اویل ایندا‌ستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

بررسی فرایند تقطیر غشایی در جهت بازیافت آب همراه نفت

محمد برمکی[1]،موسی توانا[2]

کارشناسی مهندسی شیمی،باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان،واحد بوشهر،دانشگاه آزاد اسلامي،بوشهر،ایران

mohamadbarmakia@yahoo.com

[2]کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران ؛ mousatavana@chemeng.iust.ac.ir

چکیده

کمبود آب آشامیدنی سالم مسئله جهانی مهمی است که اهمیت آن روز به روز بیشتر می‌شود. تقطیر غشایی روش جداسازی غشایی نسبتاً جدیدی است که عمدتاً برای نمک‌زدایی آب به کار گرفته می‌شود. اساس تقطیر غشایی عبور بخار از میان غشاء متخلخلی است که میان فاز خوراک و فاز تراویده قرار گرفته است. در این مقاله، به بررسی فرایند تقطیر غشایی برای تصفیه آب همراه، پیش از تخلیه به محیط زیست پرداخته شد. از آن‌جایی که آب همراه عظیم‌ترین بخش پساب‌های تولیدی در صنایع نفتی را تشکیل می‌دهد، و حتی می-توان گفت که حجم این پساب از حجم نفت تولیدی از یک چاه بیشتر است؛ لذا می‌توان گفت که مدیریت کردن این پساب کار بسیار سخت و پر اهمیتی می‌باشد. روش‌های اصلی مورد استفاده برای نمک‌زدایی از آب همراه، عبارتند از، روش سنتی تقطیر و فرایندهای غشائی. نانوفیلتراسیون، و اسمز معکوس رایج‌ترین فرایندهای نمک‌زدایی از آب همراه می‌باشند. در این مقاله پارامترهای موثر بر روش تقطیر غشایی در جهت بازیافت آب همراه مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

آب همراه، تصفیه، غشا، تقطیر غشایی

Study of membrane distillation process for Produced Water recycling

[1]M. Barmaki , M. Tavana

[1]Bachelor of Chemical Engineering, Young Researchers and Elite Club, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Abstract

Lack of safe drinking water is an important global issue whose importance is growing. Membrane distillation and membrane separation is a relatively new technique that is mainly used for water desalination. Membrane distillation by steam passing through the porous membrane between the feed phase and the phase of the exudates was. This paper studies the membrane distillation process for water treatment before discharge to the environment was discussed. Since the greatest part of the waste water produced in the petroleum industry accounts for, and even can be said that the volume of wastewater produced oil volume is a more well, so we can say that the management of this waste is very difficult and important. The main methods used for the desalination of water, namely, the traditional method of distillation and membrane processes. In this article, parameters affecting membrane distillation for recycling water has been studied.

Keywords

Produced Water, Filtration, Membrane, Membrane Distillation

[i] محمد برمکی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان،واحد بوشهر،دانشگاه آزاد اسلامي،بوشهر،ایران ، شماره تماس ۰۹۱۷۳۷۰۷۳۳۲

۱- مقدمه

می‌بایست پیش از تخلیه آب همراه به سطح خشکی‌ها، فرایندهای نفت زدایی، حذف جامدات معلق و نمک‌زدایی صورت پذیرد. و همچنین انجام فرایند نفت زدایی از آب همراه پیش از رهاسازی آن در دریاها و اقیانوس‌ها، اجتناب ناپذیر می‌باشد. با این حال می‌توان گفت اجرای فرایند نمک‌زدایی از آب همراه پیش از دفع آن به دریا، ضرورت زیادی ندارد.

اجرای فرایندهای پاکسازی آب همراه، پیش از رهاسازی آن به طبیعت، به صورت پربازده، به کمک روش‌های ارزان، و کم دردسر همواره مورد توجه مهندسان و شرکت‌های نفتی بوده است. تحقیقات فراوانی در این زمینه در طی ۱۰۰ سال اخیر که استخراج نفت از چاه‌ها آغاز گردید، صورت پذیرفت. دامنه تحقیقات، با افزایش نگرانی‌ها در مورد محیط زیست و سخت‌گیرانه‌تر شدن قوانین گسترش یافت. روش‌های جدیدی ابداع گردید و روش‌های قدیمی یا بهبود داده شد، و یا به فراموشی سپرده شد.

پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ حدود ۶۰ درصد از جمعیت کره زمین دچار کمبود آب شدید شوند. به گفته دانشمندان آب ناسالم دلیل ۹۰ درصد از بیماری‌های کشور های در حال توسعه است. تولید پاک و آب مقرون به صرفه یکی از شرایط مهم زندگی بر سطح زمین است[۳]. تقطیر غشائی را می‌توان به راحتی در فشار اتمسفر و در دماییپایین‌تر از تبخیر سنتی و با نرخ تولید قابل قبولی انجام داد. تقطیر غشائی باعث از دست رفتن مواد نمی‌شود و برای انجام آن می‌توان از گرمای ضایعاتی فرایند های دیگر نیز استفاده کرد .علاقه به افزایش غلظت محلول‌های حاوی مواد حساس به دما به وسیله تقطیر غشائی و یاروش‌های مشابه در سال‌های اخیر به سرعت افزایشیافته است البته این روش در اوایل دهه ۱۹۶۰ به عنوان یک نامزد قوی برای نمک زدایی وجود آمد. استفاده از این روش برای انواع مختلف محلول‌های آبی، از جمله آب پرتقال، آب سیب، آب نیشکریا محلول سوکروز ، محلول فروکتوز و آب انگور، محلول پروتئینی آب پنیر توسط تقطیر غشائی تماس با مستقیم ، تقطیر غشائیخلأ و یا تقطیر غشائی اسمزی نیز انجام شده است[۴].

تقطیر غشائی کاربرد های بسیار گسترده ای از جمله نمک زدایی, تغلیظمحلول‌های آبی مختلف, تصفیه آب و جداسازیایزوتوپ‌هایمختلف دارد. تقطیر غشائی مزایای فنی زیادی دارد؛ با استفاده از تقطیر غشائیمی‌توان مواد معدنی را در یک مرحله ۹۸ در صد از آب جدا کرد. با استفاده از این روش می‌توان از منابع انرژی‌ای که توجه زیادی به آن‌هانمی‌شود استفاده های بسیار زیادی کرد . این فرایند است که تحت فشار نزدیک به اتمسفر امکان ایجاد وسایلنسبتاً ساده و جمع و جور را در هر مکانی فراهم می‌کند[۵].

۲- آب همراه

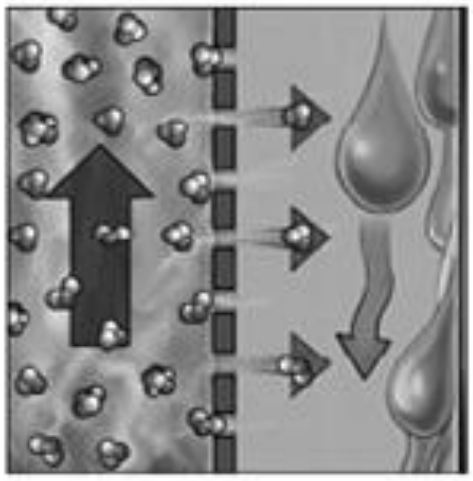
از آن‌جایی که آب همراه عظیم‌ترین بخش پساب‌های تولیدی در صنایع نفتی را تشکیل می‌دهد، و حتی می‌توان گفت که حجم این پساب از حجم نفت تولیدی از یک چاه بیشتر است؛ لذا می‌توان گفت که مدیریت کردن این پساب کار بسیار سخت و پر اهمیتی می‌باشد. با توجه به این که ناخالص‌های موجود در این پساب گستره وسیعی از مواد آلی، معدنی، و مواد رادیواکتیو، گازها و غیره را در بر می‌گیرد، لذا می‌توان گفت که این پساب را به صورت مستقیم نمی‌توان مورد بهره برداری قرار داد، و یا این که آن را بدون تصفیه کردن، در محیط زیست رها نمود. دولت‌های کشورهای نفت‌خیز برای جلوگیری از تخریب محیط زیست کشورشان، به وسیله ناخالصی‌های موجود

