





دانشگاه اصفهان

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی

مدل سازی ریاضی عملیات حذف آلاینده های گازی در شوینده های ونتوری

استادان راهنما:

دکتر محمدرضا طلایی

دکتر امیر رحیمی

پژوهشگر:

مهدی کریمی خسروآبادی

مهر ماه ۱۳۸۸

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



دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی شیمی آقای مهدی کریمی خسروآبادی
تحت عنوان

مدلسازی ریاضی عملیات حذف آلاینده‌های گازی در شوینده‌های ونتوری

در تاریخ ۸۸/۷/۲۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

امضا
امضا
امضا
امضا

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه دکتر محمدرضا طلایی با مرتبه ی علمی استادیار

۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه دکتر امیر رحیمی با مرتبه ی علمی استادیار

۳- استاد داور داخل گروه دکتر محمدصادق حاتمی پور با مرتبه ی علمی دانشیار

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر احمد محب با مرتبه ی علمی دانشیار

امضای مدیر گروه

از تمام کسانی که مرا در طول این مرحله یاری کرده‌اند ابراز دارم. در آغاز از استادان راهنمای عالیقدرم **جناب آقای دکتر محمدرضا طلایی و جناب آقای دکتر امیر رحیمی** کمال تشکر را دارم که در طول انجام این پایان‌نامه بنده را از نظرات خود محروم نکردند.

در ادامه از تمام عزیزانی که مرا در جمع‌آوری اطلاعات این رساله یاری کردند سپاس گزارم که در این میان باید از **جناب آقای مهندس عبدالعظیم رحیمی و جناب آقای مهندس محسن آهی و جناب آقای مهندس سید موسی فخر حسینی** برای زحمات بی‌شائبه‌شان در طول این پایان‌نامه صمیمانه قدردانی کنم. در انتها از پدر گرانقدرم که تکیه‌گاه محکمی برای من در تمام مراحل زندگیم بوده‌اند و مادر مهربانم که همواره غریق دریای رحمتش بوده‌ام، از صمیم قلب سپاسگزارم.

به امید آنکه در این فرصت کوتاه یادگیری توانسته باشم سرمستی و نشاط برآمده از آموختن را در خود پایدار و استوار گردانم؛ و باشد که اندیشه‌هایمان هرگز از شراب ناب آموختن تهی نگردد.

تقدیم به اولین معلمان و فرشتگان زندگیم

مادر عزیز و فداکارم:

که نمی از وجودش، اثار و گذشت کامل است

و نمی دیگر عشق و محبت

پدر عزیز و بزرگوارم:

که دل دریایش آموزگار چگونه زیستنم بود

خواهران مهربانم:

که سلامت و موفقیتشان آرزوی همیشگی من است

و تقدیم به دوستان عزیزمی که همچون ماه تابان

پناه شب های تاریک زندگانی من بودند.

چکیده:

جداسازی آلودگی‌های خطرناک و مضر از هوا، به منظور داشتن محیط زیست پاک و تمیز ضروری است. دی اکسید گوگرد یکی از مهمترین آلودگیهای اتمسفر می باشد که باعث ایجاد بارانهای اسیدی و به خطر افتادن سلامتی انسان می شود. در نتیجه سازمانهای محیط زیست قوانین محدود کننده‌ای جهت کاهش انتشار آلودگی به اتمسفر وضع کرده اند. روشهای متنوعی برای کنترل آلودگی استفاده می شود که یکی از معمولترین روشها استفاده از وسایل کنترل آلودگی بین منبع آلودگی و جایی که به اتمسفر وارد می شود، می باشد. شوینده‌های مرطوب از معروفترین وسایلی است که مورد استفاده قرار می گیرد. در بین شوینده‌های مرطوب، شوینده و نتوری به دلیل بازده بالا در جداسازی ذرات آلوده و همچنین جذب آلاینده‌های گازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این تحقیق مطالعات بر روی شوینده‌ی و نتوری با سطح مقطع استوانه‌ای که تزریق به صورت محوری می باشد، انجام گرفته است. مطالعات شامل توسعه مدل ریاضی حذف آلاینده SO_2 از هوا و همچنین انجام آزمایشات حذف SO_2 در و نتوری مورد نظر می باشد. توسعه مدل ریاضی حذف آلاینده‌های گازی شامل مدلسازی مسیر حرکت جت مایع در حین فرآیند اتمیزاسیون، مدل سازی پخش قطرات، پیش بینی تعیین غلظت آلاینده در گاز و پیش بینی غلظت آلاینده در قطرات می باشد. با ارائه‌ی یک مدل دو بعدی و در نظر گرفتن مسیر نفوذ جت به عنوان نقاط تولید قطرات، توزیع غلظت قطرات بدست آمده است. مدلی شبیه مدل توزیع غلظت قطرات برای پیش بینی غلظت آلاینده در فاز گاز بکار رفته است و به منظور محاسبه‌ی ضریب فعالیت از مدل بر همکنش یونی پیترز استفاده شده است.

