

## مطالعه تجربی حذف یک بار گذر آمونیاک از پساب، توسط تماس دهنده غشایی

مهدی ملک محمدی، مهدی پورافشاری چنار\*

گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۹ آبان ۱۳۹۵

دریافت پس از اصلاح: ۲۷ فروردین ۱۳۹۶

پذیرش نهایی: ۱۶ شهریور ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

تماس دهنده غشایی الیاف تو خالی

پساب

آمونیاک

فرآیند یک بار گذر

### چکیده

آمونیاک یکی از آلاینده‌های رایج در پساب‌های شهری و صنعتی بوده و به دلیل مشکلات متنوعی که ایجاد می‌کند، حذف آن از پساب‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه یک سیستم تماس دهنده غشایی در حالت یک بار گذر، در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد که در آن با استفاده از غشای الیاف تو خالی از جنس پلی پروپیلن، اثر پارامترهای عملیاتی مختلف از قبیل محل عبور خوراک (داخل الیاف یا سمت پوسته)، دبی و دمای خوراک بر کارایی فرایند برای پساب سنتزی بررسی شد. در بخش دوم این مطالعه، با توجه به این که پتروشیمی‌ها یکی از منابع اصلی تولید پساب آمونیاکی با غلظت بالا به‌شمار می‌آیند، کارایی این فرایند برای حذف آمونیاک از پساب واقعی پتروشیمی خراسان نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که شدت جریان پایین خوراک، دمای بالای خوراک و عبور خوراک آمونیاکی از داخل الیاف، باعث افزایش درصد حذف آمونیاک می‌گردد. همچنین روند تغییرات درصد حذف آمونیاک با سرعت و دمای پساب واقعی، تقریباً مشابه حالت نتایج پساب سنتزی به دست آمد. با مقایسه درصد حذف آمونیاک برای پساب‌های سنتزی و واقعی، درصد حذف آمونیاک پساب پتروشیمی در دماهای ۲۰ و ۴۰ درجه سلسیوس، به ترتیب در حدود ۲۵ و ۱۹٪ کمتر از درصد حذف آمونیاک پساب سنتزی به دست آمد.

## ۱- مقدمه

آمونیاک و در نتیجه بر میزان درصد حذف آمونیاک مؤثر باشد [۲، ۴، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹].

نکته قابل توجه در مورد تقریباً همه مطالعات تجربی انجام شده تاکنون، بررسی حالت ناپایا (بازگشت جریان‌های خروجی از مدول به مخزن‌های اولیه مربوط به خود) می‌باشد. با توجه به این که در کاربرد صنعتی، این فرایند به صورت پیوسته (یک‌بارگذر) مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین مطالعه تجربی این فرایند در حالت یک‌بارگذر ضروری به نظر می‌رسد. دربخش اول مطالعه حاضر، یک سیستم تماس‌دهنده غشایی در حالت یک‌بار گذر، در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده که در آن با استفاده از غشای الیاف توخالی از جنس پلی‌پروپیلن، اثر پارامترهای عملیاتی مختلف از قبیل محل عبور خوراک (داخل الیاف یا سمت پوسته)، دبی و دمای خوراک بر کارایی فرایند در حالت یک‌بارگذر برای پساب سنتزی بررسی می‌گردد. در بخش دوم، با توجه به این که پتروشیمی‌ها یکی از منابع اصلی تولید پساب آمونیاکی با غلظت بالا به‌شمار می‌آیند، کارایی این فرایند برای حذف آمونیاک از پساب واقعی شرکت پتروشیمی خراسان، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

تمامی مواد شیمیایی (کلرید آمونیوم، هیدروکسید سدیم و اسید سولفوریک) با خلوص آزمایشگاهی از شرکت آرمان سینا و مجلی تهیه شده و بدون خالص‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. پساب سنتزی از محلول آبی آمونیاک با انحلال مقدار مشخص از کلرید آمونیوم در آب یون‌زدایی شده برای تهیه خوراکی با غلظت ۱۰۰۰ ppm تهیه گردید. pH محلول خوراک توسط سود به بالاتر از ۱۰/۵ افزایش یافت. محلول دریافت‌کننده متشکل از محلول اسید سولفوریک ۰/۱۵M استفاده شد. جهت اندازه‌گیری pH محلول خوراک و فاز دریافت‌کننده از pH متر با الکترود شیشه‌ای (مدل pH211 از شرکت Hanna) استفاده شد و همچنین غلظت آمونیاک موجود در محلول‌ها توسط الکترود انتخاب‌گر آمونیاک (مدل NH501 از شرکت Sanxin) اندازه‌گیری می‌گردید. مدول غشایی تماس‌دهنده الیاف توخالی<sup>۱</sup> از جنس PP با سطح فعال

