

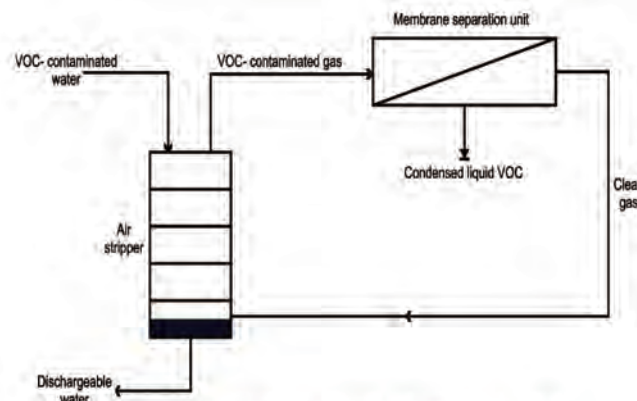
مدلسازی فرآیند ترکیبی هوادهی - تراوش گاز در پالایش آبهای آلوده به VOC

فرهاد زارعی^۱، علی اصغر قریشی^{۲*}
 کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
 استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
 *aa_ghoreyshi@nit.ac.ir
 دریافت: ۹۱/۰۲/۷ پذیرش: ۹۱/۰۲/۷

چکیده

در این تحقیق مدلسازی فرآیند هیبرید هوادهی - تراوش بخار به منظور جداسازی ترکیبات آلی فرار از آب بررسی می شود. فرآیند هیبرید توانایی بازیابی VOC دفع شده را توسط فرآیند تراوش بخار فراهم می کند. یک مدل ریاضی براساس مقاومت های سری توصیف کننده انتقال جرم برای دو فرآیند می باشد. ارزیابی جداسازی در فاز خوراک و غشا در شرایط هیدرودینامیکی مشخص از خوراک و در یک ضخامت ثابت از غشا انجام شده است. آنالیز حساسیت براساس مدل ارائه شده از بررسی فاکتورهای عملیاتی مانند دما، فشار، غلظت خوراک و شدت جریان گاز و مایع روی عملکرد جداسازی صورت گرفته است. به عنوان نمونه دفع ۴ ترکیب آلی فرار ۱ و ۲ - دی کلرواتان (DCE)، ۱ و ۲ - تری کلرواتان (TCE)، کلروفرم و دی کلرو متان از آب در فرآیند هیبرید با برج عریانسازی به ارتفاع ۹۰ سانتی متر و غشای PDMS با مساحت موثر ۱۴/۷ سانتی متر مربع در فرآیند تراوش تبخیری بررسی شده است. نتایج مطابق انتظار نشان می دهد اثر مقاومت فاز گاز در فرآیند جداسازی هوادهی قابل نظر کردن است در حالی که نقش مهمی در فرآیند تراوش بخار بویژه در فاز خوراک دارد. نتایج مدل نقش مهم نسبت هوا به آب روی بازده دفع را بیان می کند اما این نسبت نباید از حدی بیشتر باشد تا سبب طغیان شود. نتایج کلی برای فرآیند هیبرید نشان می دهد که در غلظت های بالا، شدت جریان های زیاد گاز و دمای بهینه راندمان بالایی دارد.

کلمات کلیدی: برج هوادهی، تراوش گاز، ترکیبات آلی فرار، تصفیه آب، پساب نفتی



شکل ۱: شماتیک کلی فرآیند ترکیبی هوادهی - تراوش گاز

به طور کلی هدف از این نوع فرآیند را می توان به اینصورت بیان نمود:

- ۱- کاهش بار آلودگی در پساب که هدف اصلی فرآیند است.
- ۲- کاهش بار آلودگی در هوای آلوده شده که از لحاظ زیست محیطی بسیار حائز اهمیت می باشد و همچنین بازگشت هوای پاک تر به چرخه فرآیند.
- ۳- بازیافت ترکیبات آلی فرار که برخی از آنها ارزش اقتصادی برای به کار گیری در فرآیندهای دیگر را دارد.

مطالعات انجام شده

در تحقیقی که توسط Yuan و همکارانش [۳] به منظور بررسی ضریب انتقال جرم در برج آکنده با آکنه هایی از جنس شیشه^۱ انجام گرفت نتایج زیر به دست آمد:

- ضریب انتقال جرم با افزایش سرعت ظاهری مایع افزایش می یابد.

¹ Porcelain

مقدمه

دفع ترکیبات آلی فرار از پسابهای صنعتی و آبهای زیر زمینی یک مسئله مهم می باشد. روش های دفع شامل هوادهی، جذب، اکسیداسیون، تقطیر، روش های تصفیه بیولوژیکی هوازی و غیر هوازی، بیوراکتور و تکنولوژی های غشایی می باشد [1]. اما این روش ها کاستی ها و محدودیت هایی دارند، جذب و تصفیه بیولوژیکی روش پاک کننده ای هستند اما در مقادیر کم VOC اقتصادی می باشند. اکسیداسیون برای ترکیبات خاصی موثر است اما ممکن است محصولات جدیدی تشکیل شود که زیان آورتر از آلاینده های اول باشد. تراوش تبخیری یک فرآیند غشایی است که توانایی بیشتری از روش های بالا دارد، علاوه بر این تراوش تبخیری می تواند ترکیبات آلی نیمه فرار و غیر فرار را همزمان دفع کند. تراوش گاز قابلیت ذخیره سازی بالای انرژی در دفع در غلظت های بالا را دارد [2]. در این تحقیق فرآیند ترکیبی هوادهی - تراوش گاز براساس مقاومت های سری در فاز گاز و مایع و ضرایب انتقال جرم در برج هوادهی و غشا برای هیدرو کربن های کلرینه، CH_2Cl_2 و $C_2H_3Cl_3$ و تری کلرواتان مدلسازی گردید. شکل شماره (۱) شماتیک کلی فرآیند را نشان می دهد به اینصورت که پساب آلوده به VOC از بالا و هوای عریان ساز در جهت مخالف از پایین برج وارد می شوند. هوای غنی از VOC وارد سیستم غشایی شده و در آنجا آلاینده های فرار براساس گرادیان فشار جدا شده و در نهایت دو فاز غنی و عاری از آلاینده به دست می آید، که هوای عاری از آلودگی به برج بر می گردد و فاز غنی از آلودگی سرد شده و به صورت مایع جمع آوری می شود.

