کمینه کردن ضایعات و کاهش آلودگی در یک واحد پتروشیمی

فرهاد شهرکی[1*]، محمد رضا علی اسفندیاری[1]، داوود رشتچیان[2]

۱. زاهدان، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت

۲. تهران، دانشگاه صنعتی شریف

rashtchian@sharif.edu

fshahraki@hamoon.usb.ac.ir

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

آلودگی یک مفهوم کلی با تاثیرات واقعی بر روی محیط زیست و سلامتی انسان می باشد. امروزه بحثهایی پیرامون گستره تاثیرات آن و روشهای تعدیل آن وجود دارد، اما ساده ترین راه برای کمینه کردن آلودگی، جلوگیری از تولید آن می باشد.

یکی از آلاینده ها در صنایع پتروشیمی، پسابهای واحد اوره هستند. کمینه کردن پساب توسط ابزار اصلاح فرآیند و طراحی فرآیند معمولاً قویترین راه برای کاهش آلودگی است. در این مقاله، واحد پساب اوره پتروشیمی شیراز مورد بررسی قرار گرفته و برای آن روشی اصلاحی ارائه گردیده است که طبق آن می توان به غلظت اوره خروجی به پائین تر از ۱۰ppm قبل از تخلیه به محیط زیست رسید. ضمنا سیستم پساب با استفاده از نرم افزار HYSYS شبیه سازی شده و نتایج آن صحت این روش را تایید می کند.

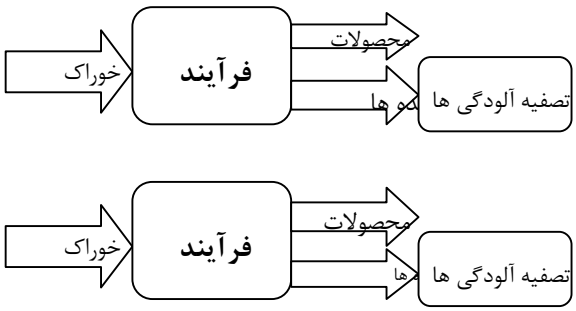
کلمات کلیدی: کمینه کردن پساب، پیشگیری از آلودگی، واحد پساب اوره

مقدمه

آلودگی یک مفهوم کلی با تاثیرات واقعی بر روی محیط زیست و سلامتی انسان می باشد. از آنجا که عملیات صنعتی تاثیرات مهمی بر محیط زیست دارند لذا بخاطر ویژگی مواد فرآیندی ناگزیر هستیم که برخی از پسابها را به خارج از تاسیسات فرآیندی انتقال و آنها را تخلیه کنیم. با این وجود، نوع، مقدار و درصد سمی بودن این مواد و پسابها بستگی به طراحی فرآیند و کارهای عملیاتی از لحاظ قیود فنی و زیست محیطی دارد. هنگامیکه این پسابهای صنعتی به هوا، زمین، یا منابع آبی تخلیه شوند، وارد چرخه زیست محیطی شده که در نهایت بر سلامتی انسان و تا حدودی بر قالب محیط زیست تاثیر می گذارند[1].

هنگامیکه پساب را تولید می کنیم نمی توانیم آنرا نابود کنیم، اما پسابها را می توان تغلیظ کرد و حالت فیزیکی آنرا تغییر داد تا در آن تغییرات شیمیایی پدید آورد. اما نمی توان آن را از بین برد. مشکل بسیاری از سیستمهای تصفیه موجود اینست که آنها نمی توانند مسئله ضایعات را بطور کامل حل کنند، بلکه فقط آنرا جابجا می کنند اما ساده ترین راه برای کمینه کردن آلودگی جلوگیری از تولید آن در مرحله اول است، که این همان مفهوم پیشگیری و جلوگیری از آلودگی است. اگر مقدار ضایعات در همان منبع تولید به حداقل برسد نه تنها هزینه تصفیه کاهش می یابد، بلکه هزینه های مواد اولیه نیز کم می شود.

در مقابل، اغلب روشهای تجاری برای مدیریت آلودگی و اغلب مقررات موجود، بر روی کنترل انتشارات از خروجی ها متمرکز هستند. این روشها نیازمند لوازم و وسایل فنی مختلف و پیرو آن هزینه های گوناگون می باشند، به عبارت دیگر برای کنترل آلودگی خروجی ها، معمولاً نیازمند هزینه های عملیاتی بیشتری هستیم. شکل (۱) سود دو جانبه حاصل از کمینه کردن ضایعات را نشان می دهد[2].



شکل۱- سود حاصله از کمینه کردن آلاینده ها

عملکرد زیست محیطی صنایع و جلوگیری از آلودگی

امروزه تلاشهای صنعتی و علمی مهمی به منظور توسعه روشهای طراحی با هدف صرفه جویی انرژی و کاهش پساب در گستره زیادی از صنایع و شرکتهای شیمیایی (مانند صنایع پتروشیمی، دارویی، غذایی، پلاستیک و...) صورت گرفته است. کنترل و جلوگیری از تولید پساب و ضایعات از نظر زیست محیطی حدود ۲۰ سال می باشد که اهمیت ویژه ای پیدا کرده است. این مفهوم را جلوگیری از آلودگی، کاهش منبع و کمینه کردن ضایعات می نامند. اما هر سه دارای مضمون کاهش پساب می باشند. ایده و هدف اصلی در آنها اینست که بهتر است که تولید پساب نداشته باشیم تا اینکه بخواهیم به فکر تصفیه یا دفع آن باشیم.