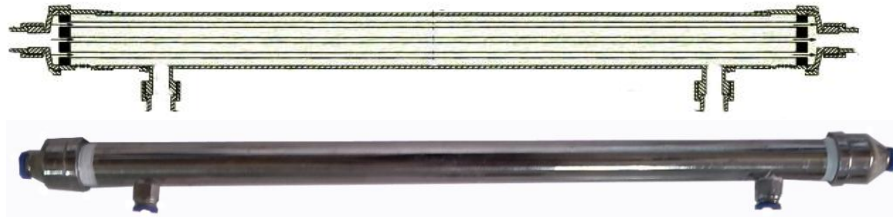
اثرات مخرب تخلیه پساب‌های آمونیاکی برای محیط‌زیست و قوانین سخت‌گیرانه سازمان‌های حمایت از محیط‌زیست، سبب شده که حذف آمونیاک از پساب و رساندن آن به حد استاندارد، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر برسد. فاضلاب‌های شهری، پساب‌های صنعتی، پساب کشاورزی و فرایندهای طبیعی، از مهم‌ترین منابع نشر آمونیاک به محیط‌زیست هستند و در این بین پتروشیمی‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی تولید پساب آمونیاکی با غلظت بالا به‌شمار می‌آیند. ازجمله روش‌هایی که امروزه برای حذف آمونیاک از پساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به فرایندهای بیولوژیکی (نیتریفیکاسیون-دنتریفیکاسیون)، عاری‌سازی، کلرزی تا نقطه شکست، تبادل یونی و فرایند غشایی اشاره نمود [۱]. فرایند تماس‌دهنده غشایی که با مکانیزم حذف جزء فرار و عاری‌سازی با استفاده از غشاهای میکرومتخلخل آب‌گریز عمل می‌کند را می‌توان به عنوان گزینه‌ای جهت حذف آمونیاک از پساب در نظر گرفت [۲]. مزایایی ازجمله نسبت سطح تماس به حجم بالا (کاهش اندازه و حجم فرایند)، عدم اختلاط دو فاز، عدم نیاز به جداسازی فازها در انتهای فرایند، عدم وجود پدیده‌هایی همچون طغیان و کف زایی در فرایند، انعطاف‌پذیری بالای فرایند در هنگام تغییر دبی ورودی، افزایش مقیاس و کنترل راحت و طراحی مدولی، تماس‌دهنده غشایی را به عنوان گزینه مناسبی در حذف آمونیاک از پساب قرار داده است.

در فرایند حذف آمونیاک از پساب توسط تماس‌دهنده غشایی، پارامترهای مختلفی بر کارایی این فرایند تأثیر می‌گذارند که در این راستا، مطالعات تجربی و تئوری بسیاری انجام شده است. بر اساس نتایج این مطالعات، pH محلول خوراک تأثیر بسزایی بر کارایی فرایند دارد [۲-۱۱]. محققان بسیاری، در زمینه‌ی اثر غلظت آمونیاک خوراک بر کارایی فرایند به آزمایش و مطالعه پرداخته‌اند. بر اساس نتایج مطالعات انجام‌شده در این زمینه می‌توان بیان کرد که در غلظت‌های آمونیاک پایین‌تر از  $1000 \text{ mgL}^{-1}$  تغییر چندانی بر کارایی حذف آمونیاک به چشم نمی‌خورد [۲-۵، ۹، ۱۱-۱۴]. همچنین مشاهده شده است که شدت جریان فاز خوراک و فاز دریافت‌کننده تأثیر مستقیمی بر روی درصد حذف آمونیاک می‌گذارند [۲-۵، ۹، ۱۰، ۱۴-۱۷]. افزایش دمای خوراک نیز می‌تواند بر روی درصد آمونیاک آزاد در دسترس و ضریب نفوذ

<sup>1</sup> Hollow fiber membrane contactor module

## مطالعه تجربی حذف یک بار گذر آمونیاک از پساب، توسط تماس دهنده غشایی

از شرکت پارسیان پیشرو صنعت اصفهان تهیه گردید. نشان داده شده است. ضمناً سایر مشخصات مدول به کار  
طرح و تصویری از مدول غشایی مورد استفاده در شکل ۱ گرفته شده در جدول ۱ ارائه شده‌اند.



شکل (۱) طرح و تصویری از مدول غشایی مورد استفاده

جدول (۱) خلاصه نوع و اندازه قلم‌های مورد نیاز برای تدوین مقالات فارسی

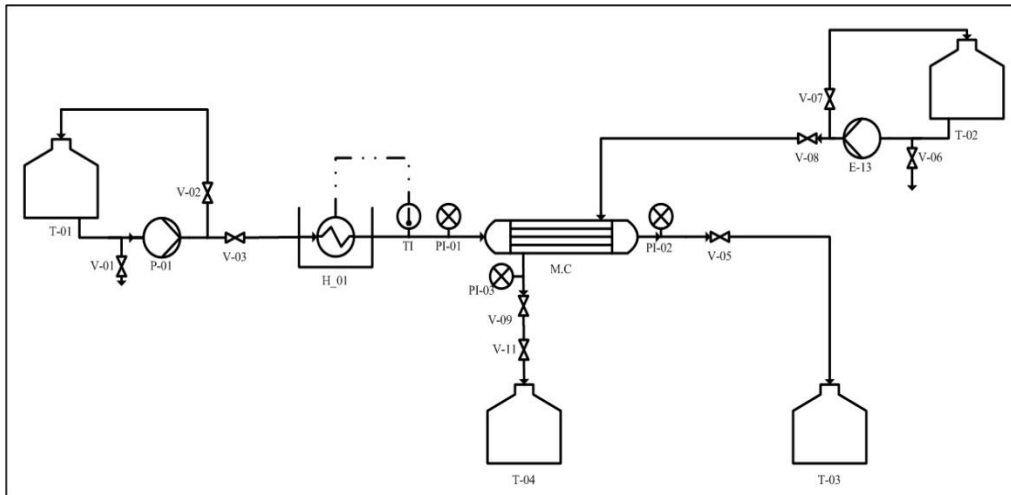
پارامتر	مقدار
جنس پوسته مدول	استیل زنگ نزن
قطر پوسته مدول (cm)	۱/۵۴
جنس غشا	پلی پروپیلن (PP)
شعاع داخلی الیاف (μm)	۱۴۳
شعاع خارجی الیاف (μm)	۱۹۵
اندازه حفرات (nm)	۱۲۰
تخلخل الیاف	۰/۵
ضریب پیچ و خم	۲/۷۵
طول الیاف (cm)	۳۸/۵
تعداد الیاف	۴۰۰
سطح فعال غشا* (m <sup>2</sup> )	۰/۱۹