آزمایشات شامل اندازه گیری توزیع غلظت قطرات و تعیین غلظت آلاینده در فاز مایع می باشد. به منظور بررسی تاثیر شرایط عملیاتی بر عملکرد شوینده، آزمایشات در سرعتهای متفاوت گاز (۶۰، ۷۵ و ۸۵ متر بر ثانیه) و دبیهای متفاوت مایع (۱، ۲ و ۴ لیتر بر دقیقه) انجام شده است. مقایسه پیش بینی‌های مدل با نتایج تجربی نشان می دهد که مدل داده‌های آزمایشگاهی را بخوبی پیش بینی می کند.

کلید واژه‌ها: شوینده و نتوری، مدلسازی جذب دی اکسید گوگرد، مدلسازی توزیع غلظت قطرات، نفوذ جت

مایع، اتمیزاسیون جت مایع

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول
۱.....	۱-۱- مقدمه.....
	فصل دوم تحقیقات انجام شده تا کنون
۶.....	۱-۲- اتمیزاسیون.....
۹.....	۲-۲- اندازه قطره:.....
۱۷.....	۳-۲- توزیع غلظت قطرات:.....
۲۱.....	۴-۲- جذب.....
	فصل سوم مدل سازی ریاضی
۲۷.....	۱-۳- توزیع غلظت قطره:.....
۲۸.....	۲-۳- مدلسازی مسیر جت مایع در فرآیند اتمیزاسیون:.....
۳۱.....	۳-۳- سرعت قطره:.....
۳۱.....	۴-۳- نفوذ گردانه ای.....
۳۴.....	۵-۳- توزیع اندازه قطره:.....
۳۵.....	۶-۳- ضریب درگ.....
۳۷.....	۷-۳- توزیع غلظت آلاینده در فاز گاز:.....
۳۷.....	۸-۳- محاسبه سرعت انتقال جرم:.....
۴۰.....	۹-۳- توزیع غلظت آلاینده در فاز مایع:.....
۴۱.....	۱۰-۳- ضریب انتقال جرم فاز گاز:.....
۴۲.....	۱۱-۳- ضریب انتقال جرم فاز مایع:.....
۴۲.....	۱۲-۳- محاسبه غلظت‌های تعادلی:.....
۴۲.....	۱-۱۲-۳- غلظت‌های تعادلی سطح مشترک:.....
۴۳.....	۲-۱۲-۳- غلظت‌های تعادلی توده مایع:.....
۴۳.....	۳-۱۲-۳- محاسبه ضریب فعالیت:.....
۴۴.....	۱-۱۳-۳- معادله Debye-Huckel:.....
۴۴.....	۲-۱۳-۳- مدل Pitzer.....

صفحه	عنوان
۴۸.....	۱۴-۳- روش حل معادلات:
۴۸.....	۱-۱۴-۳- تولید شبکه.....
۵۳.....	۲-۱۴-۳- گسسته سازی
۵۶.....	۳-۱۴-۳- حل معادلات.....
۵۷.....	۴-۱۴-۳- الگوریتم ماتریس سه قطری
۶۲.....	۵-۱۴-۳- حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی:.....
۶۳.....	۱۵-۳- آزمایشات:
۶۳.....	۱-۱۵-۳- شرح دستگاه:.....
۶۴.....	۲-۱۵-۳- آماده سازی دستگاه برای اندازه گیری توزیع غلظت قطرات.....
۶۵.....	۳-۱۵-۳- اندازه گیری توزیع غلظت قطرات:.....
۶۵.....	۴-۱۵-۳- اندازه گیری غلظت آلاینده در فاز مایع.....

