

کاهش انتشار ترکیب‌های آروماتیک از واحد آب‌زدایی از گاز طبیعی با استفاده از فرایند دریزو

مجید سعیدی*⁺، سیده نسا رهبر بهاران

دانشکده شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده: انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه ترکیب‌های آروماتیکی چالش زیست‌محیطی اساسی در صنعت گاز است. در فرایند آب‌زدایی، به منظور حذف آب همراه گاز طبیعی، از حلال‌های گلیکول استفاده می‌شود. پالایشگاه گاز فراشند شامل ۶ واحد آب‌زدایی است که به منظور احیای حلال از روش تزریق گاز حامل استفاده می‌کنند. در این مطالعه، استفاده از فرایند دریزو برای احیای حلال به جای روش‌های متداول موجود مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کاهش نرخ انتشار ترکیب‌های آروماتیک و کاهش هزینه خرید حلال، پیشنهاد می‌شود از ناخالصی‌های آروماتیکی جذب شده همراه گاز طبیعی به عنوان حلال استفاده شود. نتیجه‌های به دست آمده نشان داد استفاده از فرایند دریزو منجر به کاهش زیان‌های زیست‌محیطی و بهبود متغیرهای عملیاتی همچون دمای نقطه‌ی شبنم گاز خشک، اتلاف گلیکول و خلوص گلیکول می‌شود. همچنین براساس نتیجه‌های شبیه‌سازی، نقطه‌ی شبنم گاز خشک در شرایط تابستان با استفاده از فرایند دریزو از 25°C به 29°C - و اتلاف گلیکول در شرایط عملیاتی تابستان از 3 kg/h به $2/5\text{ kg/h}$ کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فرایند دریزو؛ واحد آب‌زدایی گاز؛ عاری سازی گاز؛ شبیه سازی فرایند.

KEYWORDS: Drizo process; Gas dehydration unit; Gas stripping; Process simulation.

مقدمه

جداسازی بخار آب جذب شده از حلال صورت می‌پذیرد و سپس گلیکول احیاء شده پس از سرد شدن به ستون جذب باز می‌شود. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای حذف آب از گاز طبیعی در مقیاس صنعتی، کاربرد حلال‌های جاذب مانند تری‌اتیلن گلیکول (TEG)^(۱)، دی‌اتیلن گلیکول (DEG)^(۲) و مونواتیلن گلیکول است. در بین این ترکیب‌ها، تری‌اتیلن گلیکول به دلیل مقاومت شیمیایی بالا، ظرفیت جذب بالای آب، فرایند احیای آسان، هزینه و اتلاف کم، پرکاربردترین مایع جاذب برای فرایند آب‌زدایی گاز است [۵]. در آب‌زدایی از گاز طبیعی، تری‌اتیلن گلیکول به عنوان جاذب در تماس با گاز مرطوب در یک برج جذب قرار می‌گیرد تا مقدار آب در گاز خروجی (گاز خشک)

یکی از چالش اصلی زیست‌محیطی در صنعت گاز طبیعی، حضور ناخالصی‌هایی مانند هیدروژن سولفید، کربن دی‌اکسید، نیتروژن، ترکیب‌های آروماتیک، آب و ترکیب‌های سنگین همراه با گاز طبیعی است [۱-۳]. فرایند آب‌زدایی گاز، فرایند مهمی برای کاهش آب در گاز طبیعی به حدمجاز است [۴]. در فرایند آب‌زدایی با حلال گلیکول، آب همراه با گاز طبیعی به وسیله‌ی جذب انتخابی از جریان هیدروکربن حذف می‌شود و سپس گلیکول طی فرایند دفع گرمایی احیا می‌شود. جذب بخار آب توسط محلول گلیکول یکی از رایج‌ترین روش‌ها است که طی آن نقطه‌ی شبنم کاهش می‌یابد. سپس جریان حلال گلیکول به سامانه احیا وارد می‌شود و با گرما دادن محلول،