\*. سطح غشا به ازای شعاع خارجی محاسبه گردیده است.

### ۲-۲- سامانه آزمایشگاهی

برای مطالعه آزمایشگاهی حذف آمونیاک از پساب توسط تماس دهنده غشایی در حالت پیوسته، یک سامانه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. طرح کلی سامانه آزمایشگاهی تماس دهنده غشایی مورد استفاده، در شکل ۲ نشان داده شده است. در سامانه طراحی شده، پساب آمونیاکی (سنتزی یا واقعی) از مخزن T-01 توسط پمپ P-01 در سامانه به گردش در می‌آید. خوراک با گذشتن از گرمکن H-01 و با استفاده از کنترلر دمای TC، در محدوده دمای مشخصی نگه داشته می‌شود. سپس خوراک وارد مدول غشایی (داخل الیاف یا

سمت پوسته) شده و بعد از انجام عملیات انتقال جرم و حذف آمونیاک، از سمت دیگر مدول غشایی وارد مخزن T-03 می‌شود. در سمت دیگر، محلول دریافت کننده موجود در مخزن T-02 که حاوی اسید سولفوریک رقیق است وارد پمپ P-02 شده و بعد از تنظیم فشار و شدت جریان توسط شیرهای مربوطه وارد مدول غشایی (سمت پوسته یا داخل الیاف) شده تا وظیفه خود به‌عنوان واکنشگر با آمونیاک انتقالی از غشا و بالا نگه داشتن نیروی محرکه در طول فرایند را انجام دهد.



شکل (۲) طرح کلی سامانه آزمایشگاهی تماس‌دهنده غشایی

### ۳-۲- اجرای آزمایش

با مروری بر مطالعات تجربی انجام‌شده در این زمینه، می‌توان مقدار بهینه برخی از این پارامترها را تعیین نمود. در مطالعه حاضر دو نوع پارامتر عملیاتی وجود دارند: پارامترهایی (نظیر pH خوراک، غلظت خوراک، غلظت اسید در فاز دریافت‌کننده) که در کل آزمایش‌ها تغییر خاصی داده

نمی‌شوند و پارامترهایی (نظیر دمای خوراک ورودی، محل عبور خوراک و شدت جریان خوراک) که جهت بررسی اثر آنها بر فرایند، تغییر داده می‌شوند. جدول ۲ پارامترهای ثابت و متغیر موجود در آزمایش‌ها و محدوده مقادیر آنها را نشان می‌دهد.

جدول (۲) پارامترهای ثابت و متغیرهای مورد بررسی

پارامترهای ثابت	
pH > ۱۰/۵	pH خوراک
۱۰۰۰	غلظت خوراک (ppm)
۰/۱۵	مولاریته اسید در فاز دریافت‌کننده
سمت خوراک: ۸	فشار عملیاتی (psig)
سمت فاز دریافت‌کننده: ۵	
پارامترهای متغیر	
۲۰-۴۰	دمای خوراک (°C)
داخل الیاف یا سمت پوسته	محل عبور خوراک
۰/۰۱-۰/۱	سرعت خوراک (m/s)

### ۳- نتیجه‌ها و بحث

تمامی داده‌های غلظت خروجی پساب از سامانه غشایی که در این بخش گزارش شده‌اند، بر اساس غلظت‌های پایایی فرایند می‌باشند. به این صورت که برای بررسی اثر هر پارامتر (بعد از ثابت شدن پارامتر مورد نظر)، غلظت پساب خروجی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شده و مقدار نهایی و پایایی غلظت به عنوان غلظت خروجی فرایند گزارش گردید.

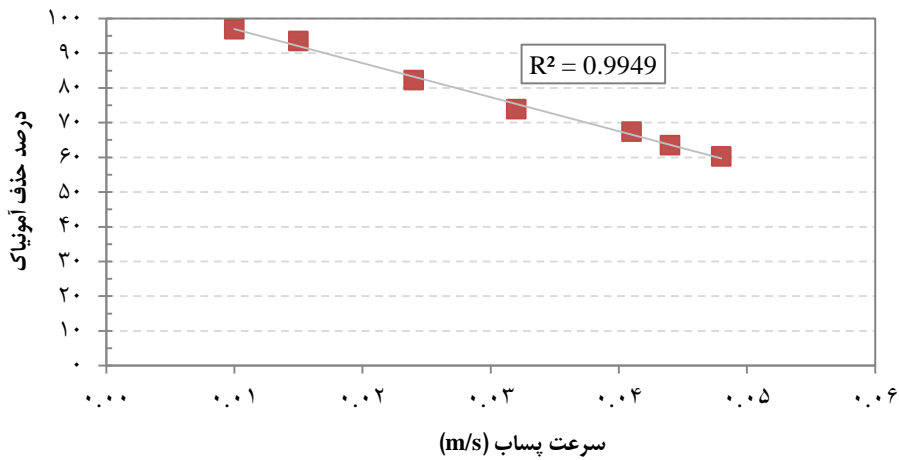
#### ۳-۱- تأثیر شدت جریان پساب بر کارایی فرایند

