



# ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه فردوسی مشهد - آبان ۱۴۰۰

# کنگره همین

## کواہی ارائه مقاله

بدین وسیله کواہی می شود که مقاله با عنوان

راه کارهای کاربردی کاهش میزان آب در جریان کاربامات ارسالی از حلقه کاربامات به واحد تولید اوره

بانویسنگی: سجاد هدشی، محمدعلی فنائی و علی گرمروdi اصیل

در هفدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران که در تاریخ ۱۸ تا ۲۰ آبان در گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید، مورد پذیرش قرار گرفته و ارائه شده است.

مهدی پورافشاری  
دبیر کنگره

وحید تقی خانی  
دبیر انجمن مهندسی شیمی ایران

اکبر شاهسوند  
دبیر علمی کنگره

## راه کارهای کاربردی کاهش میزان آب در جریان کاربامات ارسالی از حلقه کاربامات به واحد تولید اوره

سجاد هدشی<sup>۱</sup>، محمدعلی فناei<sup>۲\*</sup>، علی گرمودی اصلی<sup>۳</sup>

مشهد، دانشگاه فردوسی، گروه مهندسی شیمی

sajihed@gmail.com  
fanaei@um.ac.ir

### چکیده

در این مقاله با استفاده از نرم افزار اسپن پلاس ورژن ۱۰، شبیه سازی واحد اوره صورت گرفت. راه کاری به منظور کاهش میزان آب موجود در حلقه کاربامات در فرآیند اوره ارائه گردید. اجرای راه کار ارائه شده از لحاظ فنی بررسی شد و محاسبات اقتصادی جهت اجرای تغییرات در نظر گرفته شده انجام گرفت. نتایج حاکی از آن بود که با تغییر دما و استفاده از یک جداکننده دوفازی در حلقه کاربامات، می توان میزان آب موجود در این فرآیند را حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت کاهش داد. همچنین میزان اوره تولیدی نیز حدود ۶۰۰ کیلوگرم بر ساعت افزایش می یابد.

**کلمات کلیدی:** شبیه سازی، اسپن پلاس، واحد اوره، کاهش میزان آب، حلقه کاربامات

### نکات بر جسته پژوهش

- شبیه سازی واحد اوره به انجام رسید.
- راه کاری برای کاهش میزان آب در حلقه کاربامات ارائه گردید.
- بررسی فنی و اقتصادی جهت انجام اصلاحات مربوطه صورت پذیرفت.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه بجنورد

## ۱- مقدمه

پس از آمونیاک، اوره یکی از مهم ترین محصولات پتروشیمی می باشد. از مهم ترین کاربردهای اوره می توان به استفاده از آن در صنعت کود شیمیایی و همچنین استفاده از آن جهت تولید ملامین اشاره نمود. اوره به صورت فله ای ذخیره و نگهداری می شود و با اکثر مواد کود سازگار است. با افزایش ترکیبات عمدۀ در سراسر جهان، در صورت حفظ کیفیت، استفاده از اوره نیز گسترش خواهد یافت. از آنجا که صنعت کود جهانی در تلاش است مواد معنی بیشتری را به اشکال قابل قبول و با حداقل هزینه تأمین کند، اوره در خط مقدم بازارهای جهانی باقی خواهد ماند [۱]. در پتروشیمی خراسان که یکی از بزرگترین پتروشیمی های کشور می باشد، از اوره برای تولید ملامین استفاده می شود. در فرآیند تولید اوره پتروشیمی خراسان، پس از بازطراحی صورت گرفته توسط شرکت کازاله، مقدار آب موجود در حلقه کاریامات زیاد شده و بنابراین در مسیر تولید اوره مشکلاتی ایجاد گردیده است. با کاهش میزان آب در این فرآیند، از ظرفیت تجهیزات، استفاده حداکثری حاصل می شود و میزان تولید اوره افزایش خواهد یافت.

