مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۶- شماره ۴- سال ۱۴۰۰
www.ElitesJournal.ir

مروری بر روش‌های نوین حذف روغن از منابع آبی

منا فولادی*[۱]، آریا نوری[۲]

۱-کارشناس ارشد مهندس شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت شیراز، شیراز، ایران
۲- کارشناس ارشد مهندس شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت شیراز، شیراز، ایران

*monafoladii@gmail.com

ارسال: مرداد ماه ۹۹ پذیرش: مهر ماه ۹۹

چکیده

از مشکلات امروز جهان آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی به واسطه آلاینده‌هایی است که از صنایع مختلف به ویژه پالایشگاه‌ها و شرکت‌های نفتی وارد می‌شوند. این ذرات مضر با روش های متفاوتی وارد آب می شوند و استفاده از آن را برای ما غیرممکن می سازند. حجم پساب‌های تولیدی رو به افزایش است و مواد نفتی بسیاری در این پساب‌ها وجود دارند. با توجه به این که این هیدروکربن‌ها به سختی به‌صورت بیوشیمیایی[۱] تجزیه می‌شود و باعث زیان و تخریب زیادی به محیط زیست می‌شوند، باید قبل از تخلیه در محیط زیست تصفیه شوند .
بنابراین پساب‌های نفتی، به دلیل خطرات زیان‌باری که برای سلامتی انسان، محیط زیست، گیاهان و موجودات آبزی ایجاد می‌کنند، تصفیه آن‌ها به‌شدت مورد توجه قرار گرفته‌است.علاوه براین با توجه به حجم زیاد پساب‌های نفتی، روشی که به‌راحتی قابل انجام و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و بتواند آلودگی‌های نفتی را با بازده بالایی جداسازی کند، بسیار مهم است در این مقاله مروری تلاش شده است که روش های موثر حذف آلاینده های روغنی از منابع آبی مورد بررسی قرار بگیرد.

کلمات کلیدی: جداسازی روغن از آب، پساب های نفتی، آلودگی منابع آبی.

۱- مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت جهان، مشکلات ناشی از کم‌آبی روز به روز بیشتر گریبان‌گیر جامعه بشری است. کمبود آب شامل بحران آب،کم‌آبی و تنش آب است. بحران آب به‌وضعیتی گفته می‌شود که در آن آب قابل شرب و غیرآلوده در یک منطقه از تقاضای آن کمتر است و تنش آب مشکل دریافت آب شیرین برای استفاده است. آلودگی آب یکی از مشکلات و چالش‌های مهم دنیا و ایران است که یکی از علل اصلی بیماری‌ها و مرگ و میر در جهان به شمار می‌آید. آب‌های سطحی و زیرزمینی هر دو در معرض آلاینده های مختلف قرار دارند.

علاوه بر این، آب فراوان‌ترین ماده مرکب روی سطح زمین است و بی‌شک حیات بر روی زمین به این ماده بستگی دارد. حدود ۷۰ درصد ازسطح زمین را آب پوشانده است و این درحالی است که تنها ۲ درصد از آب‌های زمین شیرین و قابل شرب هستند و مابقی

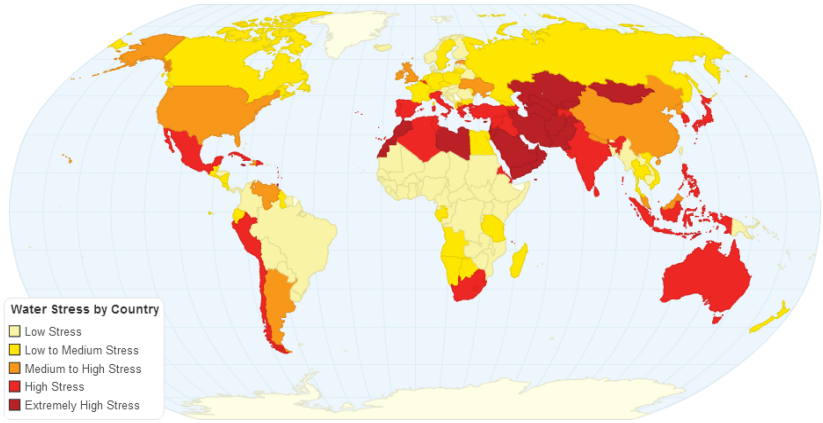
[1] Biochemical

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دلیل محلول بودن انواع نمک‌ها در آن، غیر قابل استفاده هستند. ۹۰ درصد آب شیرین به صورت منجمد، در دو قطب وجود دارد. علاوه بر این آب شیرین به صورت یکنواخت بر روی سطح زمین توزیع نشده است، و تقریباً ۸۰ کشور جهان با کمبود آب مواجه‌اند و کشورهایی مانند اردن، لیبی، سنگاپور، کویت و ... حتی به هیچ منبع آب شیرین دسترسی ندارند [۱].

بعضی از نقشه‌های موجود، حجم آب توزیع‌شده در طبیعت را به تفکیک مناطق و هم‌چنین مقدار منابع آب موجود در سال برای هر فرد نشان می‌دهد. به‌طور مثال، شاخص تنش آب فالکن مارک[1]، تنش آب یک کشور یا منطقه را زمانی که منابع آب سالیانه آن برای هر شخص کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال باشد، بیان می‌کند.در منطقه‌ای که مقدار آب بین ۱۷۰۰و ۱۰۰۰ مترمکعب در سال برای هر شخص باشد، کمبود آب دوره‌ای را می‌توان انتظار داشت. زمانی‌که منابع آب کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب برای هر شخص در سال باشد، آن منطقه با کمبود آب مواجه است (شکل۲-۱) [۲]. فائو وابسته به سازمان ملل متحد بیان کرده است تا سال۲۰۲۵ ،تقریباً ۹/۱ میلیارد نفر در کشورهای مختلف با کمبود آب مطلق زندگی خواهند کرد، و حدود دوسوم از جمعیت کل جهان تحت شرایط تنش قرار خواهند گرفت [۳].



شکل ۱- توزیع بحران کم‌آبی بر اساس مناطق مختلف جهان [۳]

محققان دانشگاه کلرادو پیش‌بینی کرده‌اند ذخایر آب شیرین جهان هرسال کاهش می‌یابد و تا ۲۵ سال دیگر تقریباً نیمی از جمعیت جهان با مشکل کمبود آب شیرین مواجه می‌شوند. طبق مطالعات انجام شده درحال حاضر یک‌سوم جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که آب کافی ندارند، نیم بیشتری از مردم جهان سوم حتی برای نوشیدن، به آب تمیز دسترسی ندارد و درحالی‌که سه‌چهارم بیماری‌های مختلف انسانی به خاطر عدم وجود آب سالم است، با این حال ۷۵ درصد مردم جهان از داشتن آب بهداشتی و پاکیزه محروم‌اند. اگر آب آشامیدنی مناسب در اختیار انسان‌ها قرار گیرد قطعا مرگ‌ومیر کودکان به نصف کاهش پیدا خواهد کرد [۴].

با محدود کردن منشاء آلاینده‌های آب می‌توان به مقدار زیادی کیفیت منابع آبی را بهبود داد. استفاده از مواد شوینده و بهداشتی در حد نیاز، حداقل کردن استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و عدم تخلیه آلاینده‌های نفتی در منابع آب روان می‌تواند تا حد زیادی از ورود آلاینده‌های خطرناک به سیستم‌های آبی جلوگیری کند. دلایل فوق همگی سبب شده‌اند که امروزه بحرانی کلان به نام بحران آب نه تنها ایران بلکه تمام دنیا را به خود مشغول کند. برای مبارزه با این بحران، راه‌کارهایی از جمله تصفیه آب‌های شور در دسترس و آب‌های مصرف شده، تصفیه آب های غیرقابل شرب، تصفیه پساب‌های صنعتی و صرفه‌جویی در مصرف آب معرفی شده‌اند.

۲-آلودگی‌های آب ناشی از نفت و موادهیدروکربنی

نفت و مشتقات هیدروکربنی آن آلودگی های فراوانی به دنبال دارد و به علت آن که جامد نیست، به راحتی در آب و در خشکی منتشر می شود. آلودگی‌های نفتی نه تنها در مناطقی که دارای منابع نفتی هستند اتفاق می افتد، بلکه در جاهایی که نفت‌خیز نیستند نیز ممکن است در اثر شرایط جوی اتفاق بیفتد. اما در مناطق نفت‌خیز می‌تواند به عنوان یک تهدید جدی برای محیط زیست به

[1] Falkenmark

www.SID.ir

Archive of SID

حساب آیند. در کشورهای نفت خیز، نفت خام یک عامل مهم آلودگی آب در این گونه مناطق به شمار می‌رود. از راه‌های انتقال نفت به آب به چهار مورد زیر می‌توان اشاره کرد [۵]:

۱- حمل و نقل دریایی: شامل نشت نفت از تانک‌های نفتکش، تصادف کشتی‌ها با یکدیگر، بارگیری کشتی‌ها و دیگر فعالیت‌هایی که مربوط به حمل و نقل دریایی می‌شود.

۲- فعالیت‌های انسانی: پتروشیمی و پالایشگاه‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، عملیات استخراج نفت.

۳- حوادث ناگهانی: زلزله، سیل، حوادث جنگی

۴- منابع طبیعی: شامل نشت طبیعی نفت

نشت نفت از خطوط لوله‌های انتقال، پالایشگاه ها و پتروشیمی ها و تانکرهای ذخیره نفت به داخل آب تأثیر زیان‌باری بر محیط زیست به جای می‌گذارد. از آثار مهم آلودگی آب به وسیله نفت یا پساب ها، مشکلات زیست شناختی است که می‌تواند از طریق تأثیر بر روی انسان ها، موجودات آبزی، گیاهان و میکروارگانیسم‌های داخل آب، صدمات جبران ناپذیری برای محیط زیست داشته باشد [۶-۸].

۳-آلاینده های نفتی در آب

به طور کلی آلاینده‌های آب از نظر ماهیت به سه گروه مواد آلی، مواد معدنی و عوامل فیزیکی تقسیم می‌شوند که عمده آلاینده های آلی عبارتند از مواد شوینده، پساب صنایع غذایی، حشره کش‌ها، علف کش‌ها و مواد نفتی.

آلاینده‌های معدنی اصلی آب شامل اسیدیته ناشی از پساب صنایع؛ آمونیاک، کودهای شیمیایی، فلزات سنگین و نمک می‌باشد. آلاینده‌های معدنی موجب کدورت آب می‌شوند و در برخی موارد نیز به صورت ذرات معلق در آب قابل مشاهده هستند.

نفت‌های موجود در پساب ها ممکن است منشأ معدنی، گیاهی و یا جانوری داشته باشند.آلوده کننده‌های نفت در آب معمولاً با توجه به شکل فیزیکی خود به چهار دسته ذیل تقسیم می‌شوند [۹]:

۱- روغن آزاد: که در شرایط آرام به سرعت به سطح آب می‌آید.

