

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۱۲۹۴.



دانشگاه اصفهان  
دانشکده فنی مهندسی  
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی

مدلسازی ریاضی ، شبیه سازی و بررسی عملی جذب بخارات دی متیل فرم آمید  
(DMF) و اکریلونیتریل (AN) توسط آب در یک برج جذب آکنده در واحد اکریلیک ۱

شرکت پلی اکریل ایران

استادان راهنما:

دکتر امیر رحیمی

دکتر فخری سیدین آزاد

استاد مشاور:

مهندس فرشید فرزانه

پژوهشگر:

پژمان روحی

۱۳۸۸ / ۴ / ۲

۲

بهمن ماه ۱۳۸۷

کتابخانه مرکزی علمی بزرگ  
تیم مکتب

۱۱۴۹۶۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه اصفهان است.

شبهه نگارش پایان نامه  
روایت شده است  
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان



دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی شیمی آقای پژمان روحی نجف آبادی  
تحت عنوان

مدلسازی ریاضی، شبیه سازی و بررسی عملی جذب بخارات دی متیل فرم آمید  
( DMF ) و اکریلو نیتریل ( AN ) توسط آب در یک برج آکنده در واحد اکریلیک ۱  
شرکت پلی اکریل ایران

در تاریخ ۸۷/۱۲/۵ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه بسیار خوب به تصویب نهایی رسید.

امضا  
۸۷/۱۲/۵

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه دکتر امیر رحیمی با مرتبه ی علمی استادیار

امضا

۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه دکتر فخری سیدین آزاد با مرتبه ی علمی استادیار

امضا  
فرزانه سرپرست  
۸۷/۱۲/۵

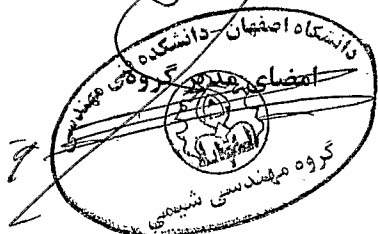
۳- استاد مشاور پایان نامه مهندس فرشید فرزانه سرپرست واحد اکریلیک ۱

امضا

۴- استاد داور داخل گروه دکتر امیرحسین نوارچیان با مرتبه ی علمی استادیار

امضا

۵- استاد داور خارج از گروه دکتر محمدرضا احسانی با مرتبه ی علمی دانشیار



## سپاس از

با سپاس و تشکر فراوان از اساتید محترم راهنمای اینجانب جناب آقای دکتر امیر رحیمی و سرکار خانم دکتر فخری سیدین آزاد که صبورانه اینجانب را در علم اندوزی یاری نمودند.

با سپاس از آقای مهندس فرشید فرزانه و سرکار خانم مهندس رشیدی که در دستیابی به داده‌های صنعتی اینجانب را یاری نمودند.

و با سپاس از کلیه اساتید گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان که با یاری ایشان زمینه اتمام این پژوهش فراهم گردید.

تقدیم به

همسرم به سبب صبوری اش،

پدر و مادرم به سبب حمایتشان

و

برادرانم

## چکیده

این پژوهش با هدف مدلسازی ریاضی و شبیه‌سازی برج‌های جذب DMF و AN واحد اکریلیک ۱ شرکت پلی‌اکریل ایران انجام گردیده است تا به کمک آن امکان بررسی رفتار و عملکرد این برج‌ها در قبال تغییرات احتمالی شرایط عملیاتی فراهم گردد.

در مدلسازی ریاضی برج‌های مورد مطالعه با استفاده از قوانین بقای جرم، انرژی و ممتوم، روابط دیفرانسیلی توزیع دمای فازهای مایع و گاز و همچنین توزیع غلظت در فاز گاز و مایع بدست آمد. با ساده سازی معادلات و استفاده از روش حل عددی، معادلات حاکم حل و کد کامپیوتری مربوط به آن توسعه داده شد.

به منظور حصول داده‌های تعادلی و تکمیل پارامترهای مورد نیاز مدل و همچنین در نظر گرفتن تاثیر انحراف از حالت ایده‌آل در فاز مایع، دستیابی به مدل‌های ضریب اکتیویته و معادله حالت مناسب ضروری بود که برای محلول دی‌متیل‌فرم‌آمید و آب مدل ضریب اکتیویته NRTL و معادله حالت PRSV از میان معادله‌های مورد بررسی مناسب‌تر شناخته شد. در خصوص محلول اکریلونیتریل و آب نیز مدل ضریب اکتیویته ون لار و ردلیچ-کیستر و معادله حالت PRSV از میان معادله‌های مورد بررسی مناسب‌تر تشخیص داده شد.