جهت بررسی اثر شدت جریان پساب بر روی کارایی فرایند، با انجام سه آزمایش در هر سرعت پساب، در دمای  $20 \pm 1$  °C و با عبور پساب از داخل الیاف، شکل ۳ تهیه گردید. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، با افزایش سرعت پساب عبوری از داخل الیاف، درصد حذف کاهش می‌یابد. کاهش درصد حذف به خاطر کاهش زمان ماند پساب

### مطالعه تجربی حذف یک بار گذر آمونیاک از پساب، توسط تماس دهنده غشایی

همچنین در این شکل، تغییرات درصد حذف آمونیاک با سرعت از پساب (در محدوده سرعت بررسی شده) به صورت خطی می‌باشد.

در مدول غشایی و در نتیجه کاهش درصد آمونیاک حذف شده از پساب است.

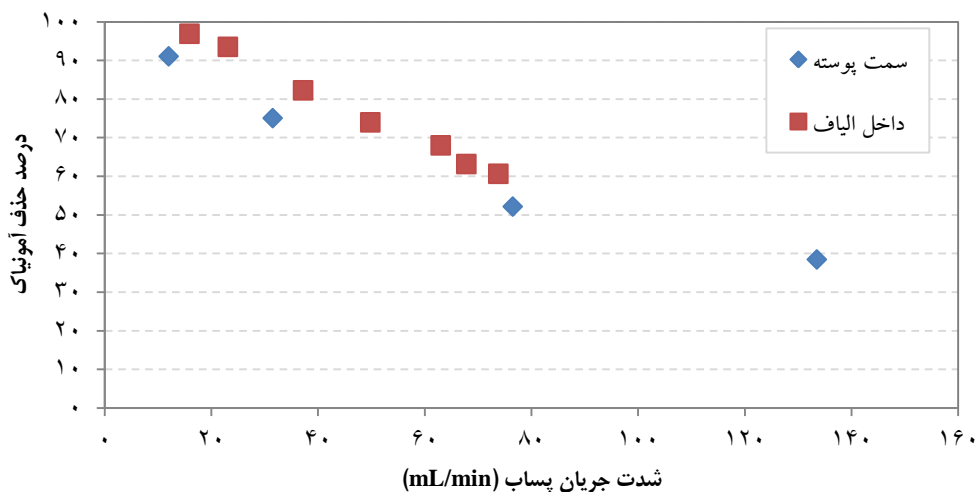


شکل (۳) تأثیر سرعت پساب بر درصد حذف آمونیاک

می‌دهد. نتایج به دست آمده از این شکل نشان می‌دهد که درصد حذف آمونیاک در حالت عبور پساب از داخل الیاف، بیشتر از عبور آن از سمت پوسته است؛ که می‌تواند به دلیل نوع توزیع جریان در سمت پوسته و همین‌طور توزیع الیاف در داخل مدول غشایی باشد. با توجه طرح رسم شده از مدول غشایی مورد استفاده (شکل ۱)، می‌توان گفت این نوع طراحی فضای ساکن زیادی در ابتدا و انتهای مدول غشایی ایجاد می‌کند که باعث کاهش انتقال جرم در این نواحی می‌گردد. بنابراین نتایج حاصله در این زمینه نشان می‌دهد در مدول غشایی با طراحی حاضر، عبور پساب از داخل الیاف کارایی بهتری نسبت به عبور آن در سمت پوسته دارد.

### ۲-۳- تأثیر محل عبور پساب بر کارایی فرایند

پساب عبوری از فرایند غشایی را می‌توان از داخل الیاف غشایی و یا از سمت پوسته مدول غشایی عبور داد. در نگاه اول، سمت پوسته، به دلیل در دسترس بودن سطح خارجی الیاف غشایی (افزایش سطح تماس کلی) گزینه اول انتخاب محل عبور پساب به نظر می‌رسد؛ با این حال همواره این طور نیست و محل عبور خوراک به نوع پیکربندی مدول غشایی وابستگی شدیدی دارد. بسته به نوع طراحی مدول غشایی می‌توان توزیع جریان مناسب در تمام سمت پوسته داشت و یا به توزیع نامناسب و ایجاد فضای ساکن در مدول غشایی دست یافت [۲۰]. شکل ۴ نتایج آزمایشگاهی عبور پساب از داخل الیاف و سمت پوسته را در شدت جریان‌های مختلف نشان