جمله آلاینده های موجود در آب تری کلرو اتان و تترا کلرو اتان بوده است. اگر نمودار جزء باقی مانده (C_e/C_i) برحسب نسبت حجمی هوا به آب برای آلاینده های مختلف رسم شود یک منحنی نمایی برای برازش داده ها به دست می آید که در صورت عدم وجود جریان هوا (نسبت هوا به آب صفر باشد) غلظت ورودی به خروجی برابر خواهد شد. مدل ارائه شده به صورت معادله زیر به دست آمد:

$$c_e / c_i = \exp(-Kq) \quad (1)$$

c_e = غلظت آلاینده در آب خروجی c_i = غلظت آلاینده در آب ورودی
 $K(\text{gal}/\text{ft}^3)$ = ثابت دفع $q(\text{ft}^3/\text{gal})$ = نسبت حجمی هوا به آب

از این معادله می توان برای به دست آوردن غلظت خروجی در صورت داشتن داده های دیگر و منحنی برازش استفاده نمود [۴].

در یک تحقیق که توسط Dingemans و همکارانش [۵] در سال ۲۰۰۸ انجام شد، مشخصات انتقال جرم و تاثیر لایه های مختلف غشاهای کامپوزیت در فرآیند تراوش گاز مورد بررسی قرار گرفت. تری کلرو اتان (TCE)، تولوئن (TOL) و دی متیل سولفید (DMS) به عنوان ترکیبات فرار همراه با گاز نیتروژن به غشا تزریق گردید که غشاهای کامپوزیت به کار رفته پلی پیرولیدین/ پلی وینیل دی فلوراید (لایه متخلخل) همراه با دی متیل سیلوکسان به عنوان لایه متراکم (PP/PVDF/PDMS) و پلی استر/ پلی آکریلونیتریل (لایه متخلخل) همراه با دی متیل سیلوکسان به عنوان لایه متراکم (Polyester/PAN/PDMS) بوده است. با توجه به اینکه غشای کامپوزیت از دو قسمت

• در سرعت های کم مایع، کسر حجمی^۲ درونی برج (نسبت حجمی آکنه های درون برج به کل حجم برج) اثر کمی روی ضریب انتقال جرم دارد به این دلیل که مایع نمی تواند فضای خالی بین آکنه ها را به طور کامل پر کند. در سرعت های بیشتر مایع علی رغم انتقال مناسب جریان در کسر حجمی زیاد، ضریب انتقال جرم کاهش می یابد. لذا یک کسر حجمی بهینه براساس قطر برج و هیدرودینامیک جریان انتخاب مناسبی است.

• بررسی ارتفاع مراحل در ۶۲/۵، ۱۲۰ و ۲۵۰ میلی متر نشان داد که ارتفاع به دلیل اینکه روی رفتار جریان گاز موثر است و سرعت گاز در اینجا نقش مهمی در انتقال جرم ندارد تاثیر کمی روی ضریب انتقال جرم دارد، اما باید توجه داشت که با افزایش خیلی زیاد در ارتفاع برج ضریب انتقال جرم زیاد می شود. به طور کلی ارتفاع مناسب براساس شرایط فرآیند تعیین می شود.

• اثر اندازه و تخلخل آکنه در سه قطر مختلف ۲/۵، ۳/۵ و ۵/۰ میلی متر که تخلخل آنها به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۸ و ۰/۴ است، نشان داد که ضریب انتقال جرم با افزایش قطر و تخلخل آکنه ها کاهش می یابد [۳].

در تحقیقاتی که توسط Pico [۴] در زمینه دفع ترکیبات آلی فرار از آب بوسیله هوادهی انجام شد مدلی جهت محاسبه غلظت آب خروجی ارائه شد. از

² Volume fraction

از Hyflon AD80 استفاده شود سهم نسبی لایه چگال تا ۹۹٪ نیز افزایش می یابد و در نمونه دیگر با Silastic LS-2840 به عنوان لایه متراکم سهم هردو لایه متراکم و متخلخل حائز اهمیت است.

- ضریب انتقال جرم در این غشاهای کامپوزیت در مقایسه با غشاهایی که فقط شامل لایه متخلخل می باشند بیشتر است که به دلیل یکنواختی بیشتر لایه متراکم (بدون حفره) می باشد.

- تجزیه و تحلیل لایه های متخلخل گوناگون موید این نکته است که سهم لایه متخلخل پوششی در انتقال جرم بیشتر از لایه متخلخل در تماس با لایه متراکم می باشد [۵].

