

بررسی روش‌های مختلف تصفیه آب تولیدی و انتخاب سیستم تصفیه مناسب به منظور استفاده مجدد از آب تصفیه شده در اهداف مختلف

محمدجواد زنده‌روی فرد^{۱*}، دانشگاه شیراز ■ سعید غفاری نژاد و محمدمعین پورحسینی، شرکت پتروفراساحل نیام کیش

چکیده

سیالات مخازن زیرزمینی به‌طور کلی مشتمل بر دو نوع هیدروکربنی و آبی هستند به‌طوری‌که همزمان با تولید نفت و گاز، بخش عظیمی از تولید در میادین نفت و گاز را آب تولیدی تشکیل داده و مشکلات زیست‌محیطی عدیده‌ای را به‌وجود می‌آورد. با توجه به مشکلات به‌وجود آمده ناشی از این پساب و مشکل کمبود آب در کشورمان، تصفیه و استفاده مجدد از آن امری ضروری است که هدف اصلی این پژوهش است. بدین منظور، پس از بررسی اجزای مختلف تشکیل‌دهنده آب تولیدی، به بیان مراحل مختلف تصفیه آب تولیدی در چهار مرحله پیش تصفیه، تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه نهایی پرداخته و در ادامه راه‌های استفاده مجدد از آب تولیدی به‌همراه سیستم تصفیه مناسب هر یک از آنها بیان خواهد شد. به‌منظور رعایت مسائل زیست‌محیطی دفع پساب آب تولیدی و با توجه به مخاطرات ناشی از آن و التزام پایبندی به قوانین و محدودیت‌های مربوطه، فعالیت‌های متعددی در خصوص تصفیه پساب انجام شده است. به‌طور مثال استفاده از واحدهای جداکننده ای‌پی‌آی و دستگاه شناورسازی هوا پیشنهاد شده است به‌نحوی که با استفاده از واحدهای جداکننده ای‌پی‌آی، هیدروسایکلون، واحد شناورسازی هوا و فیلتراسیون شنی بتوان مجدداً از پساب تصفیه شده استفاده کرد. همچنین به‌منظور استفاده مجدد از آب تولیدی در مصارف شهری، کشاورزی و آبیاری، اضافه شدن واحد میکروفیلتراسیون سرامیکی و بستر کربن فعال به واحدهای قبلی پیشنهاد شده است. در ادامه روش‌های مختلف افزایش کارایی این واحدها مورد بررسی قرار گرفته و استفاده از منعقدکننده‌ها برای واحد جداکننده ای‌پی‌آی، استفاده از سیستم‌های متناوب و استفاده از اریفیس‌هایی با نسبت گلوگاهی کمتر برای واحد شناورسازی هوا، کاهش اندازه‌ی دانه‌های فیلتراسیون برای واحد فیلتراسیون دانه‌ای و ایجاد پوشش آب‌دوست بر روی غشا برای واحد میکروفیلتراسیون به‌منظور افزایش کارایی این واحدها پیشنهاد شده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۱۲/۱۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۲/۱۸

واژگان کلیدی:

آب تولیدی، افزایش بازدهی، استفاده مجدد، تصفیه.

مقدمه

در طول میلیون‌ها سال زمین‌شناسی، نفت و گاز طبیعی در رسوبات متخلخل و بین لایه‌های متخلخل در درون زمین به تله افتادند. [۱] آب حاصل از دریاها و قدامی همراه با آب و نفت محبوس می‌شود که بعضاً بیش از سوخت‌های فسیلی موجود در مخزن قدمت دارند. لذا سیالات تولیدی مخزن، شامل آب باشد. همچنین در بعضی میادین نفتی، به‌منظور حرکت نفت به سمت چاه‌های تولیدی، ممکن است از روش تزریق آب استفاده شود. در بعضی مواقع، آب تزریقی با رسیدن به چاه تولیدی همراه با نفت و گاز تولید می‌شود که آب تولیدی نامیده می‌شود. [۲]

آب تولیدی به‌منظور رسیدن به مشخصه‌های محل تخلیه‌ی پساب که آب دریا یا مناطق مشابه است، لازم است تصفیه شود. [۳] بدین ترتیب محدودیت‌هایی برای میزان غلظت نفت باقی‌مانده در آب تولیدی به‌منظور تخلیه در دریا، تعیین شده است. به‌عنوان نمونه، طبق استاندارد آمریکا میزان نفت موجود در پساب تصفیه شده، بیش از ۴۲ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت روزانه و ۲۹ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت ماهانه مجاز نیست. [۴]

با توجه به اینکه آب تولیدی بخش مهمی از تولید در صنعت نفت را شامل می‌شود و همچنین در عملیات مختلف، حجم قابل‌توجهی آب مصرف می‌شود، تصفیه آن به‌منظور استفاده مجدد با حفظ الزامات زیست‌محیطی ضروری است. همچنین متأسفانه امروزه ایران با مشکل جدی کمبود آب مواجه است که با توجه به حجم بالای آب تولیدی، در آینده نیاز به تصفیه این آب بیشتر احساس می‌شود.

