

بررسی تصفیه پذیری پساب واحد نمک زدایی نفت با استفاده از فناوری های غشایی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۹/۲ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۷/۱۲

پژوهش نفت

سال بیست و یکم

شماره ۶۸

صفحه ۹۷-۸۲، ۱۳۹۰

سمانه فیاض^۱، حسین گنجی دوست^۱، فرهاد مشحون^{۲*}

۱- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، محیط زیست

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده حفاظت صنعتی و محیط زیست، واحد تصفیه و بازیافت آب

Mashhoonf@ripi.ir

چکیده

هدف از این تحقیق، مطالعه امکان سنجی تصفیه پذیری پساب واحد نمک زدایی نفت با استفاده از سامانه های غشایی به منظور دست یابی به استانداردهای تزریق به داخل چاه دفع و کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از تخلیه پساب به حوضچه های تبخیر به دلیل گرفتگی چاه در اثر تزریق پساب حاوی ذرات جامد و مواد نفتی و روغنی بیشتر از استاندارد به چاه می باشد. بدین منظور خروجی فیلتر شنی واحد تصفیه پساب نمک زدایی مارون ۲ آغا جاری به عنوان خوراک در نظر گرفته شده است. در این تحقیق در مقیاس پایلوت از مدول های غشایی میکرو فیلتر و اولترافیلتر استفاده شده است. میکرو فیلتر مورد استفاده یک مدول غشایی کارتریج از جنس پلی پروپیلن با اندازه تخلخل ۰/۴۵ میکرون و اولترافیلتر از نوع الیاف توخالی از جنس پلی پروپیلن با اندازه تخلخل ۰/۱ تا ۰/۰۱ میکرون می باشد. در این مطالعه درصد حذف پارامترهای مورد نظر نسبت به زمان در سه فرایند میکرو فیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و فرایند ترکیبی میکرو و اولترافیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش هایی در دو دبی متفاوت برای هر فرایند انجام گرفت. دبی ۳۲ L/min در این

فرایندها بهینه بود. در فرایند ترکیبی میکرو و اولترافیلتراسیون نتایج بهتری نسبت به دیگر فرایندها به دست آمد. متوسط درصد حذف پارامترهای مورد بررسی در این فرایند عبارت است از ۹۸/۸۱٪ مواد نفتی و روغنی، ۹۸/۵۳٪ کدورت و ۹۷/۰۶٪ TSS در این حالت اندازه ذرات موجود به کمتر از ۰/۰۵ میکرون رسیده است. در هیچ یک از نمونه ها باکتری احیا کننده سولفات (SRB) مشاهده نشده است. نتایج به دست آمده در همه فرایندها بیان گر کیفیت مناسب پساب تصفیه شده برای تزریق به داخل چاه دفع است. میزان بازیابی تراوایی غشا بعد از پایان مطالعه ۹۶/۳۲٪ بوده است.

واژه های کلیدی: غشای میکرو فیلتراسیون، غشای اولترافیلتراسیون، غشای الیاف توخالی، پساب نمک زدایی، تزریق به چاه دفع

مقدمه

پساب، بهره برداری آبی است که در لایه های زیرزمینی محبوس شده و همراه با نفت استخراج می گردد و بیشترین حجم را در بین فراورده های جانبی بهره برداری نفت و گاز دارا می باشد. نمک موجود در نفت در عملیات فرآوری

API تصفیه خانه پالایشگاه تهران را مورد تصفیه قرار دادند. غشا به کار رفته از جنس پلی سولفون با اندازه حفرات ۰/۲ میکرون بوده و در فشار ۱/۵ بار، سرعت جریان عرضی ۱/۲۵ m/s و دمای ۳۵ °C، درصد حذف نفت ۹۷/۱٪ و غلظت نفت خروجی ۲/۹ mg/L بوده است که قابل تخلیه به محیط زیست و استفاده جهت کشاورزی می‌باشد [۴]. در سال ۲۰۰۸، یگانه و مسگریان [۵] جداسازی امولسیون‌های روغن از آب را با فرایند میکروفیلتراسیون با جریان متقاطع برای دو خوراک:

الف) پساب مصنوعی از روغن امولسیون و آب
ب) پساب هیدروکربوری امولسیونی یک کارخانه آزمایش کردند و تاثیر غلظت و pH بر روی شار خروجی و درصد حذف را در دمای ۲۷ °C بررسی نمودند. غشای مورد استفاده از جنس پلی وینیلیدین فلوراید با اندازه متوسط حفره ۰/۲۲ میکرون و تخلخل حدود ۶۵٪ به شکل مستطیل با مساحت ۲۵ cm² می‌باشد. pH خوراک ۵/۵ و غلظت روغن آن ۵٪ وزنی است. افزایش غلظت باعث کاهش شار و افزایش درصد حذف و کاهش pH موجب کاهش درصد حذف می‌گردد. با توجه به مطالعات انجام شده، فشار ۱ بار و سرعت ۱ m/s شرایط بهینه می‌باشد [۵]. در سال ۲۰۰۷، Cakmakci و همکارانش در ترکیه پژوهشی جهت دست‌یابی به بهترین فرایند پیش تصفیه برای اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون در مقیاس آزمایشگاهی انجام دادند. مطالعات بر روی چاه‌های Vakiflar و Devecatagi انجام گرفت. COD آب تصفیه شده خروجی باید مطابق با استانداردهای دفع و برابر ۲۵۰ mg/L باشد. جریان ابتدا وارد یک کارتریج فیلتر شده و سپس به مدول غشایی هدایت می‌شد. با توجه به نتایج این فرایند برای تصفیه پیشنهاد زیر ارائه گردید: ته‌نشینی ساده، شناورسازی با هوای محلول، کارتریج فیلترسرامیکی یا فلزی ۱ میکرون، میکرو فیلتر سرامیکی یا فلزی ۰/۲ میکرون و جاذب کربن فعال [۶]. در سال ۲۰۰۷، Qiao و همکاران عملکرد سامانه ترکیبی

مشکلاتی مانند رسوب، گرفتگی، کاهش نرخ انتقال حرارت در مبدل‌ها، افزایش دمای لوله‌های گرم‌کن گرفتگی در سینی‌های برج، خوردگی و مسمومیت کاتالیزور به‌خاطر وجود ترکیبات فلزی را ایجاد می‌کند [۱ و ۲].

استاندارد میزان نمک موجود در نفت کمتر از ۱۰-۲۰ PTB^۱ برای حمل و نقل، نگهداری و یا عبور در خط لوله می‌باشد. این نمک به همراه آب در واحد نمک‌زدایی جدا می‌شود که پساب این واحد حاوی ترکیبات نفتی، املاح و ذرات جامد می‌باشد. میزان تولید این پساب در کل دنیا در حدود ۲۱۰ میلیون بشکه در روز و در مقایسه با تولید نفت دنیا رقم قابل توجهی است. معمولاً اصلی‌ترین روش دفع پساب بهره‌برداری، تزریق به چاه پس از تصفیه می‌باشد [۱ و ۲]. فناوری‌های غشایی مانند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به تازگی در تصفیه پساب بهره‌برداری نفت کاربرد پیدا کرده که در مقایسه با روش‌های دیگر قیمت بالاتر و مزایای بیشتری دارد. اغلب ترکیبی از فناوری غشا با دیگر فرایندها به عنوان یک روش اقتصادی با کیفیت قابل قبول مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این سامانه‌ها می‌توان به راندمان بالاتر در حذف ذرات، اشغال فضای کمتر، راهبری آسان‌تر، فیزیکی بودن عملیات و عدم افزایش ماده شیمیایی، انجام فرایند در دمای محیط و عدم تولید گرما، امکان تغییر ظرفیت با تغییر تعداد مدول‌ها و عدم تغییر در کیفیت محصول با تغییر کیفیت ورودی اشاره نمود [۳].

سامانه غشایی برای اولین بار در ایران برای تصفیه پساب واحد نمک‌زدایی به کار رفته است. در این تحقیق از پساب واحد نمک‌زدایی مارون ۲ به عنوان خوراک برای مقایسه عملکرد سه فرایند میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون مستقیم و غیر مستقیم با هدف دست‌یابی به استاندارد: اندازه ذرات کوچکتر از ۱۰ μ، میزان مواد نفتی کمتر از ۱۰ ppm و SRB^۲ کمتر از ۱۰ عدد در mL جهت تزریق به چاه دفع استفاده شده است. مشکل فعلی واحد تصفیه گرفتگی چاه تزریق به دلیل عدم حذف کافی ذرات و نفت می‌باشد [۳]. در سال ۲۰۰۸، رکابدار و همکاران در یک پایلوت میکروفیلتراسیون دو نوع خوراک: الف- خوراک سنتزی (آب/گازوئیل / سورفکتنت) و ب: پساب خروجی واحد

1. Pounds Per Thousands of Barrel

2. Sulfate Reductive Bacteria

خروجی مقدار مواد نفتی کمتر از ۵ mg/L و جامدات معلق کمتر از ۱ mg/L گزارش شده است [۱۰].