۲- روغن پراکنده: آرایش منظمی از قطرات کوچک روغن که بدون حضور عامل فعال سطحی و به دلیل بار الکتریکی خود به صورت پایدار می‌باشند.

۳- روغن امولسیون: که در این حالت روغن توزیعی مشابه با روغن پراکنده شده دارد با این تفاوت که پایداری آن با توجه به برهمکنش‌هایی که با امولسیون کننده‌های موجود در سطح مشترک نفت/آب دارد، بیشتر می‌باشد.

۴- روغن حل شده: که این روغن به صورت قطره قابل دیدن نمی باشد و کاملاً به صورت شیمیایی در آب حل شده و یا به صورت قطرات بسیار ریز در آب پراکنده شده است.

جدول ۱ اندازه قطرات در مخلوط‌های روغن/آب را نشان می‌دهد.

جدول .Error! No text of specified style in document – **اندازه قطرات در مخلوط‌های نفت/آب [۱۰]**

نوع روغن	قطر قطره، D_P (µm)
روغن آزاد	≤ ۱۵۰
روغن پراکنده شده	۱۵۰ - ۲۰
امولسیون روغن	≥ ۲۰
روغن حل شده	≥ ۵

www.SID.ir

Archive of SID

۴- شناخت خواص فیزیکی و شیمیایی روغن

پساب‌های روغنی در صنایعی همچون نفت، پتروشیمی و غذایی تولید می‌گردند. این پساب ها عمدتاً به شکل امولسیون های روغن/آب می باشند[۱۱]. جداسازی روغن نیاز به درک خواص فیزیکی و شیمیایی امولسیون های روغن/آب دارد. روغنها از نظر خصوصیات فیزیکی نیز در پنج گروه طبقه بندی می شوند: ۱- روغنهای آزاد[1] این دسته از روغن ها در شرایط سکون به سطح مایع۲- روغن های با پراکندگی مکانیکی[2]: این دسته از روغن ها به علت بار الکتریکی و یا سایر نیروها به صورت ذرات کوچکی با قطر حدود میکرون تا میلیمتر هستند و در این حالت ثبات زیادی ندارند.۳- امولسیونهای پایدار شیمیانی[3]: ذرات روغن مشابه گروه دوم هستند که به دلیل عوامل شیمیایی دارای ثبات بیشتری می باشند.۴- روغن های محلول[4]: این گروه شامل روغن هائی است که حالت محلول دارند و به صورت ذرات روغن بسیار کوچک هستند (کمتر از ۵ میکرون)۵- روغن هانی چسبیده به سطح ذرات[5]: این گروه جامدات موجود در پساب را به عنوان پایه انتخاب کرده و بر روی آن می چسبند[۱۲]. بر مبنای یک تقسیم‌بندی دیگر روغن های موجود در پساب ها ممکن است منشأ معدنی، گیاهی و یا جانوری داشته باشند.

اصطلاح روغن شامل دسته وسیعی از ئیدروکربن‌ها با وزن مولکولی زیاد و یا کم می باشد که بعضاً منشأ معدنی دارند. این دسته از مواد در دمای معمولی مایع هستند. گریس شامل گروهی از مواد از جمله اسیدهای چرب، صابونها، چربی‌ها، موم‌ها و سایر مواد قابل تقطیر، مشابه است[۱۴]. روغن ها و گریس ها به سه طریق قابل طبقه بندی هستند: ۱- براساس پولاریته[6] ۲- براساس تجزیه پذیری[7] ۳- براساس خصوصیات فیزیکی روغن های قطبی که در پساب صنایع غذایی یافت می شوند، منشأ حیوانی ویاگیاهی دارند و اغلب قابل تجزیه بیولوژیکی هستند. روغنهای غیرقطبی که از منابع معدنی ویانفت مشتق می‌شوند، نسبت به تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند. امولسیون عبارت است از سیستمی دوفازی شامل دو مایع غیرقابل اختلاط یا نسبتاً قابل اختلاط که یکی از آنها به صورت قطرات ریز در دیگری پراکنده شده است. در تعریف دیگر میتوان گفت که واژهی امولسیون اختلاط تعداد زیادی از مایعات امتزاج ناپذیر را که شامل مواد پلیمری هستند بیان می کند و در واقع پراکندگی یک مایع در مایع دیگر است[۱۵]، به طوری که بین آنها هیچ واکنشی رخ ندهد و در هم حل نگردند .از این رو امولسیونها سیستمهای چند فازی هستند که از دو فاز اصلی پیوسته و پراکنده تشکیل میشوند .امولسیونها دارای کاربردهای گستردهای در زمینه‌های متفاوتی نظیر فرآیندهای غذایی، دارویی، آرایشی میباشند و همچنین در سیستمهای بیولوژیکی، حضور چشم‌گیری دارند[۱۶]. به منظور انتخاب فرآیند جداسازی مناسب، باید خواص متعددی که نقش کلیدی در پایداری امولسیون های روغن /آب دارند را اندازه گیری نمود. اضافه کردن مواد شیمیایی و انعقاد و لخته سازی مطلوبترین روش حذف روغن و چربی امولسیونی محسوب می شود. روغن محلول بخشی از روغن است که مولکول های محلول در آب تشکیل می دهند[۱۷].

۵-روش‌های جداسازی روغن از منابع آبی

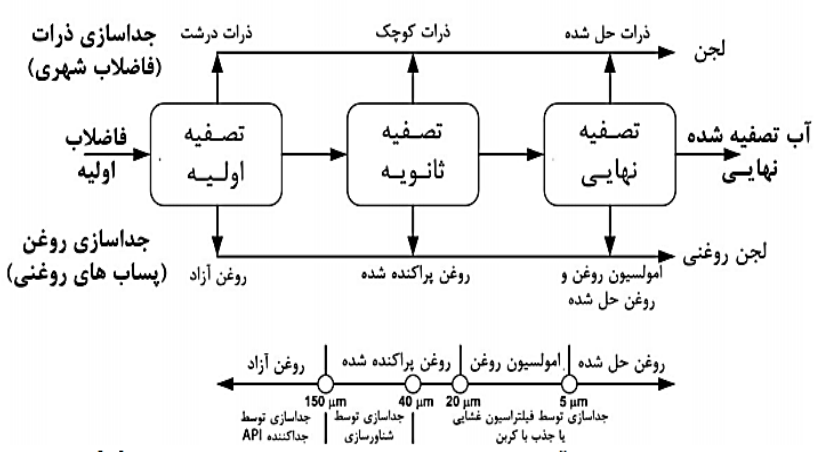
روش‌های بسیاری برای حذف ترکیبات نفتی از آب و جداسازی مخلوط‌های نفت/آب ارائه شده است اما روش‌هایی مطلوب است که قابلیت درصد جداسازی بالایی داشته باشند و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشند .

جداسازی نفت از پساب‌ها معمولاً به غلظت و خاصیت فیزیکی نفت موجود و اندازه قطرات آن بستگی دارد. مشابه با تصفیه فاضلاب‌های شهری، همان‌طور که در شکل۲ نشان داده شده است، ترکیبی از روش های مختلف برای جداسازی پساب‌های نفتی مورد نیاز است که شامل یک جریان اصلی تصفیه آب و یک جریان برای کنترل لجن‌های نفتی می‌باشد.

[1] Free oils
[2] Mechanical oils
[3] Chemical stablized
[4] Dissolved Oils
[5] Oils-wet solid
[6] Polarity
[7] Degradibility

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- ترکیبی از روش‌های مختلف در جداسازی پساب نفتی [۱۷]

از آنجائیکه جداسازی روغن بستگی به نوع مخلوط روغن و میزان روغن در پساب دارد، لذا انتخاب سیستم تصفیه قطعاً می بایست بر این مبنا صورت پذیرد[۱۸]. روشهای متداول جهت جداسازی روغن عبارتند از: ۱- جداسازی ثقلی[1]، ۲- شناورسازی با هوا[2]، ۳- انعقاد و لخته سازی و ته نشینی[3]، ۴- فیلتراسیون، ۵- coalscers، ۶- فرآیندهای غشائی، ۷- تصفیه بیولوژیک، ۸- جذب توسط کربن فعال[۱۹]. جداسازی با نیروی گرانش ارزان ترین و معمول ترین روش برای حذف روغن های آزاد در پساب های روغنی می باشد. این روش مبتنی بر اختلاف دانسیته بین فازهای روغن و آب می باشد .[۲۰]روغن به روی سطح تانک آمده و سپس جمع آوری می گردد .بر اساس قانون استوکس، پارامترهای کلیدی در این جداسازی، اختلاف دانسیته، سایز قطره و ویسکوزیته می باشند. بازده یک جداکننده با نیروی گرانش بستگی به طراحی هیدرولیکی مناسب و زمان ماند پساب دارد[۲۱]. در جداسازی با سانتریفیوژ نیز این جداکننده ها نیز بر اساس اختلاف دانسیته بین دو فاز روغن و آب عمل می کنند اما جداسازی با اعمال نیروی سانتریفیوژ توسط سانتریفیوژها یا هیدروسیکلون ها بهبود می یابد[۲۲]. شکستن امولسیون های روغن/آب و جداسازی روغن پراکنده شده را می توان به صورت کلی به روش های شیمیایی، فیزیکی یا الکتریکی دسته بندی نمود .اغلب از روش های شیمیایی، عمدتاً لخته سازی و ته نشین سازی استفاده می گردد، همچنین این روش ها، جداسازی های مکانیکی را بهبود می بخشد[۲۳]. روش های فیزیکی شامل فیلتراسیون و جداسازی غشایی می باشد .شناورسازی با هوا را می توان به عنوان روش مکانیکی در نظر گرفت، اما معمولاً در آن از مواد شیمیایی نیز استفاده می گردد .روش های الکتریکی عمدتاً برای جداسازی امولسیون های آب/روغن استفاده می گردند و در این جا بحث نخواهند شد[۲۴]. روغن و گریس ترکیبات آلی پایدار هستند، از این رو نمی توانند به راحتی توسط روش های بیولوژیک تجزیه شوند. همچنین با توجه به ثبات آنها، با استفاده از روش های معمول دیگر به سادگی تصفیه نخواهند شد[۲۵] به طور کلی، چربی و روغن در فاضلاب و آب های پذیرنده به سه صورت مشاهده می شوند: آزاد، امولسیون شده و محلول. چربی و روغن آزاد معمولا با روش های فیزیکی به راحتی جدا می شوند. در طول سال های متمادی، سیستم های تصفیه فاضلاب چربی و روغن تغیرات اساسی نموده اند[۲۶] به عنوان نمونه سیستم هایی همچون تله‌های چربی‌گیر، API (American Petroleum Institute)، CPI (Corrugated Plate Interceptor) و DAF (Dissolved Air Flotation) که بیشتر بر چربی های آزاد تأثیر گذار هستند، بر چربی های امولسیون شده اثر کمی دارند و بر چربی و روغن های محلول بدون تأثیر می باشند[۲۷]. مطالعات مختلفی فرایند های هوازی و بی هوازی را در حذف چربی و روغن محلول و امولسیون شده مورد بررسی قرار داده اند. اما این آلاینده با ایجاد پوشش روی بخش خارج سلول میکروارگانیسم ها، مانع تبادل مواد مورد نیاز آنها شده و موجب مرگ سلولی می گردد[۲۸]. برای تصفیه این گونه فاضلاب ها معمولا از یک فرایند پیش تصفیه برای کاهش میزان چربی و روغن استفاده می شود تا حداکثر میزان حذف چربی و روغن آزاد و امولسیون شده صورت پذیرد تا بدین طریق بتوان

[1] Gravity separation
[2] Air flotation
[3] Chemical coagulation and sedimentation

www.SID.ir

Archive of SID

مواد محلول را در اختیار میکروارگانیسم ها قرار داد. نکته دیگر، در دسترس قرار گرفتن چربی و روغن محلول است تا میکروارگانیسم ها بتوانند توسط آنزیم های خود، آنها را قابل استفاده نمایند[۲۹]. تمام موارد بیان شده موجب شده اند که روش های بیولوژیکی در حذف چربی و روغن با مشکلات بسیاری همراه باشند.