در آب همراه دفع شده، مقررات و استانداردهایی را وضع کرده‌اند که شرکت‌های نفتی ناچارند بر اساس آن‌ها عمل نمایند. این استانداردها، کیفیت حداقلی را برای پسابی که به محیط زیست تخلیه می‌شود، در نظر می‌گیرد، و شرکت‌های نفتی ملزم هستند آب همراه را حداقل تا کیفیت تعیین شده توسط دولت‌ها، پاکسازی کنند و سپس آن را در طبیعت رها سازند [۶].

۳- تقطیر غشایی

تقطیر غشائی یک روش جدید جداسازی است که به میزان کمی انرژی گرمایی به عنوان نیروی محرکه انتقال جرم، نیاز دارد. غشاء مورد استفاده در این فرایند میکرومتخلخل و آب‌گریز بوده و غالبا از جنس پلی تترا فلوئورواتیلن، پلی پروپیلن و پلی وینیلیدن دی‌فلوئوراید می‌باشد. مدول‌های رایج مورد استفاده در چنین فرایندی معمولا هالوفایبر و صفحه‌ای می‌باشد. نیروی محرکه انتقال جرم در این فرایند عبارتست از تفاوت فشار بخار بین دو سمت غشاء، که ناشی از انرژی حرارتی اعمال شده به خوراک می‌باشد. این فرایند تنها فرایند غشائی می‌باشد که بازدهی آن هیچ وابستگی به غلظت ناخالصی ورودی ندارد [۷].

تقطیر غشائی به ۴ صورت ممکن است انجام پذیرد. روش تماس مستقیم، روش فضای خالی، روش گاز شوینده و روش خلا. از میان انواع مختلف، روش‌های فضای خالی و تماس مستقیم بیشتر برای تصفیه آب همراه مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. در روش تماس مستقیم خوراک پیش-گرم شده به یک سمت از غشاء وارد می‌شود. این در حالیست که یک محلول آبی خنک در جهت ناهمسو در سمت دیگر غشاء جریان دارد. مولکول‌های آب تبخیر شده و از طریق حفرات به سمت دیگر غشاء حرکت می‌کنند. مولکول‌های نامبرده در اثر تماس پیدا کردن با جریان آب خنک جاری، دچار میعان شده و وارد جریان خنک می-شوند. در روش فضای خالی، هم اصول به همین منوال است. تنها تفاوت روش فضای خالی با تماس مستقیم در این است که به جای جریان خنک در سمت محصول یک فضای خالی (مملو از هوا) قرار دارد که به یک صفحه خنک ختم می‌گردد. زمانی که مولکول‌های بخار آب به سمت محصول حرکت می‌کنند بر اثر برخورد با سطح خنک کندانس شده و تبدیل به مایع می‌شوند و بر روی سطح سرد تشکیل فیلم مایع می‌کنند و جاری می‌گردند. شکل (۱) نمایی از این فرایند را نمایش می‌دهد.



شکل(۱): نمایی از فرایند تقطیر غشائی [۷].

هیچ سندی مبنی بر استفاده صنعتی از این روش برای پاکسازی آب همراه وجود ندارد. تقطیر غشائی یک روش مناسب برای نمک‌زداییست که حتی خوراک‌های با غلظت‌های بالاتر از ۳۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر را نیز می-تواند تصفیه کند. در این فرایند میزان پسزنی مواد غیر فراری مثل سدیم و بور و فلزات سنگین ۱۰۰ درصد است. بااین حال مواد فرارتر از آب مثل تولوئن و زایلن، نفوذی سریعتر از آب در داخل غشاء دارند و از این روش نمی‌توان آن‌ها را جداسازی نمود [۷].