معمولاً، صنایع فرآیندی برای بهینه کردن بازدهی و کیفیت طراحی شده و کار می کنند. لذا پسابها در بخش جانبی برای منطبق کردن جریانهای خروجی با مقررات از نظر سمی بودن و زیست محیطی پالایش می شوند. در گذشته نه چندان دور، پسابها بدون اینکه تصفیه شوند به محیط زیست تخلیه می شدند و این تخلیه های نادرست هنگامی مورد توجه قرار گرفت که به موارد اثر آن بر سلامتی و ایمنی پی برده شد و مورد توجه عموم قرار گرفت. با افزایش فشار عمومی و سخت تر شدن قوانین زیست محیطی و نظارت های بیشتر زیست محیطی صنایع فرآیندی، رویکرد مخصوصی به طراحی و ایفای فرآیندهای تمیز (Cleaner Processes) بوجود آمد.

فرآیند های تمیز آن دسته از فرآیند هایی هستند که در مراحل طراحی آنها موارد توجه به سلامتی انسان و محیط زیست مورد توجه قرار گرفته باشد و پیآمد آن کاربرد مواد بی خطر و غیر سمی یا اصلاحات فرآیندی برای کاهش تولید پسابها و ضایعات یا حذف آنها می باشد. این مفهوم بازدارندگی پیشگیری از آلودگی، پایه و اساس قانون کنترل آلودگی می باشد که کنگره آمریکا در سال ۱۹۹۰ آنرا تصویب کرد. کنترل آلودگی طبق قانون، به معنی « کاهش منبع » و سایر فعالیتهایی که منجر به کاهش یا حذف آلاینده ها از طریق:

(۱) افزایش بازدهی در استفاده از مواد خام، انرژی، آب یا سایر منابع

(۲) حمایت از منابع طبیعی بوسیله صرفه جویی می شود، می باشد[3].

متون مهندسی شیمی سرشار از دستورالعملهای مفید کاربردی برای جلوگیری و کنترل یا پیشگیری از تولید پساب و ضایعات در صنایع شیمیایی است. اما شیوه ها و روشهایی نیز وجود دارند که از نگرش سازمان یافته در تحلیل و رفع یا کاهش ضایعات و آلاینده ها برخوردارند و گرایشی به سمت بررسی بنیادی، نظری و ارائه راه حل در چارچوب طرحهای مفهومی در آنها مشاهده می شود. این روشها در واقع اساس مهندسی آینده را تشکیل می دهند و امروزه در سطوح مختلفی از تکامل قرار دارند. میزان استفاده از این روشها در صنعت در مناطق مختلف دنیا متفاوت و رو به گسترش می باشد. اما بطور کلی، می توان گفت این گروه از بیشترین استعداد برای تکمیل شدن برخوردارند. میزان بکارگیری کامپیوتر در این روشها بدلیل ماهیت مفهومی و بنیادی آنها (که عموماً بررسی گزینه های مختلف طراحی را طلب می کند) بسیار زیاد و رو به گسترش است[4]. فعالیت واحد اوره از عمده ترین عوامل آلودگی در مجتمع پتروشیمی شیراز می باشد. یکی از این آلاینده ها پساب خروجی از واحد اوره می باشد. پسابهای واحد اوره، عمدتاً حاوی مقادیر کمی آمونیاک و اوره هستند که بایستی توسط سیستم دفع گرفته شوند. در کنار آن شسته شدن گرد و غبار و مواد خام (اوره) با آب باران و ریخته شدن آن به رودخانه نیز از عوامل مهم آلودگی بشمار می رود.

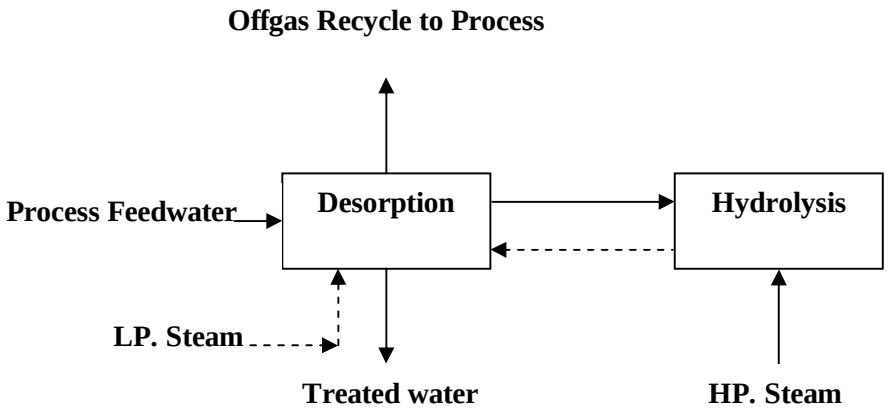
برای این منظور و با توجه به سیستم دفع پساب واحد اوره و تجهیزات آن، نوع فرآیند و وجود آلاینده های مختلف از جمله اوره، آمونیاک، دی اکسید کربن و کربامات آمونیم و تبدیل و تغییر فاز هر یک از این مواد در این سیستم و وجود واکنش تعادلی در این سیستم به نظر می رسد که در این سیستم بهتر است به بررسی بهینه سازی درون واحدی و رساندن مقادیر خروجی آلاینده ها از پساب خروجی به مقدار استاندارد بپردازیم که در حقیقت به بررسی استراتژی طراحی تولید تمیز(Cleaner Production) باز می گردد.