روش کار

ساخت پایلوت

با توجه به محدودیت‌های موجود برای تهیه و خرید غشا، پایلوت براساس ابعاد و مشخصات غشای قابل تهیه در بازار طراحی گردیده است. پمپ مورد استفاده با توجه به دبی حداکثر غشا قابلیت پمپاژ سیال تا دبی ۲۰۰۰ L/h را دارد. مخازن ذخیره خوراک و محصول با توجه به نمکی بودن پساب از جنس پلی پروپیلن انتخاب شد که خوردگی و تغییر در کیفیت خوراک به حداقل برسد. حجم مخزن خوراک با توجه به دبی جریان ۱۰۰۰۰ L انتخاب شده که برابر حجم مصرفی برای هریک از فرایندها در دو دبی می‌باشد. به این ترتیب کیفیت خوراک برای هر فرایند ثابت است و تعداد دفعات انتقال پساب با توجه به بعد مسافت واحد نمک‌زدایی به حداقل می‌رسد. برای جلوگیری از خوردگی لوله‌ها از جنس فولاد زنگ نزن انتخاب شد و قطر آن با در نظر گرفتن سرعت معمول بین ۱ تا ۲ متر بر ثانیه برای سیال درون لوله برابر ۳/۴ in در نظر گرفته شده است. جریان سنج مورد استفاده تا دبی ۶۰ L/min را نشان می‌دهد که دو برابر حداکثر دبی مجاز غشا می‌باشد و تا فشار ۶۰ bar را نیز تحمل می‌نماید. فشار سنج ورودی و خروجی تا فشار ۱۰ bar یا ۱۵۰ psi را نمایش می‌دهند. با توجه به قابلیت شستشوی معکوس و مستقیم اولترافیلتر یک مخزن 1 m^3 پلی اتیلنی برای شستشو در نظر گرفته شد. لوله‌کشی با در نظر گرفتن هر دو حالت شستشوی معکوس و مستقیم انجام شده است. این مخزن همچنین می‌تواند برای مطالعه نفوذپذیری و شستشوی شیمیایی استفاده گردد. با توجه به قابلیت استفاده از پساب تصفیه شده برای شستشوی معکوس و مستقیم، لوله‌کشی به نحوی انجام گرفت که مخازن ذخیره محصول نیز قابلیت قرارگیری در مدار شستشو را دارند. پساب حاصل از شستشو می‌تواند برای تصفیه به مخزن خوراک برگشت داده شود. پایلوت قابلیت بررسی هر یک از مدول‌ها را به صورت تکی و ترکیبی دارد و مخزن ذخیره محصول هر مدول می‌تواند

اولترا فیلتر برای تصفیه آب بهره‌برداری جهت تزریق مجدد را مورد بررسی قرار دادند. پایلوت این تیم تحقیقاتی شامل تانک هوادهی، فیلتر شنی و مدول اولترا فیلتر می‌باشد. غشای UF از جنس آلیاژ PVC، آرایش لوله‌های توخالی با سطح مؤثر 2 m^2 و دمای آب $35-40^\circ \text{C}$ بوده است. مطالعه نشان داد که می‌توان باکتری‌ها، مواد احیا کننده، جامدات معلق و سولفید، آهن و منگنز را تا میزان زیادی کاهش داد. ولی این روش در حذف COD و SRB کارایی زیادی ندارد. آب تصفیه شده قابلیت تخلیه به آب‌های سطحی و تزریق مجدد به چاه را دارد. درصد حذف جامدات معلق و نفت به ترتیب ۷۰٪ و ۹۰٪ و مقدار آن‌ها در خروجی به ترتیب کمتر از ۰/۵ mg/L و ۱/۰ mg/L می‌باشد [۷].

در سال ۲۰۰۶، Beech تحقیقاتی در رابطه با تأثیر فشار، دبی و شار عبوری از غشا در سه غشای مدل ۵ K، JW و BN بر روی میزان حذف نفت و جامدات معلق انجام داد. نتایج نشان داد که هر سه غشا قابلیت تصفیه آب بهره‌برداری را دارند و می‌توانند کدورت و نفت را به ترتیب را تا میزان ۹۹٪ و ۷۸٪ کاهش دهند. نمودارهای شار نشان می‌دهد که افزایش فشار در عرض غشا باعث افزایش شار و فشار بالاتر باعث گرفتگی سریع‌تر و کاهش شار می‌گردد. افزایش دبی علاوه بر افزایش ظرفیت باعث کاهش سرعت گرفتگی و بهبود کیفیت آب می‌شود. غشای مدل BN بالاترین شار و بیشترین مقدار جداسازی، مدل ۵ K بالاترین دبی و کیفیت پایین‌تر محصول و مدل JW پایین‌ترین کیفیت و عملکرد را داشتند [۸].

در سال ۲۰۰۶، Burnett مطالعاتی در رابطه با تصفیه آب بهره‌برداری با استفاده از اولترا فیلتر و سپس اسمز معکوس انجام داد. تعیین مشخصات غشاها در یک سامانه آزمایشگاهی و سپس در مقیاس صنعتی انجام گرفت. نتایج نشان داد که اولترا فیلتر می‌تواند کدورت و نفت را به ترتیب به میزان ۹۹٪ و ۷۸٪ حذف نماید [۹].

در سال ۱۹۹۸، Chen و همکاران میکرو فیلتر سرامیکی را برای حذف مواد نفتی و جامدات معلق مورد بررسی قرار دادند. غشا از جنس آلومینا با قطر منافذ بین $0.2 \mu\text{m}$ تا $0.8 \mu\text{m}$ و ضخامت حدود $30 \mu\text{m}$ بوده است. سطح غشا نسبت به سرعت جریان تراونده برابر با $2/18 \text{ ft}^2$ و در جریان

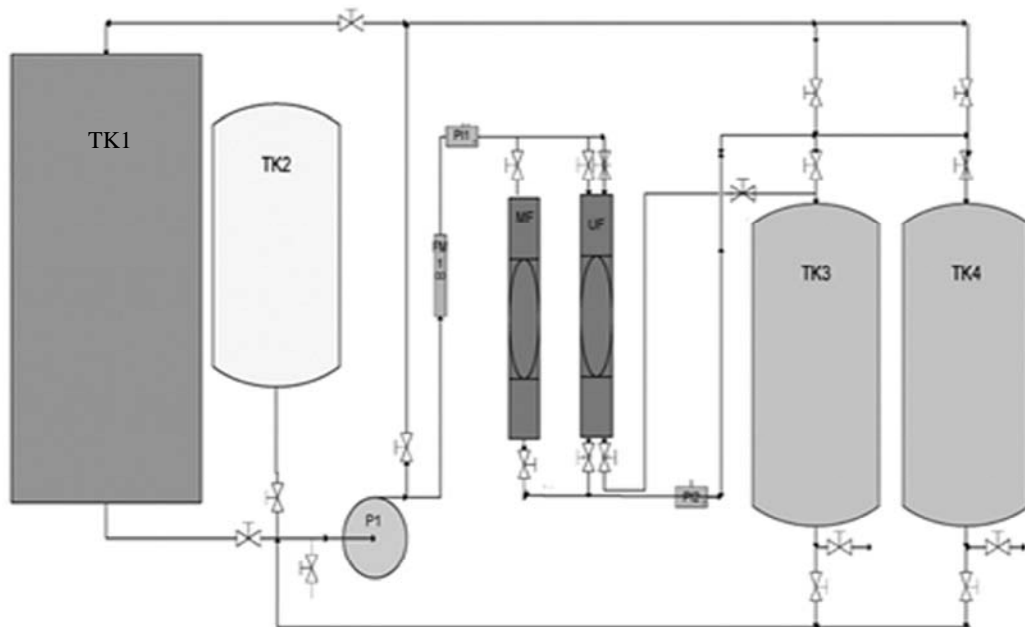
نمونه‌گیری از محصول از طریق شیر نمونه‌گیری تعبیه شده در جریان خروجی از مدول‌های غشایی و در داخل ظروفی که به تناسب شرایط هر آزمایش آماده‌سازی شده بود، انجام گرفت و در مدت زمان مجاز به آزمایشگاه منتقل گردید. در هر فرایند مجموعاً در دو دبی مورد مطالعه 10000 L پساب از غشا عبور داده شده است. برای این کار ابتدا میکرو فیلتراسیون در دو دبی 32 L/min و 42 L/min انجام گرفت پس از آن، غشای اولترافیلتر ابتدا به مدت ۱ ساعت برای محاسبه نفوذ پذیری با آب تمیز آزمایش گردید و سپس با خروجی میکرو فیلتر در دو دبی 16 L/min و 32 L/min مورد مطالعه قرار گرفت.

پس از آن پساب بهره‌برداری به‌طور مستقیم وارد اولترافیلتر شده و در دو دبی 16 L/min و 32 L/min مورد بررسی قرار گرفت. در پایان، غشای اولترافیلتر دوباره با آب تمیز شده و تحت شرایط اولیه برای محاسبه میزان بازیابی آزمایش گردید و از مقایسه ضریب تراوایی اولیه و نهایی، میزان بازیابی محاسبه شد. مؤلفه‌های فرایندی هر نیم ساعت پایش شده و نمونه‌گیری از محصول خروجی نیز پنج بار برای هر فرایند انجام گرفت.