در تحقیقاتی که توسط Lue و همکارانش [۶] با ارائه مدلی برای فرآیند تراوش گاز در سیستم های چند جزئی با غشای PDMS^۵ انجام گرفت پارامتر های موثر بر انتقال جرم بررسی شد. بخارات مورد بررسی متانول، ام-زایلن، تولوئن و ایزوپنتان به عنوان VOC's در نظر گرفته شده، فشار فاز خوراک و فاز تراوش کرده در سمت دیگر غشا به ترتیب ۱۰۱/۳ KPa و ۲۰۰ Pa و ضخامت غشا ۱۸۰ μm بوده و مدل انحلال- نفوذ^۶ براساس قانون اول فیک به منظور شرح مدل ریاضی به کار برده شد. شار بخار تراوش یافته (J) از رابطه زیر به دست می آید:

متراکم^۴ (بدون حفره) و یک قسمت متخلخل^۳ (حفره دار) تشکیل می شود، این محققان نشان دادند که توزیع مقاومت در چنین غشاهایی به شکل سری و مجموع مقاومت لایه متراکم و متخلخل است:

$$\frac{1}{K_{m,composite}} = \frac{1}{K_{Porous}} + R_a + \frac{1}{K_{dense}} \quad (2)$$

R_a مقاومت اضافی غشا است که برای غشای کامپوزیت ایده آل صفر است.

نتایج کلی این تحقیق به صورت زیر ارائه گردید [۵]:

- در هر دو غشای کامپوزیت به کار رفته سهم مقاومت لایه متراکم در مقایسه با کل مقاومت انتقال جرم ناچیز است، به طوری که در غشای (PP/PVDF/PDMS) سهم لایه چگال برای هر سه VOC's زیر ۱۰٪ و برای غشای (Polyester/PAN/PDMS) زیر ۳٪ بوده و لذا لایه متخلخل کنترل کننده انتقال جرم است و در این دو غشا به دلیل ضخامت کمتر لایه متراکم و به خصوص تراوش پذیری بالای پلیمر PDMS برای هر سه VOC's است. اما تحقیقات دیگر نشان می دهد که با جایگزینی پلیمر دیگر به عنوان لایه متراکم حتی می توان سهم این لایه در مقاومت کل غشا را افزایش داد، به عنوان مثال اگر در این آزمایش به جای PDMS

^۵ Polydimethylsiloxane

^۶ Solution-Diffusion

^۳ Nonporous(dense)

^۴ Porous

به طوری که ضریب همبستگی برای تولوئن ۰/۹۸ و برای زایلن و متانول به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۵ می باشد [۶].

تئوری و مشخصات فرآیند

جذب و دفع آلاینده‌های فرار با استفاده از ستون‌های هوادهی آکنده از طریق پدیده نفوذ صورت می‌گیرد و فاز مایع که نفوذ در آن مشکل‌تر است غالباً کنترل‌کننده انتقال جرم می‌باشد. به هر حال مکانیزم کنترل‌کننده و یا میزان مشارکت مقاومت در هر فاز در فرآیند کلی بستگی به ضرایب تعادلی خواهد داشت.

ضرایب تعادلی در فرم ثابت هنری (H_c) و ضرایب انتقال جرم مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز در شبیه‌سازی و مدلسازی جهت حذف VOC's در برج‌های هوادهی آکنده بکار می‌روند. هدف اصلی در این بخش ارائه یک مدل انتقال جرم است که بتوان راندمان و کارایی برج‌های آکنده و توانایی آنها در حذف انواع مختلف مواد آلی فرار از آب‌های آشامیدنی و یا فاضلاب‌های صنعتی را بررسی نموده و اثر پارامترهای مهم عملیاتی مانند فشار، دما، نسبت گاز به مایع و ... در راندمان برج از طریق مدل شبیه‌سازی براحتی مورد ارزیابی قرار داد. مدل مفروض در این کار بر مبنای موازنه بیلان جرم دیفرانسیلی و مدل انتقال است که تعیین‌کننده پروفایل غلظت در داخل برج و راندمان جداسازی اجزاء می‌باشد.

مدل ارائه شده بر مبنای تئوری دو فیلمی که در ۱۹۲۴ بوسیله Whitman و Lewis ارائه گردید و پایه تئوری نفوذ مولکولی در سرتاسر دو فیلم ساکن می‌باشد، که فرآیند انتقال کلی را ترکیبی از

$$J = \frac{N_P Q_P}{A_M} \quad (۳)$$

که N_P و Q_P به ترتیب ترکیب و شدت جریان فاز تراویده و A_M سطح غشای مورد استفاده می‌باشد.

به منظور تخمین غلظت بخار جذب شده (C_i) در غشا از مدل UNIQUAC استفاده شد. مدل لانگ^۷ که ضریب نفوذ بخار را به عنوان تابعی از غلظت بخار بیان می‌کند به شرح زیر می‌باشد:

$$D_i = D_i^0 \exp(\gamma_i C_i) \quad (۴)$$

C_i (mol/m^3) غلظت تعادلی و γ_i (mol/m^3) ضریب نرمش‌پذیری و D_i^0 (m^2/s) ضریب نفوذ در غلظت صفر از ماده نفوذ کرده است.