شرح فرآیند

از واکنش آمونیاک و دی اکسید کربن، کربامات آمونیم تولید می شود و سپس کربامات به اوره و آب تجزیه می گردد. در فرآیند تولید اوره چون تبدیل بطور کامل صورت نگرفته، لذا مقداری آمونیاک و دی اکسیدکربن بصورت واکنش نکرده همراه محلول اوره از راکتور خارج می شود. برای استحصال اوره ابتدا کربامات آمونیم را در چندین مرحله و در فشارهای مختلف تجزیه می کنند که در اثر این کار دی اکسید کربن و آمونیاک حاصل می شود که بهمراه آمونیاک از محلول خارج شده و معمولاً به راکتور بازگردانده می شوند.

از آخرین مرحله تبخیر یک محلول آبی اوره بدست می آید که هنوز حاوی مقداری آمونیاک بصورت محلول و دی اکسید کربن می باشد. آمونیاک و دی اکسید کربن توسط فرآیند انبساط در فشار اتمسفری یا حتی در فشارهای پایین تر جدا می شوند. باقیمانده محلول آبی اوره بوسیله عمل تبخیر یا تبلور، تغلیظ شده و به قسمت دانه بندی فرستاده می شود. در یک واحد اوره با ظرفیت ۱۵۰۰ تن در روز، ۴۵۰ تن در روز آب در اثر واکنش تولید می شود. درچنین واحدهایی معمولاً ۳۰۰ تن در روز آب اضافی به واحد خورانده می شود. لذا در مجموع، تقریباً ۷۵۰ تن در روز آب بایستی از فرآیند خارج شود. این میعانات فرآیندی معمولاً حاوی ۲ الی ۹ ٪ وزنی امونیاک، ۰/۳ الی ۱/۵ ٪ وزنی اوره و ۰/۸ الی ۶ ٪ وزنی دی اکسیدکربن می باشند. این داده ها نشان می دهد که مقدار عمده ای از مواد اولیه و محصول در این میعانات وجود دارند که بایستی بطور کامل جدا و بازیابی شوند. بعلاوه اگر، میعانات را بدون جداسازی اوره، آمونیاک و دی اکسید کربن وارد محیط یا رودخانه ها کنند موجب آلودگی آب و محیط می شود که در بسیاری از کشورها اجازه ورود چنین جریانهای آلوده ای را به محیط زیست نمی دهند.

برای جداسازی اوره، آمونیاک و دی اکسیدکربن از میعانات فرآیند، همانطور که در شکل ۲ بصورت شماتیک نشان داده شده است ابتدا اوره موجود در این میعانات را تجزیه کرده، سپس عمل دفع آمونیاک و دی اکسیدکربن انجام می گیرد.