۵-۱- معمول‌ترین جداسازی روغن و چربی

جداسازی روغن و چربی از آب می توانند به طور موثری در حذف بنزین، سوخت دیزل خام، روغن، چربی و تقریبا هر نوع روغن سنگین تر از آب کمک کنند[۳۰]. پساب حاصل از عملکرد جداسازها به طور معمول به سیستم جمع آوری و تصفیه فاضلاب بهداشتی و صنعتی تخلیه می شود. جداسازی که به طور مناسب طراحی ، نصب و اجرا شود می تواند مانع ورود آلودگی روغنی به سیستم تصفیه فاضلاب شود. استفاده از جداساز ها در فرایند تصفیه در صنایع مختلفی مانند پالایشگاه ها، صنایع پتروشیمی، صنایع شیمیایی، صنایع پردازش گاز طبیعی، صنایع لبنی، رستوران ها، کشتارگاه ها و بسیاری از صنایع دیگر کاربرد دارد. به منظور جداسازی روغن و چربی از پساب بر اساس تجربیات شرکتهای بزرگ در جهان به دلیل بالابردن راندمان چربیگیرها و با توجه به شرایط متفاوت پروژه ها انواع مختلف جداساز طراحی شده اند. از مهمترین جداسازهای موجود در دنیا و ایران می توان به جداساز های API ، CPI، DAFاشاره کرد[۳۱].

۵-۱-۱- جداسازی روغن و چربی به روش API (American Petroleum Institute)

این روش یکی از ارزان‌ترین و معمول‌ترین روش‌ها برای حذف نفت‌های آزاد در پساب های نفتی می‌باشد. بسیاری از واحدهای نفت، گاز و پتروشیمی از جداکننده‌های API به عنوان اولین مرحله جداسازی روغن و ذرات معلق در فرایند تصفیه پساب‌های خود استفاده می‌کنند. این جداکننده‌ها با بهره‌گیری از نیروی گرانش مقادیر زیادی از قطرات روغن و ذرات جامد معلق را پیش از فرایند تصفیه بعدی جمع‌آوری می‌کنند. فرایند بعدی معمولاً شامل نوع دیگری از جداکننده‌های روغن-آب به همراه روش‌های پیشرفته ترتصفیه برای جدا کردن مواد آلی محلول است[۳۵-۳۲].

جداکننده‌های API بر اساس قانون استوکس عمل می‌کنند. عاملی که باعث بالا رفتن ذرات روغن تا سطح می‌شود اختلاف چگالی روغن و پساب است. این اختلاف معمولاً بسیار کم‌تر از اختلاف بین چگالی ذرات جامد معلق و پساب است. از این رو ذرات جامد معلق در واحد جداسازی ته‌نشین می‌شوند. بنابراین هم روغن و هم ذرات جامد معلق در جداکننده API از پساب جمع‌آوری می شوند.

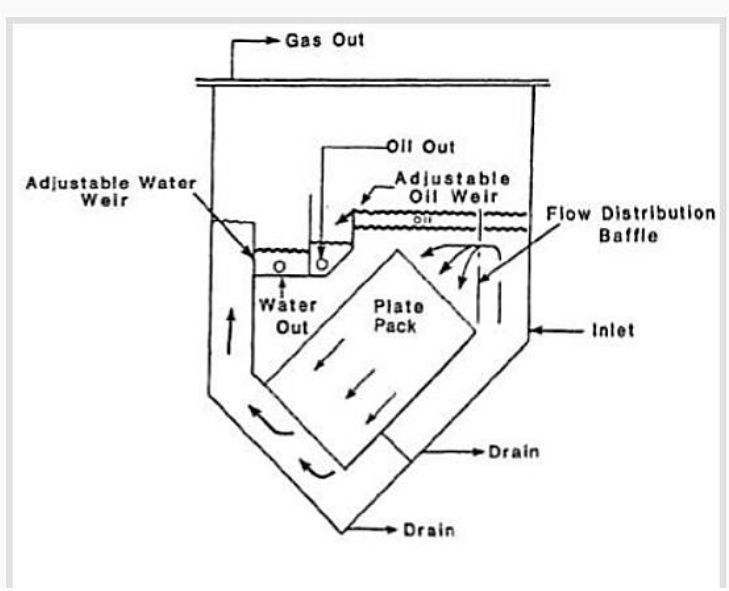
جداکننده های API طراحی ساده‌ای دارند و برای زمانی که نیاز به جداسازی اندک، هزینه های حداقل است و فضای کافی در اختیار باشد، استفاده می‌شوند. پساب تصفیه شده خروجی از این جداکننده ها، قطرات نفت کوچک‌تر از ۳۰ میکرومتر است. شکل ۳ شماتیکی از یک جداکننده API را نشان می‌دهد [۳۶-۳۹].

۵-۱-۲- جداسازی روغن و چربی به روش CPI (Corrugated Plate Interceptor)

جدا ساز هایCPI ، تجهیزاتی هستند که در فرایند تصفیه فاضلاب ، برای جدا کردن روغن و یا مواد جامد معلق از پساب استفاده می شوند[۴۰]. جدا ساز های CPI معمولا در پالایشگاه ها استفاده می شوند و یک روش بسیار امن و کارآمد در تصفیه فاضلاب به شمار می آیند. در روش CPI روغن روی سطوح جمع آوری شده و ذرات معلق در تراف ها انباشته می شوند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- قسمت‌های مختلف جداسازهای CPI [۴۱]

جداساز CPI طوری طراحی شده است که آب و روغن به طور طبیعی جدا شوند. این جداساز یک سیستم با کیفیت است که برای جداسازی قطعات با سرعت مناسب و کارآیی بالا طراحی شده است. جداسازهای CPI به منظور حذف حداکثری هیدروکربن ها از فاضلاب طراحی شده اند و پساب را برای مراحل دیگر تصفیه آماده می کنند[۴۲].

نحوه عملکرد سیستم CPI به قرار زیر است:

پساب همراه با چربی وارد سیستم CPI در بالای دستگاه می شود و به سمت پایین بین جدا کننده های صفحه جریان پیدامی کند. روغن جدا شده به صفحه موازی سطح جداکننده می چسبد [۴۳]و در حالی که بقیه آب به سمت پایین حرکت می کند، به سمت بالا حرکت می کند. وقتی ذرات روغن سنگین تر جدا می شوند، پساب تصفیه نشده به صفحه جداکننده در قسمت پایین دستگاه وارد می شوند و از طریق صفحه جداساز در یک جهت به سمت بالا حرکت می کنند. ذرات سنگین تر از صفحات پایین آمده و از دستگاه خارج می شوند. دستگاه ها در اندازه های مختلف تولید می شود[۴۴]. صفحات موازی جداسازهای در یک زاویه قرار می گیرند تا بتوانند روغن و یا جامدات را توسط نیروی گرانش منتقل کنند. CPI برای هر پساب آلوده به مواد روغنی مناسب است و میزان آلاینده های روغنی در پساب را قابل کنترل می کند. طراحی این سیستم به گونه ای است که فضای مورد نیاز برای اجرای سیستم کاهش یافته و کارآیی سیستم نسبت به سایر سیستم ها مانند API افزایش می یابد[۴۵].

مزایای سیستم CPI به قرار زیر است:

- نیاز به تجهیزات کمتر
- هزینه نگهداری بسیار کم بدلیل وجود نداشتن قطعات متحرک
- راندمان و ظرفیت بالا در کنار فضای مورد نیاز فشرده[۴۶]
- امکان کنترل جریان شوک بدون تأثیر قابل توجه بر کیفیت پساب
- امکان استفاده از رنج گسترده ای از انتخاب از نوع جنسRCC) ، فولاد خام، فولاد ضد زنگ (برای صفحات در جدا کننده هایCPI [۴۷]

معایب سیستم CPI به قرار زیر است:

- غلظت روغن خروجی بالاتر از سایر روش ها است.
- سطح مورد نیاز بزرگتر[۴۸]؛
- نیاز به روغن های گران قیمت جهت تعمیر و نگهداری تجهیزات؛

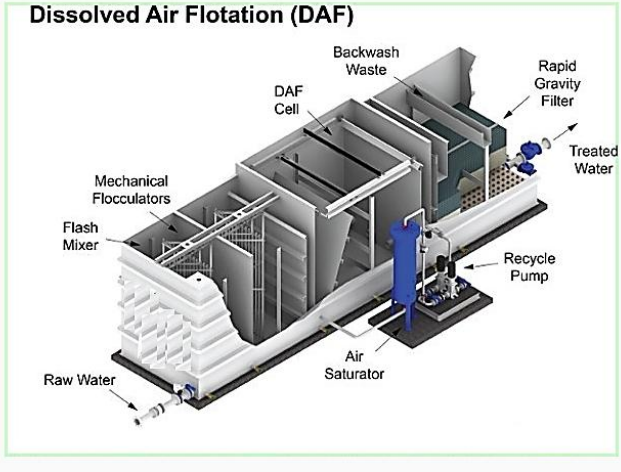
www.SID.ir

Archive of SID

- بی اثر بودن این روش برای قطرات کوچک روغن یا امولسیون روغن و نیاز به زمان ماند طولانی به منظور جداسازی مناسب[۴۹].

۵-۱-۳-جداسازی روغن و چربی به روش DAF (Dissolved Air Flotation)

DAF یک فرایند تصفیه آب و فاضلاب است که با حذف مواد معلق مانند روغن یا جامدات، فاضلاب (یا آبهای دیگر) را روشن می کند. حذف توسط حل شدن هوا در آب یا فاضلاب تحت فشار و سپس آزاد شدن هوا در فشار اتمسفر در یک حوض مخزن شناور به دست می آید[۵۰]. هوای آزاد شده، حبابهای کوچک را تشکیل می دهد که به ماده معلق منتقل می شود و ماده معلق به سطح آب شناور می شود[۵۱]. سیستم تصفیه فاضلاب صنعتی به روش DAF یک روش مرسوم برای رنج وسیعی از فعالیت‌های صنعتی است که منجر به کاهش اثرات مالی وضعیت محیطی تخلیه فاضلاب به محیط می شود. سیستم تصفیه فاضلاب به طور گسترده ای برای کاهش مصرف اکسیژن شیمیایی (COD) موجود در چربی ها، روغن ها و گریس ها، رنگ، مواد آلی، لجن های بیولوژیکی و مواد کلوئیدی استفاده می شود[۵۲].