فصل چهارم نتایج و بحث

۶۹.....	۱-۴- توزیع غلظت قطرات.....
۶۹.....	۱-۱-۴- نتایج حاصل از اندازه گیری توزیع غلظت قطرات.....
۷۵.....	۲-۱-۴- مقایسه پیش بینی مدل با نتایج تجربی.....
۸۷.....	۲-۴- میزان جذب SO_2

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۱.....	۱-۵- نتیجه گیری.....
۹۲.....	۲-۵- پیشنهادات.....
۹۳.....	منابع و ماخذ.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ نمایی از شوینده و نتوری.....
۷	شکل ۱-۲ مسیر جت، نفوذ جت (l^*) و ماکزیمم نفوذ جت در مرکز (l^{**}) (Viswanathan et al. 1983).....
۲۷	شکل ۱-۳ المان حجمی استوانه ای.....
۲۹	شکل ۲-۳ مسیر جت مایع برای دو حالت عمودی و محوری.....
۳۲	شکل ۳-۳ نمایی از تغییرات سرعت در جریان متلاطم.....
۳۶	شکل ۴-۳ مقایسه ی پیش بینی درگ.....
۴۷	شکل ۵-۳ مقایسه پیش بینی غلظت‌های تعادلی.....
۴۸	شکل ۶-۳ فلوجارت محاسبه‌ی توزیع غلظت قطرات.....
۴۹	شکل ۷-۳ فلوجارت محاسبه‌ی توزیع غلظت آلاینده در فاز گاز و مایع.....
۵۱	شکل ۸-۳ فلوجارت محاسبه‌ی غلظت‌های تعادلی و سرعت انتقال جرم.....
۵۳	شکل ۹-۳ قسمتی از یک تقسیم بندی دو بعدی.....
۵۹	شکل ۱۰-۳ تقسیم بندی شوینده و نتوری به المانهای کوچک.....
۶۷	شکل ۱۱-۳ نمایی از سیستم آزمایشگاهی (Talaie et al., (2009).....
۶۸	شکل ۱۲-۳ نمایی از سیستم نمونه گیر (Talaie et al., (2009).....
۷۱	شکل ۱-۴ تاثیر افزایش دبی مایع بر روی توزیع غلظت قطرات در سرعت گاز برابر ۷۵ متر بر ثانیه.....
۷۲	شکل ۲-۴ تاثیر افزایش دبی مایع بر روی توزیع غلظت قطرات در سرعت گاز برابر ۸۵ متر بر ثانیه.....
۷۳	شکل ۳-۴ تاثیر افزایش دبی مایع بر روی توزیع غلظت قطرات در سرعت گاز برابر ۶۰ متر بر ثانیه.....
۷۴	شکل ۴-۴ تاثیر افزایش سرعت گاز در دبی مایع برابر ۴ لیتر بر دقیقه.....
۷۵	شکل ۵-۴ اتمیزاسیون جت مایع.....
۷۷	شکل ۶-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۱ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۷۵ متر بر ثانیه.....
۷۸	شکل ۷-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۲ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۷۵ متر بر ثانیه.....
۷۹	شکل ۸-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۴ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۷۵ متر بر ثانیه.....