شکل۲ – نمودار جریانی مرحله Wastewater Treatment

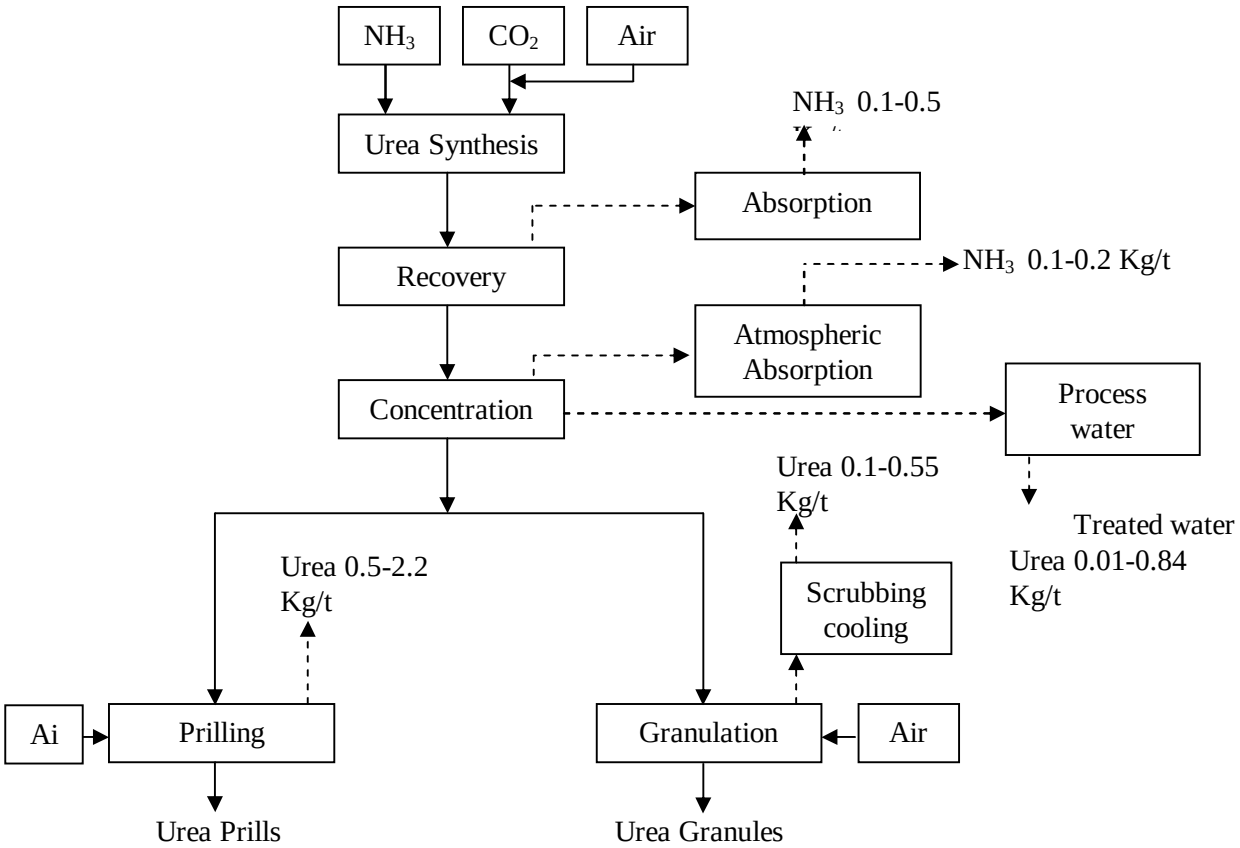
استانداردهای زیست محیطی

با توجه به مقررات زیست محیطی و استانداردهای بین المللی، پسابهای واحد اوره که جزء یکی از آلاینده ها در صنایع پتروشیمی محسوب می شوند باید در محدوده انتشاری مجاز باشند. در سال ۲۰۰۰ انجمن صنعتگران کود شیمیایی اروپا (EFMA) کتابچه هایی را با عنوان بهترین راهکارهای موجود (Best Available Techniques) تهیه کرده و در اختیار عموم قرار دادند. این کتابچه ها عموماً مربوط به محدوده های نشری مجاز و قابل دسترسی می باشند و حاوی دو گونه محدوده نشری می باشند:

۱- برای واحدهای موجود که کنترل آلودگی در آنها توسط نوسازی و اصلاح فرآیند و یا راه حلهای انتهای خطی (End of Pipe) انجام شده است.

۲- برای واحدهای جدید که کنترل آلودگی در طراحی فرآیند آنها صورت گرفته است. (انتگراسیون فرآیند در آنها پیاده شده است)

با توجه به ظرفیت واحدهای اوره که معمولاً ۱۵۰۰ تن در روز است، مقادیر نشری از منابع و مقادیر مجاز نشری برای واحدهای پساب اوره در شکل ۳ و جداول ۱ و ۲ آورده شده است.[5]



شکل ۳- دیاگرام منابع نشری و مقادیر آنها برای واحدهای جدید

جدول ۱- مقادیر نشری مجاز برای واحدهای جدید

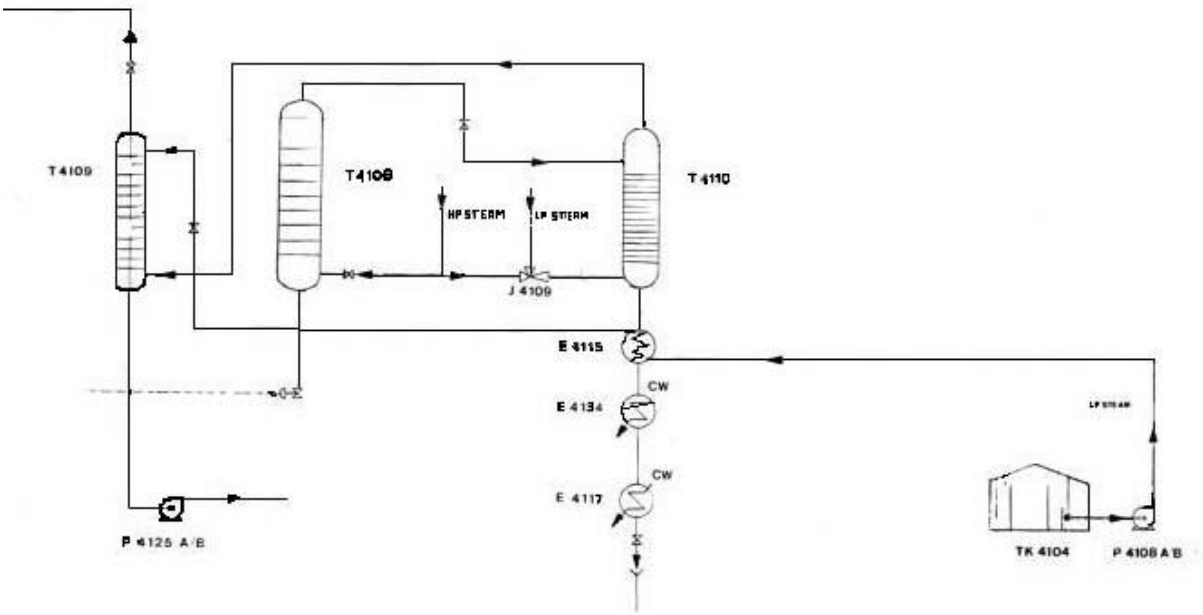
اوره	۱ mg/l	۰/۰۰۰۵ $\frac{Kg}{tone\ Product}$
آمونیاک	۵ mg/l	۰/۰۰۲۵ $\frac{Kg}{tone\ Product}$

