مجلهٔ محیط شناسی، سال سی و پنجم، شمارهٔ ۵۲ زمستان ۸۸، صفحهٔ ۷۵-۸۲

بررسی کارایی سه نوع غشای اسمز معکوس برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌های تعویض یونی

چکیده

هدف این تحقیق بررسی امکان تصفیه پساب‌های احیای رزین‌های تعویض یونی یکی از مجتمع‌های پتروشیمی کشور با استفاده از روش اسمز معکوس است. در حال حاضر این پساب بعد از خنثی‌سازی به حوضچه‌های تبخیری ارسال می‌شود. برای انجام آزمایش‌ها، پایلوتی طراحی و ساخته شد که کارایی سه نوع غشاء را به‌وسیلهٔ قطعهٔ کوچکی از غشاء بررسی کند. در این تحقیق، از سه نوع غشای اسمز معکوس مخصوص آب دریا به نامهای تجاری Toray، CSM و FILMTEC استفاده شد. با تغییر دادن فشار و میزان ریکاوری (سرعت افقی عبور جریان از روی سطح غشاء) سعی در کسب بالاترین میزان دفع نمک و بهترین میزان فلاکس شد. برای متغیر فشار سه سطح ۲۰، ۲۵ و ۳۰ بار در نظر گرفته شد و برای ریکاوری یا مقدار سرعت افقی عبور سیال، مقادیر ۰/۲۷ ، ۰/۵۴ و ۰/۸۱ متر بر ثانیه انتخاب شد که در مجموع برای سه نوع غشای مورد استفاده ۲۷ حالت هر کدام حداقل به مدت ۵ ساعت مورد بررسی وآزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد غشای FILMTEC بالاترین میزان پس‌دهی نمک را نشان می‌دهد همچنین فشار ۲۵ بار و سرعت افقی ۰/۵۴ متر بر ثانیه به عنوان بهترین حالت انتخاب شد. در این شرایط هدایت الکتریکی پساب تصفیه شده از مقدار اولیهٔ $\mu s/cm$ ۱۴۴۲۰ به $\mu s/cm$ ۴۷۰ رسید و فلاکس پرمیت، یا آب تولیدی برابر $l/m^2.hr$ ۳۹/۱ شد، همچنین آنالیز پساب تصفیه شده حاکی از بازده حذف بالای۹۷٪ برای اکثر کاتیون‌ها و آنیون‌هاست. ضمن این‌که تصفیه‌پذیری این پساب بخوبی قابل انجام است، امکان استفاده مجدد از پساب تصفیه شده با بررسی‌های دقیق‌تر در سایر بخش‌ها از جمله آبیاری فضای سبز وجود دارد.

کلید واژه

پساب احیای رزین‌ها ، اسمز معکوس،محفظهٔ غشاء ، پس‌دهی نمک و فلاکس پرمیت

سرآغاز

کمبود آب، بخش‌های مختلف اجتماع از جمله صنایع را مجبور کرده است که در بازنگری کلی، روش‌های مختلف صرفه جویی و استفاده مجدد از پساب‌ها و تصفیهٔ آنها را مدنظر قرار دهند، صنعت پتروشیمی ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و سعی در استفاده مجدد از پساب‌ها و استفاده از روش‌های نو در تصفیهٔ پساب‌هایی که تاکنون بدون تصفیه دفع می‌شدند، دارد. اهمیت موضوع با توجه به توسعه سریع صنعت پتروشیمی در ایران بیش از پیش مشخص می‌شود. در این تحقیق که دریکی از مجتمع‌های پتروشیمی ایران انجام شده است سعی بر این بوده که با استفاده ازسه نوع غشای موجود در بازار و با روش تصفیهٔ اسمز معکوس[1]، پساب‌های احیای رزین‌های تعویض یونی را که در حال حاضر بدون هیچ تصفیه‌ای دفع می‌شود، مورد تصفیه و استفاده مجدد قرار داد. بنابراین در ادامه ضمن معرفی منبع آب این واحد صنعتی و مراحل تصفیهٔ آب و تولید پساب مورد نظر، روش‌های فعلی دفع این پساب و روش پیشنهادی در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌طورکه می‌دانیم حجم آب مصرفی در سیستم‌های خنک کننده اغلب صنایع، بیشترین درصد از کل آب مصرفی آن واحد صنعتی را شامل می‌شود. در این واحد صنعتی هم