شکل ۴- قسمت‌های مختلف سیستم تصفیه فاضلاب صنعتی به روش DAF [۵۲]

سیستم تصفیه فاضلاب به روش DAF به طور گسترده ای برای کاهش اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (COD) و حذف چربی ها، روغن ها و گریس ها، رنگ، مواد آلی، لجن های بیولوژیکی و مواد کلوئیدی استفاده می شود. فرایند DAF برای کاربردهای صنعتی حساس مانند پتروشیمی، تولید مواد شیمیایی، داروسازی، تاسیسات ضایعات و تولید کاغذ به طور موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است DAF. هم چنین برای ارتقاء سیستم های تصفیه موجود ایده آل است[۵۳]. DAFبه طور گسترده ای در تصفیه پساب های صنعتی از پالایشگاه های نفتی، کارخانه های پتروشیمی، کارخانه های پردازش گاز طبیعی، کارخانه های کاغذسازی، تصفیه آب و تجهیزات مشابه استفاده می شود. یک فرایند بسیار مشابه که به عنوان شناور گاز القا شده شناخته می شود نیز برای تصفیه فاضلاب استفاده می شود. در صنعت نفت، واحدهای شناورسازی گاز حل شده (DGF) جهت ایجاد حباب از هوا به علت خطر انفجار آن به عنوان گاز پایه استفاده نمی کنند و بجای آن از گاز نیتروژن استفاده می شود[۵۴]. از مهمترین دلایل انتخاب روش DAF می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **کاربرد بالا**
  - ✓ صرفه جویی درمصرف انرژی در تصفیه فاضلاب.
  - ✓ کیفیت بالاتر پساب تخلیه شده به محیط در حالیکه هزینه ها کاهش یافته[۵۵]
  - ✓ کاهش حجم لجن با وجود محتوای جامدات خشک بالاتر.
  - ✓ قابلیت استفاده برای بازیابی و بازیافت روغن های غیر امولسیون بدون نیاز به روش های تصفیه دیگر[۵۶].

www.SID.ir

Archive of SID

- **عملیات تعمیر و نگهداری کم**
  - ✓ اجزای پلاستیکی تقویت شده، سایش و خوردگی را کاهش می دهند.
  - ✓ سیستم مورد استفاده از یک مخزن تحت فشار برای جلوگیری از نیاز به پخش کننده ها در مخزن شناور استفاده می کند[۵۷].
- **نیاز به فضای کمتر**
  - ✓ در مقایسه با فناوری های دیگر نیاز به فضای مورد نیاز کمتری دارد[۵۸]
- **قدرتمند بودن سازه**
  - ✓ ساخته شده از فولاد ضد زنگ درجه ۳۰۴ یا ۳۱۶ و برای اطمینان از عمر طولانی و در نظر گرفتن استانداردها جهت کاهش خطرات خوردگی.
  - ✓ در نظرگرفتن تمامی استانداردهای موجود در ایران و اروپا[۵۹]
- **کاهش عملیات ورودی**
  - ✓ سیستم کنترل کاملا اتوماتیک بوده و نیاز به عملیات دستی را از بین می برد[۶۰].
  - ✓ نظارت جامع و کامل از تخلیه نهایی برای فاضلاب یا تصفیه بیشتر[۶۱].

سیستم تصفیه فاضلاب به روش DAF یک فرایند کاملا فیزیکی است که بر اساس یک طراحی ساده عمل می کند. پساب ورودی ممکن است نیاز به پیش تصفیه داشته باشد؛ مانند اضافه کردن منعقد کننده ها برای اطمینان از شرایط عملیاتی بهینه، تنظیم pH نیز ممکن است ضروری باشد. پساب ورودی وارد مخزن فلوتاسیون می شود که در آن با پساب تصفیه شده (که گاه به نام آب سفید) در تماس قرار گیرد. درصد کل جریان پساب که در آن هوا دمیده شده و تحت فشار قرار می گیرد[۶۲] و تصفیه می شود، توسط عوامل مختلف تعیین می شود. افزایش فشار داخل لوله در جایی که هوا در حال حل شدن است، تضمین می کند که در شرایط تحت فشار نسبت به فشار اتمسفر غلظت بالاتری از هوا به فاز مایع تبدیل می شود. هنگامی که پساب اشباع شده وارد مخزن شناور می شود، فشار هوا به فشار اتمسفر آزاد برمی گردد. این موضوع بلافاصله موجب می شود[۶۳] تا جریان تصفیه سوپراشباع شده و به دلیل خروج هوای حل شده از محلول، حباب های کوچک تولید شود. این حباب ها مواد معلق موجود در فاضلاب را در خود حل کرده و آنها را به سطح منتقل می کنند[۶۴]. در پایان مواد جمع شده در سطح توسط یک اسکیمر مکانیکی جمع آوری می شوند. در داخل مخزن شناور مستطیلی شکل، ساز و کار اسکیمر شامل مجموعه ای از پاروها یا پره هایی است که روی یک زنجیر پلاستیکی مقاوم در برابر خوردگی قرار گرفته و تنها آلاینده های در سطح مخزن را جمع آوری کرده و به یک مخزن منتقل می کنند. برای از بین بردن خطر ایجاد لجن در کف مخزن فلوتاسیون، ممکن است یک اسکرابر درکف درنظرگرفته شود[۶۵].

۵-۲- جداسازی با استفاده از سانتریفیوژ

سانتریفیوژ دستگاهی است که در آن با استفاده از نیروی گریز از مرکز مواد را از یکدیگر جدا می‌کنند. این جداکننده ها نیز بر اساس اختلاف دانسیته بین دو فاز نفت و آب عمل می‌کنند. در این دستگاه محفظه‌ای که مواد جداشدنی در آن قرار دارد معمولاً به کمک یک موتور به سرعت حول یک محور می‌چرخد. دانشمندان معمولاً دستگاه سانتریفیوژ را برای جدا کردن ذرات جامد از یک مایع یا تقسیم مخلوط مایعات به اجزای مختلف آن به کار می‌گیرند. مخلوط را درون لوله‌ای قرار می‌دهند که طوری قرار داده شده‌است که با چرخش دستگاه، به سمت خارج از مرکز حرکت می‌کند و به حالت افقی قرار می‌گیرد. در این حالت، نیروی گریز از مرکز می‌خواهد که مخلوط را برخلاف مرکز سانتریفیوژ براند و از این نقطه دور کند و ذرات یا مایع سنگین‌تر بیش‌تر به سمت بیرون (یا ته مخلوط) رانده می‌شوند. وقتی سانتریفوژ از حرکت بازمی‌ایستد، مواد به همین حالت غیر مخلوط می‌مانند [۶۶و۶۷].

۵-۳- جداسازی با استفاده از تصفیه شیمیایی

تصفیه شیمیایی برای جداسازی نفت کلوئیدی از پساب های نفتی استفاده می شود. افزودن مواد شیمیایی به سیستم نفت - آب به تنهایی جداسازی را انجام نمی‌دهد، بلکه منجر به جداسازی بهتر روش‌های فیزیکی به‌وسیله تولید قطرات بزرگتر نفت می‌شود. ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

نفت در یک محلول آبی دارای بار سطحی هستند و با نزدیک شدن دو قطره به هم، دافعه الکترواستاتیکی مانع از به هم پیوستن و تشکیل قطرات بزرگ‌تر می‌شود. مواد شیمیایی بار سطحی قطرات نفت را کاهش می‌دهد و فاز معلق ناپایدار می‌شود، در نتیجه به هم پیوستگی قطرات نفت بیشتر می‌شود [۶۳].

۵-۴-جداسازی روغن و چربی به روش تبخیر

تبخیر مایع یک فرآیند انتقال حرارتی می‌باشد که منجر به تغییر فاز حداقل یکی از اجزاء موجود در مخلوط مایع می‌شود. این روش برای بازیافت یک مایع فرار از یک مخلوط استفاده می‌شود که محصول باقیمانده می‌تواند یک مایع، جامد و یا ترکیبی از هر دو باشد. این تبخیرکننده‌ها به‌دلیل این‌که مقدار انرژی بسیار زیادی مصرف می‌کنند برای حجم‌های کم از پساب مناسب هستند. تبخیرکننده‌ها توانایی حذف نفت از جریان پساب را ندارند، آن‌ها فقط حجم پساب را کاهش داده که نتیجه آن کاهش هزینه تخلیه به محیط زیست می‌باشد. کار با تبخیرکننده‌ها ساده است، حجم کمی را اشغال می‌نمایند و نوع نفت حائز اهمیت نمی‌باشد. با این وجود، نظافت تبخیرکننده‌ها سخت است و باید فقط هنگامی که سایر روش‌ها مناسب نیستند، از این روش استفاده کرد[۵۹ و ۶۵].

۵-۵-جداسازی روغن و چربی به روش :

۵-۵-۱- الکترو کواگولاسیون (Electrocoagulation)