جدول ۲- مقادیر نشری مجاز برای واحدهای موجود

اوره	۱۵۰ mg/l	۰/۱ $\frac{Kg}{tone\ Product}$
آمونیاک	۱۵۰ mg/l	۰/۱ $\frac{Kg}{tone\ Product}$

مطالعه موردی

مجتمع پتروشیمی شیراز به عنوان اولین واحد تولیدی صنایع پتروشیمی ایران، در سال ۱۳۴۲ به منظور تولید کودهای شیمیایی ازته آغاز بکار نمود. این مجتمع در ۴۵ کیلومتری شیراز و در مجاورت رودخانه کر واقع گردیده است.[6] شمای ساده شده سیستم تصفیه پساب واحد اوره شیراز در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- سیستم دفع پساب واحد اوره شیراز

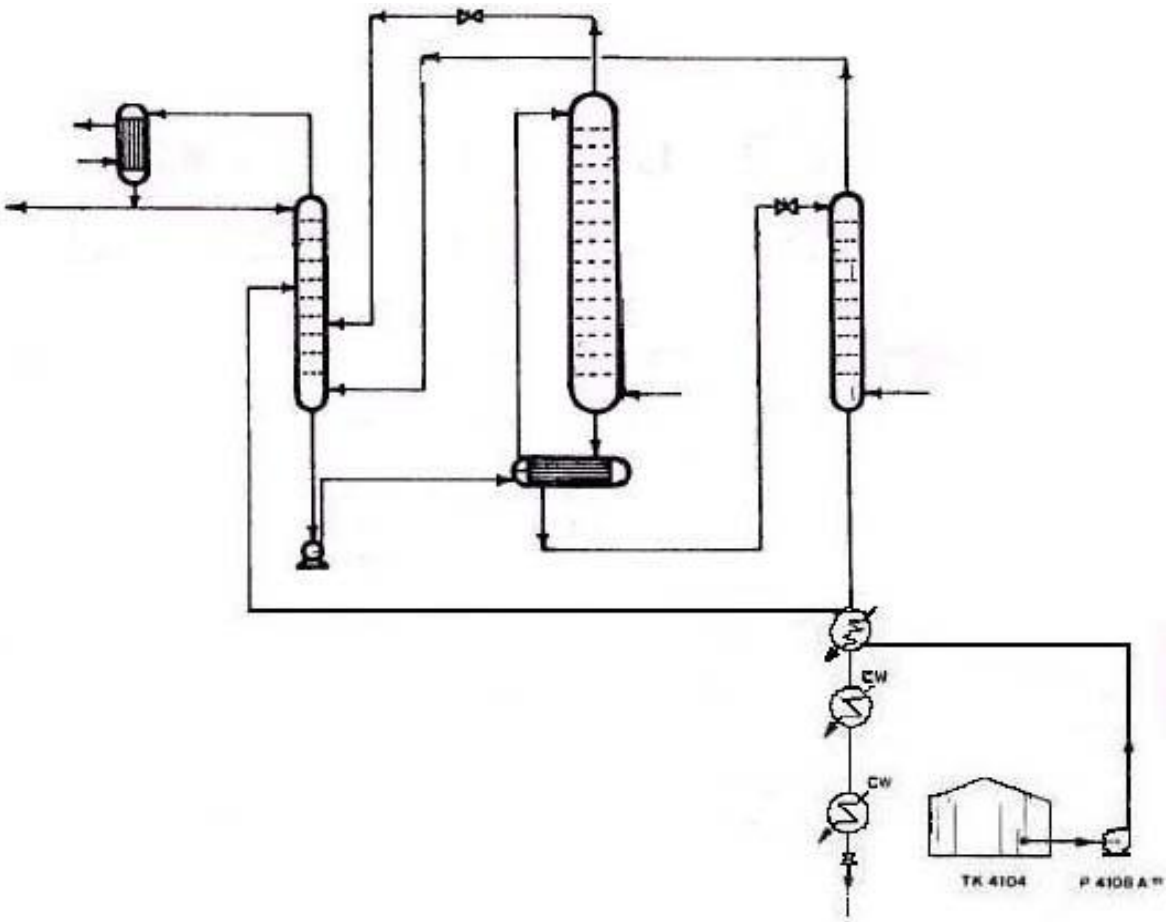
با توجه به شکل ۴، ابتدا میعانات فرآیند را در تانکی که برای جمع آوری میعانات تعبیه شده، با استفاده از پمپ و پس از عبور از یک تبادلگر گرمایی، وارد یک مرحله دفع در فشار پایین نموده و مقداری از آمونیاک و دی اکسید کربن آن جدا می شود. سپس محلول بدست امده توسط پمپ همراه با بخار فشار بالا به زیر برج هیدرولایزر فرستاده می شود. در این برج واکنش تجزیه اوره که یک واکنش تعادلی می باشد صورت می گیرد:

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \leftrightarrow 2NH_3 + CO_2 \qquad (۱)$$

جریان خروجی از این برج که هنوز حاوی اوره بوده و مقداری آمونیاک و دی اکسیدکربن بصورت محلول در خود دارد، پس از انبساط وارد برج دفع دیگری می شود که عمل دفع در آنجا توسط بخار با فشار پایین صورت می گیرد. جریان مایع خروجی از زیر برج دفع دوم بعد از تبادل گرمایی با میعانات فرآیندی از فرآیند خارج می شوند.