## ۲- شبیه سازی

### ۲-۱- شرح فرآیند

واحد اوره خیلی گسترده می باشد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، این فرآیند شامل سه بخش اصلی است. بخش اول که بخش فشار بالای فرآیند می باشد، شامل واکنش کربن دی اکسید و آمونیاک و تبدیل آنها به کاریامات و اوره می باشد. در این راکتور واکنش تعادلی تولید کاریامات از کربن دی اکسید و آمونیاک (واکنش ۱) انجام می شود و سپس جریان های بخار و مایع خروجی از راکتور اولیه به راکتور تولید اوره ارسال می شود.



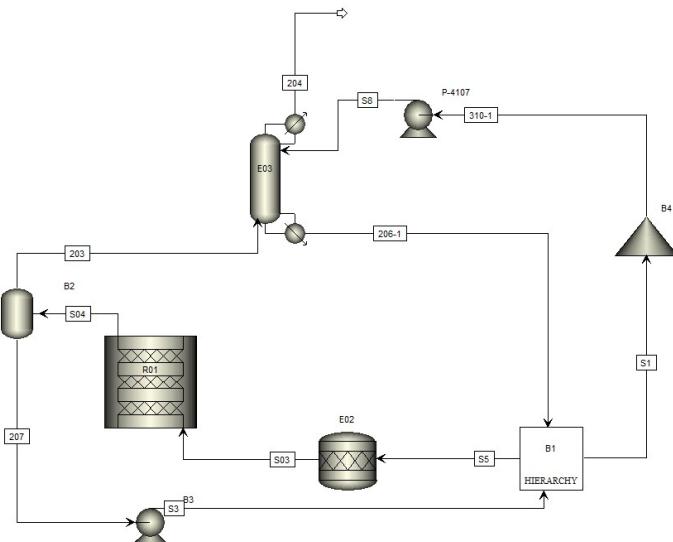
در راکتور اوره که یک برج واکنشی دارای دیواره می باشد جریان بخار در تعادل با جریان مایع بوده و واکنش های تعادلی ۱ و ۲ نیز انجام می شوند.



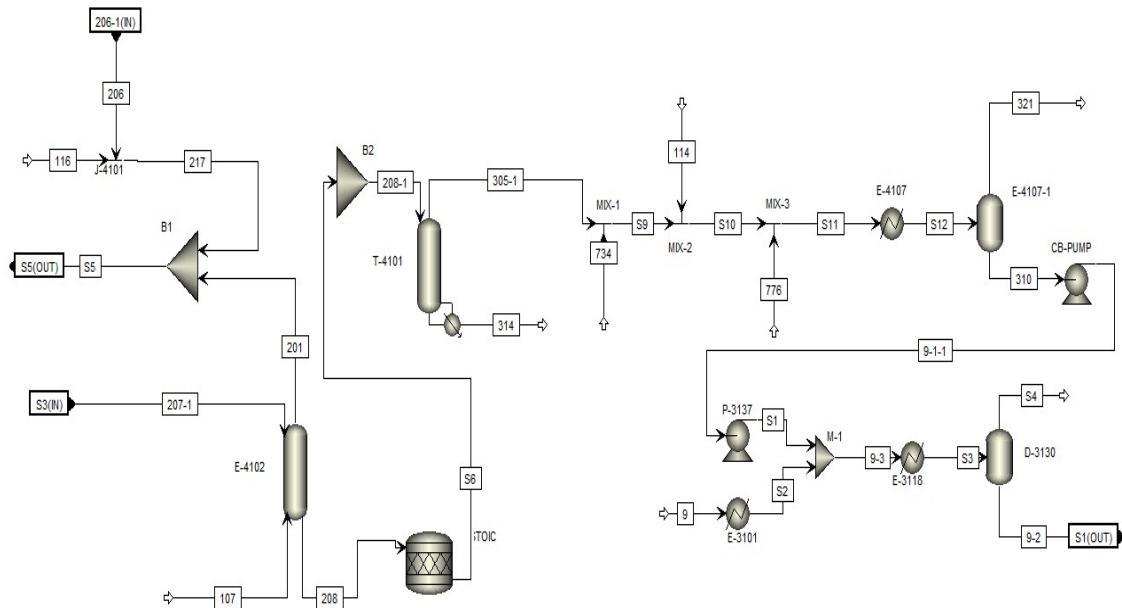
فشار این بخش در محدوده ۱۴۱ kg/sqcm-۱۴۶ قرار دارد.