نویسنده مسئول:۰۹۱۲۷۰۳۶۴۷۶

E- mail:ghasemipanahk@ripi.ir

وضع به همین منوال است، با این تفاوت که برای جبران آبهای از دست رفته به صورت تبخیر، یا اشکال دیگر، از آب بدون یون، یا آب یون‌زدایی شده به‌عنوان آب جبرانی[۲] استفاده می‌کنند. علت این موضوع این است‌که سیستم خنک‌کنندهٔ این مجتمع از نوع بدون زیرریز[۳] است و دلیل آن هم استفاده از کرومات روی به عنوان مادهٔ محافظ در برابر خوردگی است و به دلیل سمی‌بودن کرومات روی برای انسان و محیط زیست این سیستم خنک‌کننده هیچ‌گونه آب دور ریزی نباید داشته باشد. در نتیجه جهت جبران آبهای از دست رفته به شکل بخار باید آب یون زدایی شده به سیستم تزریق شود که این آب در واحد تعویض یون تولید می‌شود و رزین‌های واحدهای تعویض یون هم بعد از چند ساعت کار کردن با توجه به کیفیت آب، نوع رزین و شرایط بهره‌برداری اشباع می‌شوند و می‌باید توسط اسید و قلیا احیا شوند. این عمل منجر به ایجاد پساب حاوی مقادیر زیاد املاح محلول می‌شود که باید دفع شود. آب خام ورودی پس از تصفیهٔ مقدماتی حذف ذرات معلق و کلوئیدی به واحد تعویض یون که از آبهای سطحی تأمین می‌شود وارد می‌شود که دارای ۴ سری ستون تعویض یونی کاتیونی و آنیونی است و همیشه یک سری از این ستون‌ها در حالت آماده، یا احیای رزین‌ها است.

هر مجموعه از این ستون‌های تعویض یون در فاصله دو احیاء مقدار $2400m^3$ ـ ۲۰۰۰ ، آب بدون یون تولید می‌کند و معمولاً در ۲۴ ساعت $12000\ m^3$ آب تولید می‌شود که با انجام عملیات احیای رزین‌ها حجمی معادل $1000\ m^3$ پساب با هدایت الکتریکی $18500 - 13500 \mu s/cm$ ، یا $TDS > 10000 mg/l$ تولید می‌شود شایان ذکر است در این واحد رزین کاتیون‌گیر قوی و رزین آنیون‌گیر ضعیف استفاده می‌شود و از اسید نیتریک ۵٪ برای احیای رزین کاتیون‌گیر و از محلول آمونیاک ۴٪ برای احیای رزین آنیون‌گیر استفاده می‌شود و در طی عملیات احیای رزین‌ها معمولاً با اختلاط پساب حاصل از احیای کاتیون‌گیر که اسیدی است و پساب حاصل از احیای آنیون‌گیر که قلیایی است، پساب با $pH \geq 7$ تولید می‌شود که در حال حاضر مستقیماً به سمت حوضچه‌های تبخیری ارسال می‌شود. آنالیز شیمیایی پساب پیش‌گفته در بخش‌های بعدی ارائه می‌شود.

روش‌های متداول دفع این پساب‌ها در دنیا شامل تخلیه در آبهای لب شور یا آبهای شور مثل دریاست، همچنین تزریق به چاههای عمیق و تزریق کنترل شده به شبکه‌های جمع آوری فاضلاب و ارسال به حوضچه‌های تبخیری روش‌های دیگر است (MWH, 2005). همچنین استفاده در زمین‌های خاص[۴] و تبخیر حرارتی کنترل شده نیز روش‌های دیگر برای دفع پساب احیای رزین‌ها با غلظت‌های کمتر و نقاطی است‌که گزینه‌های قبلی قابل انجام نیست (Tchobanoglus, 2003). یکی از روش‌هایی که اخیراً برای پساب‌های احیای رزین‌های تعویض یونی مطرح شده است استفاده از روش تقطیر غشایی[۵] یا MD است، در این روش پساب احیای رزین کاتیون‌گیر که اسیدی است تحت دمای خاصی از درون غشاهای لوله‌ای با قطر کم عبور می‌کند و آب و اجزایی که تبخیر می‌شوند، روزنه‌های غشاء را پر می‌کنند و بتدریج به سمت بیرون لوله‌های مویین غشاء حرکت می‌کنند و درعمل آب بدون یون در بیرون لوله تشکیل می‌شود و پساب غلیظتر شده در داخل لوله‌ها به سمت بیرون حرکت می‌کند. نیروی عمل‌کننده در این حالت همان اختلاف فشار بخار است(Gryta, et al. ,2006).

استفاده از فرایندهای غشایی به‌عنوان یک عنصر کلیدی درفرایندهای تصفیهٔ پیشرفته و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها برای احیای مجدد آبهای زیرزمینی و استفاده غیرمستقیم به‌عنوان آب آشامیدنی در دنیا رو به گسترش است (Wintgens, et al., 2005). در تحقیقی استفاده مجدد از فاضلاب‌های صنعتی توسط روش‌های فیلتراسیون و اسمز معکوس به طور موفقیت‌آمیزی در نیروگاه حرارتی نشان داده شده است (Mohsen, 2004). در تحقیق دیگری آب دورریز معدن و آب‌های دور ریز واحد کولینگ توسط غشای اسمز معکوس تا حدی تصفیه شد که توانایی استفاده مجدد پیدا کند (Buhrmann , et al. ,1999).