به‌عنوان مخزن خوراک مدول دیگر در مدار قرار گیرد. شیر تنظیم بعد از پمپ و جریان کنارگذر امکان تغییر فشار و دبی را فراهم می‌آورد. طراحی به گونه‌ای است که در هر مرحله یکی از دو مدول در مدار قرار می‌گیرد و همیشه حجمی از آب درون غلاف غشا وجود دارد که از خشک شدن غشا در مواقعی که خارج از سرویس است جلوگیری می‌کند. در مسیر خروجی از مدول‌ها و پایین هر کدام از مخازن نیز یک شیر نمونه‌گیری تعبیه شده است. P&ID پایلوت در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

روش انجام آزمایش

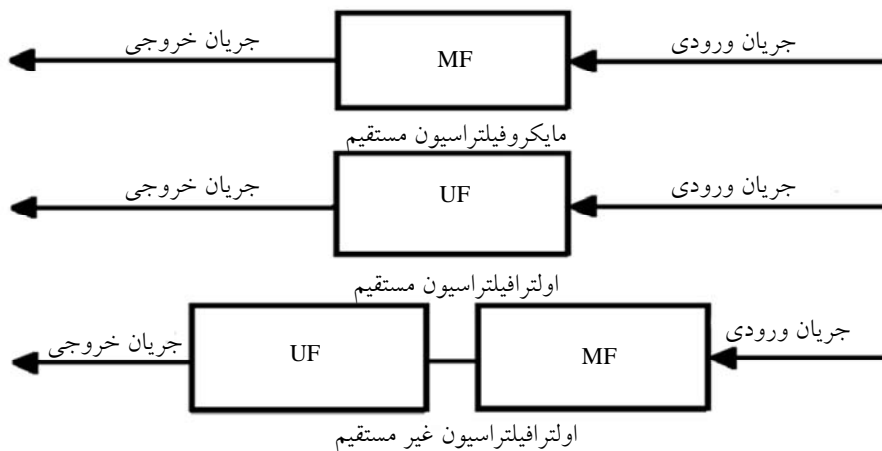
در این مطالعه دو سامانه میکرو فیلتر و اولترافیلتر در یک پایلوت در مقیاس نیمه صنعتی مورد مطالعه قرار گرفته است. در جدول ۱ خصوصیات هر یک از این غشاها آمده است. آرایش‌های مختلف مورد مطالعه از سامانه‌های غشایی شامل تصفیه با میکرو فیلتر کارتریج، تصفیه با اولترافیلتر و تصفیه ترکیبی با میکرو فیلتر و اولترافیلتر می‌باشد. نمودار جعبه‌ای جریان‌ها در شکل ۲ رسم شده است. در هر یک از فرایندهای ذکر شده، مؤلفه‌های عملیاتی و کیفیت آب در بازه زمانی چند ساعته به‌طور منظم پایش و ثبت شده‌اند.



شکل ۱- شکل P&ID پایلوت مطالعاتی

جدول ۱- خصوصیات غشاهای مورد مطالعه

| | | |
|---------------------|------------------------|---------------|
| غشا | اولترا فیلتر | مایکروفیلتر |
| مدل | H ₂ O S2000 | PPF ۰-۵ |
| جنس | پلی پروپیلن | پلی پروپیلن |
| شکل | الیاف توخالی | الیاف ریسیده |
| ابعاد (in) | ۴ × ۴۰ | ۲-۸/۳ × ۲۰ |
| مساحت | ۱۶ | - |
| شرکت سازنده | Hydro One | Water Safe |
| اندازه حفره (μ) | ۰۱/۰ O ۱/۰ | ۴۵/۰ |
| MWCO (Dalton) | ۳۰۰۰۰ - ۵۰۰۰۰ | - |
| جهت جریان | بیرون به درون | بیرون به درون |
| دبی (L/min) | ۳۳/۳ > | ۴۲ > |
| فشار (bar) | ۱ - ۶ | ۲ > |
| دما (°C) | ۴ - ۴۰ | ۴ - ۶۲ |
| محدوده pH | ۱ - ۱۴ | - |
| سایز ذرات ورودی (μ) | ۵۰ | - |
| کدورت ورودی (NTU) | ۲۰ | - |



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای جریان در سه فرایند

است. به همین دلیل این پساب در حال حاضر به حوضچه تبخیر فرستاده می‌شود.

مایکروفیلتراسیون

در جدول ۳ تغییرات فشار ورودی و خروجی، فشار در عرض غشا (TMP) و دبی جریان در مدت ۱۲۰ min در دو دبی ۳۲ و ۴۲ L/min برای مایکروفیلتراسیون آمده است. در شکل ۳ تغییرات فشار در عرض غشا نسبت به زمان برای مایکروفیلتراسیون در دو دبی رسم شده است.

1. Trans Membrane Pressure

نتایج

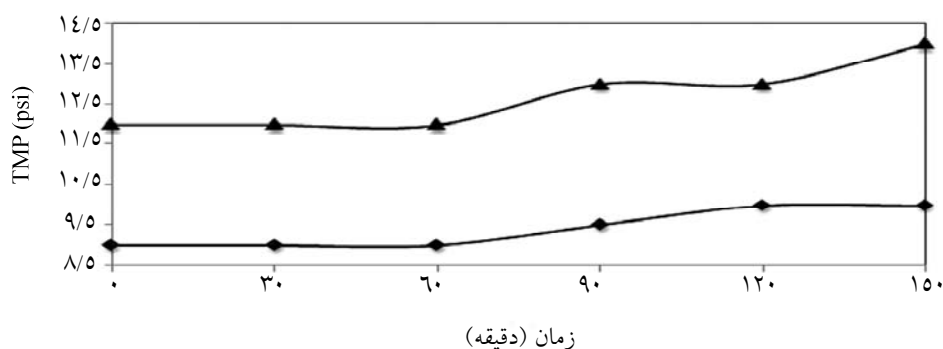
خوراک در دو مرحله با حجم ۱۲ m³ از واحد مارون ۲ به محل پایلوت منتقل شد. نمونه‌های خوراک جهت تعیین مشخصات کیفی در آزمایشگاه با روش‌های استاندارد موجود در مراجع مورد آزمایش قرار گرفت. مشخصات دو نمونه خوراک در جدول ۲ آمده است. همچنان که مشاهده می‌گردد، غلظت مواد نفتی، روغنی و اندازه ذرات جامد موجود در نمونه که محصول خروجی تصفیه خانه فعلی می‌باشد از میزان استاندارد تعیین شده برای تزریق بالاتر

جدول ۲- کیفیت خوراک ورودی به پایلوت در دو مرحله

| شماره خوراک | اندازه ذرات (μ) | مواد نفتی و روغنی (ppm) | Na (ppm) | Fe (ppm) | Sr (ppm) | Ba (ppm) | Mg (ppm) | Ca (ppm) | COD (ppm) | TOC (ppm) | سولفات (ppm) | سولفید S_2 (ppm) | قلیائیت (ppm) | TSS (ppm) | TDS (ppm) | کدورت (NTU) | pH |
|-------------|-----------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------------|---------------|-----------|-----------|-------------|-----|
| ۱ | ۷۲/۳۴ | ۴۲ | ۳۱۱۰۰ | ۰/۱۵ | ۱/۵ | ۴/۹ | ۳۰۶۱ | ۱۱۶۵۰ | ۶۸۰ | ۱۸۸ | ۵۵۰ | ۷/۲ | ۳۰۰ | ۱۷۰ | ۱۲۸۷۲۰ | ۴۰ | ۶/۴ |
| ۲ | ۵۹/۸۵ | ۲۶ | ۲۹۸۰۰ | ۰/۲ | ۱/۸ | ۵/۲ | ۲۴۳۱ | ۱۲۱۰۰ | ۵۳۰ | ۱۷۰ | ۵۶۴ | ۷/۹ | ۲۳۵ | ۱۰۵ | ۱۲۹۱۳۴ | ۲۴ | ۶/۳ |

جدول ۳- TMP و فشار نسبت به زمان در میکرو فیلتراسیون

| دبی: ۴۲ L/min | | | دبی: ۳۲ L/min | | | زمان (min) |
|---------------|------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|------------|
| TMP (psi) | فشار خروجی (psi) | فشار ورودی (psi) | TMP (psi) | فشار خروجی (psi) | فشار ورودی (psi) | |
| ۱۲ | ۲۰ | ۳۲ | ۹ | ۱ | ۱۰ | ۰ |
| ۱۲ | ۲۰ | ۳۲ | ۹ | ۱ | ۱۰ | ۳۰ |
| ۱۲ | ۲۰ | ۳۲ | ۹ | ۱ | ۱۰ | ۶۰ |
| ۱۳ | ۲۰ | ۳۳ | ۹/۵ | ۱ | ۱۰/۵ | ۹۰ |
| ۱۳ | ۲۰ | ۳۳ | ۱۰ | ۱ | ۱۱ | ۱۲۰ |
| ۱۴ | ۲۰ | ۳۴ | ۱۰ | ۱ | ۱۱ | ۱۵۰ |



Q = ۳۲ L/min \blacklozenge \blacktriangle Q = ۴۲ L/min

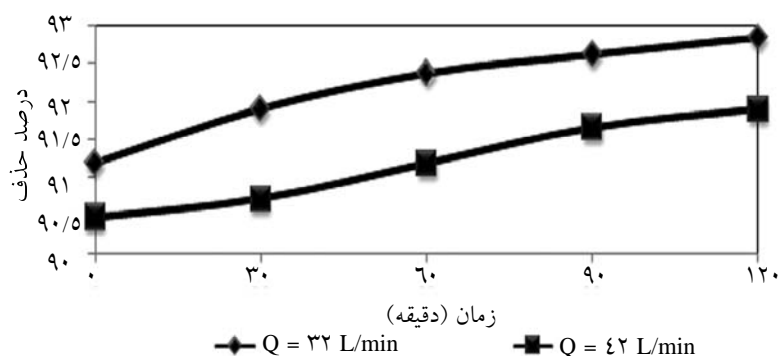
شکل ۳- تغییرات TMP نسبت به زمان در میکرو فیلتراسیون

همان گونه که در نمودار مشاهده می شود در دبی ۴۲ L/min، افزایش TMP نسبت به دبی ۳۲ L/min، نیم ساعت زودتر اتفاق می افتد و مقدار افزایش نیز دو برابر است. در دبی ۴۲ L/min در ازای تصفیه ۳۱۵۰ L پساب، فشار، ۱ psi افزایش می یابد. حال اینکه در دبی ۳۲ L/min این مقدار برابر با ۴۸۰۰ L می باشد. با توجه به لزوم تعویض غشا پس از افزایش فشار تا حد ۲ bar، این حجم بسیار حائز اهمیت است. در جدول ۴ مولفه های کیفی خوراک و جریان خروجی و همچنین درصد حذف برای میکرو فیلتراسیون در دو دبی