عنوان

صفحه

- شکل ۹-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۲ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۸۵ متر بر ثانیه ۸۰
- شکل ۱۰-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۴ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۸۵ متر بر ثانیه ۸۱
- شکل ۱۱-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۲ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۶۰ متر بر ثانیه ۸۲
- شکل ۱۲-۴ مقایسه‌ی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش بینی مدل در دبی مایع برابر ۴ لیتر بر دقیقه و سرعت گاز برابر ۶۰ متر بر ثانیه ۸۳
- شکل ۱۳-۴ مقایسه‌ی داده‌های آزمایشگاهی با پیش‌بینی مدل در مقادیر مختلف عدد پکلت ۸۴
- شکل ۱۴-۴ مقایسه‌ی پیش بینی مدل در دو حالت در نظر گرفتن دینامیک جت و صرف نظر کردن از آن ۸۵
- شکل ۱۵-۴ مقایسه پیش بینی مدل با داده‌های آزمایشگاهی در دو حالت استفاده از قطر متوسط و توزیع اندازه‌ی قطره ۸۶
- شکل ۱۶-۴ مقایسه‌ی پیش بینی غلظت آلاینده در مایع با داده‌های آزمایشگاهی ۸۸
- شکل ۱۷-۴ تغییرات غلظت آلاینده در طول گلوگاه از نقطه‌ی تزریق تا انتهای گلوگاه برای قطرات جاری در مرکز گلوگاه ۸۹
- شکل ۱۸-۴ تغییرات غلظت آلاینده در طول گلوگاه از نقطه‌ی تزریق تا انتهای گلوگاه برای قطرات جاری در نزدیک دیواره ۹۰

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۴	جدول ۱-۲ معادلات تجربی قطر متوسط و شرایط کاربرد آنها.....
۱۶	جدول ۲-۲ آزمایشات انجام شده بر روی اندازه قطره در شوینده و نتوری.....
۲۰	جدول ۳-۲ مقایسه سه مدل Gancalves et al., 2004 و Viswanathan, 1997 و Fathikalajahi et al., 1995.....
۳۹	جدول ۱-۳ ثوابت تعادلی واکنشهای (۲) تا (۴) (Kawazuishi and Prausnitz, 1987, Tsonopoulos et al., 1976).....
۳۹	جدول ۲-۳ ثابت هنری برای حلالیت SO ₂ در آب خالص (Rumpf and Maurer, 1992).....
۴۱	جدول ۳-۳ روابط ضریب انتقال جرم فاز گاز (Tosun, 2006).....
۴۴	جدول ۴-۳ پارامترهای معادله ی Rabinson and Stokes, 1959 . (Sevilla et al., 2002, Lorent et al., 1992).....
۴۶	جدول ۵-۳ پارامترهای مدل برهمکنش یونی pitzer در ۲۷۳/۱۵ کلوین.....
۵۶	جدول ۶-۳ تعیین ضرایب مرکزی معادله‌ی گسسته شده از روش بالا دست.....
۵۶	جدول ۷-۳ محاسبه‌ی ضرایب مرکزی معادله‌ی گسسته شده.....

نمادها

(m^2)	سطح مقطع گلوگاه	A
$(No./m^3)$	غلظت قطرات	C_d
$(gmol/lit)$	غلظت گاز	C_g
$(gmol/lit)$	غلظت مایع	C_l
(بدون بعد)	ضریب درگ قطرات	C_D
(m)	قطر	D
(m^2/s)	ضریب نفوذ جزء A	D_A
(m)	قطر متوسط قطرات	D_{32}
(m)	قطر جت مایع	D_j
(بدون بعد)	فاکتور تشدید	E
(m^2/s)	ضریب نفوذ گردانه‌ای قطرات	E_d
(m^2/s)	ضریب نفوذ گردانه‌ای گاز	E_g
$(atm.lit/gmol)$	ثابت هنری	He
(mol/kg)	قدرت یونی	I
(m^2/s)	شتاب گرانشی	g
$(No./m^2.s)$	شار مولکلی قطرات	J
(m/s)	ضریب انتقال جرم کلی	K_G
(m/s)	ضریب انتقال جرم فاز گاز	K_g
(m/s)	ضریب انتقال جرم فاز مایع	K_l
(lit/m^3)	نسبت دبی مایع به گاز	L/G
$(kg/m.s)$	سرعت جرمی کاهش جرم جت	\dot{m}
(Kg)	جرم قطره	m
$(No/m^2.s)$	شار کلی قطرات	N
$(gmol/m^2.s)$	سرعت انتقال جرم جزء A	N_A
(بدون بعد)	تعداد گروه‌های قطرات	N_d
(بدون بعد)	عدد پکلت	N_{Pe}
(بدون بعد)	عدد رینولدز	N_{Re}