نتایج حاصل از مدل با داده‌های اخذ صنعتی اخذ شده از واحدهای عملیاتی موجود در شرکت یاد شده مقایسه و دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. این بررسی آن نشان داد که نتایج حل معادلات حاکم به شدت تاثیرپذیر از نوع روابط تجربی مورد استفاده در پیش بینی ضرایب انتقال جرم و حرارت و سطح موثر انتقال جرم است. در پایان نیز تاثیر پارامترهای عملیاتی بر نتایج عملکردی برج شامل راندمان جداسازی مورد بررسی قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** دی‌متیل‌فرم‌آمید، اکریلونیتریل، آب، جذب فیزیکی، مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	ر
<b>فصل اول - مقدمه</b>	
۱-۱- جذب و بازیابی ترکیبات آلی فرار.....	۱
۱-۱-۱- دی متیل فرم آمید (DMF)، کاربردها و عوارض.....	۳
۱-۱-۱-۱- آلودگی هوا.....	۴
۱-۱-۱-۲- آلودگی آب.....	۴
۱-۱-۱-۳- آلودگی خاک.....	۴
۱-۱-۱-۴- تاثیر بر انسان.....	۴
۱-۲-۱-۱- اکریلونیتریل (AN)، کاربردها و عوارض.....	۵
۱-۲-۱-۱- آلودگی هوا.....	۵
۱-۲-۱-۲- آلودگی آب.....	۵
۱-۲-۱-۳- تاثیر بر انسان.....	۵
۲-۱- جذب و بازیابی DMF و AN- مروری بر تحقیقات انجام شده.....	۶
۲-۱-۱- جذب و بازیابی DMF.....	۶
۲-۱-۲- جذب و بازیابی AN.....	۸
۳-۱- برج‌های آکنده.....	۸
۳-۱-۱- اجزای برج آکنده.....	۹
۳-۱-۱-۱- سیستم توزیع کننده مایع در برج.....	۹
۳-۱-۱-۲- سیستم ورودی گاز به برج‌های آکنده.....	۱۲
۳-۱-۲- برج‌های جذب DMF و AN در شرکت پلی اکریل ایران.....	۱۳
<b>فصل دوم - مروری بر مطالعات گذشته و اصول حاکم بر عملیات جذب</b>	
۱-۲- مروری بر مطالعات گذشته در خصوص مدلسازی برج‌های جذب.....	۱۴
۲-۲- اصول حاکم بر عملیات جذب.....	۱۷
۲-۲-۱- مدل‌های انتقال جرم در آکنه‌های ساختاریافته.....	۱۷



۲۰	۲-۲-۲- افت فشار در برج‌های آکنده
۲۱	۱-۴-۲-۲- افت فشار خشک
۲۲	۲-۴-۲-۲- افت فشار تر
۲۲	۲-۵-۲-۲- مدل روچا- براوو- فیر (SRP II)

### فصل سوم - مدل‌سازی ریاضی برج‌های جذب DMF و AN

۲۶	۱-۳- مدل‌سازی ریاضی انتقال جرم و حرارت
۳۰	۲-۳- روش حل مدل
۳۱	۳-۳- پارامترهای مورد نیاز
۳۲	۱-۳-۳- ضریب انتقال جرم
۳۳	۲-۳-۳- خواص آکنه‌ها
۳۴	۳-۳-۳- خواص شیمیایی و فیزیکی
۳۴	۱-۳-۳-۳- برج جذب DMF
۳۷	۲-۳-۳-۳- برج جذب AN
۳۹	۴-۳-۳- خواص ترمودینامیکی
۴۰	۱-۴-۳-۳- ضریب اکتیویته محلول DMF و آب
۴۰	۲-۴-۳-۳- ضریب اکتیویته محلول AN و آب
۴۱	۵-۳-۳- معادله‌های حالت
۴۱	۱-۵-۳-۳- محلول DMF-H <sub>2</sub> O
۴۵	۲-۵-۳-۳- محلول AN-H <sub>2</sub> O

### فصل چهارم - نتایج و تحلیل آنها

۴۸	۱-۴- برج جذب DMF
۶۴	۲-۴- برج جذب AN
۷۱	۳-۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۳	پیوست‌ها
۸۰	منابع و ماخذ