همان‌طور که گفته شد شار جزء نفوذکننده براساس قانون اول فیک به صورت زیر بیان می‌شود:

$$J_i = -D_i \frac{dC_i}{dL} \quad (۵)$$

با ترکیب معادلات (۴) و (۵) به معادله زیر می‌توان دست یافت.

$$J_i = \frac{D_i^0}{\delta \gamma_i} [\exp(\gamma_i C_{iF}) - \exp(\gamma_i C_{iIP})] \quad (۶)$$

C_{iIP} و C_{iF} به ترتیب غلظت نفوذکننده در سطح خوراک و فاز تراویده و δ ضخامت غشا می‌باشند.

با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مقادیر محاسبه شده از مدل و رسم شار عبوری برحسب اکتیویته خوراک (P/P^{sat}) بیانگر تطابق خوبی بوده

⁷ Long

با توجه به اینکه رابطه ثابت هنری بر حسب واحد غلظت و واحد کسر مولی به صورت زیر است:

$$(10)$$

$$H_{Ci} (\rho/M) = H_{Xi}$$

بنابراین:

$$(11)$$

$$y_i = \left(\frac{H_{Xi}}{P_i} \right) X_i$$

$$\frac{Y_i^*}{1 + Y_i^*} = \left(\frac{H_X}{P_i} \right) \frac{X_i^*}{1 + X_i^*} \quad (12)$$

معادله موازنه جرم در حالت پایدار عبارت است از:

$$L_s \frac{dX_i}{dZ} = G_s \frac{dY_i}{dZ} \quad (13)$$

در صورت عدم وجود مقاومت در فاز گاز رابطه (۱۲) به شکل زیر تغییر می‌نماید:

$$(14)$$

$$Y_i = Y_i^*$$

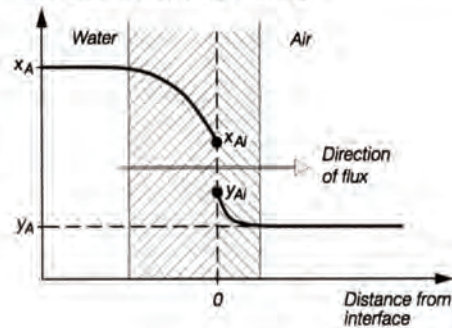
$$(15)$$

$$\frac{Y_i}{1 + Y_i} = \left(\frac{H_X}{P_i} \right) \frac{X_i^*}{1 + X_i^*}$$

همچنین می‌توان مقاومت در فاز مایع و فاز گاز را به صورت سری در نظر گرفت. ضریب کلی انتقال جرم همانطور که در نظریه دو فیلمی گفته شد به شکل زیر قابل بیان است، K_x از مجموع مقاومت

مقاومت فاز های گاز و مایع به صورت متوالی فرض می‌نماید که در شکل (۲) نشان داده شده است [۱]

Mole fraction of component A, x_A or y_A



شکل ۲- تئوری دو فیلمی در انتقال جرم بین دو فاز [۱]

شدت انتقال جرم VOC's در فاز مایع در هر نقطه از ستون به شکل زیر بیان می‌شود:

$$L_s \frac{dX_i}{dZ} = k_{xi} a (X_i - X_i^*) \quad (7)$$

شدت انتقال جرم VOC's در فاز گاز در هر نقطه از ستون به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$G_s \frac{dY_i}{dZ} = k_{yi} a (Y_i - Y_i^*) \quad (8)$$

رابطه تعادلی برای اجزاء بر حسب ثوابت هنری به صورت زیر بیان می‌شود که P_i فشار کل در برج می‌باشد:

$$y_i = \left(\frac{H_{Ci}}{P_i} \right) C_i \quad (9)$$

H_{Ci} : ثابت هنری بر حسب (pressure.valume) / mol

می‌باشد مانند (atm.m³) / mol

به صورت فلوجارت شماره ۱ می باشد.

غشای به کار رفته در فرآیند تراوش گاز غشای PDMS با مساحت ۱۴/۷ سانتی مترمربع بوده و فشار در خوراک ۱/۵ bar و فاز تراویده کمتر

از ۲ torr می باشد و از داده های آزمایشگاهی مربوط به مقاله Yeom و Lee [۷]. استفاده شده است. در تراوش گاز در غشای متراکم برای تشریح شار گاز از رابطه (۱۹) استفاده می شود [۷]:

$$J_i = \frac{D_i(C_{oi} - C_{Li})}{t} \quad (19)$$

از C_{Li} و C_{oi} به ترتیب غلظت در خوراک و فاز نفوذ کرده و t ضخامت غشا می باشد، با توجه به ضریب تراوایی P که حاصلضرب حلالیت در ضریب نفوذ ماده می باشد، شار گاز به صورت رابطه (۲۰) خواهد بود که ΔP اختلاف فشار در دو طرف غشا می باشد [۲].

$$J_i = P \frac{(\Delta p)}{t} \quad (20)$$

با توزیع مقاومت ها به صورت سری طبق رابطه (۲۱) نشان داده می شود که مقاومت کلی انتقال جرم برابر مجموع مقاومت در لایه مرزی $(\frac{1}{K_b})$ و در غشا $(\frac{t}{D_m K_{dis}})$ است که در اینجا K_b ضریب انتقال جرم در لایه مرزی، D_m ضریب نفوذ در غشا و K_{dis} ضریب توزیع در غشا هستند.

$$R_{tot} = R_b + R_m \quad (21)$$

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{D_m K_{dis} t}$$

به منظور تخمین ضریب انتقال جرم بر حسب شدت جریان، مقاومت در لایه مرزی را به صورت نسبت ضریب نفوذ D_b به ضخامت δ لایه مرزی تعریف کرده و از آنجایی که ضخامت لایه مرزی مرتبط با هیدرودینامیک حوزه جریان می باشد و براساس سرعت جریان به صورت رابطه (۲۲)

های انتقال جرم در فیلم گاز و مایع قابل محاسبه می باشد.