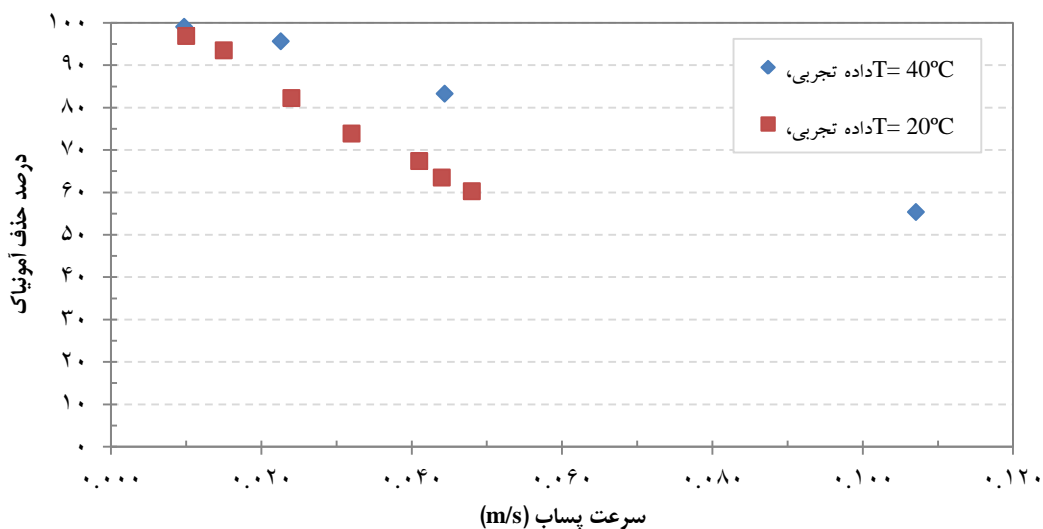


شکل (۴) اثر محل عبور پساب بر درصد حذف آمونیاک (دمای عملیاتی ۲۰°C)

### ۳-۳- تأثیر دمای پساب بر کارایی فرایند

دمای پساب یکی از پارامترهای عملیاتی مهم و تاثیرگذار بر کارایی فرایند حذف آمونیاک است. به همین خاطر، با افزایش و کنترل دمای پساب در  $40^{\circ}\text{C}$ ، میزان درصد حذف آن تعیین و با حالت پساب ورودی در دمای محیط ( $20^{\circ}\text{C}$ ) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصله در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است افزایش دمای پساب ورودی به مدول، باعث افزایش قابل توجه درصد حذف شده است. دلیل این اتفاق، تأثیر قابل توجه دما بر روی ضریب نفوذ، ضریب تعادل (ضریب هنری) و درصد آمونیاک یونیزه نشده ( $\text{NH}_3$ ) در خوراک است که باعث افزایش درصد حذف

آمونیاک می‌گردد. در سرعت پساب  $0.044\text{ m/s}$ ، درصد حذف آمونیاک در دماهای ورودی  $20^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$  به ترتیب ۶۳ و ۸۳ درصد به دست آمد. این در حالی است که در سرعت پساب کم (حدود  $0.01\text{ m/s}$ ) این اختلاف درصد جداسازی به دو درصد می‌رسد که می‌تواند به دلیل کاهش نیروی محرکه انتقال جرمی در طول مدول غشایی، در درصد دفع‌های بالا (بالای ۹۵٪) و همچنین افت دمای بالای پساب در دبی‌های پایین باشد. نکته قابل توجه در این داده‌ها تکرار رابطه خطی بین سرعت پساب و درصد حذف آمونیاک در دمای بالاست ( $40^{\circ}\text{C}$ ) که در دماهای پایین نیز مشاهده گردید.

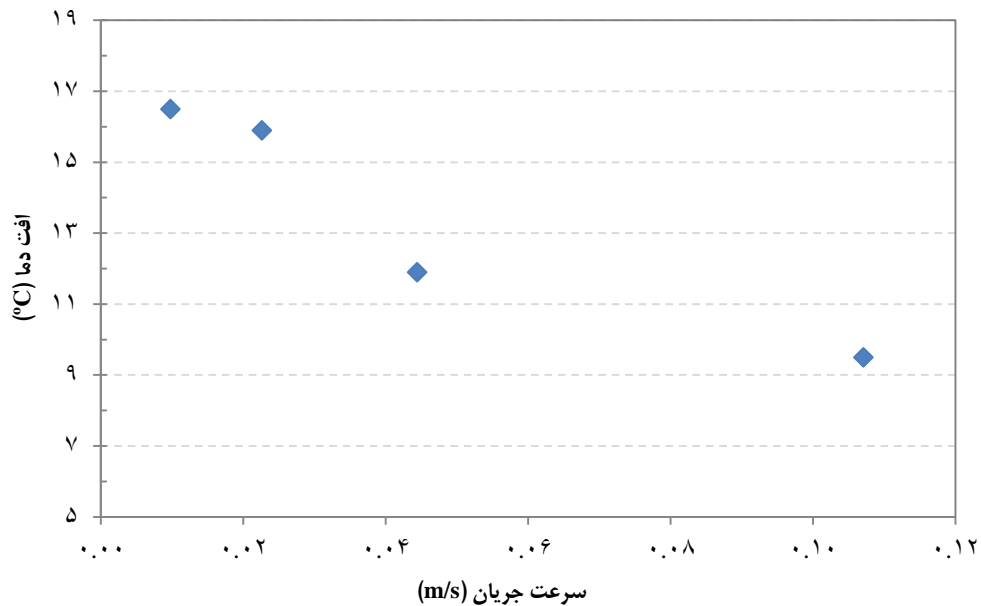


شکل (۵) اثر دما بر درصد حذف آمونیاک از پساب (محل عبور پساب: داخل الیاف)

شکل ۵ با وجود افت دمای ایجاد شده به دست آمده‌اند و در صورت ثابت ماندن دما در طول الیاف، به طور قطع، درصد حذف نیز بیشتر می‌شد. لازم به ذکر است که یکی از راه‌های ثابت نگه‌داشتن دمای پساب، استفاده از ایجاد یک خط جریان برگشتی در خروجی فاز دریافت‌کننده از مدول غشایی و انتقال آن به مخزن اولیه فاز دریافت‌کننده، می‌باشد.