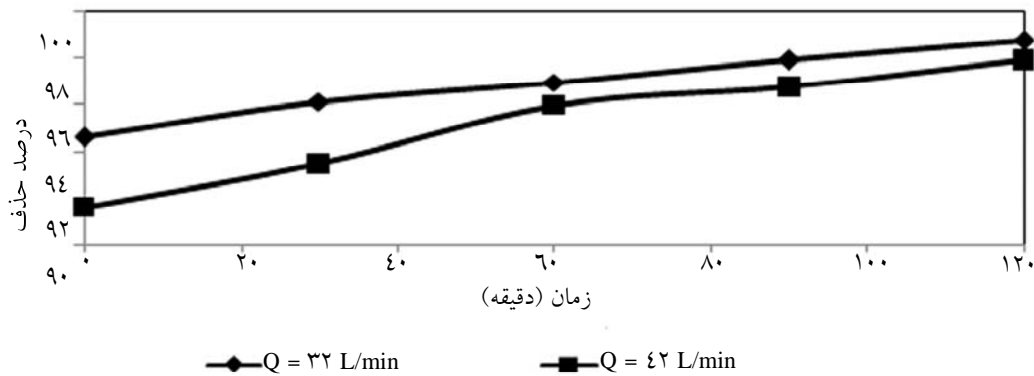
همچنان که مشاهده می گردد، همچنان که مشاهده می گردد، حداقل غلظت نفت خروجی در شدت جریان ۳۲ L/min، برابر با ۳ ppm می باشد. در شکل ۴ تغییرات درصد حذف مواد نفتی و روغنی نسبت به زمان برای این فرایند آمده است. همچنان که در نمودار مشاهده می گردد حداکثر درصد حذف در این فرایند در دبی ۳۲ L/min و برابر با ۹۲/۸۶٪ می باشد. در شکل ۵ تغییرات درصد حذف نسبت به زمان بر اساس اندازه بزرگترین ذره مشاهده شده در نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی ترسیم شده است.

جدول ۴- کیفیت خوراک و جریان خروجی در دو دبی نسبت به زمان در مایکرو فیلتراسیون

| خوراک | pH | کدورت (NTU) | TDS (ppm) | TSS (ppm) | Fe (ppm) | مواد نفتی و روغنی (ppm) | اندازه ذرات (μ) |
|--------------|--------------|-------------|-----------|-----------|----------|-------------------------|-----------------|
| دبی ۳۲ L/min | ۶/۴ | ۴۰ | ۱۲۸۷۲۰ | ۱۷۰ | ۰/۱۵ | ۴۲ | ۷۲/۳۴ |
| | ۶/۴ | ۷/۴ | ۱۲۶۰۴۴ | ۱۸ | ۰/۰۷ | ۳/۷ | ۳/۹ |
| | درصد حذف | ۸۱/۵۰ | ۲/۰۷ | ۸۹/۴۱ | ۵۳/۳۳ | ۹۱/۱۹ | ۹۴/۶۱ |
| | ۶/۴ | ۶/۸ | ۱۲۵۸۳۰ | ۱۶ | ۰/۰۷ | ۳/۴ | ۲/۸ |
| | درصد حذف | ۸۳/۰۰ | ۲/۲۵ | ۹۰/۵۹ | ۵۳/۳۳ | ۹۱/۹۰ | ۹۶/۱۳ |
| | ۶/۳ | ۵/۵ | ۱۲۵۴۹۹ | ۱۲ | ۰/۰۶ | ۳/۲ | ۲/۲ |
| | درصد حذف | ۸۶/۲۵ | ۲/۵۰ | ۹۲/۹۴ | ۶۰/۰۰ | ۹۲/۳۸ | ۹۶/۹۶ |
| | ۶/۳ | ۵/۲ | ۱۲۵۰۳۸ | ۱۰ | ۰/۰۶ | ۳/۱ | ۱/۵ |
| | درصد حذف | ۸۷/۰۰ | ۲/۸۶ | ۹۴/۱۲ | ۶۰/۰۰ | ۹۲/۶۲ | ۹۷/۹۳ |
| | ۶/۳ | ۵ | ۱۲۴۷۸۴ | ۹ | ۰/۰۶ | ۳ | ۰/۹ |
| | درصد حذف | ۸۷/۵۰ | ۳/۰۶ | ۹۴/۷۱ | ۶۰/۰۰ | ۹۲/۸۶ | ۹۸/۷۶ |
| | دبی ۴۲ L/min | ۶/۵ | ۸/۵ | ۱۲۷۲۱۲ | ۲۲ | ۰/۱ | ۴ |
| درصد حذف | | ۷۸/۷۵ | ۱/۱۷ | ۸۷/۰۶ | ۳۳/۳۳ | ۹۰/۴۸ | ۹۱/۵۷ |
| ۶/۵ | | ۷/۲ | ۱۲۶۳۲۰ | ۱۸ | ۰/۰۹ | ۳/۹ | ۴/۷۵ |
| درصد حذف | | ۸۲/۰۰ | ۱/۸۶ | ۸۹/۴۱ | ۴۰/۰۰ | ۹۰/۷۱ | ۹۳/۴۳ |
| ۶/۴ | | ۶ | ۱۲۵۵۷۶ | ۱۶ | ۰/۰۸ | ۳/۷ | ۲/۹ |
| درصد حذف | | ۸۵/۰۰ | ۲/۴۴ | ۹۰/۵۹ | ۴۶/۶۷ | ۹۱/۱۹ | ۹۵/۹۹ |
| ۶/۴ | | ۵/۹ | ۱۲۵۵۱۰ | ۱۳ | ۰/۰۷ | ۳/۵ | ۲/۳۵ |
| درصد حذف | | ۸۵/۲۵ | ۲/۴۹ | ۹۲/۳۵ | ۵۳/۳۳ | ۹۱/۶۷ | ۹۶/۷۵ |
| ۶/۴ | | ۵/۴ | ۱۲۵۴۶۰ | ۱۰ | ۰/۰۷ | ۳/۴ | ۱/۵ |
| درصد حذف | | ۸۶/۵۰ | ۲/۵۳ | ۹۴/۱۲ | ۵۳/۳۳ | ۹۱/۹۰ | ۹۷/۹۳ |



شکل ۴- درصد حذف مواد نفتی و روغنی نسبت به زمان در مایکرو فیلتراسیون



شکل ۵- درصد حذف اندازه ذرات نسبت به زمان در مایکروفیلتراسیون

و افزایش دبی تأثیر چندانی در کاهش آن ندارد. با دو برابر شدن دبی، حداکثر درصد حذف به ۹۷/۳۰٪ می‌رسد. اندازه ذرات براساس قطر بزرگترین ذره مشاهده شده در هر نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی در جدول ۶ گزارش شده است. در این فرایند اندازه ذرات باقی مانده در نمونه خروجی از سامانه در هر دو دبی کوچکتر از 0.5μ (حداقل اندازه قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه) می‌باشد. در شکل ۸ درصد حذف ذرات در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در دو دبی برای این فرایند آمده است. تغییرات درصد حذف بر اساس تعداد بزرگترین ذرات مشاهده شده در نمونه محاسبه گردیده است. نتیجه آزمایش SRB انجام شده بر روی نمونه برابر با صفر بود.

اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

در جدول ۷ تغییرات فشار ورودی و خروجی، فشار در عرض غشا، دبی و شار جریان در مدت ۱۲۰ min در دو دبی ۱۶ و ۳۲ L/min برای اولترا فیلتراسیون غیر مستقیم آمده است. در شکل ۹ تغییرات فشار در عرض غشا و شار نسبت به زمان در اولترا فیلتراسیون غیر مستقیم در دو دبی و دو مرحله شستشوی مستقیم مشاهده می‌گردد. مقدار TMP در هر دو دبی پس از هر مرحله شستشو برابر مقدار اولیه می‌باشد. حالت موجدار شکل، بیانگر تغییرات فشار در عرض غشا حین انجام فرایند و همچنین قبل و بعد از هر مرحله شستشو می‌باشد.

در دبی ۳۲ L/min، شار در زمان ۲۴۰ دقیقه از ۱۲۰ به $116/25 \text{ L/min}^2 \text{ hr}$ کاهش می‌یابد و پس از شستشو دوباره به مقدار اولیه بر می‌گردد حال اینکه در دبی ۱۶ L/min مقدار شار تا انتهای آزمایش ثابت و برابر $60 \text{ L/m}^2 \text{ hr}$ می‌باشد.