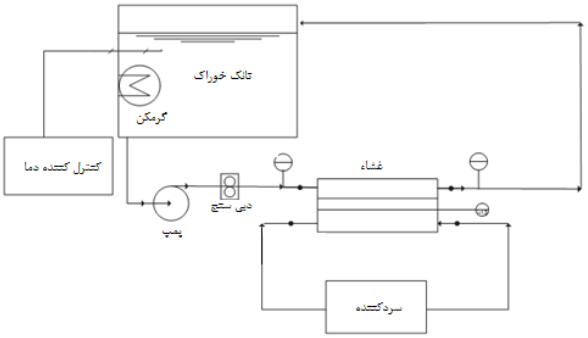
این فرایند نیازمند پیش‌تصفیه است چرا خوراک آن می-بایست عاری از هرگونه ذرات معلق و مواد فعال سطحی و غیره باشد. اگر مواد فعال سطحی در خوراک وجود داشته باشند منجر به خیس شدن غشاء و در نتیجه کاهش پسزنی غشاء خواهند شد. [۷].

در این فرایند رسوبات آسان‌تر از غشاء پاکسازی می‌گردند چراکه نمی‌توانند به شکل فیزیکی و فشرده به سطح غشاء بچسبند. خوراک می‌بایست تا دمایی بالاتر از دمای سمت محصول پیشگرم شود، با این حال لازم نیست تفاوت دمایی زیادی بین دو سمت ایجاد شود. گرادیان دمایی حتی می‌تواند ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد.[5]

از مزایای این روش نسبت به اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون آن است که غشاءهای خنثی‌تری در تقطیر غشائی استفاده می‌شود و لذا، تجهیزات این فرایند کمتر دچار اکسیداسیون شیمیایی می‌گردند، پس از مواد شوینده قوی‌تری می‌توان برای شستشو استفاده کرد. با این حال معایبی هم در قیاس با اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون در این روش وجود دارد و من‌جمله آن‌ها فضای اشغالی بالاتر آن می‌باشد.[5]

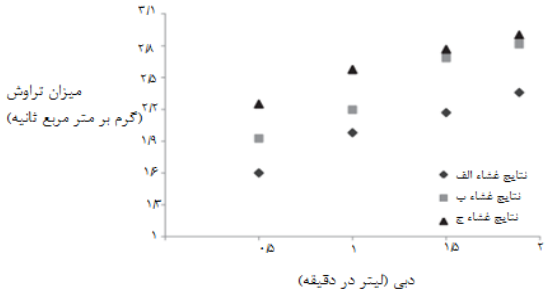
۴- پژوهش‌های پیشین

الخودیری و همکارانش از یک فرایند تقطیر غشائیِ فضای خالی برای تصفیه آب همراه استفاده کردند. آن‌ها فلاکس آب منتقل شونده، و مصرف انرژی فرایند را، برای سه غشاء؛ (الف، ب و ج)؛ مورد آزمایش قرار دادند. اندازه حفرات غشاءهای مورد استفاده به ترتیب ۰/۲، ۰/۴۵ و ۱ میکرومتر بود. الخودیری در آزمایش‌هایی که انجام داد، اثرات سرعت خوراک و دمای آن، و همچنین اثر دمای سیال خنک کننده بر میزان جداسازی آب را نیز محاسبه نمود. و به این نتیجه رسید که با افزایش شدت جریان و دمای خوراک؛ و با کاهش دمای سیال خنک‌کن،سرعت جداسازی آب از خوراک افزایش می‌یابد. علاوه براین نتایج آزمایشات وی نشان دادند که میزان انرژی مصرفی هیچ تابعیتی از اندازه حفرات موجود در غشاء ندارد[8]. شکل (۲) نمایی از واحد آزمایشی تقطیر غشائی را نشان می-دهد.