۱- اجزای تشکیل‌دهنده آب تولیدی

آب تولیدی دارای اجزای مختلفی است که حاصل از حل

در طول میلیون‌ها سال زمین‌شناسی، نفت و گاز طبیعی در رسوبات متخلخل و بین لایه‌های متخلخل در درون زمین به تله افتادند. [۱] آب حاصل از دریاها و قدامی همراه با آب و نفت محبوس می‌شود که بعضاً بیش از سوخت‌های فسیلی موجود در مخزن قدمت دارند. لذا سیالات تولیدی مخزن، شامل آب باشد. همچنین در بعضی میادین نفتی، به‌منظور حرکت نفت به سمت چاه‌های تولیدی، ممکن است از روش تزریق آب استفاده شود. در بعضی مواقع، آب تزریقی با رسیدن به چاه تولیدی همراه با نفت و گاز تولید می‌شود که آب تولیدی نامیده می‌شود. [۲]

آب تولیدی به‌منظور رسیدن به مشخصه‌های محل تخلیه‌ی پساب که آب دریا یا مناطق مشابه است، لازم است تصفیه شود. [۳] بدین ترتیب محدودیت‌هایی برای میزان غلظت نفت باقی‌مانده در آب تولیدی به‌منظور تخلیه در دریا، تعیین شده است. به‌عنوان نمونه، طبق استاندارد آمریکا میزان نفت موجود در پساب تصفیه شده، بیش از ۴۲ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت روزانه و ۲۹ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت ماهانه مجاز نیست. [۴]

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (mjzandavifard@gmail.com)

و گاز از آن تولید شده است. [۱۱] با توجه به این نکته که آب تولیدی در واقع آب دریای‌های قدیمی در خلل و فرج سنگ مخزن هستند، بنابراین وجود فلزاتی از آب دریا در آب تولید شده بسیار محتمل است. با این وجود، حضور بعضی فلزات در غلظت‌های بالاتر در آب تولیدی نیز محتمل است که از سایر منابع وارد این آب شده‌اند. فلزاتی با غلظت‌های بالا در آب تولیدی شامل باریوم، کادمیوم، کروم، مس، آهن، سرب، نیکل و زینک هستند. [۱۲] وجود زینک و سرب در آب تولیدی، می‌تواند ناشی از تماس این آب با سطح استیل تجهیزات مورد استفاده باشد. [۹]

چندین ماده‌ی رادیواکتیو نیز در آب تولیدی وجود دارد. بیشترین فراوانی به رادیوم ۲۲۶ و رادیوم ۲۸ اختصاص دارد. این ماده‌های رادیواکتیو، ناشی از فروپاشی اورانیوم و توریموم خاکرس و بعضی ساختارهای مشخص موجود در مخازن هیدروکربنی است. با وجود اینکه این دو ایزوتوپ رادیوم موجود در آب تولیدی از منابع مختلفی هستند، اما غلظت آنها در آب تولیدی به هم نزدیک است. [۱۳]

۱-۱- میزان سمی بودن آب تولیدی

در طی سال‌های اخیر، به‌منظور شناسایی عوامل سمیت آب تولیدی، چندین مطالعه انجام شده است. البته غلظت ماده‌های شیمیایی در هر آب تولیدی متفاوت است و این موضوع، امکان کلی‌گویی درباره‌ی عوامل آلوده‌کننده‌ی آب تولیدی را سخت می‌کند. در بیشتر مطالعات انجام گرفته، غلظت بالای مواد جامد حل شده در آب تولیدی و وجود یون‌های تغییر یافته در این آب نسبت به آب دریا را به‌عنوان عامل سمی بودن این آب ذکر کرده‌اند. [۱۴، ۱۵، ۱۶] غلظت بالای پتاسیم و منیزیم نیز می‌تواند به‌عنوان عوامل سمیت آب تولیدی شناخته شوند. هیقاشی و همکارانش^۳، با استفاده از آنالیز و بررسی آب تولیدی در کالیفرنیا، نتیجه گرفتند یکی از عوامل سمی کردن آب تولیدی، غلظت بالای فلزات آن است. بیشترین غلظت نیز برای عناصر باریوم و استرونیوم یافت شده است. [۱۷]

در سال ۱۹۹۲، سائر و همکارانش^۴، وجود هیدروژن سولفید و کل هیدروکربن را به‌عنوان عوامل اصلی آلوده‌کننده‌ی آب تولیدی شناسایی کردند. [۱۸] این نتایج توسط شیف و همکارانش نیز به‌دست آمد. [۱۹] در یکی دیگر از تحقیقات انجام گرفته در سال ۱۹۹۲، وجود هیدروکربن‌های فرار، اسیدهای آلی و فنول‌ها، به‌عنوان عوامل سمی موجود در آب تولیدی تشخیص داده شد. [۲۰]

شدن املاح سازنده‌های زیرزمینی در آنها است. این اجزا اعم از نمک‌های غیرآلی، چندین نوع فلز و محدوده‌ی وسیعی از مواد شیمیایی آلی انواع مختلفی از یون‌های غیرآلی که میزان شوری آب تولیدی را تعیین می‌کنند، مانند سدیم، کلسیم، استرانیوم، منیزیم، پتاسیم، سولفات، کلر، سولفید و آمونیاک است. [۱۱]

هیدروکربن‌ها، بیشترین مخاطرات زیست‌محیطی در آب تولیدی از مخزن را دارند. بیشتر هیدروکربن‌های موجود در آب تولیدی را هیدروکربن‌های آروماتیک تک‌حلقه‌ای، بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن (BTEX) و هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی کم تشکیل می‌دهند. غلظت این مواد می‌تواند در محدوده ۰/۰۶۸ تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر باشد. میزان غلظت BTEX در آب تولیدی از چاه‌های گازی، بیشتر از آب تولیدی از چاه‌های نفتی است. [۵]

هیدروکربن‌های اشباع (آلفاتیک) یا آلکان‌ها با وزن مولکولی نزدیک به BTEX‌ها، در غلظت‌های کمتر از هیدروکربن‌های آروماتیک تک‌حلقه‌ای در آب تولیدی وجود دارند. [۶] هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHs)، که دارای دو و یا تعداد بیشتری حلقه‌ی آروماتیکی هستند، به‌علت سمیت بالا و مقاومت آنها در محیط‌های آبی، بیشترین نگرانی‌های محیط‌زیستی در مورد هیدروکربن‌های نفتی را به خود اختصاص داده‌اند. میزان غلظت این مواد در محدوده‌ی ۰/۰۴ تا ۳ گرم بر لیتر قرار دارد. [۵]