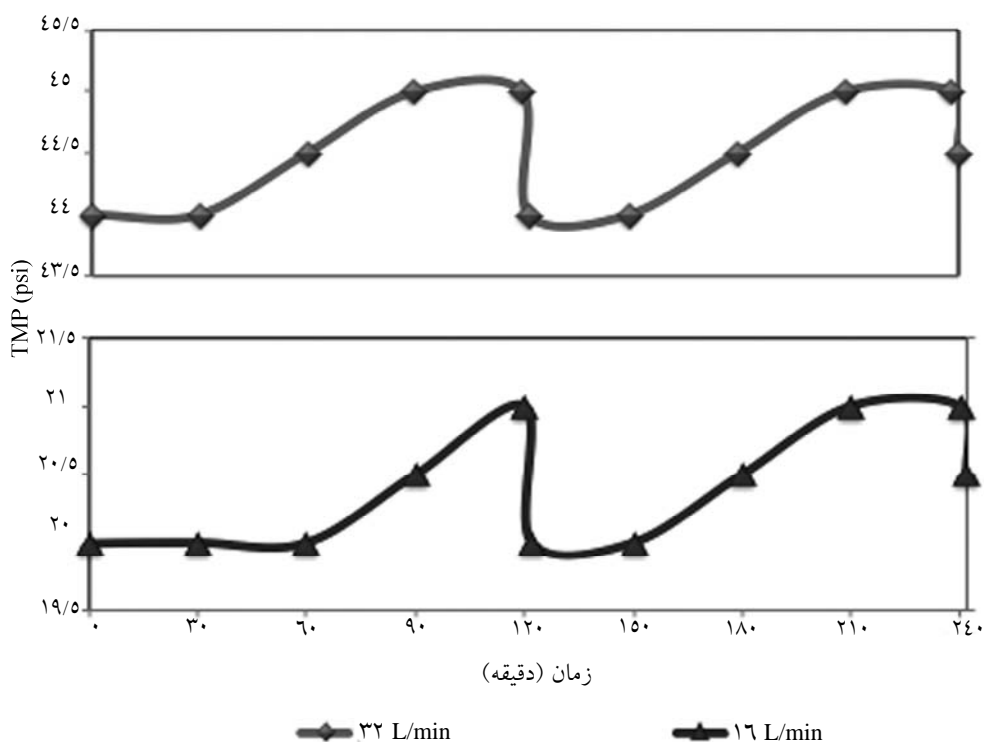
اندازه بزرگترین ذرات در این فرایند به 1μ می‌رسد. مطابق استانداردهای تزریق، تعداد SRB یا باکتری‌های احیا کننده سولفات در خروجی باید کمتر از ۱۰ عدد در میلی‌لیتر باشد. نمونه به مدت ۱۰ روز با کیت آزمایش SRB در محیط کشت مخصوص مورد آزمایش قرار گرفت که براساس نتایج، تعداد باکتری‌های موجود در آن صفر بود.

اولترافیلتراسیون مستقیم

در جدول ۵ تغییرات فشار ورودی و خروجی، TMP، دبی و شار در ۱۲۰ min در دو دبی ۱۶ و ۳۲ L/min برای اولترا فیلتراسیون مستقیم آمده است. در شکل ۶ تغییرات TMP و شار نسبت به زمان در اولترا فیلتراسیون مستقیم مشاهده می‌گردد. با توجه به شکل در دبی ۳۲ L/min، افزایش TMP نسبت به دبی ۱۶ L/min نیم ساعت زودتر اتفاق می‌افتد. مقدار TMP در هر دو دبی پس از شستشوی مرحله اول برابر مقدار اولیه و در مرحله دوم شستشو ۰/۵ psi افزایش یافته است. این افزایش فشار در عرض غشا در حین انجام عملیات و کاهش آن در هر مرحله از شستشو به خوبی در شکل ۶ نمایان است. در جدول ۶ مؤلفه‌های کیفی خوراک و جریان خروجی و همچنین درصد حذف برای اولترافیلتراسیون مستقیم در دو دبی ۱۶ و ۳۲ min آمده است. با توجه به جدول ۶ حداقل غلظت نفت در اولترافیلتراسیون کمتر از ۱ ppm می‌باشد. در شکل ۷ تغییرات درصد حذف مواد نفتی و روغنی در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در دو دبی ۱۶ و ۳۲ L/min برای فرایند اولترا فیلتراسیون مستقیم رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر درصد حذف ۹۸/۴۶٪ می‌باشد

جدول ۵- تغییرات TMP، فشار و شار نسبت به زمان در اولترا فیلتراسیون مستقیم

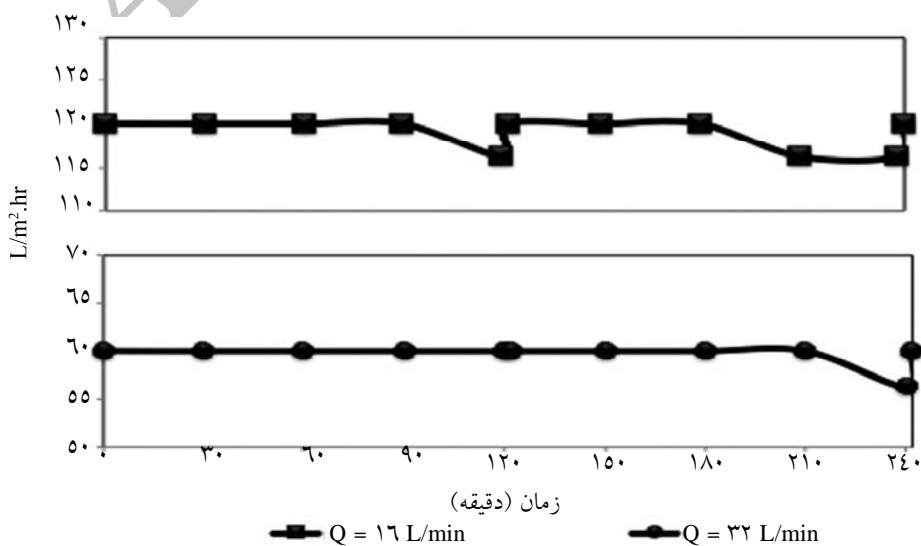
| دبی ۳۲ (L/min) | | | | | دبی ۱۶ (L/min) | | | | | |
|----------------------------|------------|------------------|------------------|--------------|------------------------------|------------|------------------|------------------|--------------|-------------|
| شار L/m ² hr | TMP psi | فشارخروجی psi | فشارورودی psi | دبی L/min | شار L/min ² hr | TMP psi | فشارخروجی psi | فشارورودی psi | دبی L/min | زمان min |
| ۱۲۰ | ۴۴ | ۱۰ | ۵۴ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰ | ۲ | ۲۲ | ۱۳ | ۰ |
| ۱۲۰ | ۴۴ | ۱۰ | ۵۴ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰ | ۲ | ۲۲ | ۱۳ | ۳۰ |
| ۱۲۰ | ۴۴/۵ | ۱۰ | ۵۴/۵ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰ | ۲ | ۲۲ | ۱۳ | ۶۰ |
| ۱۲۰ | ۴۵ | ۱۰ | ۵۵ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰/۵ | ۲ | ۲۲/۵ | ۱۳ | ۹۰ |
| ۱۱۶/۲۵ | ۴۵ | ۱۰ | ۵۵ | ۳۱ | ۶۰ | ۲۱ | ۲ | ۲۳ | ۱۳ | ۱۲۰ |
| ۲ دقیقه Forward flushing | | | | | | | | | | |
| ۱۲۰ | ۴۴ | ۱۰ | ۵۴ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰ | ۲ | ۲۲ | ۱۳ | ۱۲۲ |
| ۱۲۰ | ۴۴ | ۱۰ | ۵۴ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰ | ۲ | ۲۲ | ۱۳ | ۱۵۰ |
| ۱۲۰ | ۴۴/۵ | ۱۰ | ۵۴/۵ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰/۵ | ۲ | ۲۲/۵ | ۱۳ | ۱۸۰ |
| ۱۱۶/۲۵ | ۴۵ | ۱۰ | ۵۵ | ۳۱ | ۶۰ | ۲۱ | ۲ | ۲۳ | ۱۳ | ۲۱۰ |
| ۱۱۶/۲۵ | ۴۵ | ۱۰ | ۵۵ | ۳۱ | ۵۶/۲۵ | ۲۱ | ۲ | ۲۳ | ۱۲ | ۲۴۰ |
| ۲ دقیقه Forward flushing | | | | | | | | | | |
| ۱۲۰ | ۴۴/۵ | ۱۰ | ۵۴/۵ | ۳۲ | ۶۰ | ۲۰/۵ | ۲ | ۲۲/۵ | ۱۳ | ۲۴۲ |



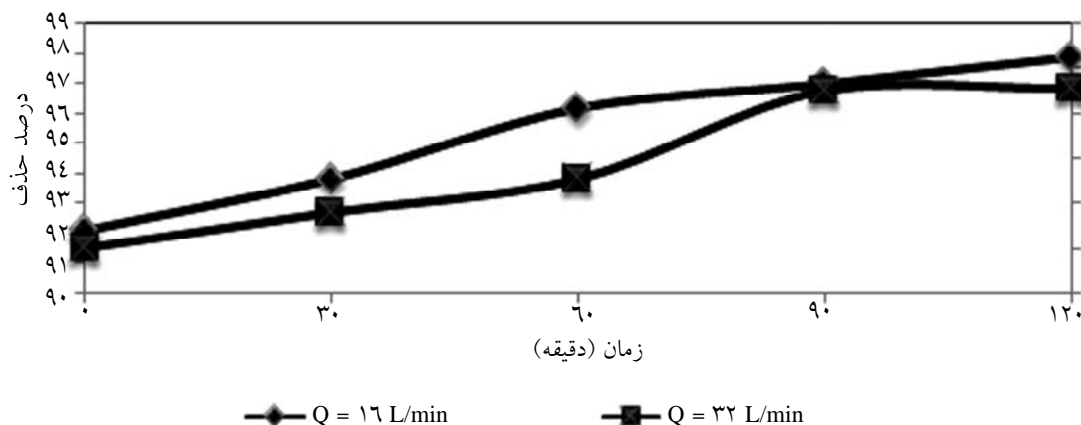
شکل ۶- تغییرات TMP نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون مستقیم