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱): قسمتهای مختلف یک برج آکنده.....	۱۰
شکل (۲-۱): انواع مختلف سیستمهای توزیع کننده مایع، الف: شاخه‌ای، ب: توزیع کننده مایع برای شدت جریانه‌های بالا.....	۱۱
شکل (۳-۱): سیستمهای ورودی گاز به برج‌های آکنده.....	۱۲
شکل (۱-۲): ابعاد کانالهای مثلثی و مسیر جریان در کانالهای آکنه.....	۲۰
شکل (۱-۳): شماتیکی از طول دیفرانسیلی از برج جذب آکنده در موازنه جرم.....	۲۷
شکل (۲-۳): شماتیکی از طول دیفرانسیلی از برج جذب آکنده در موازنه انرژی.....	۲۸
شکل (۳-۳): نمودار فشار بخار DMF در سه دمای متفاوت.....	۳۵
شکل (۴-۳): نمودار گرانیوی محلول H <sub>2</sub> O+DMF در دمای ۲۹۸ K.....	۳۶
شکل (۵-۳): نمودار فشار بخار AN در دماهای ۲۹۸ K و ۳۱۳ K.....	۳۷
شکل (۶-۳): نمودار گرانیوی محلول H <sub>2</sub> O+AN در دمای ۲۹۸ K.....	۳۸
شکل (۷-۳): نمودار VT محلول DMF و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.0001$ ).....	۴۱
شکل (۸-۳): نمودار VT محلول DMF و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.0001$ ).....	۴۲
شکل (۹-۳): نمودار VT محلول DMF و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.0001$ ).....	۴۲
شکل (۱۰-۳): نمودار VT محلول DMF و H <sub>2</sub> O ( $Y_{AN}=0.001$ ).....	۴۳
شکل (۱۱-۳): نمودار VT محلول DMF و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.5$ ).....	۴۳
شکل (۱۲-۳): نمودار VT محلول AN و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.0001$ ).....	۴۴
شکل (۱۳-۳): نمودار VT محلول AN و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.0001$ ).....	۴۵
شکل (۱۴-۳): نمودار VT محلول AN و H <sub>2</sub> O ( $Y_{DMF}=0.001$ ).....	۴۵
شکل (۱-۴): توزیع دمای فازهای گاز و مایع در طول برج جذب DMF شماره ۱.....	۴۹
شکل (۲-۴): توزیع دمای فازهای گاز و مایع در طول برج جذب DMF شماره ۲.....	۴۹
شکل (۳-۴): توزیع دمای فازهای گاز و مایع در طول برج جذب DMF شماره ۳.....	۵۰
شکل (۴-۴): توزیع کسر مولی DMF در فازهای گاز و مایع در طول برج شماره ۱.....	۵۱
شکل (۵-۴): توزیع کسر مولی DMF در فازهای گاز و مایع در طول برج شماره ۲.....	۵۲
شکل (۶-۴): توزیع کسر مولی DMF در فازهای گاز و مایع در طول برج شماره ۳.....	۵۳