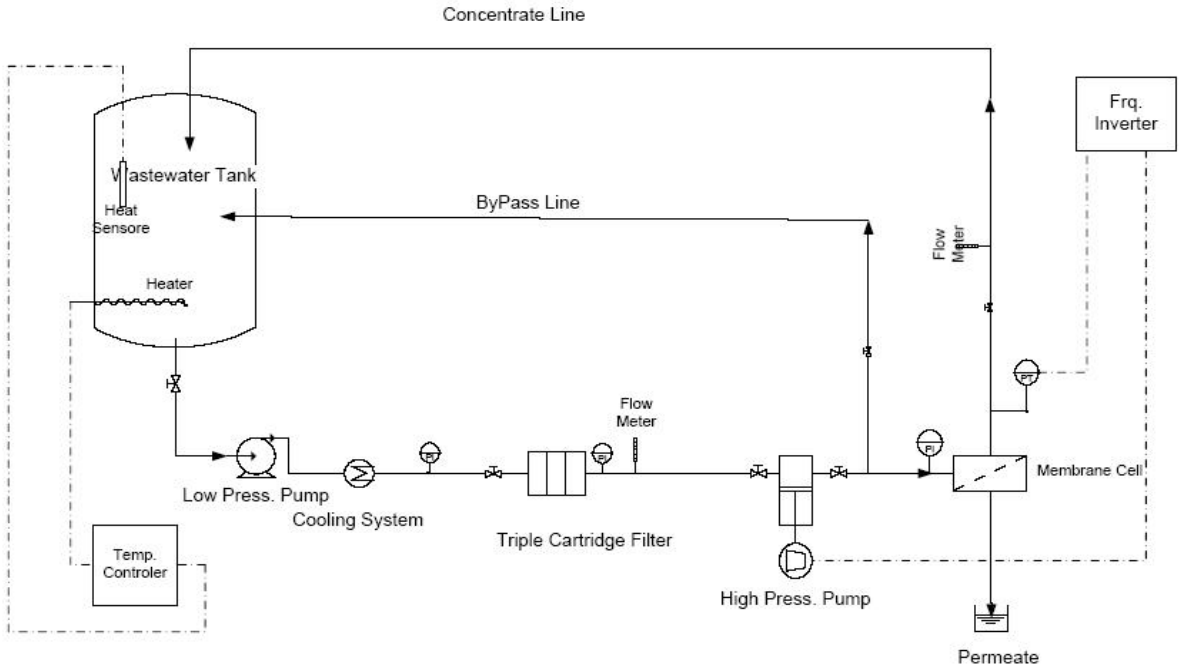
با وجود تحقیقات زیاد در ارتباط با استفاده از فرایندهای غشایی برای تصفیهٔ پساب‌های صنعتی، مطالعه‌ای که در آن استفاده از فرایند اسمز معکوس **(RO)** برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌های تعویض یونی استفاده شده باشد، مشاهده نشد. بنابراین با توجه به این‌که خصوصیات این پساب در مواردی شبیه آبهای لب شور، یا آب دریاست فرض بر این گذاشته شد که غشای اسمز معکوس توانایی حذف نمک‌های محلول در این پساب را دارد، بنابراین لازم است‌که پایلوتی فراهم شود که بتوان در شرایط مختلف فشار، و دبی، تصفیه پذیری و امکان تصفیهٔ پساب احیای رزین‌های تعویض یونی را بررسی کرد. معمولاً در این‌گونه پایلوت‌ها از المنت حلزونی استفاده می‌شود اما برای این‌که بتوانی با هزینهٔ کمتر و دقت بالاتر به‌وسیلهٔ روش‌های آزمایشگاهی نتایج بهتری کسب کرد از قسمت کوچک غشاء (در حدود ۱۵×۱۰سانتی‌متر) که در بین دو قطعهٔ فولادی به نام محفظهٔ غشاء[۶] با ضخامت و ساخت مناسب که متحمل فشار بالا باشد استفاده می‌کنند.

در تحقیقی برای مقایسهٔ عملکرد دو نوع مختلف غشاء برای تصفیهٔ پساب حاوی سیلیس از غشای صفحه‌ای[۷] و محفظهٔ غشاء استفاده شد (Sheikholeslami,and Zhou,2000). در تحقیق دیگری از یک وسیلهٔ محفظهٔ فشار به ابعاد ۲/۵×۲۰cm و ضخامت عبور آب ۱mm استفاده شد تا کارایی چهار نوع غشاء در شرایط مختلف فشار برای تصفیهٔ نوعی پساب ارزیابی شود (Sadr ghayeni, et al. ,1998).