میزان غلظت کل کربن آلی موجود در آب تولیدی از کمتر از ۰/۱ تا ۱۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است و با توجه به محل قرارگیری چاه متفاوت است. بیشتر این ذرات در آب تولیدی تصفیه شده به‌صورت کلوئیدی یا محلول هستند. بنابراین در بیشتر مواقع، میزان کربن آلی حل شده (DOC) با میزان کل کربن (TOC) برابر است. بیشترین میزان فراوانی در میان اسیدهای آلی در آب تولیدی، مربوط به اسیداستیک است. این میزان با افزایش جرم مولکولی اسید کاهش می‌یابد. [۷، ۸ و ۹]

غلظت کل فنول موجود در آب تولیدی، حدود ۰/۶ تا ۲۳ میلی‌گرم بر لیتر است. به‌علت سمیت بالای فنول‌های آلکیلی مانند استروژن‌ها، جهت کاهش تخریب زیست‌محیطی لازم است این مواد با ماده‌های کم‌خطر، جایگزین شوند. [۱۰]

آب تولیدی ممکن است حاوی چندین فلز محلول در آب باشد. حضور فلزات و غلظت آنها در منابع مختلف متفاوت است و وابسته به دوره و ساختار زمین‌شناسی منطقه‌ای دارد که نفت

۲- روش‌های مختلف تصفیه‌ی آب تولیدی

شناورسازی گاز^۱ است که می‌توان از هوا یا نیتروژن استفاده کرد. البته استفاده از نیتروژن به‌علت ملاحظات ایمنی مناسب‌تر است. در این روش، حباب‌های گاز با چسبیدن به ذرات ریز معلق و قطره‌های نفت، سرعت بالا آمدن آنها را افزایش می‌دهند. [۲۳] شکل ۱، نمایی از ساختار یک دستگاه دمنده‌ی گاز را نشان می‌دهد.

۲-۳- تصفیه‌ی ثانویه

در تصفیه‌ی ثانویه، ساختارهای آلی نفت حل شده و سایر آلوده‌کننده‌های آلی، با استفاده از میکروارگانیسم‌ها در شرایط بی‌هوای، نیمه‌هوای و یا هوای، به آب، متان و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. فرآیندهای تصفیه‌ی بیولوژیکی می‌تواند به‌طور عمده به دو دسته تقسیم شود:

۱- فرآیندهای رشد معلق مانند فرآیند لجن فعال^۱، راکتورهای ناپیوسته‌ی متوالی^{۱۱}، بیوراکتور پیوسته‌ی هم‌زن دار^{۱۲}، بیوراکتورهای غشایی^{۱۳} و تالاب‌های هواده‌ی^{۱۴}.

۲- فرآیندهای رشد ضمیمه مانند تری کلینگ فیلتر، راکتور بستر سیال و دیسک بیولوژیکی چرخان.

در سال‌های اخیر، با استفاده از ترکیب و تلفیق سیستم‌های فوق، کارایی این مرحله افزایش یافته است. [۲۵]

۲-۴- تصفیه‌ی نهایی یا ثالثیه

به فرآیندهایی که بعد از تصفیه‌ی ثانویه و به‌منظور رسیدن به پساب تصفیه شده با بالاترین کیفیت انجام می‌شود، فرآیندهای نهایی تصفیه می‌گویند. این مرحله شامل فرآیندهای فیلتراسیون شنی، کربن فعال، اکسیداسیون شیمیایی، جداکننده‌ی غشایی مانند ترافیلتراسیون و اسمز معکوس است.

۲-۵- دیگر روش‌های تصفیه‌ی پساب

از دیگر روش‌های تصفیه‌ی پساب می‌توان به تبادل یونی، الکترودیالیز و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته مانند: هیدروژن پروکساید/امواج فرابنفش، ازون‌زنی، فتوکاتالیز، الکترواکسیداسیون شیمیایی و اکسیداسیون با استفاده از آب فوق‌بحرانی اشاره کرد.

۳- راه‌های استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی و سیستم مناسب

تصفیه‌ی پساب

آب تولیدی از میادین نفتی نیازمند تصفیه‌ی مناسب است. پساب تصفیه شده یا در محل‌های مناسب تخلیه می‌شود و یا به‌صورت‌های مختلف مورد استفاده‌ی مجدد قرار می‌گیرد.

تصفیه‌ی پساب‌های نفتی می‌تواند شامل چهار مرحله باشد: ۱- فرآیندهای قبل از تصفیه‌ی پساب ۲- تصفیه‌ی اولیه ۳- تصفیه‌ی ثانویه ۴- تصفیه‌ی ثالثیه یا نهایی. [۲۱] با توجه به محل تخلیه و نوع استفاده از پساب تصفیه شده، فرآیندهای تصفیه می‌تواند تا هر یک از چهار مرحله‌ی ذکر شده ادامه یابد. توجه به این نکته ضروری است که بعضی از روش‌های ذکر شده ممکن است در میادین نفت و گاز قابلیت اجرایی نداشته باشند.