ارائه روش اصلاحی

با توجه به آنچه در مباحث فوق بیان شد سیستم اصلاحی مطابق شکل ۵ پیشنهاد می شود:



شکل ۵- سیستم اصلاحی واحد دفع پساب اوره

با توجه به شکل ۵ مشاهده می شود که در این سیستم محلول ورودی به ستون هیدرولایزر بصورت همسو با بخار وارد این ستون می شود و به همین خاطر بخاطر تماس نامناسب میعانات با بخار درصد اوره و آمونیاک نهایی نسبتاً بالا می باشد و از طرف دیگر بهتر است که درصد آمونیاک و اوره را در ستون دفع اول تا حدی که ممکن است پایین بیاوریم تا عمل دفع این مواد در ستونهای دیگر بهتر و در مدت زمان کمتری صورت گیرد. به عبارت دیگر زمان ماند و اقامت را بتوانیم در ستون واکنشی کاهش دهیم. به همین خاطر جریان میعانات را قبل از آنکه وارد برج هیدرولایزر شوند وارد برج پیش دفع اولیه می کنیم. این برج در فشار ۱ تا ۵ بار کار می کند. با قرار دادن یک کندانسور در بالای برج دفع اولیه، جریان گازی خروجی از بالای ستون پیش دفع بصورت جزئی کندانس شده و مقداری از آن به عنوان جریان برگشتی(Reflux) به ستون برگشت داده می شود. قسمت اعظم آن به قسمت سنتز اوره برگشت داده می شود و بدین وسیله اساساً حدود ۷۵ ٪ آمونیاک در ستون پیش دفع حذف می شود و مقدار درصد آمونیاک به زیر ۱ ٪ وزنی که مقدار مطلوب می باشد می رسد.

در این روش از بخار نه تنها به عنوان عامل حرارتی و گرماده بلکه بعنوان عامل دفع و عاری سازی استفاده می شود. بدین ترتیب که میعانات فرآیند توسط تماس بخار در فشار بین ۱۵ تا ۴۲ بار و دمای ۲۰۰ تا ۳۲۰ درجه سانتی گراد در برج هیدرولایزر عاری سازی شده و مخلوط گازی بوجود آمده شامل آمونیاک، دی اکسیدکربن و بخار آب از بالای برج بیرون آمده و محلول آبی نسبتاً عاری از آمونیاک، دی اکسیدکربن و اوره از پایین برج بیرون می آید. بدین ترتیب می توان به غلظت جریان خروجی به پائین تر از ۱۰ ppm نیز رسید. جریان بخار آب شامل آمونیاک و دی اکسید کربن که از بالای برج واکنشی خارج می شود را می توان مستقیماً به عنوان بخار عاری ساز و عامل دفع در ستون دفع اول استفاده نمود. بدین ترتیب بخار بعنوان عامل دفع و هم بعنوان عامل حرارتی استفاده می شود.

مدلسازی و شبیه سازی فرآیند

با استفاده از امکانات نرم افزارهای شبیه سازی می توان مدلهای دقیقی برای بررسی های زیست محیطی فرآیند ها ارائه و مورد بررسی قرار داد. این نرم افزارها امکان وارد کردن اطلاعات پایه ای واکنشها و خصوصیات دستگاهها و عملیات واحد و شرایط عملیاتی فرآیندها را فراهم می کنند. مدلهای ترمودینامیکی دقیق اینگونه نرم افزارها مبنای مناسبی برای محاسبات و پیشگویی شرایط واقعی است. در این مقاله از نرم افزار HYSYS برای شبیه سازی فرآیند مورد نظر استفاده شده است. در اختیار داشتن خواص فیزیکی و شیمیایی مواد و معادله حالت مناسب در شروع شبیه سازی الزامی است.خواص مواد موجود در فرآیند در جدول ۳ نشان داده شده اند .

جدول۳- خواص مواد موجود در فرآیند

نام ماده	نقطه جوش نرمال ($^{\circ}C$)	وزن ملکولی	چگالی (Kg/m^3)	$T_c(^{\circ}C)$	$P_c(KPa)$	V_c ($m^3/Kgmol$)
اوره	۵۹۸/۳	۱۰۳/۰۸	۱۰۶۸/۹	۷۷۰/۵۲	۹۹۷/۳۱	۱/۷۵۳۷
کربامات آمونیم	۱۹۱//۸۵	۶۰/۰۶	۱۲۳۰	۴۳۱/۸۵	۹۰۵۰	۰/۲۱۸
دی اکسید کربن	-۷۸/۵۵	۴۴/۰۱	۸۲۵/۳۴	۳۰/۹۵	۷۳۷۰	۰/۰۹۳۹
آب	۱۰۰	۱۸/۰۲	۹۹۷/۹۹	۳۷۴/۱۵	۲۲۱۲۰	۰/۰۵۷۱
آمونیاک	-۳۳/۴۵	۱۷/۰۳	۶۱۶/۰۷	۱۳۲/۴	۱۱۲۷۶/۹	۰/۰۸۰۴