نتایج شکل ۵ برای افزایش دمای پساب در حالی است که دمای سیال دریافت‌کننده (سمت پوسته) در حدود  $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$  بوده است. داده‌های افت دما در شکل ۶ حاکی از افت دمای شدید پساب، بخصوص در سرعت پایین پساب‌ها است. ضخامت کم غشا و همچنین اختلاف دمای قابل توجه در دو سمت غشا، مدول غشایی را تبدیل به یک مبدل حرارتی کرده است. قابل ذکر است که درصد دفع‌های به دست آمده در

## مطالعه تجربی حذف یک بار گذر آمونیاک از پساب، توسط تماس دهنده غشایی



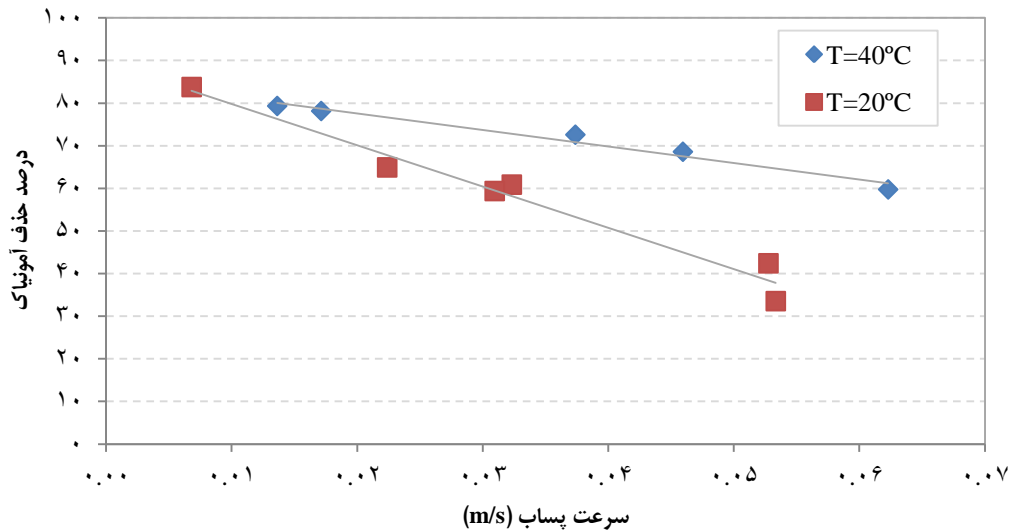
شکل (۶) افت دمای پساب در سرعت‌های مختلف پساب (دمای پساب ورودی: ۴۰°C، دمای سیال دریافت‌کننده: ۲۳°C)

و pH پساب به ترتیب در حدود ۱۰/۴۰ و ۱۰/۶۰۰ ppm تعیین گردید؛ بنابراین غلظت آمونیاک موجود در پساب خیلی بالا است.

حذف آمونیاک از پساب پتروشیمی در دماهای ۲۰ و ۴۰ °C و سرعت‌های مختلف پساب، توسط سامانه آزمایشگاهی تماس‌دهنده غشایی انجام گردید و نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد سامانه موجود به طور موفقیت‌آمیزی آمونیاک موجود در پساب را حذف می‌نماید و روند تغییرات درصد حذف آمونیاک با سرعت و دمای پساب، تقریباً مشابه حالت نتایج پساب سنتزی می‌باشد (شکل ۵). همچنین تغییرات تقریباً خطی درصد حذف با سرعت پساب (در سرعت پساب‌های مورد بررسی) در این‌جا نیز به چشم می‌خورد.

### ۳-۴- نتایج پساب پتروشیمی

نتایج تجربی ارائه شده تا به این‌جا، بر اساس پساب سنتزی (تهیه پساب با استفاده از انحلال مقدار مشخص کلرید آمونیوم در آب یون‌زدایی شده) بوده است. با این حال با توجه به هدف دوم مطالعه حاضر (حذف آمونیاک از پساب شرکت پتروشیمی خراسان)، کارایی حذف آمونیاک از پساب پتروشیمی توسط سامانه تماس‌دهنده غشایی نیز در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به دلیل وجود مقدار قابل توجهی از جامدات معلق در پساب، امکان حذف مناسب آمونیاک از پساب به صورت مستقیم توسط تماس‌دهنده غشایی وجود ندارد. به همین خاطر، قبل از ورود پساب به مدول غشایی از یک پیش‌تصفیه (فیلتر کارتریجی ۵ میکرونی) استفاده گردید. با توجه به آنالیزهای انجام‌شده بر روی پساب پتروشیمی، غلظت آمونیاک