۲-۱- فرآیندهای قبل از تصفیه‌ی پساب

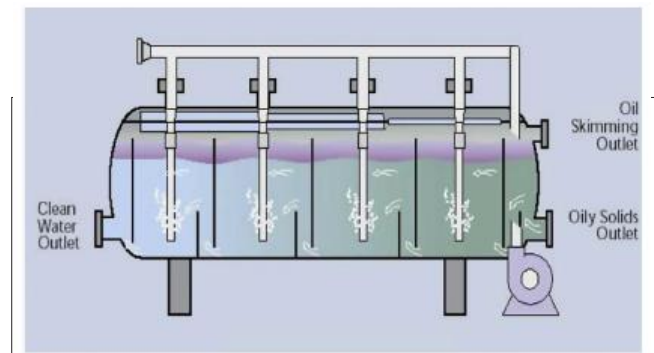
در بعضی موارد، نیاز است قبل از شروع فرآیندهای اصلی تصفیه‌ی پساب‌های میادین نفتی، چند فرآیند پیش‌تصفیه بر روی پساب انجام شود. این موارد می‌تواند شامل:

- تصفیه و جذب سطحی بهتر باشد در این صورت بهتر است میزان PH پساب تنظیم و پساب خنثی شود.

- استفاده از مواد شیمیایی منعقدکننده باشد در این صورت بهتر است امولسیون مخلوط نفت و آب شکسته شود. [۲۱]

۲-۲- تصفیه‌ی اولیه

تصفیه‌ی اولیه، شامل جدا کردن آب، نفت و مواد جامد در دو مرحله است. در مرحله‌ی اول، جداکننده‌ی ای‌پی‌آی^۵، جداکننده‌ی سی‌پی‌آی^۶، هیدروسایکلون، بافر^۷ و تانک‌های تعادلی^۸ می‌توانند استفاده شوند. پساب به آرامی در این جداکننده جریان دارد تا نفت در بالا و مواد جامد در پایین تانک، از پساب جدا شوند. [۲۲]



شکل ۱ | نمایی از دستگاه دمنده‌ی گاز [۲۴]

در مرحله‌ی دوم، قطره‌های کوچک نفت و ذرات جامد معلق، به‌صورت امولسیون درآمده و ذرات باقی‌مانده از مرحله‌ی اول، جدا می‌شوند. روش رایج جداسازی در این مرحله، استفاده از

۳-۱- تخلیه‌ی زیست‌محیطی

در صنعت نفت و گاز، معمولاً آب تولیدی، تصفیه شده و سپس با استفاده از جداکننده‌هایی که بر اساس نیروی گرانش کار می‌کنند، در مناطق دریایی، به دریا و در مناطق عملیاتی خشکی، در چاه‌های دفعی تخلیه می‌شود. با این وجود، این اقدام باعث ایجاد آلودگی سطحی و منابع آب زیرزمینی می‌شود. [۲۶] برای مدت زمان زیادی، تنها نفت غیرقطبی موجود در آب شاخص بررسی آلودگی زیست‌محیطی مورد توجه قرار می‌گرفت و به سایر مواد آلی حل شده در آب شاخص آلاینده‌ی قرار نمی‌گرفتند. بعدها این موضوع تایید شد که مواد آلی، فلزات سنگین و مواد شیمیایی تولید شده، اثرات قابل توجهی بر روی ساختار موجودات زنده دارند و برای اکوسیستم بسیار سمی بوده و آلکیل فنول‌ها روی آلودگی ماهی‌ها تاثیر زیادی دارند. [۲۷] البته میزان قابل قبول نفت در نمونه‌ی تخلیه به محیط‌زیست در استاندارد کشورهای مختلف، متفاوت است که در جدول ۱ قابل ملاحظه است. به‌طور مثال در روسیه میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برای این ذرات قابل قبول است. [۲۶]

۳-۲- استفاده به‌منظور باز یافت نفت

استخراج نفت و گاز باعث کاهش فشار مخزن می‌شود. در بعضی مواقع، به‌منظور نگهداشتن فشار هیدرولیکی مخزن و افزایش تولید، آب به مخزن تزریق می‌شود. تزریق مجدد آب تولیدی به مخزن یکی از گزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی است.

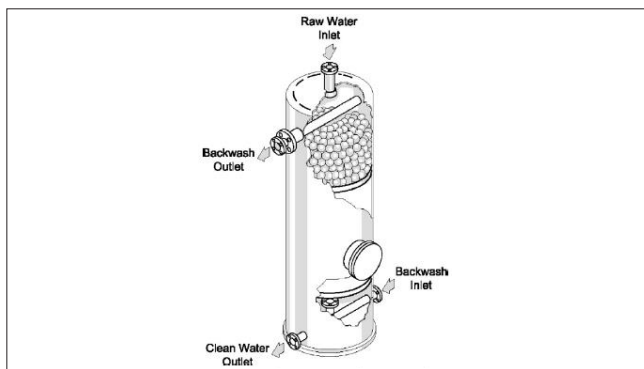
مزایای تزریق مجدد آب تولیدی عبارت است از: ۱- کاهش آب تولیدی دورریز ۲- جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و جلوگیری از مصرف آب تازه ۳- صرفه‌ی اقتصادی ناشی از استفاده‌ی کمتر آب تازه ۴- سازگاری با قوانین و استانداردها.

خصوصیات کلی به‌منظور استفاده از آب تولیدی برای تزریق در میدین شامل غلظت کل ذرات معلق موجود در سیال تزریقی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت نفت کمتر از ۴۲ میلی‌گرم بر لیتر است. [۲۹] توجه به این نکته ضروری است که حضور ماسه در آب تزریقی می‌تواند باعث آسیب به تجهیزات و پمپ‌ها شود.

با توجه به ویژگی‌های موردنظر پساب تصفیه شده برای استفاده‌ی مجدد، اولین تجهیزات موردنیاز برای تصفیه‌ی آب تولیدی به این منظور، جداکننده‌ی ای‌پی‌آی است. استفاده از جداکننده‌ی هیدروسایکلون^{۱۵} به‌منظور کاهش غلظت ذرات معلق نیز مناسب است.