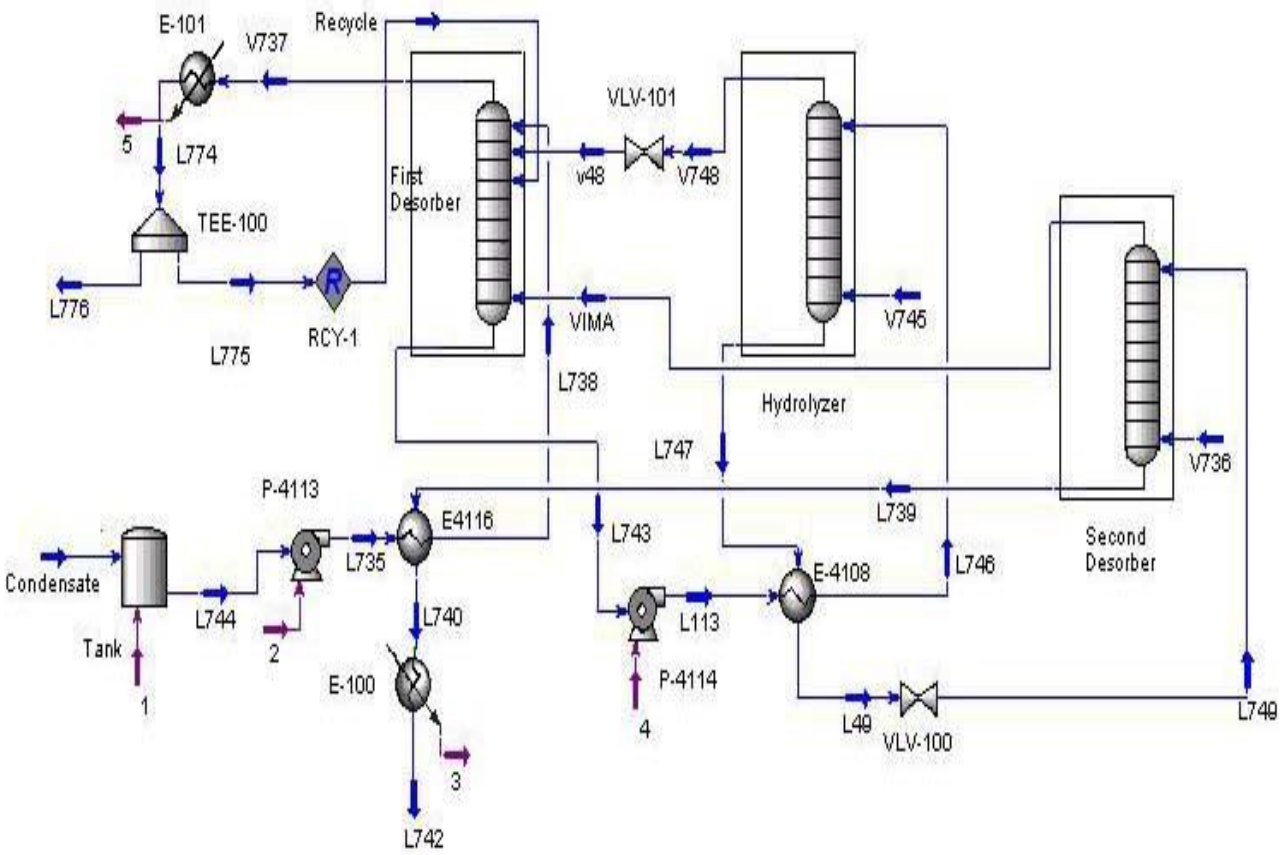
برای شبیه سازی سیستم دفع واحد اوره، ابتدا تجهیزات را جداگانه شبیه سازی نموده و سپس شبیه سازی کل سیستم انجام گرفت. از طرفی اگر چه اوره موجود در کتابخانه نرم افزار بصورت جامد تعریف شده است ولی حالت فیزیکی اوره موجود در فرآیند به صورت مایع است. لذا برای تعریف خواص آن از Virtual Material Group به عنوان یک مرجع استفاده شده است.[8] برای انتخاب معادله حالت مناسب، با توجه به غیر ایده آل بودن جریانهای موجود که عمدتاً محلولهای آبی آمونیاک، اوره و دی اکسید کربن می باشند از معادله حالت Wilson استفاده شد.[9]

ضرایب دوتایی در مورد معادله ویلسون برای مواد فرآیند توسط نرم افزار تخمین زده می شوند، که البته دارای خطا می باشد. جهت جلوگیری از بوجود آمدن خطا مقادیر ضرایب تصحیح شده اند. ضرایب تصحیح در جدول ۴ نشان داده شده اند.