الکترو کواگولاسیون (Electrocoagulation) یک روش ساده و کارآمد برای تصفیه باری از فاضلاب های حاوی روغن، جامدات، رنگ و یا مواد آلی می باشد[۶۶]. در حقیقت انعقاد الکتریکی، فرایند تولید مواد منعقد کننده در محل با استفاده از تجزیه الکتریکی الکترودهای آلومینیوم با آهن و تولید یون های فلزی در آند و گاز هیدروژن در کاتد بر اساس معادلات (۷-۱) می باشد: آلاینده های موجود در محلول توسط هر کدام از واکنش های شیمیایی و رسوب و یا واکنش های فیزیکی و پیوند شیمیایی مواد کلوئیدی تولید شده از طریق خوردگی الکترود تصفیه می شوند[۶۷]. ذرات تجمع یافته می توانند از طریق رسوب یا اتصال به حباب هیدروژن تولید شده در کاتد که الکتروفلوتاسیون نامیده می شود، از فاز مایع جدا شده و به سطح آن انتقال یابند. باید توجه داشت که چندین متغیر می توانند راندمان تصفیه را در این فرایند تحت تأثیر قرار دهند؛ از جمله طراحی راکتور، جنس الکترود، دانسیته جریان، pH و هدایت الکتریکی. هدف اصلی در طراحی یک سلول انعقاد الکتریکی، رسیدن به حداکثر راندمان حذف می باشد[۶۸]. راکتور انعقاد الکتریکی می تواند با آرایش مختلف الکترودها در داخل سلول الکتروشیمیایی ارائه گردد؛ بدین معنا که الکترود تک قطبی در اتصال موازی و الکترودهای تک قطبی و دو قطبی در اتصالات سری به کار برده شوند. در مطالعات انجام شده، مزایای متعددی برای الکترو کواگولاسیون گزارش شده است[۶۹] که مهم ترین این مزایا، راهبری و نگهداری آسان، بهره برداری کاملا خودکار و پیوسته، بازیافت و استفاده دوباره از فاضلاب، حجم کم لجن (به جز برای مقادیر اضافی)، عدم نیاز به کنترل در افزودن مواد شیمیایی، مؤثر و سریع بودن در تجزیه مواد آلی با راندمان رایج (حدود ۹۰ درصد)، کاهش تعداد واحدهای فرایندی تصفیه خانه و در نتیجه کاهش شدید سطح زمین مورد نیاز تصفیه خانه می باشند[۷۰]. فاضلاب تصفیه شده با استفاده از این روش در اکثر موارد بی رنگ، شفاف و بدون بر است. بدون شک هر فرایندی محدودیت هایی دارد[۷۱]. در ارتباط با محدودیت های این فرایند می توان به تولید گاز هیدروژن که ممکن است از نظر ایمنی خطرناک باشد)، خوردگی آند و رسوب لجن روی الکترودها و محدود شدن فرایند، افزایش غلظت یون های آهن و آلومینیوم در خروجی، هزینه های سرمایه گذاری اولیه نسبتا بالا و گران بودن استفاده از برق در برخی از مناطق اشاره نمود[۷۲]. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تصفیه فاضلاب کارخانه زیتون و حذف روغن از فاضلاب روغنی انجام شده اند، به عنوان مثال یزدانبخش و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه ای اثربخشی فرایند انعقاد و شناورسازی الکتریکی را بر کاهش سیت از فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش به منظور ارزیابی سمیت فاضلاب و پساب حاصل از فرایند از آزمون جوانه زنی استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بودند که پاب حاصل از این فرایند حتی بدون رقیق سازی، رشد بذرهای گونه های گیاهی را به دنبال دارد[۷۳]. Shamrani و همکاران نیز با بررسی نقش سیتم DAF در

www.SID.ir

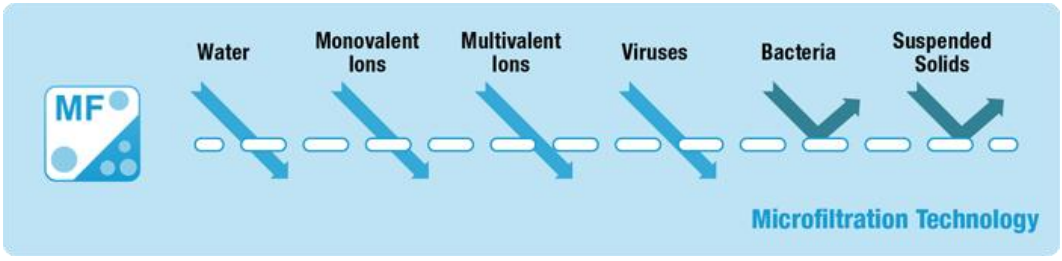
Archive of SID

حذف امولسیون روغنی که توسط یک سورفاکتانت غیر یونی ناپایدار شده بود، نتیجه گرفتند که در صورت استفاده از سولفات قریک و آلومینیوم، راندمان حذف COD تا ۳/۹۹ درصد برای سولفات آلومینیوم (در pH= ۸و تا ۹۴/۹۹ درصد برای سولفات فریک (در pH= ۷ارزیابی می شود اما علاوه بر مصرف مواد شیمیایی و تولید الجن بسیار که از محدودیت های انعقاد با مواد شیمیایی می باشد، در این روش ابتدا لازم است روغن ناپایدار گردد[۷۴]. در پژوهشی دیگر، راندمان حذف COD روغن از فاضلاب کارخانه روغن نباتی با استفاده از فرایند الکترو کواگولاسیون با الکترود آلومینیوم توسط Tezcan و همکاران بررسی شد. این پژوهشگران با جریان ۳۵ میلی آمپر بر سانتی متر مربع، به راندمان حذف ۹۸،۹ درصد در ۹۰ دقیقه دست یافتند. همچنین در پژوهشی که توسط Xinhua و همکاران در سال ۲۰۰۴ در ارتباط با کاربرد این روش با استفاده از الکترود آهن انجام شد، راندمان حذف COD از فاضلاب حاوی روغن و کریس در داشبه جریان ۱۲ میلی آمپر بر سانتی متر مربع پس از ۳۰ دقیقه زمان واکنش، ۷۵ درصد گزارش گردید. پدیده جذب را می توان به عنوان عملیاتی که طی آن انتقال جرم صورت می گیرد، تعریف نمود[۷۵]. به این صورت که موادی که در یک قاز مایع وجود دارند، روی جاذبی که به صورت جامد در محلول قرار دارد، جذب شده و در سطح یا منافذ درون آن انباشته می شوند. از جمله جاذب های پرکاربرد، کربن فعال پودری و کرین گرانوله می باشند، اما فرایندهای دیگری وجود دارند که طی آن ها لخته های هیدروکسیدی تشکیل می شوند. این لخته ها می توانند به عنوان جانب عمل کنند و آلاینده موجود در قاز آیی را جذب نمایند[۷۶]. به طور کلی، جذب یک آلاینده توسط لخته به در صورت امکان پذیر می باشد: الف. فرایند فیزیکوشیمیایی که با اضافه کردن منعقد شده به سیستم لخته های هیدرو کبد، تولید شده و آلاینده جذب آن می گردد و نب. فرایند انعقاد الکتریکی که در آن پی برقراری جریان برق و خوردگی الکترود طی واکنش، لخته های فلزی تشکیل می شوند که آلاینده جذب آنها شده و حذف می گردد[۷۷]. بررسی نتایج کنک جذب می تواند اطلاعات سودمندی را در ارتباط با عوامل اثرگذار بر سرعت جذب آلاینده، درجه سرعت و کارایی فرایند جذب در اختیار قرار دهد. در فرآیند انعقاد الکتریکی، امکان وقوع جذب وجود دارد لذا بررسی سینتیکهای جذب ضروری است[۷۸].

۵-۶- جداسازی به روش غشایی

از دیگر روش‌هایی که برای مقابله و حذف آلودگی محیط زیست آبی، به کار برده می‌شود، استفاده از غشاها برای حذف آلاینده‌ها و جلوگیری از توزیع مواد نفتی روی آب می‌باشد. فیلتراسیون غشایی در جداسازی امولسیون‌های نفتی و نفت حل شده موفق ترین روش می باشد. فرآیند جداسازی غشایی برای تصفیه آب بر اساس اندازه مولکولی به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود [۸۱]:

- MF از فرایندهای غشایی است که نیروی محرکه آن اختلاف فشار می‌باشد. اندازه حفرات غشا در این فرآیند معمولاً بین ۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر است که بیشتر برای دفع کردن مواد کلوییدی و موادی با اندازه ذرات بیشتر از قطر حفرات به کار برده می‌شود. در میکروفیلتراسیون از پلیمرهای طبیعی و مصنوعی مثل نیترات یا سلولزاستات، پلی آمیدها و پلی‌سولفون‌ها استفاده می‌شود. این فرایند می‌تواند به‌عنوان پیش تصفیه برای فرایندهای نانوفیلتراسیون و اسمزمعکوس و تصفیه بیولوژیکی آب‌های کثیف به کار برده شود. هم‌چنین از دیگر مزایای این فرآیند ، توان عملیاتی بالا و مقرون به صرفه بودن آن می‌باشد.

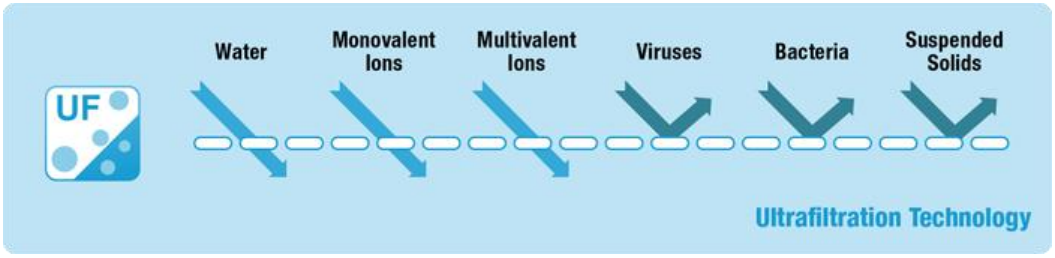


شکل ۵ - فرآیند میکروفیلتراسیون [۸۱]

www.SID.ir

Archive of SID

۲) اولترافیلتراسیون[1] UF این فرایند برای جداسازی ذرات معلق نامحلول توسط غشا استفاده می‌شود. که بر پایه غشای نیمه تراوا فرآیند جداسازی را تا کم‌تر از یک دهم میکرون انجام می‌دهد. همانند میکروفیلتراسیون، نیرو محرکه جریان برای عبور از غشا، اختلاف فشار می‌باشد. ساختار نامتقارن غشای اولترافیلتراسیون است که باعث جداسازی ذرات بزرگتر از اندازه مولکولی غشا و باقی گذاشتن آن ها در سطح غشا می‌شود در حالی‌که ذرات با اندازه کوچکتر از میان ساختار غشا عبور می‌کنند. قطر منافذ حفرات غشاهایی که در این فرآیند استفاده می‌شوند حدود ۰/۱ تا ۰/۰۱ میکرون می‌باشد. از مزایای اولترافیلتراسیون می‌توان به پیش تصفیه سیستم‌های اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون، فیلتراسیون آب‌های سطحی، فیلتراسیون آب در صنایع لبنیات و فیلتراسیون آب در صنایع مواد غذایی اشاره کرد. شکل۶ فرایند اولترافیلتراسیون را نشان می‌دهد.