به‌طور کلی، استفاده از فیلتراسیون شنی^{۱۶} توانایی ایجاد پساب تصفیه‌شده‌ای با غلظت ذرات معلق در بازه‌ی ۱ تا حداکثر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر را دارد. [۳۰] بنابراین استفاده از این سیستم برای تصفیه‌ی آب تولیدی به‌منظور تزریق مجدد در میدین می‌تواند مفید باشد. شکل ۲ نمایی از فیلتراسیون شنی را نشان می‌دهد.

کشور	غلظت مجاز نفت در نمونه (میلی‌گرم بر لیتر)
اکوادور، کلمبیا، برزیل	۳۰
آرژانتین و ونزوئلا	۱۵
اندونزی	۲۵
مالزی، خاورمیانه	۳۰
نیجریه، آنگلا، کامرون، ساحل عاج	۵۰
دریای شمال، استرالیا	۳۰
تایلند	۵۰
آمریکا	۲۹



۲ | نمایی از فیلتراسیون شنی [۳۱]

طبق موارد مذکور انتظار می‌رود غلظت نفت موجود در پساب خروجی جداکننده‌ی ای‌پی‌آی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، [۲۲] بنابراین این سیستم به‌تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای محیط‌زیستی تخلیه‌ی پساب باشد. لذا دستگاه شناورسازی گاز توانایی جداسازی ۹۵ درصد نفت از پساب را دارد، به‌علاوه غلظت نفت خروجی از آن در محدوده‌ی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است و همچنین توانایی حذف ذرات معلق تا کمتر از ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر را دارد. [۲۲] بدین ترتیب استفاده از این دستگاه به‌همراه جداکننده می‌تواند جهت تصفیه‌ی پساب و آب تولیدی میدین برای تخلیه در محیط‌زیست مفید واقع شود.

۳-۳- استفاده به منظور آبیاری و مصارف کشاورزی

استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی برای مصارفی مانند آبیاری، آب‌دهی به حیوانات اهلی، مصارف شهری و سایر مصارف صنعتی می‌تواند باعث محافظت از ذخایر آبی نیز شود. در کشور اسپانیا ۵۰ درصد و در ایالات متحده بیش از ۷۰ درصد از منابع آب طبیعی زیرزمینی برای مصارف کشاورزی مصرف می‌شود. [۳۲]

آبیاری به حجم بالای آبی تصفیه شده با کیفیت بالا نیاز دارد. پارامترهایی مانند نرخ جذب سدیم^{۱۷} و رسانایی الکتریکی معیارهایی هستند که باید در سطحی باشند تا به محصولات کشاورزی صدمه‌ای وارد نشود. وقتی منابع تامین آب، دارای شوری بالایی باشد، امکان آسیب‌رسانی به محصولات با استفاده از نمک‌ها وجود دارد.

بر اساس سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده، مشخصات منابع آب جهت آبیاری محصولات کشاورزی شامل محدوده‌ی PH، ۶ تا ۹، کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر اکسیژن لازم برای از بین بردن مواد آلی آب^{۱۸} و کمتر از NTU2 کدورت^{۱۹} است. همچنین استانداردهای لازم برای منابع آب کشاورزی در محل‌هایی که دسترسی به آب محدود است شامل محدوده‌ی PH بین ۶ تا ۹، BOD کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت کل ذرات جامد معلق کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است. [۳۳]

بنابراین، با توجه به قوانین ذکر شده، به‌منظور استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی از میادین نفتی برای مصارف کشاورزی و آبیاری، پارامترهای مهم شامل: BOD، کدورت، PH و مقدار نمک موجود در آب تصفیه شده است. همچنین، غلظت نفت و دیگر آلاینده‌های سمی موجود در آب تصفیه شده نیز باید مورد توجه قرار بگیرد. [۳۴] در سال ۲۰۰۹، استورات و همکارانش^{۲۰} به‌منظور استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی مخازن نفتی در آبیاری، کشاورزی، شهری و صنعتی سیستمی را جهت تصفیه‌ی این آب پیشنهاد دادند. این دستگاه شامل واحدهای جداکننده‌ی ای‌پی‌آی، تانک هوادهی، فیلتراسیون دانه‌ای، محفظه‌ی منعقدکننده، محفظه‌ی تصفیه‌ی لجن، میکروفیلتراسیون سرامیکی و بستر کربن فعال است. [۳۵]

۴- افزایش کارآیی واحدهای مختلف تصفیه‌ی پساب

در این قسمت به بررسی روش‌های مختلف افزایش بازدهی در قسمت‌های مختلف سیستم تصفیه‌ی پساب پرداخته شده است.

۱-۴- افزایش کارآیی جداکننده‌ی ای‌پی‌آی

به‌منظور افزایش کارآیی این واحد، می‌توان از مواد منعقدکننده مانند فریک کلرید و فریک سولفات، هیدروکسیل آلومینیوم،

پلی آلومینیوم کلراید، آلومینیوم سولفات، سدیم آلومینیوم، پتاسیم آلومینیوم و هیدروکسیل زیکنیوم استفاده کرد. همچنین می‌توان از پلی‌اکریل‌آمید، پلی‌اتیلن‌گلیکول، پلی‌ونیل‌الکل، نشاسته کربوکسی‌اتیل، نشاسته‌هیدروکسی‌اتیل، سدیم آلگینیت^{۲۱} و ژانتام گام^{۲۲} به‌عنوان بهبوددهنده‌ی انعقاد ذرات بهره برد. [۳۶]

