

■ تقطیر سریع چند مرحله ای (MSF)

■ تقطیر با تأثیر چندگانه (MED)

■ تقطیر بخار متراکم (VCD)

■ تقطیر MED-VCD

۱-۴-۸- تصفیه بیولوژیکی

از دیگر روش های تصفیه پساب که به کمک باکتری های هوازی و بی هوازی انجام می شود تصفیه بیولوژیکی است. در این روش میکروارگانیسم ها مواد نفتی موجود در غذا را به عنوان غذا مصرف کرده و آنرا به صورت دی اکسید کربن و آب دفع

پانویس ها

1. Produced water
2. Enhanced oil recovery
3. Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic
4. Aquifer storage and recovery
5. Skim pile
6. Macro Porous Polymer Extraction

منابع

Policies, Islamic Azad University, Arak Branch Civil Engineering Faculty, 2010.

[6] Veil JA, Puder MG, Elcock D, et al. A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane. US. D. o. E, Argonne National Laboratory, 2004.

[7] Colorado Energy Office. Produced Water Beneficial Use Dialogue: Opportunities and Challenges for Re-Use of Produced Water on Colorado's Western Slope, Report, 2014.

[8] F. E. Ciarapica, G. Giacchetta, The Treatment Of "Produced Water" In Offshore: Comparison Between Traditional Installations And Innovative Systems, 2010.

[۱] گلستانی فر حافظ، قلاوند هرمز، عرفانی زینب، حمیدای مریم. مدیریت آب همراه نفت برای کارشناسان HSE و متخصصین صنعت نفت و گاز، انتشارات آراین زمین، ۱۳۹۵ [2]- Reynolds Rodney R. "Produced Water and Associated Issues," A Manual for Independent Operator, Petroleum Technology Transfer Council, 2003.

[۳] صفرعلی اصغر، کریمی کاوه. آب همراه و راه حل های زیست محیطی آن، چهارمین همایش ملی دانشجویی مهندسی نفت، دانشگاه صنعت نفت، ۱۳۸۴

[۴] مهاجری لیلان، رعایایی عماد. استفاده از آب همراه در صنایع نفت و گاز به منظور حمایت از محیط زیست و حفظ منابع آب، ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز شماره ۱۱۴، مرداد ۱۳۹۳

[5] Mastouri R. A Time to Review The Produced Water Treatment Technologies, A Time to Look Forward for New Management