مواد و روش بررسی، پایلوت و اجزای آن

روشی که در این تحقیق برای تصفیهٔ پساب‌های احیای رزین‌های تعویض یونی در نظر گرفته شده است استفاده از روش اسمز معکوس است. زیرا فرض بر این‌است‌که این نوع پساب با داشتن هدایت الکتریکی بالای ۱۴۰۰۰ µs/cm مانند آب دریا، یا آبهای خیلی لب شور است ولی به‌دلیل این‌که در کارهای تحقیقی موجود موردی از استفاده از سیستم **RO** برای این پساب مشاهده نشد، اطلاعات اولیه‌ای وجود نداشت. بنابراین تصمیم گرفته شد ابتدا با استفاده از تکهٔ کوچک غشاء (۱۰×۱۵cm) و محفظهٔ دو قسمتی فولادی به نام محفظهٔ غشاء و ایجاد شرایط لازم از لحاظ فشار و سیستم‌های کنترلی، کارآیی غشای اسمز معکوس را برای کاهش هدایت الکتریکی این پساب بررسی کنیم.

در شکل شمارهٔ (۱) نمای کلی پایلوت ساخته شده و اجزای آن نشان داده شده است.



شکل شمارهٔ (۱) شمای کلی پایلوت تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها به روش اسمز معکوس

پساب مورد نظر به‌وسیلهٔ یک انشعاب، ۰/۵ اینچی از خط اصلی گرفته شده و پس از عبور از فیلتر شنی برای حذف ذرات ریز رسوبات، خوردگی و رزین‌های ریز، این پساب وارد مخزن اصلی پایلوت شده، سپس از ته مخزن توسط پمپ کم فشار از نوع سانتریفوژ پمپاژ شده و بعد از عبور از لوله‌های مارپیچ، یا قسمت خنک‌کننده، وارد کارتریج فیلترهای سه گانه می‌شود. این فیلترها شامل فیلتر ۲۰ میکرونی، فیلتر ۵ میکرونی کربن فعال و فیلتر ۵ میکرونی، یا ۱ میکرونی حذف ذرات کلوییدی می‌شود. پساب بعد از خروج از کارتریج فیلترها وارد پمپ فشار قوی از نوع رفت و برگشتی می‌شود و پس از رسیدن به فشار لازم از قطعهٔ محفظه غشاء که قسمت اصلی تصفیهٔ کننده پایلوت، یا همان غشای RO است عبور می‌کند. البته در این قسمت فشار و سرعت افقی عبور آب[۸] با استفاده از شیر کنار گذر[۹] که بلافاصله بعد از خروج پساب از پمپ رفت و برگشتی تعبیه شده تنظیم می‌شود تا بتوان در شرایط مختلف فشار و سرعت افقی عبور آب از روی سطح غشاء کارایی سیستم را ارزیابی کرد. پساب بعد از ورود به قطعهٔ محفظه غشاء دو قسمت می‌شود: آب‌تصفیه‌شده، یا پرمیت[۱۰] و آب تغلیظ‌شده[۱۱].

آب تصفیه شده در ظرف جداگانه‌ای جمع‌آوری و در فواصل زمانی مشخص از لحاظ حجمی وهدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شده و آب تغلیظ شده به مخزن اصلی برگشت داده می‌شود، شایان ذکر است برای ثابت ماندن کیفیت پساب ورودی به سیستم، پساب تغلیظ شده و پرمیت به مخزن اصلی برگردانده می‌شود.

با توجه به این‌که برای کسب نتایج دقیق و علمی لازم است در هر مرحله فشار و دما ثابت نگه داشته شود، بنابراین با استفاده از مبدل فرکانسی[12] و استفاده از حالت مدار بسته کنترل و تنظیم دستگاه، کنترل فشار انجام شد. همچنین برای کنترل دما با استفاده از دستگاه کنترل کنندهٔ دما[13]، گرم کننده[14] و سیستم خنک‌کننده[15] ، دما در محدودهٔ $۳۰\pm۰/۵\ ^{o}C$ نگهداری شد.

از غشاهای موجود در بازار ایران سه نوع غشای آب دریا به شرح ذیل انتخاب شد تا در مراحل تست غشاء به شکل صفحه‌ای استفاده شود:

۱ـ غشای TM.810 از شرکت Toray به قطر ۴ اینچ و طول ۴۰ اینچ مخصوص آب دریا.

۲ـ غشای CSM-RE2521-SR از شرکت Saehan به قطر ۲/۵ اینچ و طول ۲۱ اینچ مخصوص آب دریا.

۳ـ غشای SW30-4040 از شرکت DOW FILMTEC به قطر ۴ اینچ و طول ۴۰ اینچ مخصوص آب دریا.

غشاءهای مذکور به به‌صورت حلزونی خریداری و بعد به کمک اره با دقت بریده شد و غشاهای صفحه‌ای از سطوح موجود در این غشاها به‌دست آمد. مشخصات کامل غشاها درجدول شمارهٔ (۱) ارائه شده است.

آنالیزهای شیمیایی پساب واحد و پساب تصفیه شده در آزمایشگاه مجهز آب و فاضلاب انجام شد. ولی اندازه‌گیری‌های هدایت الکتریکی، pH و دما در محل و با استفاده از دستگاههای شرکت EUTECH ، مدل CON510 برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و دستگاه pH510 برای اندازه‌گیری pH و دما استفاده شد.