- شکل (۴-۷): توزیع غلظت در طول برج جذب DMF به منظور تعیین صحت مدل و برج صنعتی..... ۵۴
- شکل (۴-۸): توزیع غلظت در طول برج جذب DMF به منظور تعیین صحت مدل و برج صنعتی..... ۵۵
- شکل (۴-۹): توزیع غلظت در طول برج جذب DMF به منظور تعیین صحت مدل و برج صنعتی..... ۵۶
- شکل (۴-۱۰): ترکیب درصد مولی خروجی از برج به ازای دبی مایع و دبی گاز ورودی متفاوت..... ۵۷
- شکل (۴-۱۱): طول برج مورد نیاز برای درصدهای مختلف جداسازی..... ۵۸
- شکل (۴-۱۲): تاثیر نسبت دبی مایع به گاز ورودی در طول برج مورد نیاز با خروجی ثابت..... ۵۸
- شکل (۴-۱۳): تاثیر نسبت دبی مایع به گاز ورودی در کسر مولی بخارات DMF خروجی از برج شماره ۱..... ۵۹
- شکل (۴-۱۴): تاثیر دمای مایع ورودی در طول برج مورد نیاز با میزان جذب ثابت..... ۶۰
- شکل (۴-۱۵): تاثیر دمای مایع ورودی در کسر مولی بخارات DMF خروجی از برج شماره ۱..... ۶۰
- شکل (۴-۱۶): اثر استفاده از روابط مختلف برای محاسبه ضریب انتقال جرم در فاز گاز بر میزان جذب..... ۶۱
- شکل (۴-۱۷): اثر استفاده از آکنه‌های مختلف بر طول برج لازم و توزیع دمای فازهای گاز و مایع برای مقدار مشخص جذب DMF..... ۶۲
- شکل (۴-۱۸): اثر استفاده از آکنه‌های مختلف بر طول برج لازم و توزیع کسر مولی DMF در فاز گاز برای مقدار مشخص جذب DMF..... ۶۳
- شکل (۴-۱۹): توزیع جرم در فازهای گاز و مایع در طول برج جذب AN..... ۶۴
- شکل (۴-۲۰): توزیع دمای گاز و مایع در طول برج جذب AN..... ۶۵
- شکل (۴-۲۱): ترکیب درصد مولی خروجی از برج به ازای دبی مایع و گاز متفاوت..... ۶۶
- شکل (۴-۲۲): تاثیر تغییر دمای مایع ورودی در ترکیب درصد خروجی AN در فاز گاز..... ۶۶
- شکل (۴-۲۳): تاثیر نسبت دبی مایع به گاز ورودی در طول برج مورد نیاز با خروجی ثابت..... ۶۷
- شکل (۴-۲۴): تاثیر نسبت دبی مایع به گاز ورودی در کسر مولی خروجی AN در فاز گاز با جداسازی ۹۹ درصد..... ۶۸
- شکل (۴-۲۵): طول مورد نیاز برای مقدار جداسازی مشخص..... ۶۹
- شکل (۴-۲۶): اثر ابعاد مشخصه آکنه ساختاریافته بر توزیع غلظت در برج با میزان جداسازی مشخص..... ۷۰
- شکل (۴-۲۷): اثر ابعاد مشخصه آکنه ساختاریافته بر توزیع دمای گاز با میزان جداسازی مشخص..... ۷۰

صفحه	عنوان
۲۵.....	جدول (۱-۲): مقادیر ثابت برای آکنه‌های مختلف.....
۳۱.....	جدول (۱-۳): روابط ارائه شده برای محاسبه ضریب انتقال جرم در فاز گاز.....
۳۹.....	جدول (۲-۳): ضرایب اکتیویته آب و DMF در محلول.....
۴۰.....	جدول (۳-۳): پارامترهای مدل ضریب اکتیویته آب و AN در محلول.....
۵۱.....	جدول (۱-۴): خطای مطلق مدل با داده‌های به دست آمده از برج جذب DMF شماره ۱.....
۵۲.....	جدول (۲-۴): خطای مطلق مدل با داده‌های به دست آمده از برج جذب DMF شماره ۲.....
۵۳.....	جدول (۳-۴): خطای مطلق مدل با داده‌های به دست آمده از برج جذب DMF شماره ۳.....
۶۵.....	جدول (۴-۴): خطای مطلق مدل با داده‌های به دست آمده از برج جذب AN.....

علائم لاتین و نشانه‌ها

$(m^2)$	سطح مقطع برج برای عبور جریان سیال	$A$
$\left(\frac{m^2}{m^3}\right)$	سطح ویژه آکنه	$a$
$\left(\frac{m^2}{m^3}\right)$	سطح موثر انتقال جرم	$a_e$
$\left(\frac{m^2}{m^3}\right)$	سطح آکنه	$a_p$
$\left(\frac{J}{mol K}\right)$	ظرفیت گرمایی ویژه	$C$
(-)	ضریب تصحیح تجربی	$C_E$
(-)	ضرایب ثابت $C_0, C_1, C_2$	$C_0, C_1, C_2$
$\left(\frac{m^2}{S}\right)$	ضریب نفوذ مولکولی	$D$
$(m)$	قطر برج آکنده	$d_c$
$(m)$	قطر معادل کانال	$d_{eq}$
$(m)$	قطر هیدرولیک کانال جریان گاز	$d_{hg}$
$\left(\frac{m}{S}\right) \left(\frac{Kg}{m^3}\right)^{0.5}$	ضریب ظرفیت گاز	$F_s$
$\left(\frac{mol}{m^2 S}\right)$	دبی گاز	$G$
$\left(\frac{mol}{m^2 S}\right)$	دبی گاز عاری از جزء جذب شونده	$G_s$
$\left(\frac{m}{S^2}\right)$	شتاب موثر گرانشی زمین	$g_e$
(-)	موجودی کلی مایع در برج	$h_t$
$\left(\frac{kJ}{m^2 S K}\right)$	ضریب انتقال حرارت	$h_i$
(-)	گام حل معادله	$h$