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{(\frac{H_x}{P})k_{yi}} + \frac{1}{k_{xi}} \quad (16)$$

در اینصورت نیاز به حل معادله انتقال جرم در فاز گاز به طور جداگانه نبوده و بجای ضرایب انتقال جرم منفرد فاز مایع می توان ضریب انتقال جرم کلی معادله (۱۶) را در معادله (۷) قرار داد.

در این تحقیق از برجی با ارتفاع و قطر به ترتیب ۹۰ و ۱۹/۵ سانتی متر و پرکن های راشینگ استفاده شده است. شدت انتقال جرم VOC's در فاز مایع در هر نقطه از ستون طبق معادله (۱۷) بیان می شود که در آن X_i و X_i^* به ترتیب کسر مولی جزء فرار در مایع در هر نقطه از برج و کسر مولی تعادلی، Z ارتفاع برج، L_s فلاکس مایع و K_x ضریب انتقال جرم کلی در فاز مایع که توسط معادله (۱۸) بدست می آید [۱].

$$(17)$$

$$L_s \frac{dX_i}{dZ} = k_{xi} a (X_i - X_i^*)$$

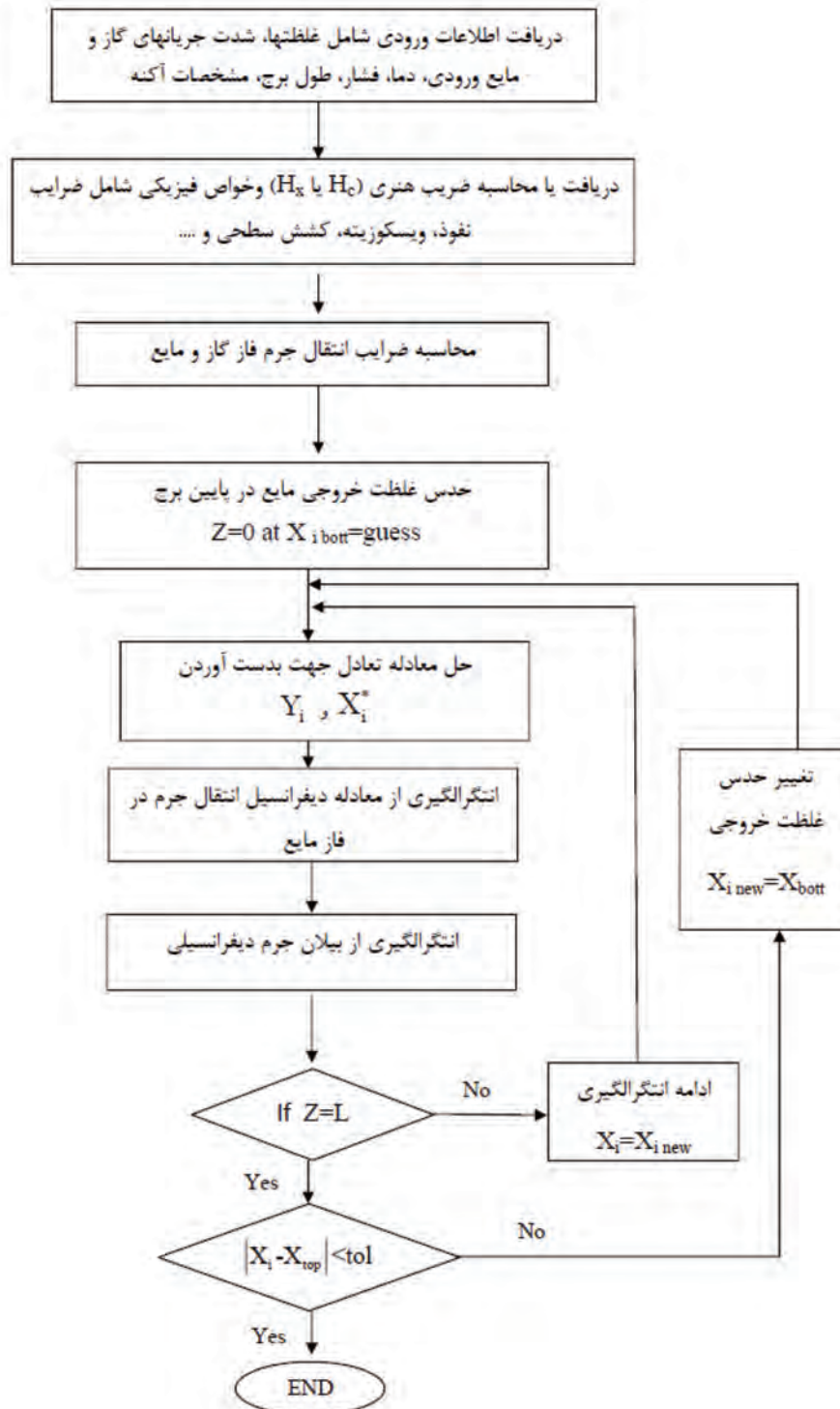
$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{(\frac{H_x}{P})k_{yi}} + \frac{1}{k_{xi}} \quad (18)$$