جدول شمارهٔ (۱): مشخصات سه نوع غشای مخصوص آب دریا مورد استفاده در تحقیق

مشخصات / نوع غشاء	Toray TM 810	CSM-RE2521.SR	FILMTEC SW30-4040
درصد پس دهی نمک[1] ٪	۹۹/۷	۹۹/۶	۹۹/۴
حداکثر فشار کاری (بار)	۶۹	۸۲	۶۹
میزان فلاکس پرمیت[1] $l/m^2.hr$	۳۲	۳۲/۲	۴۰/۵
نوع و جنس غشاء	TFC[2] پلی آمید	TFC پلی آمید	TFC پلی آمید
pH محدودهٔ کاری	۳ـ۹	۳-۱۰	۲-۱۱
pH محدودهٔ شست‌وشو	۲-۱۰	۲-۱۱	۱-۱۳
میزان کلر مجاز (ppm)	کمتر از ۰/۱	کمتر از ۰/۱	کمتر از ۰/۱
حداکثر مجاز SDI	۴	۵	۵

(۱- میزان پس‌دهی نمک و فلاکس پرمیت بر اساس شرایط مقابل به‌دست آمده است: محلول NaCl باغلظت ppm ۳۲۰۰۰ ، فشار ۵۵ بار،دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ریکاوری ۸ درصد برای غشای۴ اینچ قطر ، ۴ اینچ طول و ریکاوری ۴ درصد برای غشای ۲/۵ اینچ قطر با ۲۱ اینچ طول.)

(2-TFC :Thin Film Composite)

راه اندازی پایلوت وانجام آزمایش‌ها

ابتدا مخزن پایلوت به حجم ۲۰۰ لیتر از پساب پر و پمپ کم فشار روشن شد تا پساب در سیستم چرخش پیدا کند، سپس پمپ فشار قوی روشن شد و با استفاده از شیرهای کنار گذر و شیر خروجی از محفظهٔ غشاء حدود فشار لازم و دبی لازم در هر مرحله تنظیم و در ادامه کار با توجه به وجود سیستم کنترل فشار، در طول مدت آزمایش این عمل به طور خودکار انجام شد. همچنین به دلیل وجود سیستم کنترل دما و قسمت خنک‌کننده، عمل تنظیم دما در حد $۳۰\pm۰/۵^{o}C$ انجام شد. در این تحقیق دو متغیر فشار و سرعت افقی جریان از روی سطح غشاء در سه سطح انتخاب شد که مجموع

حالت‌های آزمایش برای هر نوع غشاء، ۹ حالت وجمعاً ۲۷ حالت برای سه نوع غشای عملیات تصفیه انجام شد که هر حالت را حداقل به مدت ۵ ساعت ادامه داده تا بهترین فشار و سرعت عبور جریان که بهترین مقدارفلاکس[۱۶] ($l/m^2.hr$) و کمترین هدایت الکتریکی[۱۷] را نتیجه می‌دهد، به‌عنوان شرایط بهینهٔ تصفیهٔ این نوع پساب انتخاب شود. نتایج فلاکس و هدایت الکتریکی حالت‌های۲۷ گانه برای سه نوع غشاء مورد استفاده که شامل فشار در سه سطح ۲۰ ، ۲۵و ۳۰ بار (Bar) و سرعت افقی جریان در سه سطح ۰/۸۱ ، ۰/۵۴ و ۰/۲۷ متر بر ثانیه است در بخش نتایج ارائه شده است.

یادآوری این نکته ضروری است که برای اطمینان از این‌که پساب ورودی حداقل کدورت و موادمعلق را برای ورود به سیستم RO را داشته باشد پساب از کارتریج فیلترهای سه‌گانه عبور می‌کند و با اندازه‌گیری آزمون SDI[۱۸]در فواصل زمانی منظم (حداقل ۲ بار در طول هر آزمایش) و اطمینان از این‌که SDI<۳ باشد، اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد. روش اندازه‌گیری SDI در مراجع آمده است. نکتهٔ دیگر که در فرایندهای غشایی از لحاظ حفظ سلامت غشاء و جلوگیری از تخریب آن مهم است عدم مواد اکسیدکننده از قبیل کلر و پراکسید ئیدروژن و سایر مواد اکسیدکننده است.

در این تحقیق برای اطمینان از این مسئله از الکترود ORP[۱۹] استفاده شد و طبق مراجع موجود چنانچه عدد ORP کمتر از mV ۱۷۵ باشد، ورود پساب به سیستم غشایی اشکال ندارد (Byrne, 2002). در کلیهٔ مراحل این تحقیق ORP پساب ورودی که تنظیم pH شده بود کمتر از عدد فوق بود.