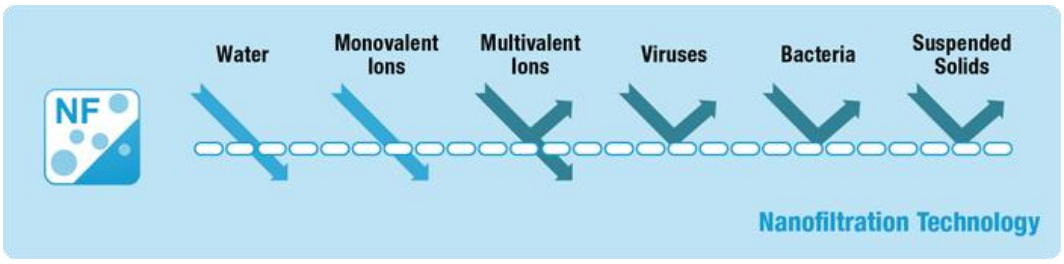
شکل ۶- فرایند اولترافیلتراسیون [۸۱]

۳) نانو فیلتراسیون[2] NF): این فرآیند توانایی حذف بسیاری از ترکیبات با جرم مولکولی تقریباً بالا و محلول در آب را دارد. غشاءهای نانوفیلتراسیون می‌توانند سختی آب را به جز یون‌های با جرم مولکولی پایین که برای بدن انسان مفید هستند حذف کنند. علاوه براین می‌تواند مولکول های آلی بزرگ مثل رنگ آب، مقدار زیادی از مواد آلی طبیعی و برخی از نمک‌ها را حذف کند. اندازه حفره های فیلترهای نانوفیلتراسیون تقریبا ۰/۰۰۱ میکرون می‌باشد و روش کار در دستگاه های نانوفیلتراسیون مشابه با اسمز معکوس است. از مزایای این دستگاه ها در تصفیه آب و فاضلاب، نسبت به سیستم RO می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- حذف نمک با املاح پایین

۲- مقدار پساب کم‌تر

۳- انرژی مصرفی کمتر



شکل ۷ – فرایند نانوفیلتراسیون [۸۱]

۴) اسمز معکوس[3] RO یکی از فرایندهای غشایی است که باعث حذف تعداد زیادی از مولکول‌های بزرگ از محلول، با استفاده از فشار به محلول پشت غشاء می‌شود که نتیجه این کار باقی ماندن املاح در سمت تحت فشارغشاء است که باعث می‌شود حلال خالص اجازه عبور به سمت دیگر را پیدا کند. روش اسمز معکوس یک فرایند فیزیکی است که توانایی حذف تقریباً تمام جامدات محلول موجود در آب و مواد آلی محلول و نامحلول، باکتری‌ها و آلاینده‌های میکروبیولوژی را دارد.

در میان این فرایندها اسمز معکوس، به دلیل داشتن منافذ ریزتر نسبت به سایر فرایندها می‌تواند بازه گسترده‌تری از یون‌ها را در آب حذف کند. از همین‌رو فرایندهای اسمز معکوس و هم‌چنین نانوفیلتراسیون بیشتر برای تصفیه آب به‌منظور تولید آب آشامیدنی

[1] Ultrafiltration
[2] Nanofiltration
[3] Revers Osmosis

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده می‌شوند. درحالی‌که اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون برای زمانی که میزان خلوص بالایی مدنظر نیست و به طور معمول برای مصارف کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵-۷- شناور سازی با هوای فشرده

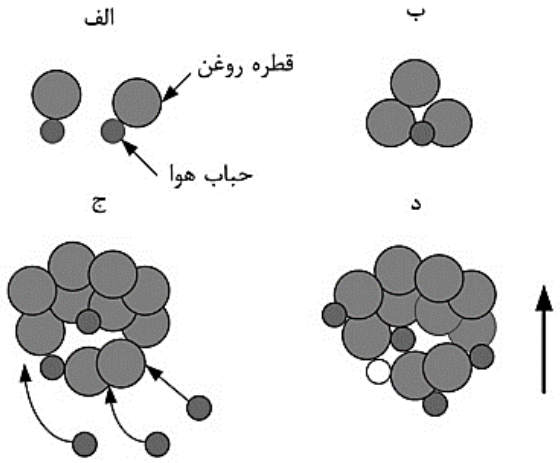
شناورسازی به عنوان یک روش تصفیه فیزیکی برای جداسازی ذرات مایع یا جامد از یک فازمایع مورد استفاده قرارمی‌گیرد. این روش که بهبود یافته روش جداسازی با نیروی گرانش می‌باشد هنگامی که اختلاف دانسیته نفت/آب به اندازه ای نیست که بتواند نفت را جدا کند، استفاده می‌شود. جداسازی با وارد کردن حباب‌های ریز هوا به داخل فازمایع انجام می‌شود. ذرات آب‌گریز به شدت به حباب‌های هوای بالا رونده می‌چسبند و در ته ظرف ته‌نشین می‌شوند. مکانیسم برهم‌کنش بین حباب‌های هوا و قطرات نفت در این روش در شکل ۸ نشان داده شده است و شامل مراحل زیر می باشد [۸۴و۸۹]:

الف) برخورد و به‌هم پیوستن حباب‌های کوچک هوا به سطح قطره‌های نفت

ب) برخورد بین قطره‌های چسبیده به حباب‌های هوا با یکدیگر و تشکیل توده‌های نفت

ج) به دام افتادن حباب‌های بیشتر هوا در ساختار قطره‌های نفت

د) بالا رفتن ساختارهای توده‌ای به حالت جاروبی.



شکل۸- مکانیسم برهم کنش بین حباب های هوا و قطرات نفت در روش شناورسازی [۸۴]

۵-۸-استفاده از فوتو کاتالیست ها برای جداسازی روغن

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته یا AOPs به عنوان روشی مطمئن برای تخریب مواد آلاینده مقاوم در برابر روشهای تخریبی زیستی شناخته شده است .این دسته، فرآیندهایی را شامل میشوند که در آنها رادیکال هیدروکسل به عنوان یک اکسنده بسیار قوی، با مولکول ماده آلاینده وارد واکنش میشوند و موجب تخریب کامل و یا تولید مواد واسطه قابل تخریب به روش زیستی می شود[۸۹]. در مواردی که تخریب کامل مولکولی صورت گیرد، این فرآیند منجر به تولید آب و دیاکسیدکربن و مواد غیر آلی می شود. فرآیند فوتوکاتالیستی به فرآیندی اطلاق میشود که در طی آن ماده آلاینده آلی در حضور یک کاتالیست نیمه هادی، منبع نور و عامل اکسنده) مانند اکسیژن یا هوا (تخریب میشود .در واقع در این فرآیند از نور به منظور فعال کردن کاتالیست جهت تولید رادیکالهای هیدروکسیل استفاده می‌شود[۹۰] .به کاتالیستی که در این فرآیند استفاده میشود، فوتوکاتالیست گویند .تفاوت اساسی این نوع کاتالیستها با کاتالیستهای گرمایی متداول در این است که کاتالیستهای گرمایی توسط گرما فعال میشوند و موجب تسریع واکنش میگردند، در حالی که فوتوکاتالیستها توسط فوتون و انرژی نور فعال می‌شوند[۹۱].

در فرآیند تصفیه پساب توسط روشهای اکسیداسیون پیشرفته، در صورتی که فرآیند اکسیداسیون، به طور کامل صورت نپذیرد، مواد واسطهای تولید میشود که ممکن است از ماده آلاینده اصلی، سمیتر باشند که در این موارد شاخصهای دیگری مثل TOC و

www.SID.ir

Archive of SID

COD برای بررسی بار آلایندگی محلول به کار میرود.در طول سالهای گذشته تحقیقات فراوانی در زمینه فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، صورت گرفته است. فرآیندهای فوتوکاتالیستی به طور کلی به دو دسته همگن و ناهمگن تقسیم می شوند[۹۲].

جدول ۲- فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته[۹۳]

عدم تابش نور	تابش نور
O_3/H_2O_2	H_2O_2/ UV
O_3/ultrasound	O_3/UV
O_3/granulated activated carbon	O_3/H_2O_2/UV
O_3/catalyst	photocatalyst/UV
Electro-fenton	photocatalyst /H_2O_2/UV
Electro beam irradiation	photocatalyst /O_2/UV
Ultrasound	Fe^{2+}/H_2O_2/UV(photo-Fenton)

در زیر به چند مورد از مزایای استفاده از فرآیند فوتوکاتالیستی اشاره شده است:

۱-بازدهی بالا در تخریب مواد آلی موجود در هوا و آب

۲-تجزیه گستره وسیعی از آلاینده های آلی

۳-عملکرد در دما و فشار محیط[۹۴]

۴-عدم استفاده از ترکیبات فلزی موجود در فرآیندهای متداول

۵-توانایی تخریب کامل مواد آلی و تبدیل آنها به آب ، دیاکسید کربن و مواد معدنی

۶- عدم نیاز به اکسندههای شیمیایی خطرناک و گران قیمت (مانند O_3 و H_2O_2) به دلیل وجود اکسیژن در هوای حل شده

۷- استفاده از فتوکاتالیست هایی مانند TiO_2 به عنوان یک کاتالیست ارزان قیمت، غیر سمی، پایدار و قابل دسترس

۸- عدم نیاز به انرژی بالا جهت انجام واکنشهای فوتوکاتالیستی[۹۵]

ترکیب فرآیند UF با فرآیند فتوکاتالیستی[1] فرآیند هیبریدی را شکل می دهد که قادر است با تغییر ساختار روغن های باقیمانده و تبدیل آلاینده های آلی به آلاینده های غیر آلی، فاضلاب را تصفیه نماید. در بعضی فرآیندها ذرات کربن فعال (PAC) به چرخه گردش خوراک اضافه می گردد تا ترکیبات آلی را جذب کرده و جداسازی آن ها توسط غشا را آسان سازد و در نهایت مقدار COD و TOC تراوه خروجی را در مقایسه با جداسازی UF یا تصفیه بیولوژیکی کاهش دهد. تصفیه ناتراوه زمانی مورد توجه می باشد که روغن مجدداً قابل استفاده باشد که در این حالت از یک فرآیند UF همراه با تقطیر یا تبخیر استفاده می گردد[۹۶].

۵-۹- روش های بیولوژیکی برای جداسازی روغن

تصفیه بیولوژیکی استفاده از متابولیسم میکروبی است، به گونه‌ای که آلاینده‌های کلوئیدی آلی که در آب حل شده است به مواد بی ضرر پایدار تبدیل می‌شوند و در حال حاضر در تکنولوژی پیشرفته‌تر به‌کار می‌روند. معمولاً برای تصفیه پساب‌های نفتی ابتدا از یک بخش جدا کننده روغن و نفت، و به دنبال آن یک فرآیند تصفیه بیولوژیکی برای حذف کامل مواد آلی باقی مانده استفاده می‌کنند. معایب این فرایند عبارتند از: نیاز به تجهیزات برقی و مکانیکی نسبتاً زیاد و در نتیجه افزایش واردات در مقایسه با سایر فرایندهای تصفیه و بالا بودن هزینه های راهبری به واسطه مصرف انرژی بیشتر[۹۷-۹۸].

۶- نتیجه گیری

پساب های روغنی در بسیاری از فرآیندهای صنعتی تولید می گردند و روغن های موجود در این پساب ها باید پیش از استفاده مجدد یا تخلیه به محیط زیست جدا گردند. روغن موجود در پساب ها می تواند منشأ معدنی، جانوری یا گیاهی داشته باشد و معمولاً به چهار دسته روغن آزاد، روغن پخش شده، امولسیون روغن و روغن حل شده تقسیم می شود. می بایست یک روش

[1] photocatalytic

www.SID.ir

Archive of SID

جداسازی مشخص برای هر نوع از پساب های صنعتی با توجه به طبیعت فیزیکی روغن موجود در آن، استفاده گردد. این پساب های روغنی عمدتاً به شکل امولسیون روغن در آب می باشند، در نتیجه شکستن امولسیون ها و جداسازی روغن نیاز به درک و شناخت صحیحی از خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی آن ها داردانتخاب هر یک از روش ها با توجه به شرایط اقتصادی و نوع و شکل آلاینده ی روغنی در آب دارد.