جدول ۶- خوراک و جریان خروجی و درصد حذف نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون مستقیم

| خوراک ورودی | | pH | کدورت (NTU) | TDS (ppm) | TSS (ppm) | Fe (ppm) | مواد نفتی و روغنی (ppm) | اندازه ذرات (μ) | | |
|-------------------|--------------|------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----|
| | | ۶/۳ | ۲۴ | ۱۲۹۱۳۴ | ۱۰۵ | ۰/۲ | ۲۶ | ۵۹/۸۵ | | |
| دبی جریان (L/MIN) | | زمان (min) | pH | کدورت (NTU) | TDS (ppm) | TSS (ppm) | Fe (ppm) | مواد نفتی و روغنی (ppm) | اندازه ذرات (μ) | |
| دبی ۱۶ L/min | ۰ | | ۶/۱ | ۳/۶ | ۱۲۳۴۳۶ | ۸ | ۰/۰۵ | ۲/۴ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۸۵/۰۰ | ۴/۴۱ | ۹۲/۳۸ | ۷۵/۰۰ | ۹۰/۷۷ | ۹۹/۹۲ | | |
| | ۳۰ | | ۶/۱ | ۲/۲ | ۱۱۸۰۳۷ | ۶ | ۰/۰۵ | ۱/۸ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۰/۸۳ | ۸/۶۰ | ۹۴/۲۹ | ۷۵/۰۰ | ۹۳/۰۸ | ۹۹/۹۲ | | |
| | ۶۰ | | ۶ | ۱/۹ | ۱۱۱۱۶۴ | ۶ | ۰/۰۵ | ۱ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۲/۰۸ | ۱۳/۹۲ | ۹۴/۲۹ | ۷۵/۰۰ | ۹۶/۱۵ | ۹۹/۹۲ | | |
| | ۹۰ | | ۶ | ۱/۳ | ۱۰۹۶۵۰ | ۴ | ۰/۰۵ | ۰/۷ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۴/۵۸ | ۱۵/۰۹ | ۹۶/۱۹ | ۷۵/۰۰ | ۹۷/۳۱ | ۹۹/۹۲ | | |
| | ۱۲۰ | | ۶ | ۰/۷ | ۱۰۷۷۸۰ | ۳ | ۰/۰۵ | ۰/۴ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۷/۰۸ | ۱۶/۵۴ | ۹۷/۱۴ | ۷۵/۰۰ | ۹۸/۴۶ | ۹۹/۹۲ | | |
| | دبی ۳۲ L/min | ۰ | | ۶/۳ | ۴/۵ | ۱۲۳۶۵۶ | ۹ | ۰/۰۵ | ۲/۶ | ۰/۱ |
| | | | درصد حذف | ۸۱/۲۵ | ۴/۲۴ | ۹۱/۴۲ | ۷۵ | ۹۰ | ۹۹/۸۳ | |
| ۳۰ | | | ۶/۳ | ۳ | ۱۱۹۳۶۵ | ۸ | ۰/۰۵ | ۲/۲ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۸۷/۵ | ۷/۵۶ | ۹۲/۳۸ | ۷۵/۰۰ | ۹۱/۵۳ | ۹۹/۹۱ | | |
| ۶۰ | | | ۶/۲ | ۲/۱ | ۱۱۵۱۸۰ | ۷ | ۰/۰۵ | ۱/۸ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۱/۲۵ | ۱۰/۸۰ | ۹۳/۳۳ | ۷۵/۰۰ | ۹۳/۰۷ | ۹۹/۹۱ | | |
| ۹۰ | | | ۶/۲ | ۱/۴ | ۱۱۱۰۳۲ | ۶ | ۰/۰۵ | ۰/۸ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۴/۱۶ | ۱۴/۰۱ | ۹۴/۲۸ | ۷۵/۰۰ | ۹۶/۹۲ | ۹۹/۹۱ | | |
| ۱۲۰ | | | ۶/۲ | ۰/۸ | ۱۰۸۲۴۰ | ۴ | ۰/۰۵ | ۰/۷۷ | ۰/۰۵ | |
| | | درصد حذف | ۹۶/۶۶ | ۱۶/۱۸ | ۹۶/۱۹ | ۷۵/۰۰ | ۹۷/۰۳ | ۹۹/۹۱ | | |



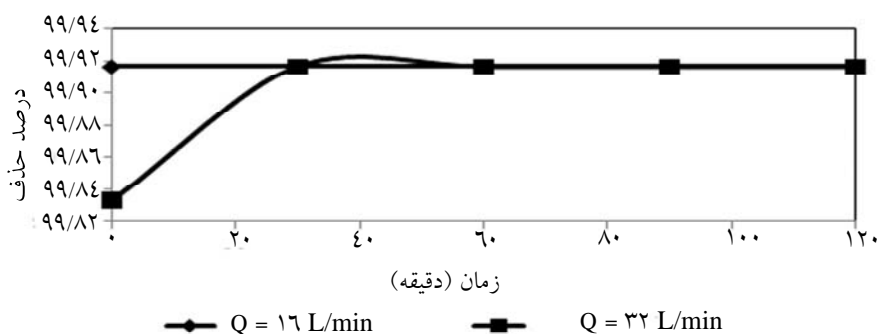
شکل ۷- تغییرات شار نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون مستقیم



شکل ۸- درصد حذف مواد نفتی و روغنی نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون مستقیم

جدول ۷- تغییرات TMP، فشار و شار نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

| ۱۶ (L/min) دبی | | | | | | ۳۲ (L/min) دبی | | | | |
|--------------------------|-----------|----------------|----------------|---------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|---------|---------|
| زمان min | دبی L/min | فشار ورودی psi | فشار خروجی psi | TMP psi | شار L/m ² hr | دبی L/min | فشار ورودی psi | فشار خروجی psi | TMP psi | شار LMH |
| ۰ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |
| ۳۰ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |
| ۶۰ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |
| ۹۰ | ۱۶ | ۲۰/۵ | ۳ | ۱۷/۵ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰/۵ | ۱۰ | ۴۰/۵ | ۱۲۰ |
| ۱۲۰ | ۱۶ | ۲۱ | ۳ | ۱۸ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۱ | ۱۰ | ۴۱ | ۱۲۰ |
| ۲ دقیقه Forward flushing | | | | | | | | | | |
| ۱۲۲ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |
| ۱۵۰ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |
| ۱۸۰ | ۱۶ | ۲۰/۵ | ۳ | ۱۷/۵ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰/۵ | ۱۰ | ۴۰/۵ | ۱۲۰ |
| ۲۱۰ | ۱۶ | ۲۱ | ۳ | ۱۸ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۱ | ۱۰ | ۴۱ | ۱۲۰ |
| ۲۴۰ | ۱۶ | ۲۱ | ۳ | ۱۸ | ۶۰ | ۳۴ | ۵۱ | ۱۰ | ۴۱ | ۱۱۶/۲۵ |
| ۲ دقیقه Forward flushing | | | | | | | | | | |
| ۲۴۲ | ۱۶ | ۲۰ | ۳ | ۱۷ | ۶۰ | ۳۵ | ۵۰ | ۱۰ | ۴۰ | ۱۲۰ |



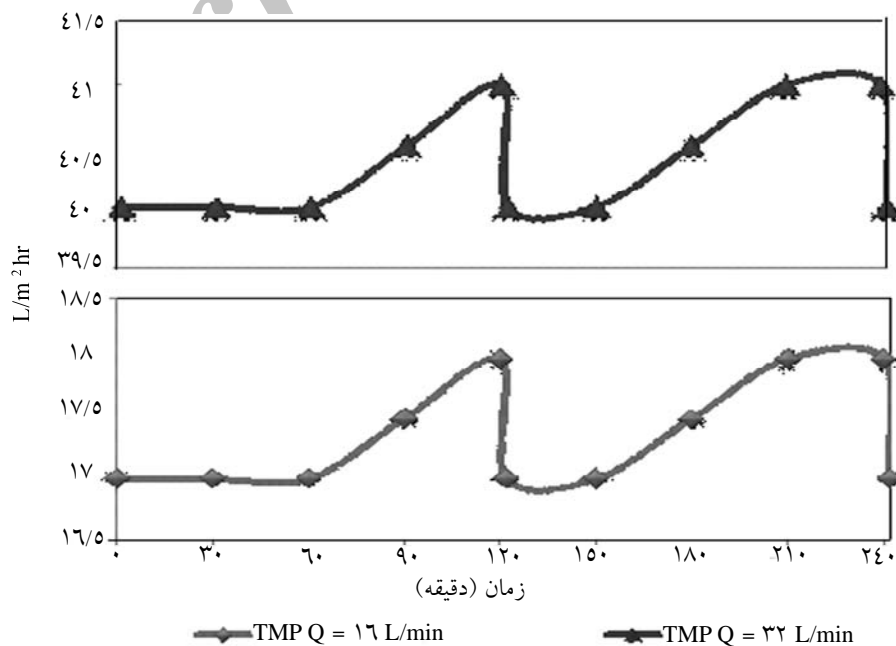
شکل ۹- درصد حذف اندازه ذرات نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون مستقیم

توسط دستگاه) می‌رسد. در تست SRB انجام شده بر روی نمونه هیچ باکتری مشاهده نگردید.

تراوایی غشا در ابتدا و انتها و محاسبه درصد بازایی

برای محاسبه بازایی قبل از انجام آزمایش با پساب اصلی، ابتدا پایلوت با آب تمیز راه اندازی گردید و میزان تراوایی اندازه‌گیری شد. پس از پایان آزمایش‌ها با پساب اصلی نیز دوباره همین آزمایش با آب تمیز شاهد تکرار شده و از روی این دو مقدار تراوایی، درصد بازایی غشا محاسبه می‌گردید. در جدول ۹ داده‌های آزمایش در ابتدا و انتها آمده است. آزمایش‌ها در دبی 16 L/min انجام گرفته است. با توجه به داده‌های آزمایش، ضریب تراوایی در ابتدا و انتهای کار به ترتیب برابر با $57/14 \text{ L/m}^2 \text{ hr bar}$ و $55/04$ می‌باشد. میزان بازایی غشا پس از انجام آزمایش برابر $96/32\%$ می‌باشد که نشان می‌دهد گرفتگی جدی و غیر قابل برگشتی در غشا رخ نداده است. نتایج نشان می‌دهد غشای مورد استفاده برای این پساب مناسب است. آزمایش تراوایی بدون شستشوی شیمیایی انجام گرفته است. در پایان نتایج تحقیقات پیشین با نتایج این پژوهش در جدول ۱۰ مقایسه گردیده است.