۲-۴- افزایش کارآیی شناورکننده‌ی هوا

با توجه به مطالعات گذشته، عوامل تاثیرگذار در فرآیند هوادهی شامل نرخ دبی هوا، عمق قرارگیری پخش‌کننده‌ی هوا، مخلوط کردن تانک هوادهی و خصوصیات پساب است. [۳۷] در یکی از مطالعات گذشته، به‌منظور افزایش بازدهی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از دو پخش‌کننده‌ی هوا در تانک هوادهی به‌صورت متناوب استفاده شد. به این صورت که در هنگام کار کردن یکی از این پخش‌کننده‌های هوا، دیگری خاموش است. محققان با انجام این آزمایش نتیجه گرفتند استفاده از این سیستم باعث افزایش بازدهی انتقال اکسیژن تا ۵۷ درصد در دبی جریان ۴۲ لیتر بر دقیقه و زمان جدایش ۱/۵ ثانیه می‌شود. این اتفاق با استفاده از دو عامل انجام می‌شود. عامل اول تحریک پساب بدون وارد کردن نیروی اضافی است. این عامل باعث افزایش انتقال جرم می‌شود. همچنین این روش باعث حرکت حباب‌های هوا در مسیرهای با اکسیژن کمتر می‌شود که باعث افزایش اختلاف غلظت بین درون و بیرون حباب‌ها می‌شود و انتقال جرم اکسیژن به پساب را افزایش می‌دهد. [۳۸]

در سال ۲۰۱۳، میراندا و همکارانش^{۲۳}، به بررسی استفاده از کیتوسان در واحد شناورسازی هوا پرداختند. نتایج آنها نشان داد استفاده از کیتوسان^{۲۴} با وزن مولکولی کم و غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌همراه بنتونایت با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش کارآیی سیستم می‌شود. [۳۹]

در سال ۲۰۱۸، پارک و همکارانش مطالعه‌ای را بر روی ساختار خروجی گاز از واحد شناورسازی هوا انجام دادند. [۴۰] در سال ۲۰۱۱، راتانایان و همکارانش^{۲۵}، به‌منظور افزایش بازدهی واحد شناورسازی هوا پیشنهاد دادند قبل از ورود پساب به این واحد، پساب ابتدا اسیدی شده و سپس مواد منعقدکننده به آن اضافه شود. به‌منظور اسیدی‌سازی، هیدروکلریک‌اسید و به‌منظور منعقد کردن، آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم کلراید و فریک کلراید را پیشنهاد دادند. [۴۱] طبق مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹، استفاده از یک مخلوط‌کننده در سیال‌هایی با گرانی با بالاتر در واحد هوادهی به سیال بازدهی سیستم را افزایش می‌دهد. [۴۲]

۳-۴- افزایش بازدهی فیلتراسیون شنی

تحقیقات زیادی به منظور بررسی تاثیر نرخ فیلتراسیون بر عملکرد فیلتراسیون شنی انجام شده است. تمامی تحقیقات نشان می دهد افزایش نرخ فیلتراسیون باعث کاهش بازدهی می شود. [۴۳ و ۴۴] کاهش گرانیوی سیال ورودی باعث کاهش تنش هیدرولیکی و افزایش بازدهی می شود.

ایوس و شلجی^{۲۶}، بازدهی فیلتراسیون یک بستر شنی در دمای ۳۰ درجه را بررسی کرده و نتیجه گرفتند بازدهی فیلتراسیون با توان دوم گرانیوی رابطه‌ی معکوس دارد. [۴۵] همچنین هانتر و الکساندر^{۲۷} به افزایش بازدهی در دماهای بالاتر که گرانیوی سیال کمتر است دست یافتند. [۴۶] بیشتر تحقیقات نشان می دهند، کاهش اندازه‌ی ذرات باعث افزایش بازدهی می شود. [۴۷ و ۴۸] کاهش اندازه‌ی ذرات باعث افزایش مساحت سطحی و پیچ‌وخم^{۲۸} بیشتر در بستر می شود، در حالی که میانگین قطر حفره‌ها را کاهش می دهد.

۴-۴- افزایش بازدهی واحد میکروفیلتراسیون

در دهه‌های گذشته، غشاهای نفت‌دوست با استفاده از موادی با سطح انرژی کم مورد استفاده قرار گرفتند. این غشاها باعث جمع‌آوری نفت از پساب می شدند. [۴۹] هرچند خصوصیات نفت باعث ایجاد موانع بر روی غشای میکروفیلتراسیون شده و دبی جریان را کاهش می داد. [۵۰] در نهایت این روش به عنوان یک روش غیرکارآمد به منظور استفاده در حذف نفت از امولسیون نفت در آب معرفی شد و به جای آن استفاده از غشاهای آب‌دوست پیشنهاد شد. [۵۱] بنابراین استفاده از غشاهایی با پوشش آب‌دوست در واحد میکروفیلتراسیون می تواند باعث افزایش کارایی این واحد شود.

نتیجه گیری

۱- با توجه به کمبود آب در کشور ایران و مشکلات محیط‌زیستی دفع پساب، تصفیه آن به منظور تخلیه به محیط‌زیست و استفاده‌ی مجدد آن امری ضروری است. انتخاب سیستم مناسب برای هر یک از این اهداف و افزایش بازدهی آن می تواند به این امر کمک کند.

۲- به منظور تخلیه‌ی پساب به محیط‌زیست، استفاده از مکانیسم جداکننده‌ی ای پی آی به همراه واحد شناورسازی هوا توصیه می شود. به منظور استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی در بازیافت نفت، اضافه کردن جداکننده‌ی هیدروسایکلون و فیلتراسیون شنی به واحدهای قبلی می تواند مناسب باشد. استفاده‌ی مجدد از آب تولیدی مخازن هیدروکربنی برای مصارف کشاورزی و آبیاری باید شامل کامل ترین سیستم تصفیه باشد و علاوه بر واحد های قبلی، از واحدهای میکروفیلتراسیون شنی و بستر کربن فعال برخوردار باشد.