N_{Sc}	عدد اسمیت	(بدون بعد)
N_s	تعداد نقاط تولید قطره	(بدون بعد)
P	فشار	(atm)
r	فاصله‌ی شعاعی	(m)
S	سرعت تولید قطره	(No./m ³ .s)
Sh	عدد شروود	(بدون بعد)
V_d	سرعت قطرات	(m/s)
V_g	سرعت گاز	(m/s)
V_{go}	سرعت گاز در گلوگاه	(m/s)
v'_g	سرعت نوسانی گاز	(m/s)
v'_d	سرعت نوسانی قطرات	(m/s)
z	فاصله‌ی طولی	(m)

حروف یونانی

γ	ضریب فعالیت	
ν	ویسکوزیته‌ی دینامیکی	(m ² /s)
μ	ویسکوزیته	(Kg/m.s)
σ	کشش سطحی	(Kg/s ²)
$\lambda_{m\sigma}$	مینیمم طول موج	(m)
ρ	دانسیته	(Kg/m ³)

زیرنویس‌ها و بالانویس‌ها

A	جزء A
b	توده
d	قطره
g	گاز
J	جت مایع
l	فاز مایع
w	آب

فصل اول

۱-۱- مقدمه

امروزه آلودگیهای قابل توجهی از دود کشهای صنعتی وارد اتمسفر می شود. این آلودگیها می تواند آثار مخرب و زیان باری بر روی محیط زیست و همچنین انسان داشته باشد. همین امر باعث شده که قوانین محدود کننده ای از سوی سازمانهای محیط زیست وضع شود. در نتیجه کنترل آلودگی گازهای خروجی مورد توجه قرار گرفته است. این کار به سه روش کلی انجام می گیرد:

۱- تغییر فرآیند یا تغییر در شرایط عملیاتی فرآیند، به منظور کاهش انتشار آلودگی

۲- تغییر در نوع سوخت مصرفی که باعث ایجاد آلودگی می شود

۳- استفاده از وسایل کنترل آلودگی بین منبع آلودگی و جایی که به اتمسفر وارد می شود

در خیلی از مواقع تغییر در فرآیند و نوع سوخت امکان پذیر نیست و یا ممکن است نتیجه مطلوب ندهد در

نتیجه کاربرد وسایل تصفیه گاز در واحد های صنعتی ضروری است.

یکی از این وسایل که کاربرد فراوان در جذب گاز و جدا سازی ذرات معلق از گازها پیدا کرده است، شوینده ی ونتوری^۱ می باشد. این وسیله در طبقه شوینده‌های مرطوب قرار می گیرد. مزایای استفاده از شوینده ی ونتوری نسبت به دیگر شوینده های مرطوب عبارتند از:

- ۱- طراحی و نصب آسان
 - ۲- هزینه و سرمایه ی پایین
 - ۳- کاربرد در محدوده ی وسیعی از نسبت دبی مایع به گاز (L/G) و همچنین دمای بالا
 - ۴- همزمانی جذب آلاینده‌ها و جمع آوری ذرات از جریان گاز
 - ۵- بازده بالا
 - ۶- توانایی تغییر بازده
 - ۷- توانایی حمل ذرات سمی و اشتعال پذیر با کمترین خطر
 - ۸- نیاز به فضای کم
 - ۹- عدم وجود اجزاء متحرک در ساختار آن
- از عیوب آن می توان به زمان تماس کوتاه و نیاز به انرژی بالا جهت ایجاد جریان متلاطم مناسب به منظور امتیازسیون و افت فشار نسبتا بالای آن اشاره کرد .
- شوینده ی ونتوری از سه قسمت همگرا^۲، گلوگاه^۳ و واگرا^۴ تشکیل شده است که معمولا سطح مقطع آن دایره ای یا مستطیلی می باشد. این ساختار برای ایجاد کمترین افت فشار است. شکل ۱-۱ نمایشی از آن را نشان می دهد. در این نوع شوینده جریان گاز هنگام ورود با عبور از قسمت همگرا شتاب پیدا می کند و به قسمت گلوگاه که دارای سطح مقطع ثابت است، می رسد. مایع که عموما آب است به دو صورت تزریق می شود:
- ۱- تزریق فیلمی^۵: در این حالت تزریق از بالای قسمت همگرا به گونه ای انجام می شود که مایع بصورت فیلم روی دیواره ی قسمت همگرا جریان داشته باشد.