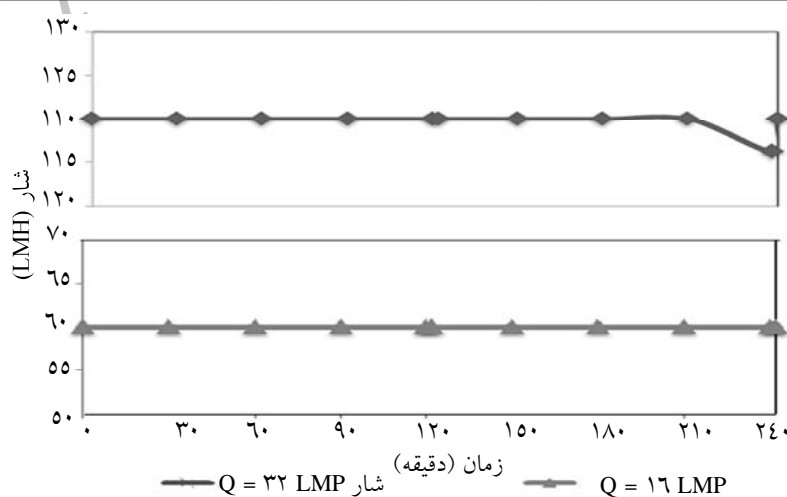
در شکل ۱۰ تغییرات درصد حذف مواد نفتی و روغنی در مدت زمان 120 min در دو دبی برای فرایند اولترافیلتراسیون غیر مستقیم آمده است. در جدول ۸ کیفیت خوراک و جریان خروجی و درصد حذف نسبت به زمان در فرایند اولترا فیلتراسیون غیر مستقیم در دو دبی 16 L/min و 32 L/min گزارش شده است. با توجه به جدول ۸ در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم غلظت مواد نفتی و روغنی کمتر از 1 ppm می‌باشد که کمترین میزان آن برابر $0/3 \text{ ppm}$ و در دبی 16 L/min حاصل می‌گردد. با مقایسه کیفیت پساب تصفیه شده در فرایند مستقیم و غیر مستقیم در جدول‌های ۶ و ۸ مشاهده می‌شود که کیفیت خوراک ورودی تأثیر چندانی بر کیفیت خروجی ندارد و کیفیت در خروجی فرایند مستقیم و غیر مستقیم با دو خوراک متفاوت تقریباً با هم برابر است. افزایش دبی در هر فرایند نیز به میزان کمی درصد حذف را کاهش می‌دهد. در شکل ۱۱ تغییرات درصد حذف ذرات جامد از نظر تعداد و در مدت زمان 120 min در دو دبی برای این فرایند آمده است. این مقدار در هر دو فرایند اولترافیلتراسیون بیشتر از مایکرو فیلتراسیون می‌باشد. با توجه به جدول ۸ اندازه ذرات در فرایند اولترا فیلتراسیون غیر مستقیم به زیر $0/05$ (حداقل اندازه قابل اندازه‌گیری



شکل ۱۰- تغییرات TMP نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

جدول ۸- خوراک، جریان خروجی و درصد حذف نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

| اندازه ذرات (μ) | نفت و چربی (ppm) | Fe (ppm) | TSS (ppm) | TDS (ppm) | کدورت (NTU) | pH | خوراک ورودی | | |
|-----------------|------------------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-------------|-------------------|--------------|
| ۶/۱ | ۳/۵ | ۰/۰۷ | ۱۵ | ۱۲۵۸۷۵ | ۶/۵ | ۶/۴ | | | |
| اندازه ذرات (μ) | نفت و چربی (ppm) | Fe (ppm) | TSS (ppm) | TDS (ppm) | کدورت (NTU) | pH | زمان (min) | دبی جریان (L/MIN) | |
| ۰/۰۵ | ۲/۴ | ۰/۰۵ | ۷ | ۱۲۲۳۴۴ | ۲/۷ | ۶/۱ | ۰ | دبی ۱۶ L/min | |
| ۹۹/۱۸ | ۳۱/۴۲ | ۲۸/۵۷ | ۵۳/۳۳ | ۲/۸۰ | ۵۸/۴۶ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۱/۸ | ۰/۰۵ | ۵ | ۱۱۵۶۳۰ | ۲/۳ | ۶/۱ | ۳۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۴۸/۵۷ | ۲۸/۵۷ | ۶۶/۶۶ | ۸/۱۳ | ۶۴/۶۱ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۱ | ۰/۰۵ | ۳ | ۱۰۸۱۱۶ | ۱/۷ | ۶ | ۶۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۷۱/۴۳ | ۲۸/۵۷ | ۸۰/۰۰ | ۱۳/۵۵ | ۷۳/۸۵ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۰/۷ | ۰/۰۵ | ۳ | ۱۰۶۰۰۰ | ۰/۹ | ۶ | ۹۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۸۰/۰۰ | ۲۸/۵۷ | ۸۰/۰۰ | ۱۹/۷۶ | ۸۶/۱۵ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۰/۳ | ۰/۰۵ | ۲ | ۱۰۱۰۰۰ | ۰/۵ | ۶ | ۱۲۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۹۱/۴۳ | ۲۸/۵۷ | ۸۶/۶۷ | ۲۱/۵۴ | ۹۲/۳۱ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۲/۵ | ۰/۰۵ | ۸ | ۱۲۳۵۶۴ | ۳/۶ | ۶/۲ | ۰ | | دبی ۳۲ L/min |
| ۹۹/۱۸ | ۲۸/۵۷ | ۲۸/۵۷ | ۴۶/۶۶ | ۱/۸۳ | ۴۴/۶۱ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۲/۱ | ۰/۰۵ | ۷ | ۱۱۸۷۴۳ | ۲/۳ | ۶/۲ | ۳۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۴۰/۰۰ | ۲۸/۵۷ | ۵۳/۳۳ | ۵/۶۷ | ۶۴/۶۱ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۱/۵ | ۰/۰۵ | ۶ | ۱۱۲۵۵۶ | ۲ | ۶/۱ | ۶۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۵۷/۱۴ | ۲۸/۵۷ | ۶۰/۰۰ | ۱۰/۵۸ | ۶۹/۲۳ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۱/۱ | ۰/۰۵ | ۵ | ۱۱۱۰۳۴ | ۱/۱ | ۶/۱ | ۹۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۶۸/۵۷ | ۲۸/۵۷ | ۶۶/۶۶ | ۱۱/۷۹ | ۸۳/۰۷ | درصد حذف | | | |
| ۰/۰۵ | ۰/۵ | ۰/۰۵ | ۳ | ۱۰۸۰۶۴ | ۰/۶ | ۶/۱ | ۱۲۰ | | |
| ۹۹/۱۸ | ۸۵/۷۱ | ۲۸/۵۷ | ۸۰/۰۰ | ۱۴/۱۵ | ۹۰/۷۷ | درصد حذف | | | |



شکل ۱۱- تغییرات اندازه ذرات نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

جدول ۹- داده های آزمایش تراوایی با آب تمیز در ابتدا و انتهای کار با پایلوت

| زمان | فشارورودی (bar) | فشارخروجی (bar) | TMP (bar) | دبی (L/h) | سطح غشا (m ²) | شار (L/m ² hr) | تراوایی (L/m ² hr) |
|-------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| ابتدا | ۱/۱ | ۰/۰۵ | ۱/۰۵ | ۹۶۰ | ۱۶ | ۶۰ | ۵۷/۱۴ |
| انتها | ۱/۱۶ | ۰/۰۷ | ۱/۰۹ | ۹۶۰ | ۱۶ | ۶۰ | ۵۵/۰۴ |