۳- استفاده از انعقاددهنده‌هایی مانند هیدروکسیل آلومینیوم باعث افزایش کارایی واحد جداکننده‌ی نفت و آب می شود.

۴- استفاده از سیستم هوادهی متناوب، کاهش PH پساب ورودی به دستگاه در صورت امکان، استفاده از اریفیس‌هایی با قطر روزهی کمتر می تواند باعث افزایش بازدهی واحد شناورسازی هوا شود.

۵- به منظور افزایش بازدهی واحد فیلتراسیون شنی، کاهش نرخ فیلتراسیون، افزایش دما و کاهش گرانیوی پساب و کاهش اندازه‌ی دانه‌های فیلتراسیون می تواند مفید باشد.

۶- استفاده از پوشش آب‌دوست بر روی غشا میکروفیلتراسیون باعث جلوگیری از ایجاد رسوب توسط نفت در آن شده و بازدهی این واحد را افزایش می دهد. ■

پانویس ها

1. Produced water
2. Estrogen
3. Higashi et al.
4. Sauer et al.
5. API Separator
6. CPI Separator
7. Buffer
8. Equalization Tanks
9. Gas Flotation
10. Activated sludge (AS) process
11. Sequencing Batch Reactors (SBRs)
12. Continuous Stirred Tank Bioreactor (CSTB)
13. Membrane Bioreactors (MBRs)
14. Aerated Lagoons
15. Hydrocyclone Separator
16. Granular Media Filters
17. Sodium Adsorption Ratio (SAR)
18. Biological Oxygen Demand (BOD)
19. Turbidity
20. Stewart et al.
21. Sodium alginate
22. Xanthan gum
23. Miranda et al.
24. Chitosan
25. Rattanapanet al.
26. Ives and Sholji
27. Hunter and Alexander
28. Tortuosity