در معادله (۱۸) H_x ضریب هنری و P فشار در برج و k_x و k_y به ترتیب ضریب انتقال جرم منفرد در فاز مایع و گاز. ضریب هنری نیز از مراجع به دست می آید که تابع نوع ماده و دمای فرآیند می باشد. از رابطه (۱۷) انتگرال گیری عددی شده و توسط نرم افزار Matlab میزان ارتفاع برج برای رسیدن به درصد دفع مشخصی تعیین می گردد. الگوریتم حل

که u شدت جریان خوراک درون غشا و K_0 و

بیان می شود:

$$K_b = \frac{D_b}{\delta} = K_0 u^{-n} \quad (22)$$



کسر مولی و جرمی VOC در جریان خروجی در فاز باقی مانده مطابق رابطه (۲۴) محاسبه می شود.

$$N_v = J_v \times A_m \quad (24)$$

که در آن N_v دبی مولی VOC برحسب

(mol/min) و J_v فلاکس مولی برحسب

(mol/min.m²) و A سطح مورد نظر برحسب (m²)

است. بیان مولی کل و جزئی در غشا مطابق رابطه

(۲۵) می باشد.

$$N_F = N_P + N_R \quad (25)$$

$$N_F \cdot Y_F = N_P \cdot Y_P + N_R \cdot Y_R$$

در Y_P ، Y_R و Y_F به ترتیب کسر مولی VOC در

خوراک، فاز نفوذ کرده و فاز باقی مانده و N_P و N_R

به ترتیب دبی مولی در فاز نفوذ کرده و باقی مانده

است.

بنابراین رابطه (۲۶) درصد حذف VOC را بدست

میی دهد، که در آن

$C_{out} = C_{Retentate} + C_{Residual}$ و بدین معنی است که

کل مول خارج شده از فرآیند هیبرید برابر مجموع

مول ماده آلی که در مایع خروجی از برج بدست

آمده و مول ماده آلی نفوذ نکرده در غشا می باشد.

$$Removal = \frac{C_{Feed} - C_{Out}}{C_{Feed}} \quad (26)$$

در نتایج بدست آمده در قسمت های بعد راندمان

دفع (C_{Feed}/C_{Out}) و یا درصد حذف (%Removal)

بر حسب متغیرهای عملیاتی نشان داده شده است

که بیشتر بودن هردوی آنها نشان دهنده بهتر بودن

کارایی سیستم است [۷].

بررسی تاثیر غلظت ورودی

در فرآیند ترکیبی هوادهی- تراوش گاز با شدت

جریان مایع ۸ L/h و نسبت هوا به آب برابر ۵ و با

ثوابتی وابسته به شدت جریان و مستقل از شرایط

عملیاتی مانند دما، ترکیب خوراک و نوع مواد مورد

نظر است. در نهایت معادله کلی مقاومت براساس

شدت جریان را می توان به صورت رابطه (۲۳)

نشان داد:

(۲۳)

$$\frac{1}{K_i} = a u^n + R_m$$

جایی که R_m مقاومت غشا و a پارامتر

مرتبط با $\frac{1}{K_0}$ است.

بنابراین با رسم $\frac{1}{K_i}$ بر حسب u پارامترهای

مرتبط با رگرسیون غیر خطی مطابق جدول شماره

(۱) به دست می آید.

جدول ۱: پارامترهای بدست آمده از رگرسیون غیرخطی

برای کلروفرم، دی کلرو اتان و تری کلرو اتان و دی کلرو

متان [۷].

VOC mixture	$a(\frac{s}{cm})$	n	$R_m(\frac{s}{cm})$
$CHCl_3 / N_2$	۴۰/۲۴	۰/۹۷۲۵	۵۷/۱۱
$C_2H_4Cl_2 / N_2$	۲۸/۱۷	-۱/۳۸۳	۳۹/۴۳
$C_2H_3Cl_3 / N_2$	۳۱/۵	-۱/۲۱۶	۲۹/۹
CH_2Cl_2 / N_2			

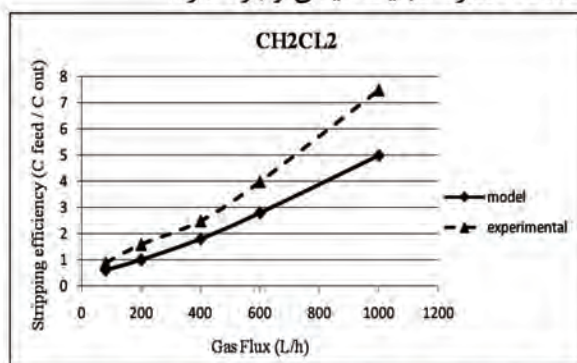
نتایج مدل ترکیبی هوادهی- تراوش گاز

از حاصلضرب فلاکس VOC's خوراک و یا

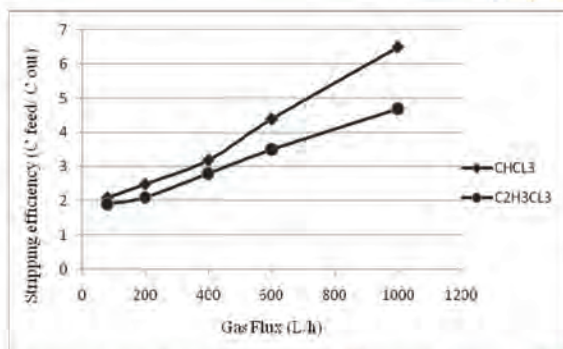
فاز نفوذ کرده در سطح مورد نظر غشا، دبی آنها

محاسبه شده و با نوشتن بیان جرمی و یا مولی،

شکل شماره (۴) نشان می دهد که افزایش شدت جریان گاز برای دی کلرومتان راندمان حذف را زیاد می کند، نتایج مدل با نتایج تجربی منتشر شده در مقاله Roizad [۸] مقایسه شده که نشان دهنده رفتار پیش بینی شده توسط مدل می باشد، البته در این مقاله از غشای PTMSP استفاده شده که با توجه به اینکه رفتار این غشا تفاوت زیادی با غشای PDMS ندارد قابلیت قیاس وجود دارد.