جدول ۱۰- مقایسه نتایج تحقیقات با تحقیقات پیشین

| نام محققین | نوع پساب | نوع غشا | پارامترهای عملیاتی | نتایج حاصل از تحقیق | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-------------------------|------------------|----------------|
| | | | | مولفه | غلظت خوراک (%WT) | درصد حذف |
| یگانه و همکاران ۲۰۰۸ | پساب پالایشگاه گاز خانگیران | MF ۰/۲۲ μ | فشار: ۱ bar سرعت: ۱ MPS | مولفه | غلظت خوراک (%WT) | درصد حذف |
| | | | | مواد نفتی و روغنی | ۵ | ۹۸ |
| رکابدار و همکاران ۲۰۰۸ | پساب خروجی API | MF ۰/۲ μ | فشار: ۱/۵ bar سرعت: ۱/۲۵ MPS | مولفه | غلظت ورودی | غلظت خروجی |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | ۹۹ | ۲/۹ |
| cakmakci و همکاران ۲۰۰۷ | پساب نمکزدایی | MF, UF | - | مولفه | خروجی UF | خروجی MF ۰/۲ μ |
| | | | | COD خروجی | ۷۱۰ | ۷۸۱ |
| Qiao و همکاران ۲۰۰۷ | پساب نمکزدایی | UF | - | مولفه | غلظت ورودی | غلظت خروجی |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | <۱/۵ | - |
| | | | | TSS (ppm) | ۸-۴ | <۰/۶ |
| | | | | اندازه ذرات (μ) | ۱/۸۴۵ | - |
| | | | | کدورت (NTU) | ۴-۲ | <۰/۱ |
| Burnett ۲۰۰۶ | پساب نمکزدایی | UF | - | مولفه | درصد حذف | درصد حذف |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | ۷۸ | ۷۸ |
| | | | | کدورت (NTU) | ۹۹ | ۹۹ |
| Beech ۲۰۰۶ | پساب نمکزدایی | سه نوع UF | - | مولفه | غلظت ورودی | درصد حذف |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | ۱۹۲/۸ ۵۴۲/۵ | ۹۴/۳۱-۴۷/۳۲ |
| | | | | کدورت (NTU) | ۱۰۰۰-۲۵۲/۳ | ۹۹/۸۷-۹۵/۷۵ |
| Chen و همکاران ۱۹۹۱ | پساب نمکزدایی | مایکروفیلتر ۰/۸-۰/۲ μ | شار: GPfT ۲۰۰۰-۸۵۰ | مولفه | غلظت ورودی | غلظت خروجی |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | ۵۷۴-۱۰۵ | ۵ |
| | | | | TSS (ppm) | ۳۵۰-۷۳ | ۱ |
| نتایج حاصل از پژوهش | پساب نمکزدایی | MF, UF | اولترافیلتراسیون غیر مستقیم دبی: ۳۲ LPM | مولفه | ورودی | خروجی UF |
| | | | | مواد نفتی و روغنی (ppm) | ۴۲-۲۶ | ۰/۵ |
| | | | | TSS (ppm) | ۱۷۰-۱۰۵ | ۵ |
| | | | | اندازه ذرات (μ) | -۵۹/۸۵ ۷۳۳۴ | ۱/۵ |
| | | | | کدورت (NTU) | ۴۰-۲۴ | ۵/۴ |
| بازیابی غشا پس از پایان کار: ۹۶/۳۲٪ | | | | | | |

نتیجه گیری

- کمیت مواد موجود در محصول خروجی در تمامی فرایندها به زیر استاندارد تعیین شده رسیده است.

- در فرایند میکرو فیلتراسیون، در دبی 32 L/min افزایش TMP در مدت زمان یکسان از دبی 42 L/min کمتر است. در تصفیه با میکروفیلتر در دبی 42 L/min در ازای تصفیه 3150 L پساب فشار 1 psi افزایش می یابد، حال اینکه در دبی 32 L/min این مقدار برابر با 4800 L می باشد. این موضوع با توجه به لزوم تعویض غشا پس از افزایش فشار تا حد 2 bar بسیار اهمیت دارد. بنابراین دبی 32 L/min به عنوان دبی بهینه برای این فرایند پیشنهاد می گردد. راندمان حذف مواد در میکروفیلتراسیون از اولترافیلتراسیون کمتر است که البته مقدار آن از حد استاندارد پایین تر می باشد.

- اولترافیلتراسیون مستقیم به دلیل وجود نوسانات کیفیت در خوراک و امکان بالاتر رفتن میزان کدورت و اندازه ذرات از حد تحمل غشا پیشنهاد نمی گردد. افزایش TMP و کاهش شار نیز در این فرایند نسبت به اولترافیلتراسیون غیرمستقیم بیشتر است. کیفیت محصول خروجی و درصد حذف در

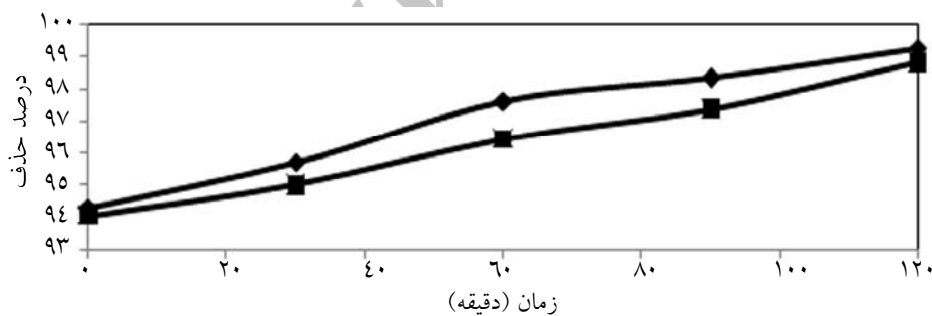
دو فرایند اولترافیلتراسیون تفاوت چندانی با هم ندارد.

- اولترافیلتراسیون غیر مستقیم به دلیل ثابت بودن تقریبی شار و کیفیت بهتر محصول به عنوان فرایند بهینه توصیه می گردد. با توجه به عدم تاثیر زیاد دبی در کیفیت محصول خروجی، حداکثر دبی توصیه شده برای غشا برابر با 32 L/min می باشد. با این دبی می توان در ازای هر مدول غشایی، 46 m^3 پساب را در هر روز تصفیه نمود. در این فرایند درصد حذف کدورت $98/53\%$ ، مواد نفتی و روغنی $98/81\%$ ، کل جامدات معلق $98/23\%$ و اندازه ذرات $99/93\%$ می باشد.

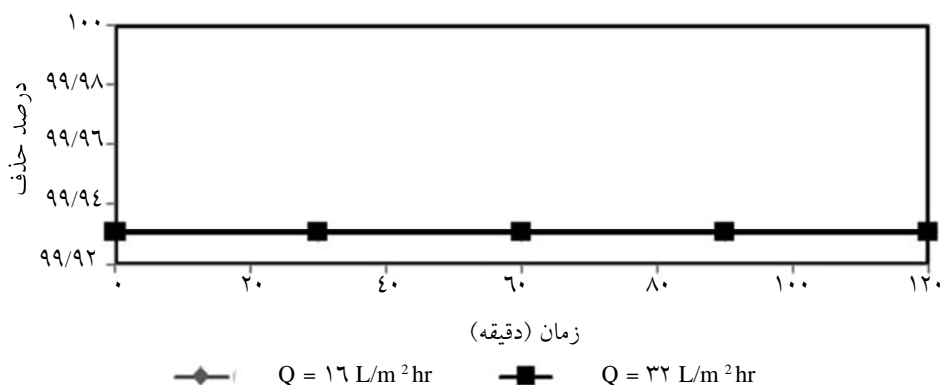
- میزان بازیابی غشا پس از پایان فرایند برابر $96/32\%$ است که نشان می دهد در غشا گرفتگی جدی و غیر قابل بازگشتی در طول فرایند رخ نداده است و غشای مورد استفاده برای تصفیه این پساب مناسب است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه مدیران و کارمندان پژوهشگاه صنعت نفت جهت همکاری و هماهنگی های ایشان تشکر و قدردانی می گردد.



شکل ۱۲- درصد حذف مواد نفتی و روغنی نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم



شکل ۱۳- تغییرات اندازه ذرات نسبت به زمان در اولترافیلتراسیون غیر مستقیم

| | |
|---|---|
| Process Flow Diagram : <i>PF</i> D | علائم و نشانه‌ها |
| Part per million : <i>ppm</i> | علائم |
| Sulfide Reductive Bacteria : <i>SRB</i> | American Petroleum Institute : <i>API</i> |
| Total Dissolved Solid : <i>TDS</i> | Chemical Oxygen Demand : <i>COD (mg/L)</i> |
| Trans membrane Pressure : <i>TMP</i> | Liter Per Square Meter Hour : <i>LM²H</i> |
| Total Organic Carbon : <i>TOC</i> | Liter Per Minute : <i>LPM</i> |
| Total Suspended Solid : <i>TSS</i> | Micro Filtration : <i>MF</i> |
| Ultra Filtration : <i>UF</i> | Nephelometry Turbidity Unit : <i>NTU</i> |
| Weight Percent : <i>WT</i> | Process and Instrumentation Diagram : <i>P&ID</i> |

منابع

- [1] Giorno & Drioli, *An introduction to membrane science & technology, Institute on membrane technology at university of Calabria*, 2006 Italy.
- [2] Boysen, *Membrane filtration: an emerging tool for produced water management*, separation process inc., United States of America, 2006.
- [3] Veil J.A., Puder M.G., Elcock D., & Redweik R.J., *A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane*, prepared by Argonne National Laboratory for the U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, Jr., 2004.
- [۴] رکابدار ف.، رحمت پور ع.، قشلاقی ع.، تصفیه پساب نفتی فرایندهای پالایشی با استفاده از سامانه میکرو فیلتراسیون غشایی، پژوهشکده علوم و تکنولوژی پلیمر، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ۲۰۰۸.
- [۵] یگانه م.ک.، مسگریان ر.، حذف آلاندهای هیدروکربوری امولسیون‌ی از پساب‌های پالایشگاهی با استفاده از روش غشایی میکروفیلتراسیون، شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران) - سرخس، ۲۰۰۸.
- [6] Cakmakci M., Kayaalp N. & Koyuncub I., *Desalination of produced water from oil production fields by membrane processes*, Environmental engineering department, Zonguldak karaelmas university, Environmental engineering department, Istanbul technical university, Turkey, Received 7 January 2007; accepted 15 January 2007.
- [7] Qiao X., Zhang Z., Yu J. & Ye X., *Performance characteristics of a hybrid membrane pilot-scale plant for oilfield-produced wastewater* *Environmental Science and Engineering*, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Received 15 May 2006; accepted 8 April 2007.
- [8] Beech S.J., *Oil removal for produced water treatment and micellar cleaning of ultrafiltration membranes*, Texas A&M University, August 2006,
- [9] Burnett D.B., *Advanced membrane filtration technology for cost effective recovery of fresh water from oil & gas produced brine*, Texas A&M university harold vance department of petroleum engineering texas experimental engineering station (TEES), Revised report issued July 2006.
- [10] Chen A.S.C., Flynn J.T., Cook R.G. & Casaday A.L., *Removal of oil, grease, and suspended solids from produced water with ceramic crossflow microfiltration*, Alcoa separations technology inc, 1998.