(m)	ارتفاع معادل یک سینی تئوری	HETP
(m)	ارتفاع یک واحد انتقال بر مبنای فیلم فاز گاز	$H_f$
(-)	عدد ثابت	$K$
$\left(\frac{kmol}{m^2 S kPa}\right)$	ضریب انتقال جرم در فاز بخار	$k_G$
$\left(\frac{m}{S}\right)$	ضریب انتقال جرم در فاز مایع	$k_L$
$\left(\frac{mol}{m^2 S}\right)$	دبی مایع	$L$
$\left(\frac{mol}{m^2 S}\right)$	دبی مایع عاری از جزء جذب شونده	$L_s$
$\left(\frac{kmol}{Kg}\right)$	جرم مولکولی	$M$
(-)	شیب خط تبادل	$m$
(-)	تعداد واحدهای انتقال	$N_t$
(Pa)	فشار	$P$
(Pa)	فشار بخار خالص A	$P_A^*$
(Pa)	فشار جزئی A	$P_A$
(m)	محیط مرطوب شده در کانال مثلثی آکنه	$P_w$
(m <sup>2</sup> )	سطح مرطوب شده در کانال مثلثی آکنه	$S_w$
(m)	طول ضلع مجاور در کانال مثلثی آکنه	$S$
(K)	دما	$T$
$\left(\frac{m}{S}\right)$	سرعت متوسط سیال	$u$
$\left(\frac{m}{S}\right)$	سرعت ظاهری فاز گاز	$U_{GS}$

$\left(\frac{m}{S}\right)$	سرعت ظاهری فاز مایع	$U_{LS}$
$\left(\frac{m}{S}\right)$	سرعت حقیقی فاز گاز	$U_{Ge}$
$\left(\frac{m}{S}\right)$	سرعت حقیقی فاز مایع	$U_{Le}$
(-)	کسر مولی در فاز مایع	$X$
(-)	جزء مولی جسم فرارتر در فاز مایع	$x_A$
(-)	کسر مولی فاز گاز	$Y$
علائم یونانی		
(-)	ضریب اصطکاک	$\Psi$
(-)	نسبت تعداد کانال‌های جریان گازی که به دیواره ختم می‌شوند	$\Psi_c$
$\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	چگالی	$\rho$
$\left(\frac{Kg}{m S}\right)$	گرانروی گاز	$\mu$
(-)	تخلخل بستر آکنه	$\varepsilon$
(deg)	زاویه کانال آکنه با افق	$\theta$
(deg)	زاویه کانال با محور عمودی برج	$\gamma$
(deg)	زاویه بین سطح جامد و فیلم ریزان مایع	$\varphi$
$\left(\frac{J}{mol}\right)$	گرمای نهان تبخیر	$\lambda_f$
(-)	ضریب اکتیویته جزء A	$\gamma_A$
(-)	فراریت نسبی	$\alpha$
(-)	نسبت شیب خط تبادل به تعادل	$\lambda$
$\left(\frac{N}{m^2}\right)$	نیروی تنش سیال با جداره	$\tau_{ms}$

زیروندها

دی متیل فرم آمید	<i>D</i>
فاز گاز	<i>G</i>
شمارشگر	<i>I</i>
فاز مایع	<i>L</i>
ترکیب گاز	<i>m</i>
کل	<i>tot</i>
آب	<i>W</i>
خشک	<i>Dry</i>
در حالت طغیان	<i>Flood</i>

اعداد بدون بعد

عدد فرود	<i>Fr</i>
عدد رینولدز	<i>Re</i>
عدد وبر	<i>We</i>
عدد پرنتل	<i>Pr</i>
عدد اشمیت	<i>Sc</i>
عدد شروود	<i>Sh</i>
عدد ناسلت	<i>Nu</i>



## پیشگفتار

امروزه جهت حذف یا بازیابی ترکیبات آلی فرار روش‌های متنوعی شامل سوزاندن، جذب توسط حلال، جذب توسط مواد جاذب و میعان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مهم با هدف رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و در بسیاری موارد با هدف بازیابی این بخارات با ارزش صورت می‌گیرد. علیرغم توسعه مبانی تئوری مربوط به فرآیند مذکور، به دلیل تفاوت رفتار ترمودینامیکی مواد جذب کننده و جاذب، بررسی موردی برای جداسازی بخارات آلی از اهمیت و ضرورت خاصی برخوردار است.