*عده دار مکاتبات

+E-mail: majid.saidi@khayam.ut.ac.ir, majid.saidi@ut.ac.ir

(۱) Triethylene glycol

(۲) Diethylene glycol

گاز حامل به جوشاننده‌ی برج دفع است. این روش برای بهبود جدایی آب - تری‌اتیلن‌گلیکول در برج دفع، افزایش خلوص گلیکول به‌وسیله‌ی کاهش فشار جزئی آب و افزایش فراریت آب در فاز بخار استفاده می‌شود. در فرایند احیای گلیکول در شرایط خلا، خلوص گلیکول به بیش از ۹۹/۹ درصد وزنی افزایش خواهد یافت، ولی به دلیل هزینه‌های بالای سامانه خلاء، استفاده از این روش محدود است. روش سردسازی، روش دیگری برای افزایش خلوص گلیکول است که اولین بار در ۱۹۷۵ میلادی ارائه شد [۹]. روش دیگر برای افزایش بهره‌وری برج دفع واحد فرایند آب‌زدایی گاز، استفاده از ترکیب‌های فرار هیدروکربنی مانند تولوئن، ایزواکتان، n-هپتان و غیره (فرایند دریزو) است. افزودن این ترکیب‌ها، باعث بهبود جدایی آب - تری‌اتیلن‌گلیکول و افزایش خلوص گلیکول می‌شود. حلال مایع هیدروکربن در محلول آب و تری‌اتیلن‌گلیکول فراریت آب را افزایش می‌دهد. n-هپتان، ایزواکتان و BTEX با آب آزنوتروپ تشکیل می‌دهند و همانند گاز حامل، پس از بخار شدن در جوشاننده عمل می‌کنند [۱۰]. در سال ۱۹۷۵ میلادی ثابت شد که فرایند احیای آزنوتروپ به مقدار چشمگیری کم‌تر از سایر فرایندهای احیا به انرژی نیاز دارد [۱۱]. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که ایزواکتان کارایی بهتری نسبت به تولوئن دارد و با تزریق تولوئن غلظت بالاتری از تری‌اتیلن‌گلیکول و غلظت بالاتری از آب به دست می‌آید. در این فرایند در کنار خنک‌کننده، جداکننده‌ی سه فازی برای جداکردن فاز آبی، فاز بخار و فاز مایع هیدروکربنی دارای BTEX قرار گرفته است. ترکیب‌های BTEX که در جداکننده‌ی سه فازی جدا می‌شوند به عنوان حلال در فرایند احیای گلیکول مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش در سال ۱۹۷۰ میلادی توسط شرکت شیمیایی دلو توسعه یافت و فرایند دریزو نامیده شد [۱۴-۱۲].

در فرایند دریزو، بخش زیادی از ناخالصی‌ها به عنوان حلال فرایند، به برج دفع باز می‌گردد. یکی از برتری‌های فرایند دریزو، کاهش شدت جریان گلیکول مصرفی و در نتیجه کاهش انتشار BTEX از بخش احیا است. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های فرایند دریزو، کاربرد حلال مایع - هیدروکربن تبخیرشده برای تماس با گلیکول است. خلوص گلیکول در فرایند دریزو بیش‌تر از سایر روش‌هاست. افزایش خلوص تری‌اتیلن‌گلیکول، منجر به کاهش دمای نقطه‌ی شبنم گاز-خشک، نرخ چرخش گلیکول و نرخ اتلاف جریان گلیکول می‌شود و در نتیجه هزینه‌ها و مصرف انرژی در فرایند آب‌زدایی کاهش می‌یابد. همچنین بازگشت قسمت زیادی از ترکیب‌های BTEX به برج دفع،

به مقدار قابل‌پذیرشی برسد [۵]. گلیکول ترکیب‌های BTEX^(۱) و ترکیب‌های فرار آلی (VOC)^(۲) را جذب می‌کند و سپس در طول فرایند احیای گلیکول، ترکیب‌های آروماتیکی در هوا آزاد می‌شوند. انتشار ترکیب‌های BTEX و VOC که از جوشاننده در واحد آب‌زدایی گلیکول خارج می‌شود، مسئله اساسی دیگری در فرایند گازطبیعی است [۶]. انتخاب فرایند مناسب به منظور کاهش انتشار BTEX و VOC، نیازمند توجه بیش‌تر در انتخاب حلال است. یکی از عامل‌های مؤثر در جذب BTEX، انتخاب عامل آب‌زدایی مناسب می‌باشد. انحلال‌پذیری BTEX در حلال‌های گوناگون به صورت زیر است [۷].