بخش دوم که بخش فشار پایین می باشد، شامل خالص سازی اوره و همچنین جداسازی کربن دی اکسید و آمونیاک موجود در جریان های گازی خروجی است. در این بخش جریان اوره تولیدی در راکتور اوره پس از دفع گازهای کربن دی اکسید و آمونیاک به جریان کربن دی اکسید و رویدی به برج خالص سازی ارسال می گردد و پس از خالص سازی بیشتر و دفع آمونیاک و کربن دی اکسید به تانک ذخیره سازی ارسال می گردد.

بخش سوم نیز بخش گرانول سازی بوده که اوره پس از ذخیره سازی در تانک ذخیره سازی به این بخش ارسال می گردد تا گرانول های اوره تولید شود. البته این بخش از بحث ما خارج است و در اینجا به این موضوع اشاره ای نیز نشده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱: (الف) شماتیکی شبیه سازی و (ب) مربوط به بلوک B1 در شکل (الف) می باشد.

## ۲-۲- شبیه سازی

شبیه سازی این فرآیند با استفاده از نرم افزار اسپن پلاس ورژن ۱۰ صورت گرفت. برای شبیه سازی از داده های موجود در کتابخانه نرم افزار بهره گرفته شد [۲]. در این شبیه سازی مدل ترمودینامیکی در نظر گرفته شده برای بخش فشار بالای فرآیند مدل SR-ELECNRTL با پارامترهای موجود در بانک نرم افزار پایین فرآیند از مدل ترمودینامیکی POLAR استفاده شد که پارامترهای دو جزئی  $a_{ij}$ ،  $b_{ij}$  برای دو جزء آب و کربن دی اکسید با استفاده از رگرسیون داده های موجود در مقالات مشخص شد. داده های مورد استفاده برای رگرسیون در جداول ۲ تا ۴ ارائه گردیده اند و پارامترهای دو جزئی حاصل از رگرسیون نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای ترمودینامیکی دو جزئی برای مدل NRTL

$c_{ij}$	$b_{ji}$	$b_{ij}$	$a_{ji}$	$a_{ij}$	پارامتر
۰/۲	-۱۰۷۴/۳۳	۲۹۴۱۳/۲	۷/۲۰۳۲۳	۱۱۰/۷۰۴	کربن دی اکسید (i) و آب (j)
۰/۲	۱۶۷۸/۴۷	-۱۰۲۷/۵۳	-۰/۵۴۴۰۷۲	-۰/۱۶۴۲۴۴۲	آمونیاک (i) و آب (j)

جدول ۲- داده های تعادلی مایع-بخار در فشار ۱/۰۱۳  
بار [۴]

X	X	دما
آب	کربن دی اکسید	K
۰	۰/۱٪	۰/۱
۰/۹۹۹۴۶۵	۰/۰۰۰۵۳۵	۳۰۲/۹۳
۰/۹۹۹۴۵۷	۰/۰۰۰۵۴۳	۳۰۲/۱۳
۰/۹۹۹۴۳۹	۰/۰۰۰۵۶۱	۳۰۱/۱
۰/۹۹۹۴۲	۰/۰۰۰۵۸	۳۰۰/۱۵
۰/۹۹۹۴۱۱	۰/۰۰۰۵۸۹	۲۹۹/۳۷
۰/۹۹۹۴۰۲	۰/۰۰۰۵۹۸	۲۹۸/۳۹
۰/۹۹۹۳۸۱	۰/۰۰۰۶۱۹	۲۹۷/۱۹
۰/۹۹۹۳۶۴	۰/۰۰۰۶۳۶	۲۹۶/۱۹
۰/۹۹۹۳۳۵	۰/۰۰۰۶۶۵	۲۹۴/۵۸
۰/۹۹۹۳۳۴	۰/۰۰۰۶۶۶	۲۹۵/۱۵
۰/۹۹۹۳۱	۰/۰۰۰۶۹	۲۹۳/۳۹
۰/۹۹۹۲۷۸	۰/۰۰۰۷۲۲	۲۹۲/۱۱
۰/۹۹۹۲۶۴	۰/۰۰۰۷۳۶	۲۹۱/۴۹
۰/۹۹۹۲۳	۰/۰۰۰۷۷	۲۹۰/۲۷