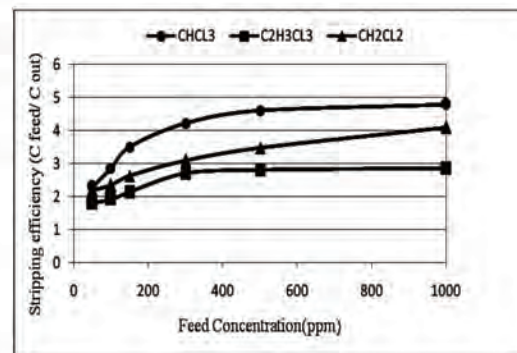


شکل ۴: تاثیر دبی گاز ورودی در سیستم هیبرید روی بازده حذف دی کلرو متان در دو حالت مدل و تجربی، دما ۴۵ درجه سانتیگراد، فشار ۱ اتمسفر و شدت جریان مایع ۴۰ (L/h)



شکل ۵: تاثیر دبی گاز ورودی در سیستم هیبرید روی بازده حذف کلروفرم و تری کلرو اتان دما ۴۵ درجه سانتیگراد، فشار ۱ اتمسفر و شدت جریان مایع ۴۰ (L/h) به این ترتیب شکل (۴) و (۵) مویید بر این نکته است که با افزایش دبی در غلظت ثابت درصد حذف در فرآیند هیبرید افزایش می یابد زیرا با توجه به اینکه افزایش شدت جریان گاز مقاومت انتقال جرم در فاز گاز را کم می کند راندمان در برج هوادهی زیادتر می شود اما در فرآیند غشایی

توجه به پارامترهای موجود برای سه ترکیب آلی کلروفرم، تری کلرو اتان و دی کلرو متان در غشای PDMS، راندمان حذف در غلظت های مختلف وارد شده به برج در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳: تاثیر غلظت ورودی در سیستم هیبرید روی بازده حذف سه ترکیب آلی دبی هوای ورودی ۴۰ (L/h)، دما ۴۵ درجه سانتیگراد، فشار ۱ اتمسفر

همان طور که از نمودار مشخص است در غلظت های بالای ۵۰۰ ppm، افزایش غلظت ماده فرار آلی در آب ورودی به برج تاثیر چندانی بر بازده حذف نمی گذارد، اما در غلظت کمتر با افزایش درصد ماده آلی در خوراک ورودی درصد نفوذ افزایش می یابد و در نتیجه راندمان حذف زیادتر است. همچنین با توجه به انتخاب پذیری بیشتر کلروفرم و تری کلرو اتان نسبت به دی کلرو متان در غشا راندمان حذف بیشتری دارند.

بررسی تاثیر دبی ورودی

در این قسمت تاثیر دبی گاز ورودی در فرآیند هیبرید هوادهی- تراوش گاز از سه ماده آلی در غلظت ورودی ۱۷۵ ppm از خوراک بررسی گردید. شکل (۴) نتایج حاصل توسط مدل ارائه شده و تجربی برای دی کلرو متان و شکل (۵) نتایج مدل برای کلروفرم و تری کلرو اتان را نشان می دهد.

های تجربی در مقاله Yeom [۷] و اینکه در اینجا تاثیر ضریب حلالیت بیشتر از ضریب نفوذ می باشد افزایش دما نفوذ پذیری در غشا را کاهش می دهد و لذا در دماهای بالا راندمان حذف آلاینده کمتر است و یک روند نزولی در شکل برای فرآیند غشایی دیده می شود. راندمان حذف در فرآیند هیبرید هواهی - تراوش گاز نیز موثر از راندمان در برج بوده و یک روند صعودی با شیب کمتر در شکل نمایان است. بنابراین انتخاب یک دمای بهینه برای دو فرایند توصیه می شود.

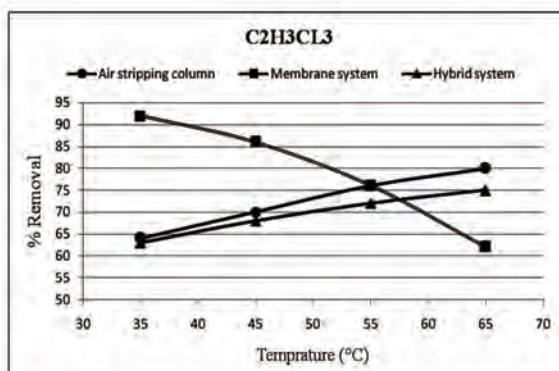
نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده و به کار گیری فرآیند ترکیبی هواهی - تراوش گاز، نشان می دهد که می توان با یک فرآیند هواهی غلظت های بالای آلاینده را از پساب دفع نمود و همچنین یک فرآیند غشایی می تواند هوای آلوده در برج هواهی را پاکسازی کرده و مقداری از آلاینده را برای مصارف دیگر جدا نماید. همچنین این فرآیند برای غلظت های زیاد VOC و شدت جریان های بیشتر هوای ورودی عملکرد بهتری دارد، اما شرایط دمایی باید برای هر دو سیستم بررسی گردد و یک دمای بهینه برای دو فرآیند پیشنهاد می گردد. همچنین می توان از دو فرآیند ترکیبی هواهی - تراوش گاز و تراوش تبخیری استفاده کرد تا علاوه بر کاهش قابل قبول VOC در آب، هوای خروجی از فرآیند هواهی را پاکسازی کرد تا از تبدیل آلودگی آب به هوا جلوگیری شود. البته استفاده همزمان از دو فرآیند غشایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد و به کارگیری این روش نیازمند بررسی مدل و شبیه سازی فرآیند می باشد.