۷- منابع

۱. احمدرضا پیشه ور، حمیدرضا کارشناس، محمد وحیدا. ۱۳۹۵. بررسی عددی،تجربی جداسازی آب از مواد روغنی توسط الکتروفیلتر .دولتی - وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری - دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده مهندسی مکانیک

2. Patterson, J.W., Industrial wastewater treatment technology: Butterworth Publishers, Stoneham, MA, 1985.

3. 2.Group, W.B., Pollution prevention and abatement handbook. Oil and Gas Development (onshore) Guideline, 1998.

4. Metcalf, I. and H. Eddy, Wastewater engineering; treatment and reuse. 2003.

۵. سیدفاطمه حسینی، فاطمه علمی، مجتبی شکراله زاده، حسن تقوی. ۱۳۹۸. جداسازی آب/روغن توسط غشاء تثبیت شده با کیتوسان استخراج شده از پوست میگوی موزی .(Fenneropenaeus merguiensis) کنفرانس ملی نانو ساختارها علوم و مهندسی نانو

۶. مهدی صوفی، هادی صوفی. ۱۳۹۲. افزایش راندمان حوضچه‌های چربی‌گیر API با استفاده از تکنولوژی‌های نو .اولین همایش ملی محیط زیست، صنعت و اقتصاد

7. Kvernheim, A., et al., Development of a new hydrocarbon index for oil-in-water. Chemosphere, 39(15): p. 2707-2722, 1999.

8. Farmaki, E., et al., Validation of a FT-IR method for the determination of oils and grease in water using tetrachloroethylene as the extraction solvent. Desalination, 210(1): p. 52-60, ۲۰۰۷.

9. Falbe, J.r., Surfactants in consumer products. 1987.

10. Porter, M., Handbook of Surfactants Blackie Academic and Professional. Glasgow, UK, 1994.

11. Hrudey, S. and S. Kok, Environmentally relevant characteristics of oil-in-water emulsions. Oil in Freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology. Pergamon Press, New York, NY 1987. Edited by John H. Vandermeulen and Steve E. Hrudey. p 58-70, 4 fig, 1 tab, 26 ref., 1987.

۱۲. مرتضی حسینی، زهرا احمدی راد. ۱۳۹۳. استفاده از میدان الکتریکی در جداسازی امولسیون روغن موتور در آب .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه صنعتی (نوشیروانی) بابل - دانشکده مهندسی شیمی

۱۳. لاله رجبی، هانیه کریم نژاد. ۱۳۹۱. کاربرد نانوساختارهای عاملدار برای غشاهای جداکننده آب و روغن .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه رازی - پژوهشکده فنی و مهندسی

14. Duncan, J.S., Introduction to colloid and surface chemistry, Butterworth, Heinemann, 1992.

15. Al-Shamrani, A.A., A. James, and H. Xiao, Destabilisation of oil–water emulsions and separation by dissolved air flotation. Water Research, 36(6): p. 1503-1512, 2002.

16. Bensadok, K., M. Belkacem, and G. Nezzal, Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. Desalination, 206(1–3): p. 440-448, 2007.

17. Simmons, M., J. Wilson, and B. Azzopardi, Interpretation of the flow characteristics of a primary oil–water separator from the residence time distribution. Chemical Engineering Research and Design, 80(5): p. 471-481, 2002.

۱۸. توحید توانگر، فرزین ذکایی آشتیانی، محمد کریمی. ۱۳۹۷. ساخت و ارزیابی غشا پلی اترسولفون و پلی اترسولفون سولفونه شده در جداسازی مخلوط آب روغن .شانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

۱۹. راضیه سادات حسینی پناه، محمدحسن وکیلی. ۱۳۹۵. تهیه فیلتر مسی فوق آب گریز به منظور جداسازی آب و روغن . همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی شیمی

۲۰. .1384جداسازی نفت و روغن از آب تولید شده همراه نفت به روش .Extraction اکتشاف و تولید نفت و گاز .11 .28

www.SID.ir

Archive of SID

21. Cambiella, A., et al., Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils. Chemical Engineering Research and Design, 84(1): p. 69-76, 2006.

22. Curtis, D., Hydrocyclone for oil-from-water separation. Filtration & Separation, 33(4): p. 291-292, 1996.

23. Bennett, G.F. and R.W. Peters, The removal of oil from wastewater by air flotation: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 18(3): p. 189-253, 1988.

24. Mulder, M., Basic Principles of Membrane Technology Second Edition: Kluwer Academic Pub, 1996.

25. Rodgers, V.G.J., Membrane Processes, by R. Rautenbach and R. Albrecht, John Wiley & Sons, UK (1989, reprinted 1994). 459 pages. ISBN 0-47-191-1100. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 3(3-4): p. 236-237, 1995.

۲۶. .1388جداسازی نفت از آب .سبزینه .133 .37

۲۷. رسول کدخدایی، حانیه غفوریان نصیری. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده از امواج فراصوت در شکست امولسیون ها و جداسازی روغن از آب .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی

28. Hu, B. and K. Scott, Influence of membrane material and corrugation and process conditions on emulsion microfiltration. Journal of Membrane Science, 294(1): p. 30-39, 2007.

29. Hua, F., et al., Performance study of ceramic microfiltration membrane for oily wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, 128(2): p. 169-175, 2007.

30. Chakrabarty, B., A. Ghoshal, and M. Purkait, Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane. Journal of Membrane Science, 325(1): p. 427-437, 2008.

۳۱. .1396نانوالیاف؛ لایه های همه کاره برای جداسازی کارآمد آب و روغن .کارآفرینان امیرکبیر .35 .

۳۲. مرتضی حسینی، سید محمد صادق ادیانی راد. ۱۳۹۰. جداسازی امولسیون روغن زیتون در آب با میدان الکتریکی غیر یکنواخت .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه فردوسی مشهد

۳۳. راضیه سادات حسینی پناه، محمدحسن وکیلی. ۱۳۹۵. تهیه فیلتر مسی فوق آب گریز به منظور جداسازی آب و روغن . همایش ملی فناوری های نوین در مهندسی شیمی

34. Xue, Z., Cao, Y., Liu, N., Feng, L., & Jiang, L. (2014). Special wettable materials for oil/water separation. Journal of Materials Chemistry A, 2(8), 2445-2460.

35. Chu, Z., Feng, Y., & Seeger, S. (2015). Oil/water separation with selective superantiwetting/superwetting surface materials. Angewandte Chemie International Edition, 54(8), 2328-2338.

36. Padaki, M., Murali, R. S., Abdullah, M. S., Misdan, N., Moslehyani, A., Kassim, M. A., ... & Ismail, A. F. (2015). Membrane technology enhancement in oil–water separation. A review. Desalination, 357, 197-207.

37. Kota, A. K., Kwon, G., Choi, W., Mabry, J. M., & Tuteja, A. (2012). Hygro-responsive membranes for effective oil–water separation. Nature communications, 3(1), 1-8.

38. Wang, B., Liang, W., Guo, Z., & Liu, W. (2015). Biomimetic super-lyophobic and super-lyophilic materials applied for oil/water separation: a new strategy beyond nature. Chemical Society Reviews, 44(1), 336-361.

39. Ma, Q., Cheng, H., Fane, A. G., Wang, R., & Zhang, H. (2016). Recent development of advanced materials with special wettability for selective oil/water separation. Small, 12(16), 2186-2202.

40. Wei, Y., Qi, H., Gong, X., & Zhao, S. (2018). Specially wettable membranes for oil–water separation. Advanced Materials Interfaces, 5(23), 1800576.

41. Yong, J., Chen, F., Yang, Q., Bian, H., Du, G., Shan, C., ... & Hou, X. (2016). Oil-water separation: a gift from the desert. Advanced Materials Interfaces, 3(7), 1500650.

42. Ge, M., Cao, C., Huang, J., Zhang, X., Tang, Y., Zhou, X., ... & Lai, Y. (2018). Rational design of materials interface at nanoscale towards intelligent oil–water separation. Nanoscale Horizons, 3(3), 235-260.

۴۳. مرتضی حسینی، زهرا احمدی راد. ۱۳۹۳. استفاده از میدان الکتریکی در جداسازی امولسیون روغن موتور در آب .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه صنعتی (نوشیروانی) بابل - دانشکده مهندسی شیمی

۴۴. مهدی صوفی، هادی صوفی. ۱۳۹۲. افزایش راندمان حوضچه‌های چربی‌گیر API با استفاده از تکنولوژی‌های نو .اولین همایش ملی محیط زیست، صنعت و اقتصاد

www.SID.ir

Archive of SID

۴۵. مژگان میرزاطاهری، علی سلیمی، امیر فدایی. ۱۳۹۲. تهیه و بررسی خواص پوشش آبدوست مورد استفاده در فرآیند جداسازی آب و روغن .وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران - پژوهشکده پتروشیمی

۴۶. الناز دوشنبه پور، محمد میرجلیلی، آرش الماسیان. ۱۳۹۷. تهیه نانوالیاف معدنی اصلاح شده با سطح فعال به منظور حذف ترکیبات روغنی از آب .نخستین همایش ملی نانوبیوتکنولوژی

47. Wen, Q., Di, J., Jiang, L., Yu, J., & Xu, R. (2013). Zeolite-coated mesh film for efficient oil–water separation. Chemical Science, 4(2), 591-595.

48. Pan, Y., Huang, S., Li, F., Zhao, X., & Wang, W. (2018). Coexistence of superhydrophilicity and superoleophobicity: theory, experiments and applications in oil/water separation. Journal of Materials Chemistry A, 6(31), 15057-15063.

49. Zhu, Y., Wang, D., Jiang, L., & Jin, J. (2014). Recent progress in developing advanced membranes for emulsified oil/water separation. NPG Asia Materials, 6(5), e101-e101.

50. Saththasivam, J., Loganathan, K., & Sarp, S. (2016). An overview of oil–water separation using gas flotation systems. Chemosphere, 144, 671-680.

51. Ma, Q., Cheng, H., Fane, A. G., Wang, R., & Zhang, H. (2016). Recent development of advanced materials with special wettability for selective oil/water separation. Small, 12(16), 2186-2202.

52. Wei, Y., Qi, H., Gong, X., & Zhao, S. (2018). Specially wettable membranes for oil–water separation. Advanced Materials Interfaces, 5(23), 1800576.

53. Yong, J., Chen, F., Yang, Q., Bian, H., Du, G., Shan, C., ... & Hou, X. (2016). Oil-water separation: a gift from the desert. Advanced Materials Interfaces, 3(7), 1500650.

54. Yong, J., Chen, F., Yang, Q., Bian, H., Du, G., Shan, C., ... & Hou, X. (2016). Oil-water separation: a gift from the desert. Advanced Materials Interfaces, 3(7), 1500650.