جدول ۳- داده های تعادلی مایع-بخار در فشار ۱/۰۱۶۵ بار [۳]

X	X	دما
آب	کربن دی اکسید	K
۰	۰/۱٪	۰/۱
۰/۹۹۹۶۸۵	۰/۰۰۰۳۱۵	۳۳۳
۰/۹۹۹۶۴۶	۰/۰۰۰۳۵۴	۳۲۸
۰/۹۹۹۶۰۱	۰/۰۰۰۳۹۹	۳۲۴
۰/۹۹۹۵۳	۰/۰۰۰۴۷	۳۱۸
۰/۹۹۹۴۶۹	۰/۰۰۰۵۳۱	۳۱۳
۰/۹۹۹۳۹۲	۰/۰۰۰۶۰۸	۳۰۸
۰/۹۹۹۲۸۷	۰/۰۰۰۷۱۳	۳۰۳

جدول ۴- داده های تعادلی مایع-بخار در فشار ۰/۸۹۳۱ بار [۵]

Y	Y	X	X	دما
آب	کربن دی اکسید	آب	کربن دی اکسید	K
۰	۱٪	۰	۰/۱٪	۰/۱
۰/۶۷۴	۰/۳۲۶	۰/۹۹۹۵۰۱	۰/۰۰۰۴۹۹	۴۲۲/۰۰۳۵۹
۰/۳۱۱	۰/۶۸۸۹	۰/۹۹۹۱۰۷	۰/۰۰۰۸۹۳	۳۹۴/۲۳۱۱۵
۰/۱۲۰۳	۰/۸۷۹۷	۰/۹۹۹۰۲۷	۰/۰۰۰۹۷۳	۳۶۶/۴۵۸۷
۰/۰۶۰۱۴	۰/۹۳۹۸۶	۰/۹۹۸۵۱۸	۰/۰۰۱۴۹	۳۴۸/۱۳۰۵۶
۰/۰۰۶۹۴	۰/۹۹۳۰۶	۰/۹۹۶۶۹	۰/۰۰۳۳۱	۳۰۴/۱۹۸۳۴

### ۲-۳- اعتبارسنجی شبیه سازی

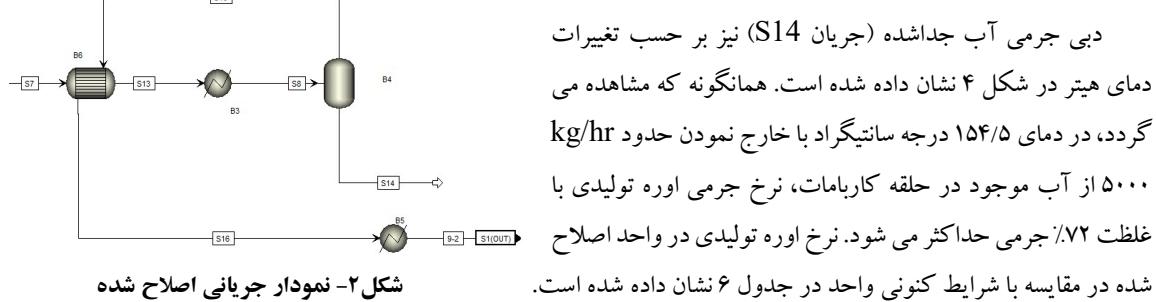
برای اعتبارسنجی شبیه سازی از مقادیر کنونی واحد استفاده شده است. جدول ۵ مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی را با مقادیر کنونی واحد نشان می دهد. همانگونه که در جدول مشاهده می گردد حداکثر میزان خطای  $12/5\%$  می باشد.