تاثیر افزایش جریان گاز ورودی به علت کاهش درصد مولی در فاز گاز کاهش راندمان را در پی دارد اما در غلظت های خیلی زیاد راندمان حذف تقریباً ثابت است لذا در کل فرآیند هیبرید عامل افزایش راندمان در برج هواهی برتری داشته و لذا درصد حذف در مقادیر بالای شدت جریان گاز بیشتر خواهد بود.

بررسی تاثیر دما

در این قسمت تاثیر دما بر روی حذف تری کلرو اتان ($C_2H_3Cl_3$) در چهار درجه حرارت ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ سانتیگراد در فرآیندهای جداگانه هواهی و تراوش گاز و همچنین سیستم هیبرید بررسی گردید.



شکل ۶ - تاثیر درجه حرارت روی درصد حذف VOC در هر سه فرآیند دبی هوای ورودی (۴۰ L/h) دبی آب ورودی (۸ L/h) غلظت ورودی به برج ۱۷۵ ppm

شکل (۶) درصد حذف آلاینده را در فرآیندهای جداگانه برج هواهی، غشا و همچنین فرآیند هیبرید، بر حسب دما نشان می دهد. با توجه به نتایج بدست آمده افزایش دما سبب افزایش ضریب هنری ترکیب و بالا رفتن راندمان حذف در برج می شود و یک روند صعودی در شکل نمایان است، اما در این نمونه با در نظر گرفتن داده

منابع و مراجع

۱. تریبال، ترجمه دکتر طاهره کاغذ چی و دکتر مرتضی سهرابی؛ انتقال جرم، جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۱.
2. Baker R., Membrane Technology and applications, Wiley, England, 2th edition, 2004, pp 305-374.
3. Y. Yuan, M. Han and L. Wang, Mass transfer coefficient for two-phase countercurrent flow in a packed column with a novel internal, J. Chemical eng. 99, 2004, pp 273-277
4. T. M. Pico, 1998, Treatability test of a stacked-tray air stripper for VOC's in water, Lawrence Livermore National Laboratory.
5. M. Dingemans, J. Dewulf and L. Braeckman, Mass transfer characteristics for voc permeation through flat sheet porous and composite membranes, J. Membrane Sci. 322, 2008, pp 234-242
6. S. J. Lue, W. W. Chen, Vapor permeation modeling of multi-component systems using a poly(dimethylsiloxane) membrane, J. Membrane Sci. 311, 2008, pp 380-389.
7. Yeom C.k, Lee.S.H., Vapor permeations of a series of VOC's/N₂ mixtures through PDMS membrane, J. Membrane Sci, Nr. 12, South korea, September. 2002, pp 129-143.
8. Roizard D., VOC's removal from water with a hybrid system coupling a PTSMF Membrane module with a stripper. Desalination, Moscow, Septembar. 2004, pp 41-46.
9. Shah R., Pervaporation-air stripping hybrid process for removal of VOC's from groundwater. J. Membrane Sci, Colorado, April. 2004, pp 257-263.
10. Liu D., Feng, Separation of gasoline vapor from nitrogen by hollow fiber composite membranes for VOC emission control. J. Membrane sci, Canada, July. 2006, pp 114-124.
11. Wijmans G., Removal of dissolved VOCs from water with an air stripper/membrane vapor separation system. Separation science and technology, California, April. 1997, pp 2267-2287.
12. Liu L., Substrate resistance in composite membranes for organic vapor/gas separation. J. Membrane sci, Canada, April. 2009, pp. 153-160.
13. J. A. Hornoz, 2008. Toluene and ethyl acetate biodegradation by peat biofilters: respirometric and microbial community evolution monitoring, Boca Raton, Florida, USA.
14. D. A. Valero, 2008. Fundamentals of Air Pollution, 4th edition, Elsevier press, California, USA.
15. R. Muñoz, S. Villaverde, B. Guieysse and S. Revah, Research review paper: Two-phase partitioning bioreactors for treatment of volatile organic compounds, journal of Biotechnology Advances. 25, 2007, pp 410-422.
16. C. Lin, K. SH. Chien, Mass-transfer performance of rotating packed beds equipped with blade packing in VOCs absorption into water, Separation and purification technology. 63, 2008, pp 138-144.



17. S. Kim, M. A. Deshusses, Determination of mass transfer coefficients for packing materials used in biofilters and biotrickling filters for air pollution control-2: Development of mass transfer coefficients correlations, *Chemical. Engineering. Sci.* 63, 2008, pp 856-861.
18. U. Beuscher, C. H. Gooding, The influence of the porous support layer of composite membranes on the separation of binary gas mixture, *J. Membrane. Sci.* 152, 1999, pp 99-116.