نتایج

جدول شمارهٔ (۲) مقایسهٔ میزان فلاکس و پس‌دهی نمک سه نوع غشای مورد استفاده برای تصفیه پساب احیای رزین‌های تعویض یونی را نشان می‌دهد. شایان ذکر است نتایج این جدول بر اساس هدایت الکتریکی حدود µs/cm ۱۴۰۰۰ (پساب اصلی) و pH=۷ پساب ورودی به سیستم به دست آمده است (برای تنظیم pH پساب اصلی، با توجه به این‌که معمولاً pH پساب تولیدی ۹/۵ –۸/۵ است با تزریق اسیدسولفوریک، pH را به ۷ رسانده و سپس عملیات تصفیه انجام می‌شد). همچنین در جدول شمارهٔ (۳) آنالیز پساب اصلی و آنالیز پساب تصفیه شده برای مقایسهٔ درصد حذف و کارایی غشای منتخب اسمز معکوس در تصفیهٔ پساب‌های احیای رزین نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در سیستم‌های نمک زدایی از آب، کیفیت پرمیت می‌باید از لحاظ مناسب‌ترین استفاده و توجه به مسائل اقتصادی به بهترین حالت ممکن برسد (Al-Bastaki, 2004).

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول شمارهٔ (۲) و مقایسهٔ کارایی سه نوع غشاء از لحاظ میزان پس‌دهی نمک و فلاکس تولیدی طبق شکل شمارهٔ (۲) غشای FILMTEC بالاترین درصد پس‌دهی نمک را دارد و با توجه به این‌که ملاک اصلی انتخاب غشای مناسب برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها، حداکثر بودن میزان پس دهی نمک است، بنابراین می‌توان گفت غشای FILMTEC مناسب‌ترین گزینه است ولی در مورد میزان فلاکس نمی‌توان بالاترین مقدار را مناسب‌ترین قلمداد کرد، زیرا معمولاً مقداری فلاکس بحرانی برای هرسیستم غشایی وجود دارد که چنانچه سیستم غشایی بالاتر از این مقدار فلاکس کار کند گرفتگی می‌تواند به سرعت ایجاد شود (Bacchin, 2006). بنابراین باید طبق شرایط اعلام شده از کارخانهٔ سازندهٔ غشاء برای حداکثر فلاکس، یا حداکثر میزان دبی پرمیت عمل کرد.

در این حالت طبق جداول غشای FILMTEC حداکثر مجاز دبی پرمیت۰/۳ متر مکعب بر ساعت است و با توجه به این‌که مساحت کل غشاء ۴ اینچی برابر ۷/۴ مترمربع است. بنابراین میزان حداکثر مجاز فلاکس پرمیت $l/m^2.hr$ ۴۰/۵۴ به‌دست می‌آید.

از میان آزمایش‌های موجود در جدول شمارهٔ (۲) آزمایش شمارهٔ ۲۳ نزدیک‌ترین مقدار را به حداکثر مجاز فلاکس $l/m^2.hr$ ۴۰/۵۴ دارد. بنابراین می‌توان شرایط این آزمایش را به‌عنوان شرایط بهینه تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها با استفاده از غشای FILMTEC اعلام کرد . این شرایط شامل فشار ۲۵ بار وسرعت افقی۰/۵۴ متر بر ثانیه است. همچنین عدد سرعت افقی، این آزمایش تقریباً حد متوسط است و از بین سه سرعت افقی این حالت مناسب‌تر است، به‌دلیل این‌که معمولاً سرعت افقی کمتر (۰/۲۷ متر بر ثانیه)، یا ریکاوری بالاتر احتمال گرفتگی غشاء را بیشتر می‌کند(Oh, 2009) همچنین مقدار فلاکس پرمیت آزمایش شمارهٔ ۲۲ نیز کمتر از فلاکس شمارهٔ آزمایش ۲۳ است و از طرف دیگر مقدار فلاکس شمارهٔ آزمایش ۲۴ بیشتر از حد مجاز تعیین شده برای این نوع غشاء است وبا وجودی که مقدار پس‌دهی نمک این حالت بیشتر از شمارهٔ آزمایش ۲۳ است ولی به‌عنوان حالت بهینه انتخاب نمی‌شود.

در این حالت (آزمایش شمارهٔ ۲۳ جدول شمارهٔ ۲) هدایت الکتریکی پساب خروجی به ۴۷۰ رسیده است که ۹۶/۷۴ درصد کاهش

املاح محلول را نشان می‌دهد. در رابطهٔ با جدول شمارهٔ (۳)که مقایسهٔ پساب اولیه و پساب تصفیه شده (برای حالت فشار ۲۵ بار و سرعت افقی جریان ۰/۵۴m/s انجام شده است)، نتایج بازده بالای ۹۷٪ کاهش برای اکثر کاتیون‌ها و آنیون‌ها و کیفیت خوب پرمیت و امکان استفاده مجدد آن را در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و آبیاری فضای سبز نشان می‌دهد. همچنین پساب تغلیظ شده RO می‌باید به حوضچه‌های تبخیری جهت دفع نهایی فرستاده شود.