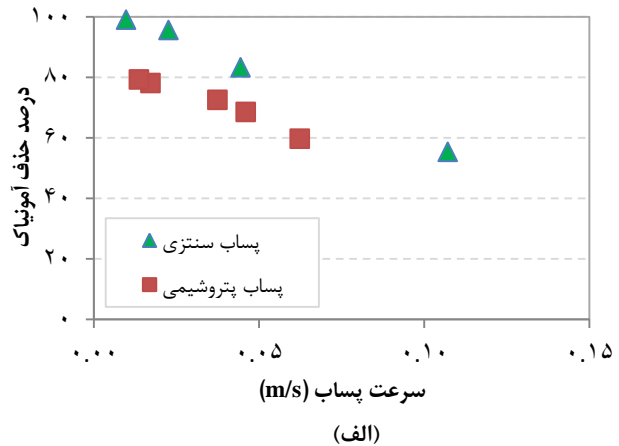
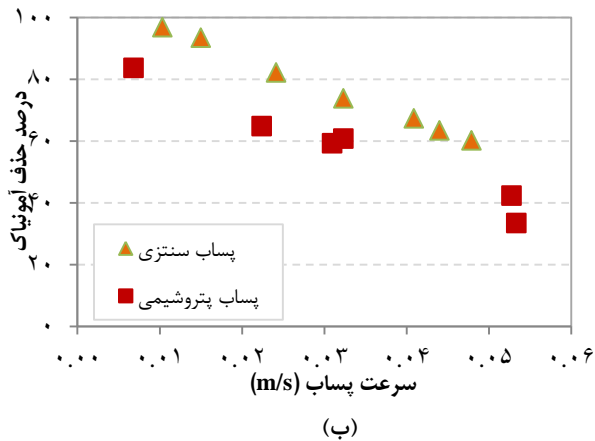
شکل (۷) درصد حذف آمونیاک پساب پتروشیمی در سرعت‌ها و دماهای مختلف

با مقایسه درصد حذف آمونیاک برای پساب سنتزی و پساب پتروشیمی در شکل ۸ مشاهده می‌شود که درصد حذف آمونیاک پساب پتروشیمی در دماهای ۲۰ °C و ۴۰ °C، به ترتیب در حدود ۲۵ و ۱۹٪ کمتر از درصد حذف آمونیاک پساب سنتزی است. یکی از مهم‌ترین دلایل این امر را می‌توان بر اساس نتایج مطالعه ذو و همکاران<sup>۱</sup> توجیه نمود [۱۱]. ایشان در مطالعات خود گزارش نموده‌اند که در غلظت‌های بالا، ضریب

انتقال جرم آمونیاک کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعه ایشان با افزایش غلظت آمونیاک از ۱۰۰۰ به ۱۰,۰۰۰ ppm ضریب انتقال جرم آمونیاک ۲۶٪ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به رابطه مستقیم بین ضریب انتقال جرم و درصد حذف آمونیاک، میزان کاهش درصد حذف مشاهده شده برای پساب پتروشیمی، منطقی به نظر می‌رسد.

<sup>1</sup> Zhu et al.





شکل (۸) مقایسه درصد حذف آمونیاک برای پساب سنتزی و پتروشیمی. الف) دمای پساب ۲۰°C، ب) دمای پساب ۴۰°C

## مراجع

- [1] B. Halling-Sørensen, S. Jorgensen (1993) "The removal of nitrogen compounds from wastewater", Elsevier.
- [2] D. Qu, D. Sun, H.Wang, and Y. Yun (2013) "Experimental study of ammonia removal from water by modified direct contact membrane distillation", *Desalination*, 326: 135-140.
- [3] C.L. Lai, S.H. Chen, and R.M. Liou (2013) "Removing aqueous ammonia by membrane contactor process", *Desalination and Water Treatment*, 51: 5307-5310.
- [4] Y. Ahn, Y. Hwang, and H. Shin (2011) "Application of PTFE membrane for ammonia removal in a membrane contactor", *Water Science & Technology*, 63: 2944-2948.
- [5] S.N. Ashrafzadeh, Z. Khorasani (2010) "Ammonia removal from aqueous solutions using hollow-fiber membrane contactors", *Chemical Engineering Journal*, 162: 242-249.
- [6] Z. Xie, T. Duong, M. Hoang, C. Nguyen, and B. Bolto (2009) "Ammonia removal by sweep gas membrane distillation", *Water Research*, 43: 1693-1699.
- [7] M. El-Bourawi, M. Khayet, R. Ma, Z. Ding, Z. Li, and X. Zhang (2007) "Application of vacuum membrane distillation for ammonia removal", *Journal of Membrane Science*, 301: 200-209.
- [8] B. Norddahl, K.V. Christensen, V. Horn, M. Larsson, and J.H. duPreez (2006) "A membrane contactor for ammonia stripping, pilot scale experience and modeling", *Desalination*, 199: 172-174.
- [9] X. Tan, S.P. Tan, W.K. Teo, and K. Li (2006) "Polyvinylidene fluoride (PVDF) hollow fibre membranes for ammonia removal from water", *Journal of Membrane Science*, 271: 59-68.
- [10] J. Wang, Y. Xu, Z. Xu, and H. Xu (2001) "A study on the PP hollow fiber membrane contactor and its performance for removing ammonia from wastewater or mixed gas: II. Ammonia removal from mixed gas", *Water Supply*, 1: 195-198.
- [11] Z. Zhu, Z. Hao, Z. Shen, and J. Chen (2005) "Modified modeling of the effect of pH and viscosity on the mass transfer in hydrophobic hollow fiber membrane contactors", *Journal of Membrane Science*, 250: 269-276.
- [12] A. Mandowara, P.K. Bhattacharya (2011) "Simulation studies of ammonia removal from water in a membrane