در این تحقیق موضوع جذب بخارات DMF و AN و بازیافت آنها به عنوان مواد با ارزش که در یک برج آکنده صورت می‌گیرد، مدنظر قرار خواهد گرفت. مواد یاد شده جزء خوراک واحد اکریلیک ۱ شرکت پلی‌اکریل ایران می‌باشند که به دلیل تبخیر از مخازن ذخیره خارج شده و با روش جذب توسط حلال مجدداً به چرخه فرآیند بازگشت داده می‌شوند. در این پژوهش به منظور پیش‌بینی عملکرد برج‌های مورد مطالعه، مدلسازی ریاضی با استفاده از قوانین بقاء و اصول فیزیکی حاکم بر عملکرد برج‌های موجود در این واحد انجام شده و معادلات حاکم تبیین می‌گردد. پس از توسعه مدل و تهیه بسته نرم افزاری مربوطه، نتایج مدل با نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده از برج‌های موجود، مقایسه و اصلاحات لازم بر روی مدل صورت می‌گیرد.

مدل توسعه داده شده و نرم افزار تهیه شده با هدف استفاده در جهت طراحی‌های جدید و یا بهینه‌سازی واحدهای موجود به صورت یک نرم‌افزار کاربردی تهیه گردیده است.

در فصل اول این پایان نامه در مورد جذب آلاینده‌ها و مواد مورد مطالعه و برج‌های جذب، مقدماتی بیان شده است. در فصل دوم در خصوص مطالعات صورت گرفته و اصول حاکم بر عملیات جذب صحبت به میان آمده است. در فصل سوم معادلات حاکم بر برج جذب مورد مطالعه ارائه شده و روش حل و پارامترهای مورد نیاز برای حل معادلات ارائه گردیده است. فصل چهارم نیز حاوی نتایج، تحلیل و نتیجه‌گیری و پیشنهادات است.

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱- جذب و بازیابی ترکیبات آلی فرار

ترکیبات آلی فرار<sup>۱</sup> که در اثر فعالیتهای صنعتی تولید می‌شوند، به عنوان آلاینده‌های بحرانی شناخته می‌شوند. این مواد علاوه بر تبعات زیانبار زیست محیطی، منجر به کاهش سطح سلامتی کارکنان صنعت و ساکنین هم‌جوار کارخانجات تولید کننده ترکیبات آلی فرار می‌گردند. از این رو دولت‌ها پیوسته برای آلاینده‌های خروجی از کارخانجات استانداردهای زیست محیطی وضع کرده، تشویق‌ها و تنبیهاتی را برای کنترل پراکنش اینگونه مواد به اتمسفر در نظر می‌گیرند.

کنترل آلاینده‌ها و پراکنش ترکیبات آلی فرار از دو جهت مورد توجه مدیران و مهندسين واحدهای تولیدی و کارخانجات قرار گرفته است. درنظر گرفتن ملاحظات اقتصادی بازیابی اینگونه ترکیبات، بخصوص حلال‌ها

---

<sup>۱</sup>VOCs

در کنار استفاده از مشوق‌های سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حامی محیط زیست بر رغبت مدیران صنایع برای بازیابی اینگونه ترکیبات می‌افزاید.

بخارات با ارزش حرارتی بالا و حلال‌ها، دو دسته خاص از ترکیبات آلی فرار هستند که جذب و بازیابی آنها علاوه بر کاهش عوامل زیانبار زیست محیطی از نظر اقتصادی نیز مبلغ قابل توجهی را به دارایی‌های شرکت‌ها باز می‌گرداند. به عنوان مثال طبق یک بررسی مختصر پیرامون دسته‌ای از کارخانجات تولید چرم سنتزی در کشور چین نشان داد که بازیابی حلال DMF منجر به برگشت سالانه ۸۰ تن از این نوع حلال به فرآیند تولید می‌گردد (Xie, 2003).