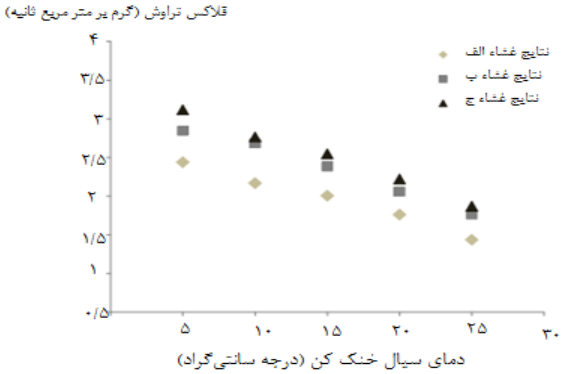
شکل(۲): واحد آزمایش فرایند تقطیر غشائی[8]

نمودار رسم شده در شکل (۳) اثر سرعت خوراک بر میزان آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای خوراک و صفحه خنک کننده به ترتیب ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد بوده است،را نشان می‌دهد.



شکل(۳): اثر سرعت خوراک بر میزان آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای خوراک و صفحه خنک کننده به ترتیب ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد بوده است[8].

نمودار ترسیم شده در شکل (۳) اثر دمای خنک کننده بر میزان آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای خوراک ۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت آن ۱/۵ لیتر بر دقیقه است، را نشان می‌دهد.

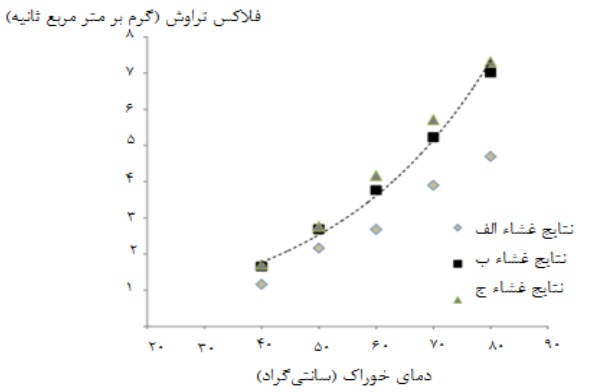


شکل(۳): اثر دمای خنک کننده بر میزان آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای خوراک ۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت آن ۱/۵ لیتر بر دقیقه است[9].

شکل (۴) اثر اندازه حفرات بر فلاکس آب تراوش شده، در دمای خوراک و صفحه خنک‌کن ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی خوراک ۰/۵ لیتر در دقیقه، را نمایش می‌دهد.

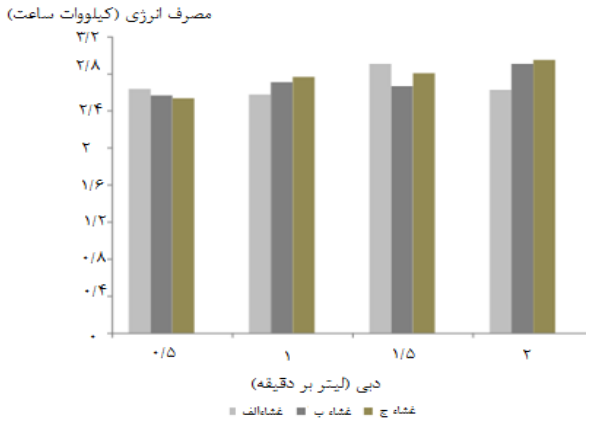
شکل(۴): اثر اندازه حفرات بر فلاکس آب تراوش شده، در دمای خوراک و صفحه خنک‌کن ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی خوراک ۰/۵ لیتر در دقیقه[9].

شکل (۵) اثر دمای خوراک، فلاکس آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای خنک‌کن ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی جریان خوراک ۱/۵ لیتر در دقیقه می‌باشد، را نمایش می‌دهد.