جدول ۵- مقایسه نتایج جریان های خروجی شبیه سازی با داده های پتروشیمی خراسان در حالت کنونی

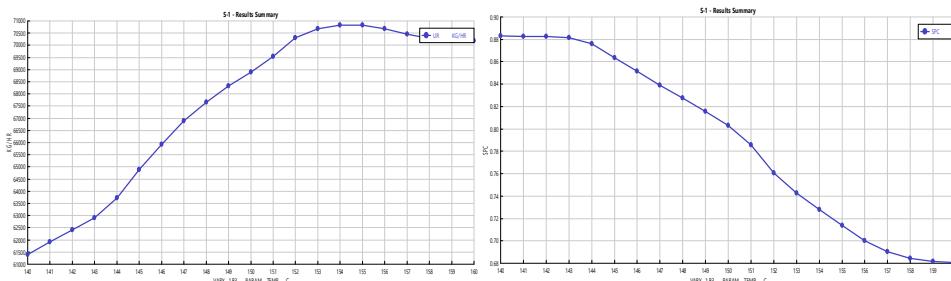
پارامتر	دما	درصد جطا	یکا	نسبی	داده های واحد	مقادیر حاصل از شبیه سازی	جریان ۹-۲
فشار		$90^{\circ}\text{C}$		$4/5$		۸۹	۸۵
$\text{kg}/\text{sqcm}$		$7$		$14/4$		۱۴/۴	۱۵/۴
$\text{CO}_2$		$2/4$		$37/5$		۳۷/۵	۳۶/۶
$\text{NH}_3$		$12/5$		$32/1$		۳۲/۱	۳۶/۱
درصد وزنی		$10/9$		$30/4$		۳۰/۴	۲۷/۱
ترکیب درصد جرمی		UREA		.		.	۰/۲

### ۳- ارائه راهکار کاهش میزان آب

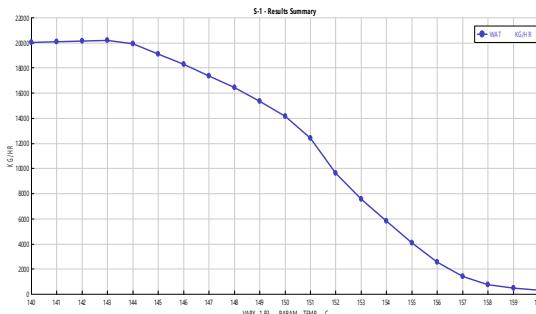
جهت خارج نمودن بخشی از آب موجود در حلقه کاربامات، پیشنهاد می شود که جریان مایع خروجی از جداکننده D-3130 را در یک هیتر گرم کرده و سپس جریان دوفازی حاصله را در یک جداکننده به دو جریان مایع (غنى از آب) و بخار تقسیم نمود. در ادامه جریان بخار حاصله را مجددا در یک کولر هوایی تا دمای  $85^{\circ}\text{C}$  خنک کرده و به مایع تبدیل نموده و به عنوان جریان برگشتی به اسکرابر، مورد استفاده قرار داد. نمودار جریانی اصلاح شده فرآیند در شکل ۲ نشان داده شده است. دمای هیتر بر روی نرخ جرمی و غلظت اوره تولیدی (جریان ۳۱۴) تاثیرگذار است. برای نشان دادن این موضوع و انتخاب دمای مناسب برای هیتر، دمای خروجی از هیتر در بازه  $140$  تا  $160$  درجه سانتیگراد تغییر داده شد. نرخ جرمی و کسر جرمی اوره تولیدی در جریان ۳۱۴ با توجه به تغییرات دمای هیتر، به ترتیب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار جریانی اصلاح شده



شکل ۳- تغییرات نرخ جرمی و کسر جرمی اوره تولیدی (در جریان ۳۱۴) بر حسب تغییرات دمای هیتر B3.