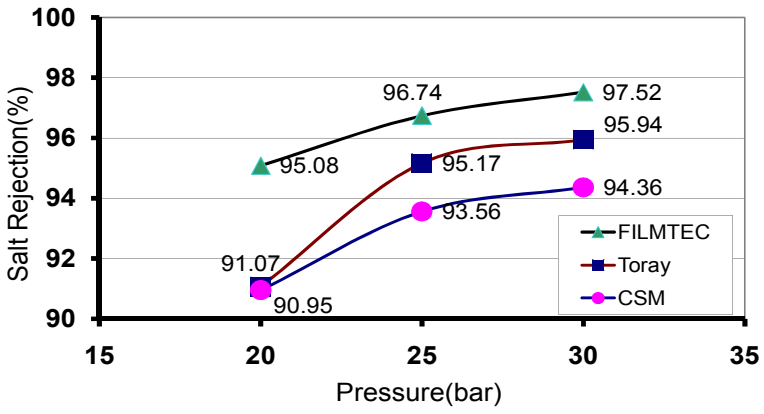
نتیجهٔ کلی این است که در حال حاضر و بدون در نظر گرفتن مقایسهٔ اقتصادی و فقط از لحاظ تصفیه‌پذیر بودن پساب احیای رزین‌ها، می‌توان گفت نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد این‌گونه پساب‌ها با بازده حذف بالای۹۷٪ نمک‌های محلول،(درسیستم پایلوت با میزان ریکاوری حدود ۱۴ درصد) امکان تصفیه‌شدن و استفاده مجدد را دارند. بدیهی است کسب ریکاوری‌های بالاتر موجب کاهش بازده حذف نمک‌های محلول می‌شود

جدول شمارهٔ (۲) : مقایسهٔ میزان فلاکس و پس دهی نمک سه نوع غشای مورد استفاده برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌های تعویض یونی

نوع غشای مورد استفاده	شمارهٔ آزمایش	فشار (بار)	سرعت افقی (m/s)	هدایت الکتریکی پرمیت ($\mu s / cm$)	فلاکس پرمیت ($l/m^2.hr$)	پس دهی نمک (٪)
Toray TM 810 برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها با هدایت الکتریکی ۱۴۴۰۰ $\mu s / cm$	۱	۲۰	۰/۲۷	۱۴۳۰	۳۰/۰۸	۹۰/۰۷
	۲		۰/۵۴	۱۲۸۶	۳۱/۹۵	۹۱/۰۷
	۳		۰/۸۱	۱۱۷۰	۳۴/۹۶	۹۱/۸۸
	۴	۲۵	۰/۲۷	۹۴۸	۳۴/۵۹	۹۳/۴۲
	۵		۰/۵۴	۶۹۵	۴۰/۶۰	۹۵/۱۷
	۶		۰/۸۱	۵۲۰	۴۳/۹۸	۹۶/۳۹
	۷	۳۰	۰/۲۷	۹۰۷	۴۱/۳۵	۹۳/۷۰
	۸		۰/۵۴	۵۸۵	۴۷/۷۴	۹۵/۹۴
	۹		۰/۸۱	۵۰۰	۴۹/۶۲	۹۶/۵۳
CSM-RE2521 SR برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها با هدایت الکتریکی ۱۴۴۴۰ $\mu s / cm$	۱۰	۲۰	۰/۲۷	۱۷۲۰	۲۸/۲۰	۸۸/۰۹
	۱۱		۰/۵۴	۱۳۰۷	۲۹/۳۲	۹۰/۹۵
	۱۲		۰/۸۱	۱۱۱۰	۳۱/۵۸	۹۲/۳۱
	۱۳	۲۵	۰/۲۷	۱۰۱۰	۳۰/۸۳	۹۳/۰۱
	۱۴		۰/۵۴	۹۳۰	۳۳/۰۸	۹۳/۵۶
	۱۵		۰/۸۱	۸۴۵	۳۶/۸۴	۹۴/۱۵
	۱۶	۳۰	۰/۲۷	۸۹۰	۳۶/۰۹	۹۳/۸۴
	۱۷		۰/۵۴	۸۱۵	۴۴/۳۶	۹۴/۳۶
	۱۸		۰/۸۱	۸۰۵	۴۵/۴۹	۹۴/۴۳
FILMTEC SW30 4040 برای تصفیهٔ پساب احیای رزین‌ها با هدایت الکتریکی ۱۴۴۲۰ $\mu s / cm$	۱۹	۲۰	۰/۲۷	۱۰۳۱	۲۹/۳۲	۹۲/۸۵
	۲۰		۰/۵۴	۷۱۰	۳۱/۲۰	۹۵/۰۸
	۲۱		۰/۸۱	۶۰۳	۳۴/۵۹	۹۵/۸۲
	۲۲	۲۵	۰/۲۷	۵۱۰	۳۴/۲۱	۹۶/۴۶
	۲۳		۰/۵۴	۴۷۰	۳۹/۱۰	۹۶/۷۴
	۲۴		۰/۸۱	۴۲۰	۴۱/۵۰	۹۷/۰۹
	۲۵	۳۰	۰/۲۷	۴۵۰	۳۹/۸۵	۹۶/۸۸
	۲۶		۰/۵۴	۳۵۸	۴۳/۶۱	۹۷/۵۲
	۲۷		۰/۸۱	۳۴۵	۴۶/۶۹	۹۷/۶۱