¹ Venturi scrubber

² Convergent

³ Throat

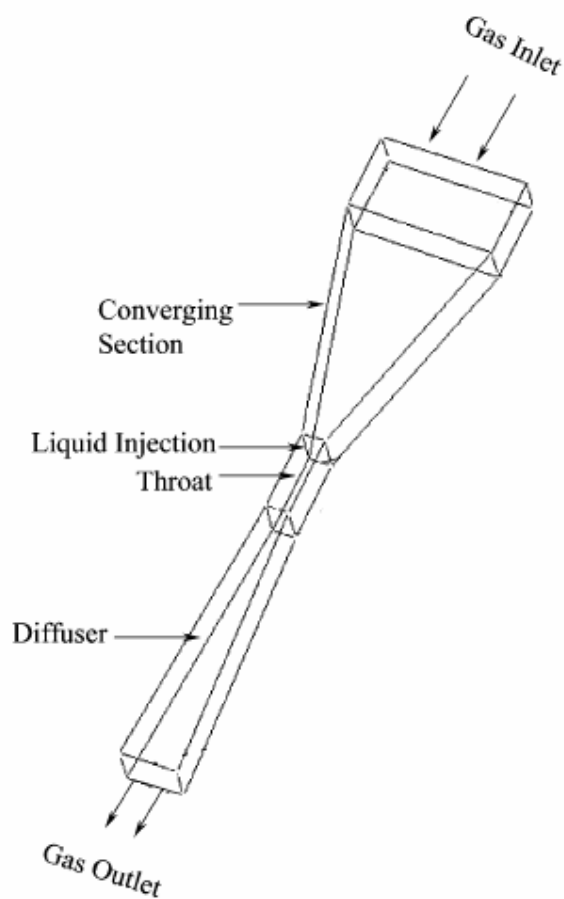
⁴ Divergent

⁵ Wetted aproch

۲- تزریق اسپری^۱: مایع توسط نازل یا اریفیس بصورت موازی^۲ و یا عمود بر محور شوینده تزریق می

شود.

البته نوع تزریق دیگری نیز وجود دارد که مایع بصورت قطره به دستگاه تزریق می شود. این وسایل را شوینده ونتوری افشانه ای^۳ می نامند. بعبور مایع از اریفیس و ورود به جریان گاز، به دلیل اندازه حرکت جریان گاز، فرآیند اتمیزاسیون^۴ شروع می شود و به تدریج جت مایع تا ناپدید شدن آن، به قطرات ریز تبدیل می شود.



شکل ۱-۱ نمایی از شوینده ونتوری

¹ Pease-Anthony

² Axial injecton

³ Ejector-venturi scrubber

⁴ Atomization

قطرات باعث افزایش سطح تماس و در نتیجه افزایش جدا سازی ذرات و همچنین پدیده‌ی جذب می شود. فرآیند اتمیزاسیون به معنی شکست مایع به قطرات ریز تعبیر می شود. قطرات و جریان گاز، پس از عبور از گلوگاه، وارد قسمت واگرا می شوند. افزایش سطح مقطع قسمت واگرا باعث کاهش سرعت جریان گاز و قطرات می شود و بخشی مهمی از فشار باز یافت می شود. به منظور جدا سازی قطرات از گاز از وسایلی نظیر سیکلون می توان استفاده کرد. به طور کلی مکانیسم یک شوینده ی و نتوری شامل مراحل زیر است:

۱- شتاب پیدا کردن گاز برای رسیدن به سرعت مناسب

۲- تزریق مایع به جریان گاز

۳- اتمیزاسیون جت مایع و تبدیل آن به افشانه ای از قطرات

۴- تماس جریان گاز با قطرات در قسمت گلوگاه

۵- بازیافت فشار در قسمت واگرا

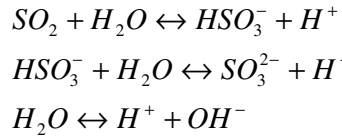
۶- جدا سازی قطرات از گاز خروجی از شوینده

پارامترهای مهمی وجود دارند که بر عملکرد شوینده ی و نتوری اثر می گذارد مانند نسبت دبی مایع به گاز، قدرت میدان یونی در مایع، اندازه ی قطره، توزیع اندازه ی قطره، توزیع غلظت قطره در گلوگاه، سرعت گاز در گلوگاه، مکانیسم اتمیزاسیون، سرعت انتقال حرارت و جرم به قطره یا از قطره، شکل هندسی و نتوری، نفوذ جت مایع^۱ و... که محققین زیادی طی سالها به بررسی آنها پرداخته اند.