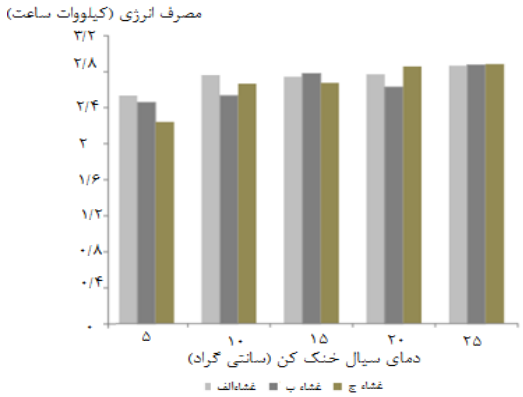
شکل(۵):اثر دمای خوراک، فلاکس آب جداسازی شده، در شرایطی که دمای صفحه خنک‌کن ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی جریان خوراک ۱/۵ لیتر در دقیقه می‌باشد[9].

شکل (۶) اثر دبی خوراک بر انرژی لازم برای اجرای فرایند، در شرایطی که دمای خوراک و صفحه خنک‌کن به ترتیب ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد است، را نشان می‌دهد.



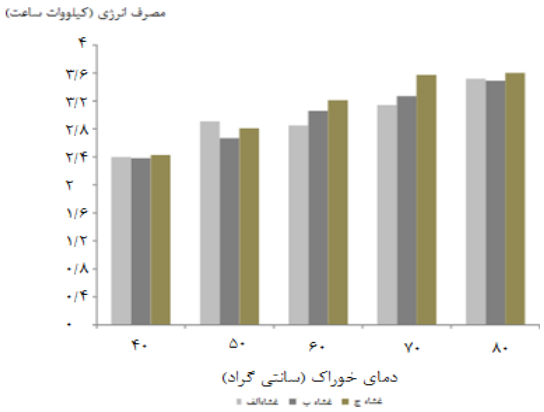
شکل(۷): اثر دبی خوراک بر انرژی لازم برای اجرای فرایند، در شرایطی که دمای خوراک و صفحه خنک‌کن به ترتیب ۵۰ و ۱۰ درجه سانتی گراد است[9].

شکل (۷) اثر دمای سیال خنک‌کننده، بر انرژی لازم برای اجرای فرایند، در شرایطی که دمای خوراک ۵۰ درجه سانتی گراد و دبی آن ۱/۵ لیتر بر دقیقه می‌باشد، را نشان می‌دهد.



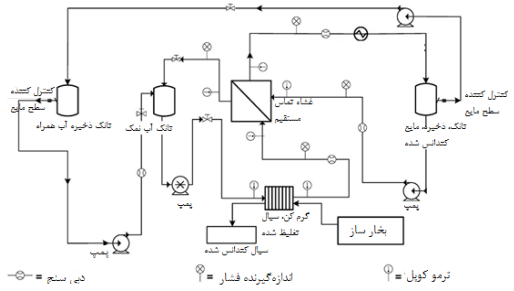
شکل(۸): اثر دمای سیال خنک‌کننده، بر انرژی لازم برای اجرای فرایند، در شرایطی که دمای خوراک ۵۰ درجه سانتی گراد و دبی آن ۱/۵ لیتر بر دقیقه می‌باشد[9].

شکل (۹) اثر دمای خوراک ورودی بر میزان انرژی لازم برای اجرای فرایند، درشرایطی که دمای صفحه خنک-کننده ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی خوراک ۱/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد، را نشان می‌دهد.



شکل(۹): اثر دمای خوراک ورودی بر میزان انرژی لازم برای اجرای فرایند، درشرایطی که دمای صفحه خنک‌کننده ۱۰ درجه سانتی گراد و دبی خوراک ۱/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد[9].