جدول شمارهٔ (۳): آنالیز پساب احیای رزین‌های تعویض یونی قبل و بعد از تصفیه و درصد کاهش هر جزء

مشخصه	مقدار در پساب اصلی	مقدار در پساب تصفیه شده (permeate)	برحسب		درصد حذف %
سدیم	۴۵۰	۸	Na^+	mg/l	۹۸/۲۲
پتاسیم	۳۶	۰/۷	K^+	mg/l	۹۸/۰۶
کلسیم	۴۳۹	۱/۶	Ca^{2+}	mg/l	۹۹/۶۴
منیزیم	۲۰۲/۵	۱/۲	Mg^{2+}	mg/l	۹۹/۴۰
باریوم	۰/۲۰۹	۰/۰۰۴	Ba^{2+}	mg/l	۹۸/۰۹
استرانسیوم	۵/۵۲	۰/۰۳۵	Sr^{2+}	mg/l	۹۹/۳۷
آمونیوم	۱۷۳۰	۲۸/۸	NH_4^+	mg/l	۹۸/۳۴
سختی کل	۱۹۳۰/۹	۴/۱	$CaCO_3$	mg/l	۹۹/۷۹
کلراید	۶۱۶/۴	۹/۱	Cl^-	mg/l	۹۸/۵۲
فسفات	۰/۰۲۱	Nil	PO_4^{3-}	mg/l	–
سیلیکا	۵	Nil	SiO_2	mg/l	–
فلوراید	۰/۶	۰/۱	F^-	mg/l	۸۳/۳۳
نیترات	۶۵۰۸	۱۵۱/۰۵	NO_3^-	mg/l	۹۷/۶۸
COD	۱۶/۲	Trace	O_2	mg/l	–
بیکربنات	۴۷/۴	۷/۹	HCO_3^-	mg/l	۸۳/۳۳
سولفات	۱۴۰۵	۴۲/۴	SO_4^{2-}	mg/l	۹۶/۹۸
آهن	۰/۰۴	Nil	–		–
Cu	۰/۱۷	Nil	–		–
pH	۷/۱	۸	-		-
EC	۱۴۴۲۰	۴۷۰	µs/cm		۹۶/۷۴



شکل شمارهٔ (۲) :مقایسهٔ پس دهی نمک در مقابل فشار برای سه نوع غشای مورد استفاده

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی شرکت پژوهش و فناوری شرکت ملی صنایع پتروشیمی انجام شده است و نویسندگان مراتب تشکر وقدردانی خود را به این وسیله اعلام می‌کنند.

یادداشت‌ها

1-Reverse Osmosis
2-Make Up
3-Zero Blow Down
4-Land Application
5-Membrane Distillation
6-Membrane Cell
7-Flat Sheet
8-Cross Flow Velocity
9-Bypass
10-Permeate
11-Concentrate
12-Frequency Inverter
13-Temperature Controller
14-Heater
15-Cooling System
16-Flux
17-Electrical Conductivity
18-Silt Density Index
19-Oxidation Reduction Potential

منابع مورد استفاده

Al-Bastaki,N., A.,Abbas .2004. Long-term performance of an industrial water desalination plant , Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 43 (4), 555-558.

Bacchin,P., P.,Aimar, R.W.,Field .2006. Critical and sustainable fluxes: Theory, experiments and applications, Journal of Membrane Science 281 (1-2), 42-69.

Buhrmann,F., et al. 1999.Treatment of industrial wastewater for reuse. Desalination, (124) 283-269.

Byrne, W. 2002. 2nd Ed. Reverse Osmosis a practical guide for industrial users. Tall OAKs.461 p.

Gryta,M., K.,Karakulski, A.,Morawski .2006. Separation of effluent from regeneration of a cation exchanger by membrane distillation. Desalination, (197) 50-62.

Mohsen,M.S.2004.Treatment and reuse of industrial effluent: Case study of thermal power plant. Desalination (167) 75-85.

MWH.2005. Water Treatment: Principles and Design, John Wiley; 2 editions, 1968 p.

Oh,H.J., et al.2009.Scale formation in reverse osmosis desalination: model development**,** Desalination 238 (1-3), 333-346.

SadrGhayeni,S.B., et al. 1998. Water reclamation from municipal wastewater using combined microfiltration-reverse osmosis (ME-RO): Preliminary performance data and microbiological aspects of system operation. Desalination (116) 65-80.

Sheikholeslami,R., S.,Zhou .2000.Performance of RO membrane in silica bearing waters. Desalination (132) 337-344.

Tchobanoglus,G., Metcalf & Eddy. 2003. 4th ed. Wastewater Engineering Treatment and Reuse Mc Graw Hill.1848p.

Wintgens,T. et al. 2005.The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. Desalination (178) 1-11.