55. Ge, M., Cao, C., Huang, J., Zhang, X., Tang, Y., Zhou, X., ... & Lai, Y. (2018). Rational design of materials interface at nanoscale towards intelligent oil–water separation. Nanoscale Horizons, 3(3), 235-260.

56. Pan, Y., Huang, S., Li, F., Zhao, X., & Wang, W. (2018). Coexistence of superhydrophilicity and superoleophobicity: theory, experiments and applications in oil/water separation. Journal of Materials Chemistry A, 6(31), 15057-15063.

57. Pan, Y., Huang, S., Li, F., Zhao, X., & Wang, W. (2018). Coexistence of superhydrophilicity and superoleophobicity: theory, experiments and applications in oil/water separation. Journal of Materials Chemistry A, 6(31), 15057-15063.

۵۸. احمدرضا پیشه ور، حمیدرضا کارشناس، محمد وحیدا. ۱۳۹۵. بررسی عددی،تجربی جداسازی آب از مواد روغنی توسط الکتروفیلتر. دولتی - وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری - دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده مهندسی مکانیک

۵۹. عزیزی فاطمه، هنرور بیژن. جداسازی روغن های محلول از آب در پالایشگاه شیراز. اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی

۶۰. توحید توانگر، فرزین ذکایی آشتیانی، محمد کریمی. ۱۳۹۷. ساخت و ارزیابی غشا پلی اترسولفون و پلی اترسولفون سولفونه شده در جداسازی مخلوط آب روغن. شانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

61. Saththasivam, J., Loganathan, K., & Sarp, S. (2016). An overview of oil–water separation using gas flotation systems. Chemosphere, 144, 671-680.

62. Ma, W., Zhang, Q., Hua, D., Xiong, R., Zhao, J., Rao, W., ... & Huang, C. (2016). Electrospun fibers for oil–water separation. Rsc Advances, 6(16), 12868-12884.

63. Li, J. J., Zhou, Y. N., & Luo, Z. H. (2018). Polymeric materials with switchable superwettability for controllable oil/water separation: A comprehensive review. Progress in Polymer Science, 87, 1-33.

64. Lee, C. H., Tiwari, B., Zhang, D., & Yap, Y. K. (2017). Water purification: oil–water separation by nanotechnology and environmental concerns. Environmental Science: Nano, 4(3), 514-525.

65. Yang, Y., Li, X., Zheng, X., Chen, Z., Zhou, Q., & Chen, Y. (2018). 3D-printed biomimetic super-hydrophobic structure for microdroplet manipulation and oil/water separation. Advanced materials, 30(9), 1704912.

66. Yong, J., Huo, J., Chen, F., Yang, Q., & Hou, X. (2018). Oil/water separation based on natural materials with super-wettability: recent advances. Physical Chemistry Chemical Physics, 20(39), 25140-25163.

67. Ren, G., Song, Y., Li, X., Zhou, Y., Zhang, Z., & Zhu, X. (2018). A superhydrophobic copper mesh as an advanced platform for oil-water separation. Applied Surface Science, 428, 520-525.

www.SID.ir

Archive of SID

68. Wang, X., Yu, J., Sun, G., & Ding, B. (2016). Electrospun nanofibrous materials: a versatile medium for effective oil/water separation. Materials today, 19(7), 403-414.

69. Li, J. J., Zhu, L. T., & Luo, Z. H. (2016). Electrospun fibrous membrane with enhanced swithchable oil/water wettability for oily water separation. Chemical Engineering Journal, 287, 474-481.

70. Xu, C. L., & Wang, Y. Z. (2018). Novel dual superlyophobic materials in water–oil systems: under oil magneto-fluid transportation and oil–water separation. Journal of Materials Chemistry A, 6(7), 2935-2941.

۷۱. علیرضا فراورویی، سیف اله امین، مسعود نوشادی*، سید محسن تقوی، علی نیازی. . جداسازی باکتری های تجزیه کننده Aroclor1254 ازخاک آلوده به روغن ترانسفورماتور.34-27 . Iran Agricultural Research .

۷۲. محمد حاجی زاده، ایران عالم زاده. ۱۳۹۷. جداسازی و خالص سازی همپارهای لینولئیک اسید مزدوج از روغن گلرنگ .مهندسی شیمی ایران .0-66 .

۷۳. علیرضا شیاسی. ۱۳۹۷. نانوالیاف؛ لایه هایی همه کاره برای جداسازی کارآمد آب و روغن .نساجی امروز .79 .

۷۴. .1396نانوالیاف؛ لایه هایی همه کاره برای جداسازی کارآمد آب و روغن .فناوری نانو .38 .

75. Kang, H., Cheng, Z., Lai, H., Ma, H., Liu, Y., Mai, X., ... & Guo, Z. (2018). Superlyophobic anti-corrosive and self-cleaning titania robust mesh membrane with enhanced oil/water separation. Separation and Purification Technology, 201, 193-204.

76. Yin, K., Chu, D., Dong, X., Wang, C., Duan, J. A., & He, J. (2017). Femtosecond laser induced robust periodic nanoripple structured mesh for highly efficient oil–water separation. Nanoscale, 9(37), 14229-14235.

77. Zhou, C., Chen, Z., Yang, H., Hou, K., Zeng, X., Zheng, Y., & Cheng, J. (2017). Nature-inspired strategy toward superhydrophobic fabrics for versatile oil/water separation. ACS applied materials & interfaces, 9(10), 9184-9194.

78. Kollarigowda, R. H., Abraham, S., & Montemagno, C. D. (2017). Antifouling cellulose hybrid biomembrane for effective oil/water separation. ACS applied materials & interfaces, 9(35), 29812-29819.

79. Cao, H., Gu, W., Fu, J., Liu, Y., & Chen, S. (2017). Preparation of superhydrophobic/oleophilic copper mesh for oil-water separation. Applied Surface Science, 412, 599-605.

80. Song, Y., Zhou, J., Fan, J. B., Zhai, W., Meng, J., & Wang, S. (2018). Hydrophilic/oleophilic magnetic Janus particles for the rapid and efficient oil–water separation. Advanced Functional Materials, 28(32), 1802493.

81. Zhao, T., Zhang, D., Yu, C., & Jiang, L. (2016). Facile fabrication of a polyethylene mesh for oil/water separation in a complex environment. ACS applied materials & interfaces, 8(36), 24186-24191.

82. Seeharaj, P., Pasupong, P., Detsri, E., & Damrongsak, P. (2018). Superhydrophobilization of SiO 2 surface with two alkylsilane

83. Zhou, W., Li, S., Liu, Y., Xu, Z., Wei, S., Wang, G. & Jiang, Q. (2018). Dual superlyophobic copper foam with good durability and recyclability for high flux, high efficiency, and continuous oil–water separation. ACS applied materials & interfaces, 10(11), 9841-9848.

84. Yu, C., Yu, C., Cui, L., Song, Z., Zhao, X., Ma, Y., & Jiang, L. (2017). Facile Preparation of the Porous PDMS Oil-Absorbent for Oil/Water Separation. Advanced Materials Interfaces, 4(3), 1600862.

۸۵. لاله رجبی، هانیه کریم نژاد. ۱۳۹۱. کاربرد نانوساختارهای عاملدار برای غشاهای جداکننده آب و روغن. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه رازی - پژوهشکده فنی و مهندسی

۸۶. جواد صفایی قمی، عبدالحمید بامنیری، حسین بتولی، محمدباقر سرافراز. ۱۳۸۲. بررسی اجزای تشکیل دهنده روغن اسانسی و استخراج ترکیبات طبیعی موجود در گیاه درمنه شرقی. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه کاشان - دانشکده علوم

87. Zhang, S., Jiang, G., Gao, S., Jin, H., Zhu, Y., Zhang, F., & Jin, J. (2018). Cupric phosphate nanosheets-wrapped inorganic membranes with superhydrophilic and outstanding anticrude oil-fouling property for oil/water separation. ACS nano, 12(1), 795-803.

88. Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Kongparakul, S., Samart, C., Wang, Z., Hao, X., ... & Guan, G. (2018). Fabrication and evaluation of nanocellulose sponge for oil/water separation. Carbohydrate polymers, 190, 184-189.

89. Yong, J., Fang, Y., Chen, F., Huo, J., Yang, Q., Bian, H., ... & Hou, X. (2016). Femtosecond laser ablated durable superhydrophobic PTFE films with micro-through-holes for oil/water separation: separating oil from water and corrosive solutions. Applied Surface Science, 389, 1148-1155.

www.SID.ir

Archive of SID

90. Deng, Y., Peng, C., Dai, M., Lin, D., Ali, I., Alhewairini, S. S., ... & Naz, I. (2020). Recent development of super-wettable materials and their applications in oil-water separation. Journal of Cleaner Production, 121624.

91. Li, R., Fan, H., Shen, L., Rao, L., Tang, J., Hu, S., & Lin, H. (2020). Inkjet printing assisted fabrication of polyphenol-based coating membranes for oil/water separation. Chemosphere, 250, 126236.

92. Ali, N., Bilal, M., Khan, A., Ali, F., & Iqbal, H. M. (2020). Design, engineering and analytical perspectives of membrane materials with smart surfaces for efficient oil/water separation. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 115902.

93. Rasouli, S., Rezaei, N., Hamedi, H., Zendehboudi, S., & Duan, X. (2021). Superhydrophobic and superoleophilic membranes for oil-water separation application: A comprehensive review. Materials & Design, 109599.

94. Ma, W., Li, Y., Zhang, M., Gao, S., Cui, J., Huang, C., & Fu, G. (2020). Biomimetic durable multifunctional self-cleaning nanofibrous membrane with outstanding oil/water separation, photodegradation of organic contaminants, and antibacterial performances. ACS Applied Materials & Interfaces, 12(31), 34999-35010.

۹۵. جواد صفایی قمی، الهام محمدی. ۱۳۸۳. جداسازی و شناسائی ترکیبات آلی موجود در گیاه برازمبل و بررسی اثرات بیولوژیکی اسانس آن. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه کاشان - دانشکده علوم

۹۶. احمد رحیم پور، محسن جهانشاهی، علیرضا زیره پور. ۱۳۹۱. تصفیه پساب کارخانجات روغن زیتون با استفاده از فرآیندهای غشایی و بطور خاص نانوفیلتراسیون. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه صنعتی (نوشیروانی) بابل - دانشکده مهندسی شیمی

97. Zhao, Y., Yang, X., Yan, L., Bai, Y., Li, S., Sorokin, P., & Shao, L. (2021). Biomimetic nanoparticle-engineered superwettable membranes for efficient oil/water separation. Journal of Membrane Science, 618, 118525.

98. Wang, M., Zhang, Z., Wang, Y., Zhao, X., Men, X., & Yang, M. (2020). Ultrafast Fabrication of Metal–Organic Framework-Functionalized Superwetting Membrane for Multichannel Oil/Water Separation and Floating Oil Collection. ACS applied materials & interfaces, 12(22), 25512-25520.

www.SID.ir