از شوینده ی و نتوری سالهاست که برای کنترل آلودگی هوا به منظور جداسازی ذرات استفاده می شود اما توجه کمتری به آن برای جذب آلاینده های گازی از قبیل SO₂ و H₂S شده است. شوینده های و نتوری که جهت جدا سازی ذرات به کار می روند عموماً بر اساس فرآیند برخورد فیزیکی^۲ عمل می کنند اما اساس کار شوینده های و نتوری که برای جذب SO₂ یا دیگر اجزاء شیمیایی از جریان گاز به کار می رود بر مبنای انتقال جرم همراه با واکنش شیمیایی می باشد. اگر از مایع با pH بالا برای جذب SO₂ استفاده شود، SO₂ جذب شده در قطره بر طبق واکنش

¹ Jet penetration

² Physical inertial impaction



عمل می کند و کاهش غلظت SO_2 در قطره منجر به افزایش جذب می شود.

بطور کلی می توان مکانیسم جذب در شوینده و نتوری را به صورت زیر بیان کرد:

۱- نفوذ جزء مورد نظر از توده گاز به سطح تماس دو فاز

۲- انحلال جزء مورد نظر در مایع

۳- نفوذ جزء مورد نظر در توده مایع

در این گزارش در فصل ۲ مطالعات گذشته آورده شده است. این فصل شامل چهار بخش اتمیزاسیون،

اندازه‌ی قطره، توزیع غلظت قطره و جذب می باشد

در فصل ۳ مدلسازی ریاضی که شامل مدلسازی توزیع غلظت قطرات، مدلسازی مسیر جت مایع و

مدلسازی غلظت آلاینده در فاز گاز می باشد توضیح داده شده است. در ادامه چگونگی حل معادلات و انجام

آزمایشات آورده شده است.

در فصل ۴ نتایج آزمایشگاهی و پیش بینی مدل مقایسه شده است و در فصل ۵ نتایج و پیشنهادات آورده

شده است.

فصل دوم

تحقیقات انجام شده تا کنون

اختراع ونتوری اسکرابر در سال ۱۹۲۵ ثبت شده است. اما عملاً از سال ۱۹۴۷ وارد فرآیند های صنعتی شده است. از آن سال تا کنون تلاشهای زیادی برای پیش بینی عملکرد این وسیله شده است. برای اینکه بتوان یک درک صحیح از عملکرد ونتوری داشت باید کلیه پارامترهایی که بر عملکرد شوینده تاثیر می گذارند را شناسایی و مطالعه کرد. به همین منظور محققین زیادی تحقیقات تجربی و تئوری متنوع و گوناگون انجام داده اند که در زیر به برخی اشاره می شود.

۲-۱- اتمیزاسیون

در شوینده های ونتوری مایع معمولاً از اریفیس هایی که در ابتدای گلوگاه قرار دارد، تزریق می شود. جت مایع به محض عبور از اریفیس به علت نیروی درگ گاز، یک مسیر منحنی شکل را طی می کند. (البته این حالت برای شوینده های ونتوری با تزریق عمود بر محور اتفاق می افتد) قطرات در طول این مسیر تولید می شوند. بازده شوینده ها، تحت تاثیر پارامترهایی از قبیل تعداد، سرعت نسبی و توزیع قطرات می باشند. به عبارت دیگر این فاکتورها با ویژگی های جت از قبیل سرعت، قطر، مسیر و نفوذ جت در جریان گاز و مکانیسم اتمیزاسیون تعیین می گردد. به ویژه نفوذ جت - که به صورت مسافت طی شده ی جت تا قبل از اتمیزاسیون کامل تعریف می شود- یکی از مهمترین فاکتور های تعیین کننده ی توزیع غلظت قطرات است. شکل ۲-۱ نفوذ جت مایع برای