## ۴- نتیجه گیری

بر اساس نتایج، افزایش سرعت پساب (در محدوده سرعت بررسی شده) باعث کاهش خطی درصد حذف آمونیاک (در دمای پایین و بالا) گردید. پساب عبوری از مدول غشایی را می‌توان از داخل الیاف و یا سمت پوسته عبور داد. برای مدول غشایی مورد استفاده، درصد حذف آمونیاک در حالت عبور پساب از داخل الیاف، بیشتر از حالت عبور آن از سمت پوسته است. افزایش دمای پساب، باعث افزایش قابل توجه درصد حذف آمونیاک گردید. این افزایش درصد حذف در حالی بود که در طول الیاف، دمای پساب به صورت قابل توجهی کاهش می‌یافت (مخصوصاً در شدت جریان‌های پایین). ضمناً حذف آمونیاک از نمونه پساب پتروشیمی، در دماهای ۲۰ و ۴۰ °C و در سرعت‌های مختلف پساب، نشان داد تغییرات درصد حذف با سرعت و دمای پساب، تقریباً مشابه پساب سنتزی می‌باشد. با مقایسه درصد حذف آمونیاک برای پساب سنتزی و پتروشیمی مشاهده شد، درصد حذف پساب پتروشیمی در دماهای ۲۰ و ۴۰ °C، به ترتیب در حدود ۲۵ و ۱۹٪ کمتر از درصد حذف آمونیاک پساب سنتزی است که آن به دلیل کاهش ضریب انتقال جرم در غلظت‌های خیلی بالا است.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت پتروشیمی خراسان و شرکت مهندسی مشاور طوس آب به دلیل حمایت‌های مالی و پشتیبانی از این مطالعه و در اختیار قرار دادن نمونه پساب سنتزی تشکر می‌گردد.

- configurations", *Journal of Membrane Science*, 286: 93-103.
- [19] G. Rajalo, O. Tereping, and T. Petrovskaya (1994) Thermally forced membrane desorption—absorption of ammonia, *Journal of Membrane Science*, 89: 93-99.
- [20] E. Drioli, A. Criscuoli, E. Curcio (2011) "Membrane contactors: Fundamentals, applications and potentialities", vol. 11, Elsevier.
- contactor under liquid–liquid extraction mode", *Journal of Environmental Management*, 92:121-130.
- [13] M. Słowikowski (2010) "Application of microfiltration membrane module for ammonia removal process", *Proceedings of ECOpole*, 4: 79-83.
- [14] M.J. Semmens, D. Foster, and E. Cussler (1990) "Ammonia removal from water using microporous hollow fibers", *Journal of Membrane Science*, 51: 127-140.
- [15] M. Ulbricht, J. Schneider, M. Stasiak, and A. Sengupta (2013) "Ammonia Recovery from Industrial Wastewater by TransMembraneChemiSorption", *Chemie Ingenieur Technik*, 85: 1259-1262.
- [16] A. Hasanoğlu, J. Romero, B. Pérez, and A. Plaza (2010) "Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and theoretical analysis of operation parameters and configuration", *Chemical Engineering Journal*, 160: 530-537.
- [17] M. Imai, S. Furusaki, and T. Miyauchi (1982) "Separation of volatile materials by gas membranes", *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 21: 421-426.
- [18] Z. Ding, L. Liu, Z. Li, R. Ma, and Z. Yang (2006) "Experimental study of ammonia removal from water by membrane distillation (MD): The comparison of three

## Experimental study of once-pass ammonia removal from wastewater by membrane contactor

Mahdi Malek Mohammadi, Mahdi Pourafshari Chenar\*

Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

---

### ABSTRACT

Ammonia is one of the most common pollutants in urban and industrial wastewaters and due to various problems it generates, it is necessary to remove it from wastewaters. In this study, a laboratory scale once-pass membrane contactor system was designed and constructed using PPO hollow fiber membranes and the effect of various operating parameters such as the feed passage side (the lumen-side or the shell-side), feed flow rate and temperature on the efficiency of the process for synthetic wastewater was investigated. Since the petrochemical units are of the main sources of wastewaters containing ammonia at high concentrations, in the second part of this study, the efficiency of the process to remove ammonia from Khorasan Petrochemical wastewater was also investigated. Experimental results showed that low feed flow rate, high feed temperature and feed passage through the lumen side increased the ammonia removal percentage. Also, the ammonia removal percentage variations with the feed velocity and temperature were the same as that of synthetic wastewater. By comparing the ammonia removal percentages of synthetic and real wastewaters, it was obtained that ammonia removal percentages for real petrochemical wastewater at 20 and 40 °C, were respectively about 25 and 19% lower than that of synthetic wastewater.

### ARTICLE INFO

---

Article history:

Received: October 30, 2016

Received in revised form: April 16, 2017

Accepted: September 7, 2017

---

Key words:

Hollow fiber membrane

contactor

Wastewater

Ammonia

Once-pass process

\* Corresponding author

[pourafshari@um.ac.ir](mailto:pourafshari@um.ac.ir)

---

All right reserved.