- [1]. Collins, A., *Geochemistry of oilfield waters*. Elsevier: 1975; Vol. 1.
- [2]. Neff, J. M., Biological effects of drilling fluids, drill cuttings and produced waters. In *Long-term environmental effects of offshore oil and gas development*, CRC Press: 1987; pp 479-548.
- [3]. Swan, J. M.; Neff, J. M.; Young, P. C., Environmental implications of offshore oil and gas development in Australia. The finding of an independent scientific review. 1994.
- [4]. Otto, G. H.; Arnold, K. E., US produced water discharge regulations have tough limits. *Oil and Gas Journal* 1996,94 (29).
- [5]. Stephenson, M.; Ayers, R.; Bickford, L.; Caudle, D.; Cline, J.; Cranmer, G.; Duff, A.; Garland, E.; Herenius, T.; Jacobs, R. In *North Sea produced water: fate and effects in the marine environment*, E&P Forum, London, UK, Report, 1994; p 48.
- [6]. Sauer Jr, T. C., Volatile organic compounds in open ocean and coastal surface waters. *Organic Geochemistry* 1981,3 (3), 91-101.
- [7]. McAuliffe, C., Solubility in water of paraffin, cycloparaffin, olefin, acetylene, cycloolefin, and aromatic hydrocarbons. *The Journal of Physical Chemistry* 1966,70 (4), 1267-1275.
- [8]. Neff, J.; Lee, K.; DeBlois, E. M., Produced water: overview of composition, fates, and effects. In *Produced water*, Springer: 2011; pp 3-54.
- [9]. Fisher, J. B., Distribution and occurrence of aliphatic acid anions in deep subsurface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1987,51 (9), 2459-2468.
- [10]. Getliff, J.; James, S. In *The replacement of alkyl-phenol ethoxylates to improve the environmental acceptability of drilling fluid additives*, SPE Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference, Society of Petroleum Engineers: 1996.
- [11]. Witter, A. E.; Jones, A. D., Chemical characterization of organic constituents from sulfide-rich produced water using gas chromatography/mass spectrometry. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 1999,18 (9), 1920-1926.
- [12]. Olsen, S. D.; Filby, R. H.; Brekke, T.; Isaksen, G. H., Determination of trace elements in petroleum exploration samples by inductively coupled plasma mass spectrometry and instrumental neutron activation analysis. *Analyst* 1995,120 (5), 1379-1390.
- [13]. Reid, D. In *Radium in formation waters: How much and is it of concern*, 4th Annual Gulf of Mexico Information Transfer Meeting, New Orleans, LA. US Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Office, New Orleans, LA, 1983; pp 187-191.
- [14]. Boelter, A. M.; Lammung, F. N.; Farag, A. M.; Bergman, H. L., Environmental effects of saline oil-field discharges on surface waters. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 1992,11 (8), 1187-1195.
- [15]. Fucik, K., Toxicity identification and characteristics of produced water discharges from Colorado and Wyoming. In *Produced water*, Springer: 1992; pp 187-198.
- [16]. Pillard, D.; Evans, J.; DuFresne, D. In *Acute toxicity of saline produced waters to marine organisms*, SPE Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference, Society of Petroleum Engineers: 1996.
- [17]. Higashi, R.; Cherr, G.; Bergens, C.; Fan, T.-M., An approach to toxicant isolation from a produced water source in the Santa Barbara Channel. In *Produced Water*, Springer: 1992; pp 223-233.
- [18]. Sauer, T.; Ward, T.; Brown, J.; O'Neil, S.; Wade, M., Identification of toxicity in low-TDS produced waters. In *Produced Water*, Springer: 1992; pp 209-222.
- [19]. Schiff, K.; Reish, D.; Anderson, J.; Bay, S., A comparative evaluation of produced water toxicity. In *Produced Water*, Springer: 1992; pp 199-207.
- [20]. Brendehaug, J.; Johnsen, S.; Bryne, K.; Gjose, A.; Eide, T.; Aamot, E., Toxicity testing and chemical characterization of produced water—a preliminary study. In *Produced water*, Springer: 1992; pp 245-256.
- [21]. Benyahia, F.; Abdulkarim, M.; Embaby, A.; Rao, M. In *Refinery wastewater treatment: a true technological challenge*, The Seventh Annual UAE University Research Conference. UAE University, 2006.
- [22]. Schultz, T., Wastewater treatment for the petroleum industry, selecting the right oil/water separation technology, technology & trends, specialist article. *P&A Select Oil & Gas* 2007.
- [23]. Veenstra, J.; Mohr, K.; Sanders, D. In *Refinery wastewater management using multiple-angle oil water separators*, Proceedings of the International Petroleum Environmental Conference, 1998.
- [24]. Arthur, J. D.; Langhus, B. G.; Patel, C., Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies. All Consulting, LLC, Tulsa, OK 2005.
- [25]. Ishak, S.; Malakahmad, A.; Isa, M. H., Refinery wastewater biological treatment: A short review. 2012.
- [26]. Fakhru'l-Razi, A.; Pendashteh, A.; Abdullah, L. C.; Biak, D. R. A.; Madaeni, S. S.; Abidin, Z. Z., Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of hazardous materials* 2009,170 (2-3), 530-551.
- [27]. Grant, A.; Briggs, A. D., Toxicity of sediments from around a North Sea oil platform: are metals or hydrocarbons responsible for ecological impacts? *Marine Environmental Research* 2002,53 (1), 95-116.
- [28]. Neff, J. M., Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water. Elsevier: 2002.
- [29]. Bader, M., Seawater versus produced water in oil-fields water injection operations. *Desalination* 2007,208 (1-3), 159-168.
- [30]. Chermisinoff, N. P., *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann: 2001.
- [31]. Stewart, M.; Arnold, K., *Produced water treatment field manual*. Gulf Professional Publishing: 2011.
- [32]. Fipps, G., *Irrigation water quality standards and salinity management strategies*. Texas FARMER Collection 2003.
- [33]. EPA, 2012 guidelines for water reuse. US Agency for International Development Washington, DC: 2012.
- [34]. Jiménez, S.; Micó, M.; Arnaldos, M.; Medina, F.; Contreras, S., State of the art of produced water treatment. *Chemosphere* 2018,192, 186-208.
- [35]. Stewart, D. R., Purification of Oil Field Production Water for Beneficial Use. Google Patents: 2009.
- [36]. Dai, C.; Zhao, F., *Oilfield Wastewater Treatment*. In *Oilfield Chemistry*, Springer: 2018; pp 373-395.
- [37]. Eckenfelder Jr, W. W., Factors affecting the aeration efficiency of sewage and industrial wastes. *Sewage and Industrial wastes* 1959, 60-70.
- [38]. Alkhalidi, A. A.; Al Ba'ba'a, H. B.; Amano, R. S., Wave generation in subsurface aeration system: a new approach to enhance mixing in aeration tank in wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment* 2016,57 (56), 27144-27151.
- [39]. Miranda, R.; Nicu, R.; Latour, I.; Lupei, M.; Bobu, E.; Blanco, A., Efficiency of chitosans for the treatment of papermaking process water by dissolved air flotation. *Chemical Engineering Journal* 2013,231, 304-313.
- [40]. Park, S.-K.; Yang, H.-C., An experimental investigation of the flow and mass transfer behavior in a vertical aeration process with orifice ejector. *Energy* 2018,160, 954-964.
- [41]. Rattanapan, C.; Sawain, A.; Suksaroj, T.; Suksaroj, C., Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes. *Desalination* 2011,280 (1-3), 370-377.
- [42]. Jegatheeswaran, S.; Kazemzadeh, A.; Ein-Mozaffari, F., Enhanced aeration efficiency in non-Newtonian fluids using coaxial mixers: High-solidity ratio central impeller with an anchor. *Chemical Engineering Journal* 2019,378, 122081.
- [43]. Tchobanoglous, G., Filtration techniques in tertiary treatment. *Journal (Water Pollution Control Federation)* 1970, 604-623.
- [44]. Cleasby, J. L.; Baumann, E. R., Selection of sand filtration rates. *Journal-American Water Works Association* 1962,54 (5), 579-602.
- [45]. Ives, K. J.; Sholji, I., Research on variables affecting filtration. *Journal of the Sanitary Engineering Division* 1965,91 (4), 1-18.
- [46]. Hunter, R. J.; Alexander, A., Surface properties and flow behavior of kaolinite. Part I: Electrophoretic mobility and stability of kaolinite sols. *Journal of Colloid Science* 1963,18 (9), 820-832.
- [47]. Agrawal, G. D., *ELECTROKINETIC PHENOMENA IN WATER FILTRATION*. 1967.
- [48]. Tchobanoglous, G.; Eliassen, R., Filtration of treated sewage effluent. *Journal of the Sanitary Engineering Division* 1970,96 (2), 243-265.
- [49]. Shang, Y.; Si, Y.; Raza, A.; Yang, L.; Mao, X.; Ding, B.; Yu, J., An in situ polymerization approach for the synthesis of superhydrophobic and superoleophilic nanofibrous membranes for oil-water separation. *Nanoscale* 2012,4 (24), 7847-7854.
- [50]. Tang, X.; Si, Y.; Ge, J.; Ding, B.; Liu, L.; Zheng, G.; Luo, W.; Yu, J., In situ polymerized superhydrophobic and superoleophilic nanofibrous membranes for gravity driven oil-water separation. *Nanoscale* 2013,5 (23), 11657-11664.
- [51]. Zhang, L.; Zhong, Y.; Cha, D.; Wang, P., A self-cleaning underwater superoleophobic mesh for oil-water separation. *Scientific reports* 2013,3, 2326.