تبخیر ترکیبات آلی فرار از مخازن واحدهای صنعتی که به عنوان یک منبع مهم تبخیر تلقی می‌گردد، در سه بخش قابل توجه است:

- اتلافات ناشی از ورود این ترکیبات در درون مخازن یا هم زدن سیال درون مخزن
- اتلافات ناشی از تغییر ارتفاع مایع ناشی از ورود مایع جدید به تانک
- اتلافات ناشی از تغییرات دمایی روزانه یا سطحی

تاکنون روش‌های مختلفی برای جذب و بازیابی ترکیبات آلی فرار از فاز گاز مورد مطالعه قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به اکسیداسیون گرمایی (Nevers, 1995)، اکسیداسیون کاتالیستی (Tsai, 1994)، میعان سازی (Chiang et al., 2001)، PSA<sup>1</sup> (Nastaj et al., 2006)، جذب سطحی (Chiang et al., 2001)، جداسازی غشایی (Das, 2006) TSA<sup>2</sup> (Xie, 2003)، و جذب در مایع (Xie, 2003) اشاره کرد.

از میان روش‌های فوق‌الذکر، جذب سطحی، میعان‌سازی و جذب در مایع از پرکاربردترین روش‌های جذب بخارات آلی فرار هستند.

دان<sup>3</sup> و همکارش در سال ۱۹۹۴ بر روی روش میعان‌سازی به منظور جذب بخارات آلی فرار، مطالعاتی را انجام دادند که این تحقیق نیز با ساخت پایلوت و بررسی نتایج آزمایشگاهی حاصل از آن، رفتار برج را بررسی می‌کرد.

<sup>1</sup>. Pressure Swing Absorption

<sup>2</sup>. Temperature Swing Absorption

<sup>3</sup>. Dunn

این پژوهش، بدون ارائه معادلات حاکم بر انتقال جرم و حرارت برج و مدل‌سازی آن قادر به پیش‌بینی رفتار برج در شرایط مختلف و بدون استفاده از نمونه پایلوت نبود (Dunn and El-Halwagi, 1994).  
 بررسی جذب ترکیبات آلی فرار در فاز مایع و استفاده از برج‌های جذب نیز همواره مورد توجه بوده است. از آنجایی که انتخاب حلال به سبب ملاحظات فرآیندی و اقتصادی از اهمیت خاص برخوردار است، این بخش نقش تعیین‌کننده‌ای در استفاده از روش جذب در مایع دارد. یکی از مطالعاتی که پیرامون جذب در مایع صورت گرفته، جذب فرمالدهید در آب است که توسط وینکل من<sup>۱</sup> و همکارش در سال ۱۹۶۱ در قالب پایان‌نامه دوره دکتری ارائه گردید. در این تحقیق جذب شیمیایی فرمالدهید در یک برج جذب مد نظر قرار گرفته و پارامترهای تاثیرگذار بر میزان جذب بررسی گردید (Winkelman and Gerhardus, 1961).

#### ۱-۱-۱- دی متیل فرم آمید (DMF)، کاربردها و عوارض

دی متیل فرم آمید با نام اختصاری DMF به عنوان یکی از حلال‌های بسیار مهم در صنایع شیمیایی مطرح است. این ماده در دمای محیط، مایعی بدون رنگ است و بویی شبیه خانواده آمین‌ها دارد. نام‌های معادل دیگری نیز برای این ماده بکار رفته که عمومی‌ترین آنها فرم دی متیل آمین است. DMF با فرمول مولکولی  $C_3H_7NO$  در مقیاس تجاری همراه با ناخالصی‌هایی همچون آب، متانول و فرم آمید به فروش می‌رسد.  
 از خصوصیات قابل توجه DMF می‌توان به حلالیت کامل آن در آب اشاره کرد. DMF که خود به عنوان یک حلال شناخته شده است و عمدتاً به عنوان حلال مواد آلی، غیر آلی و محصولات رزینی کاربرد دارد، در دمای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در مجاورت نور و اکسیژن بصورت پایدار باقی می‌ماند. این ماده در دمای بالاتر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به مونواکسید کربن و دی متیل آمین تجزیه می‌شود (Long and Meek, 2001). از این ماده در کارخانجات تولید فیبرهای اکریلی، بخش‌های تولید مواد دارویی و چرم‌های سنتزی پایه پلی‌یورتان صنایع سلولزی و به عنوان حلال برای رزین‌های چسب‌ها، علف‌کش‌ها و اپوکسی و برای خالص‌سازی و جداسازی استیلن مورد استفاده قرار می‌گیرد (Fiorita et al., 1997).

<sup>۱</sup> Winkelman