جدول۴- ضرایب معادله ویلسون پس از تصحیح

نام ماده	دی اکسید کربن	آمونیاک	آب	کربامات	اوره
دی اکسید کربن	-	-۳۵۳۴	۶۷۶/۲۷۸	-۳۸۴۲/۷	-۲۱۰۰/۷
آمونیاک	۶۹/۶۸	-	۰	۱۲۷۲/۰۹	۲۳۴/۰۶
آب	-۱۸۳/۶۹۱	۰	-	۱۱۸۲	۱۸۶۲/۶۲
کربامات	۶۹/۶۸	۱۵۹۵	۱۱۳۵	-	۱۷۱/۰۸
اوره	۶۹/۶۸	۶۵۰	۱۰۵۰	۱۹۷/۹۴	-

از نکات مهم دیگر در شبیه سازی انجام شده، توجه به واکنش تعادلی هیدرولیز اوره در ستون هیدرولایزر می باشد که می بایست آنرا در قسمت واکنشی نرم افزار تعریف نماییم. تصویری از مدل فرآیند که در این نرم افزار ایجاد شده است در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۶- مدل شبیه سازی شده سیستم دفع واحد اوره

با توجه به نتایج شبیه سازی، مقدار غلظت استاندارد خروجی اوره از آخرین برج دفع، یعنی پایین تر از ۱۰ppm می باشد. نتایج شبیه سازی برای جریانهای خروجی از ستونهای هیدرولایزر و دفع دوم در جدول ۵ نشان داده شده اند. برای بهتر شدن نتایج شبیه سازی می توان با تغییر متغیرهای سیستم کار به نتایج مطلوب دست یافت. با توجه به عملیاتی که در ستونها اتفاق می افتد، افزایش دما و کاهش فشار باعث بهبود عملکرد ستونها می شود و این نیز مستلزم تغییر فشار جریانهای ورودی به سیستم می باشد. با افزایش دبی بخار برای یک جریان مایع ورودی معین، مشاهده می شود که می توان به غلظتهای اوره و آمونیاک کمتر، در جریان خروجی از سیستم رسید .

نتیجه گیری

با توجه به سیستم دفع پساب واحد اوره شیراز، روشی اصلاحی در نظر گرفته شده است که توسط آن به بهینه سازی سیستم پرداخته می شود و می توان از این طریق مقدار غلظت اوره در جریان خروجی از واحد را به مقدار استاندارد برای تخلیه به محیط زیست رساند. اساس این روش کاهش مقدار آمونیاک محلول، در ناحیه پیش دفع تا مقدار ۳٪ وزنی و پایین تر و تزریق بخار به ستون واکنشی بصورت جریان متقابل با جریان مایع ستون پیش دفع می باشد. همچنین می توان از گازهای خروجی از برج هیدرولایزر به عنوان عامل دفع و حرارتی در برج پیش دفع استفاده کرد. استفاده از نرم افزار شبیه سازی کامپیوتر HYSYS نقش عمده ای در تسریع محاسبات و اطمینان از صحت روشها و عملیات را نشان می دهد.

جدول ۵- مقایسه نتایج گرفته شده از شبیه ساز با مقادیر PFD

	درصد وزنی اجزاء در جریان خروجی از هیدرولایزر و درصد خطای نسبی			درصد وزنی اجزاء در جریان خروجی از برج دفع دوم و درصد خطای نسبی		
	مقدار PFD	مقدار محاسبه شده	درصد خطا	مقدار PFD	مقدار محاسبه شده	درصد خطا
دی اکسید کربن	۰/۰۱۰۳۰	۰/۰۱	۲/۹	-	-	-
آمونیاک	۱/۶۱۰	۱/۶۳	۱/۲۴	۱ ppm	۱/۰۷۵ ppm	۷/۵
آب	۹۸/۳۸	۹۸/۳۶	۰/۰۲	۱۰۰	۱۰۰	-
اوره	-	-	-	۱ ppm	۰/۸۸۶ ppm	۱/۴
	سایر مشخصات جریان			سایر مشخصات جریان		
دما ($^{\circ}C$)	۲۰۷	۲۰۶/۲۷	۰/۳۵	۱۳۴	۱۳۴	-
فشار (Kg/cm^2)	۲۰/۳	۲۰/۳	-	۳/۱	۳/۱	-
دبی (Kmole/hr)	۲۱۰۳/۰۸۶	۲۱۰۴/۱۸	۰/۰۵۲	۲۰۸۱/۸۱	۲۰۸۱/۸۱	-

منابع و مراجع

1. Rossiter, A. P., "Waste Minimization through Process Design", McGraw-Hill, Inc., 1995.

2. Smith, R. and E. Petela, "Waste Minimization in the Process Industries, Pt.1: The Problem, the Chem. Engr., pp 24-25, 31 Oct. 1991.

3. Subhas, K. S. and M. M. El-Halwagi, "Process Design Tools for the Environment", McGraw-Hill, Inc., 1995.

4. Nourai, F., D. Rashtchian, and J. Shayegan, "Targeting for Pollution Prevention through Process Simulation," Waste Management,Vol. 20, No. 8, pp 671-675, 2000.

5. EFMA, "Production of Urea and Urea Ammonium Nitrate", Booklet No.5 of 8, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry, European Fertilizer Manufacturers Association, 2000.

۶. طرح گسترش مجتمع پتروشیمی شیراز، امور بهره برداری و راه اندازی مجتمع پتروشیمی شیراز، شهریور ۱۳۶۲.

7. HYSYS, "Process Simulation Basis", Hyprotech Ltd., 1998.

8. Satyro, M. A., Li Yau-Kun, R. K. Agarwal and O. J. Santollani, "Modeling Urea Processes. A New Thermodynamic Model and Software Integration Paradigm", From the Virtual Material Group, Presented at the Chemical Engineers' Resource .www.virtualmaterials.com.

9. Smith, J. M. and H. C. Van Ness, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", 3rd Ed., Mc Graw-Hill, 1985.