شکل ۴- تغییرات نرخ جرمی آب جدا شده از حلقه کاربامات بر حسب تغییرات دمای هیتر B3.

جدول ۶- مقایسه اوره تولیدی (جریان ۳۱۴) در واحد اصلاح شده با اوره تولیدی در واحد مبنا.

واحد اصلاح شده	واحد مبنا	مشخصه جریان ۳۱۴
۹۸۳۰۰	۱۰۳۵۰۰	نرخ جرمی کل (kg/hr)
۷۰۸۰۰	۷۰۲۰۰	نرخ جرمی اوره (kg/hr)
۲۶۹۰۰	۳۱۹۰۰	نرخ جرمی آب (kg/hr)
۰/۷۲	۰/۶۷۵	کسر جرمی اوره

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله بخشی از واحد تولید اوره پتروشیمی خراسان توسط نرم افزار اسپن پلاس ویرایش دهم شبیه سازی شد. همخوانی قابل قبولی مابین نتایج حاصله از شبیه سازی با داده های دریافتی از پتروشیمی بجنورد مشاهده شد. مقدار خطای نسبی نتایج شبیه سازی کمتر از ۱۲/۵ درصد می باشد. سپس راهکاری برای کاهش میزان آب در حلقه کاربامات پیشنهاد گردید. در راهکار پیشنهادی از یک هیتر همراه با جدا کننده دوفازی برای خارج نمودن بخشی از آب موجود در حلقه کاربامات استفاده گردید. بر اساس مدل شبیه سازی شده، تاثیر دمای هیتر بر عملکرد واحد و نرخ تولید اوره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که با انتخاب دمای هیتر برابر با ۱۵۴/۵ درجه سانتیگراد، علاوه بر حداکثر نمودن نرخ تولید اوره با غلظت جرمی ۷۲٪ می توان حدود ۵۰۰۰ کیلو گرم بر ساعت آب را از حلقه کاربامات خارج نمود.

#### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر از پایان نامه کارشناسی ارشد مورد حمایت شرکت پتروشیمی خراسان استخراج شده است. لذا از مدیر عامل و کارشناسان محترم شرکت پتروشیمی خراسان تشکر و قدردانی می شود.

#### مراجع

- [۱] Harre. E. A. Bridges. J. D. "Importance of urea fertilizers." TVA Bulletin. Tennessee Valley Authority. No.Y-206. pp.1-15. 1988.
- [۲] AspenPlusModel. "Aspen plus urea synthesis loop model." 2008-2011.
- [۳] Schuler. N. Hecht. K. T. Kraut. M.. Dittmeyer. R. J. "On the Solubility of Carb on Dioxide in Binary Water Methanol Mixtures." Chem. Eng. Data. 57(8). 2304-2308. 2012.
- [۴] Fonseca. I. M. A. Almeida. J. P. B. Fachada. H. C. J. "Automated apparatus for gas solubility measurements." Chem. Thermodyn. 39. 1407-1411. 2007.
- [۵] Gillespie. P. C. Wilson. G. M. "Gas Processors Association." RR-48. No. 48. 1812 First Place. Tulsa, Okla. 74103. 1982.

## Feasible methods for water reduction in carbamate inlet stream to urea production unit

Sajjad Hedeshi, Mohammad Ali Fanaei, Ali Garmroodi Asil

[sajihed@gmail.com](mailto:sajihed@gmail.com)  
[fanaei@um.ac.ir](mailto:fanaei@um.ac.ir)

### Abstract

In this paper, urea unit simulation was performed using Aspen Plus software version 10. A solution was proposed to reduce the amount of water in the carbamate cycle in the urea process. The implementation of the proposed solution was technically reviewed and economic calculations were performed to implement the intended changes. The results showed that by changing the temperature and using a two-phase separator in the carbamate cycle, the amount of water in this process can be reduced by about 5000 kg/hr. Also, the amount of urea produced increases by about 600 kg/hr.

**Keywords:** Simulation, Aspen Plus, Urea unit, Water reduction, Carbamate Cycle