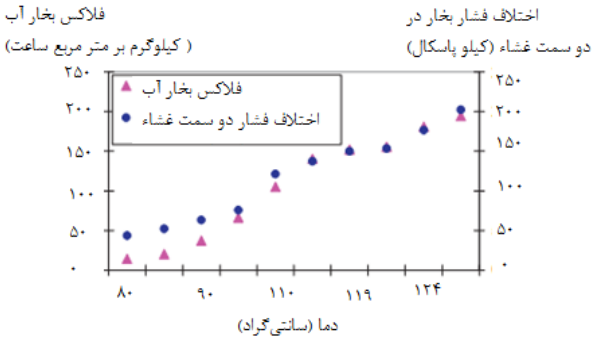
سینگ و همکارانش به تصفیه آب نمک (محلول آبی سدیم کلرید ۱ درصد) و آب همراهی از روش تقطیر غشائی تماس مستقیم پرداختند. آن‌ها آزمایشات خود را در شرایطی که فشار خوراک بین ۲ تا ۳ اتمسفر بود، اجراء کردند. شکل (۱۰) فرایند مورد مطالعه سینگ و همکارانش را نشان می‌دهد.



شکل(۱۰): فرایند تقطیر غشائی فضای خالی مورد آزمایش[10]

در آزمایشات مربوط به آب نمک، اثر دمای خوراک ورودی بر دبی آب جداسازی شونده، و میزان اختلاف فشار ایجاد شده بین دو سمت غشاء مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به آزمایش اثر دبی خوراک بر دبی آب جداسازی شونده پرداخته شد.

شکل (۱۱) اثر خوراک ورودی بر دبی آب جداسازی شونده، و میزان اختلاف فشار ایجاد شده بین دو سمت غشاء را بررسی می‌کند.



شکل(۱۱): اثر خوراک ورودی بر دبی آب جداسازی شونده، و میزان اختلاف فشار ایجاد شده بین دو سمت غشاء[10]

بر اساس شکل (۱۱) می‌توان گفت که با افزایش دمای خوراک، فشار بخار آب افزایش یافته و اختلاف فشار دو سمت غشاء بیشتر خواهد شد. با افزایش اختلاف فشار در دو سمت غشاء نیروی محرکه انتقال آب بیشتر شده و لذا

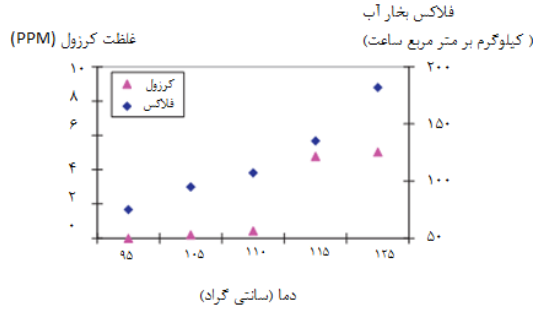
فلاکس آب افزایش می‌یابد. همانطور که شکل (۱۱) نشان می‌دهد، در دمای ۱۲۸ درجه سانتی گراد دبی آب منتقل شونده، ۱۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد شد، این مقدار حدودا ۱۰ برابر مقدار آب منتقله توسط فرایند اسمز معکوس، در همین دما می‌باشد[10]. شکل (۱۲) نتایج آزمایش اثر دبی خوراک بر دبی آب جداسازی شونده، را نشان می‌دهد.

شکل(۱۲): اثر دبی خوراک بر دبی آب جداسازی شونده[35]

بر اساس شکل (۱۲) می‌توان گفت که با افزایش دبی خوراک ورودی میزان دبی آب منتقل شده هم افزایش می‌یابد.

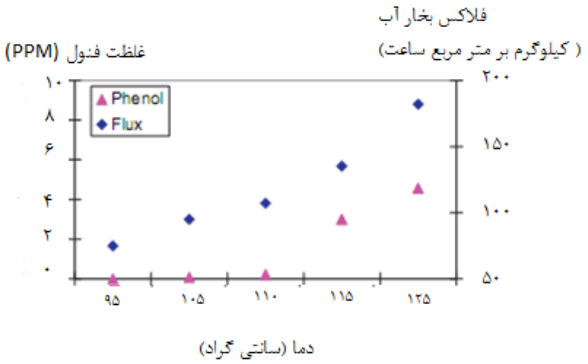
با توجه به این که دمای جوش فنول و کرزول، به ترتیب ۱۸۲ و ۱۹۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، سینگ انتظار داشت که این مواد به دلیل فراریتشان در سمت محصول این فرایند هم ظاهر شوند. با افزایش مقدار آب، در قسمت محصول، مقدار فنول و کرزول موجود در آن قسمت افزایش می‌یافت. پس از گذشت ۳۰ دقیقه از قسمت محصول نمونه برداری انجام شد. بر روی نمونه‌های برداشته شده آزمایش‌های کروماتوگرافی صورت گرفت و غلظت‌های فنول و کرزول موجود در آن‌ها بررسی گردید. در گزارش‌های ارائه شده در مورد این آزمایشات اعلام شده است که، حتی در مرحله‌ای از آزمایش که در دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد انجام گرفته، غلظت فنول و کرزول پایین‌تر از ۵ppm بوده است.این در حالی بوده که هیچ مقدار نمک از غشاء مورد استفاده در این آزمایش عبور نکرده است[10].

شکل (۱۳) اثر دما بر غلظت کرزول در محصول را نمایش می‌دهد.



شکل(۱۳): اثر دما بر غلظت کرزول در محصول[10]

شکل (۱۴) اثر دما بر غلظت فنول در محصول را نمایش می‌دهد.



شکل(۱۴): اثر دما بر غلظت فنول در محصول[10]

نتایج آزمایش‌های سینگ نشان می‌دهدکه فرایند تقطیر غشائی در زمینه حذف نمک‌های محلول در آب همراه، بسیار موفق‌تر از حذف مواد آلی فرار عمل می‌کند.

۵- نتیجه گیری

فرایندهای غشائی رفته رفته جای خود را در زمینه پاکسازی آب همراه یافته‌اند. این سیستم‌ها که در فضایی محدود قادرند آب همراه ورودی را با بازدهی بالا پاکسازی نمایند اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. تحقیقات

بیشماری در مورد فرایندهای غشائی صورت گرفته است. و بر اثر همین تحقیقات، روش‌های جدیدی ابداع گردیده‌اند که به وسیله آن‌ها می‌توان، نقاط ضعف فرایندهای غشائی را برطرف نمود.

۶- مراجع

[1] C.M. Guijt, I.G. Racz, T. Reith, A.B.d. Haan, Determination of membrane properties for use in the modelling of a membrane distillation module, Desalination, 132 (2000) 255-261.

[2] A. Alkhudhiri, N. Darwish, N. Hilal, Membrane distillation: A comprehensive review, Desalination, 287 (2012) 2-18.

[3] E. Close, E. Sørensen, Modelling of Direct Contact Membrane Distillation for Desalination, in: S. Pierucci, G.B. Ferraris (Eds.) 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Elsevier, 2010 , pp. 649-654.

[4] Z. Ding, L. Liu, Z. Liu, R. Ma, The use of intermittent gas bubbling to control membrane fouling in concentrating TCM extract by membrane distillation, Journal of Membrane Science, 372 (2011) 172-181.

[5] V.V. Ugrozov, L.I. Kataeva, Mathematical modeling of membrane distiller with liquid gap, Desalination, 168 (2004) 347-353.

[6] J. Daniel. et al, "Technical Summery Of Oil & Gas Produced Water Treatment Technologies", All Consulting, LLC, March, 2005.

[7]J.E. Drewes. An Integrated Framework for Treatment and Management of Produced Water. Technical Assessment Of Produced Water Treatment Technologies, first Edition, RPSEA Project 07122-12, November,2009.

[8] S.mondal. et al, "Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes", Journal of Membrane Science 322, 2008, 162–170.

[9] A. Alkhudhiri. et al, "Produced water treatment: Application of Air Gap Membrane Distillation", Desalination 309, 2013, 46–51.

[10] D.Singh. et al, "- Desalination of brine and produced water by direct contact membrane distillation at high temperatures and pressures" , Journal of Membrane Science 389, 2012, 380–388