تری‌اتیلن‌گلیکول < دی‌اتیلن‌گلیکول < مونواتیلن‌گلیکول

فرایند آب‌زدایی از گاز طبیعی

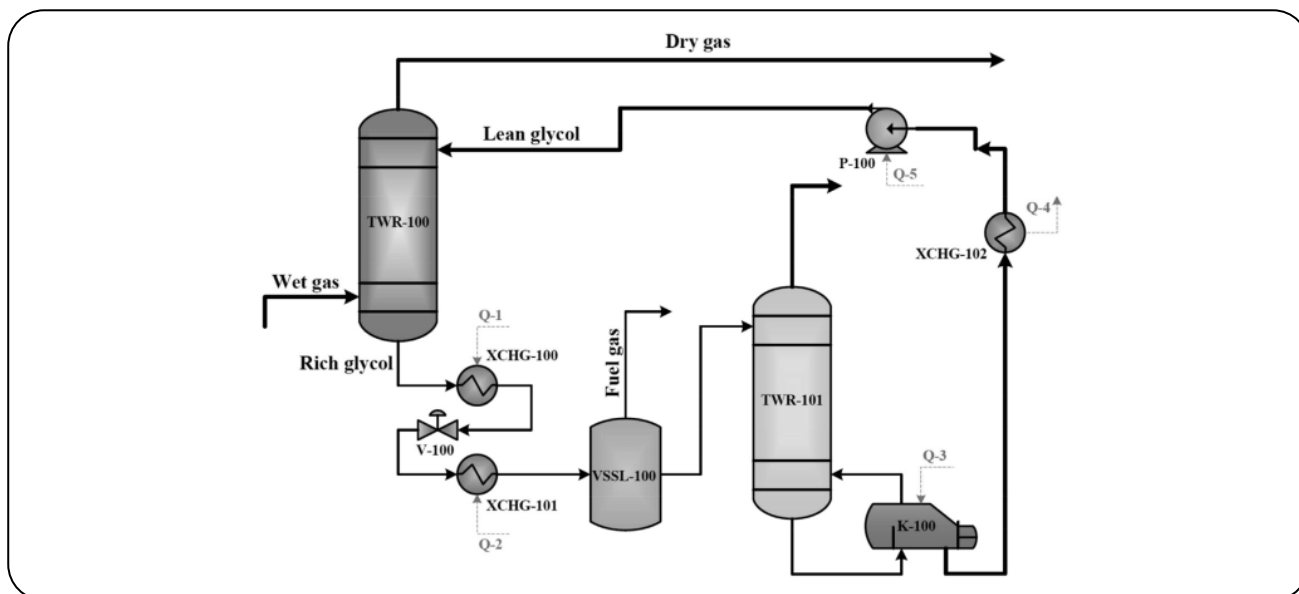
نمای ساده‌ای از واحد آب‌زدایی از گاز طبیعی در شکل ۱ نشان داده شده است. TWR-100 برج جذبی است که دارای ۴ تا ۱۰ سینی می‌باشد [۸]. جریان گاز مرطوب و جریان گلیکول احیاشده به ترتیب از پایین و بالای برج جذب وارد می‌شوند. به واسطه‌ی تماس مستقیم محلول گلیکول با گاز مرطوب در این برج، آب در فاز بخار توسط گلیکول جذب می‌شود و سپس جریان حلال گلیکول از پایین و جریان گاز خشک از بالای برج خارج می‌شود. دمای جریان حلال گلیکول در مبدل گرمایی (XCHG-100, XCHG-101) افزایش می‌یابد. این جریان که به منظور جداشدن هیدروکربن‌های گازی شکل نامحلول به عنوان سوخت گازی استفاده می‌شود، به مخزن جداسازی (VSSL-100) وارد می‌شود. همچنین جریان حلال گلیکول با دمای بالا به برج دفع هدایت می‌شود (TWR-101). این برج، از نوع برج پرشده یا برج سینی‌دار است. در این برج به دلیل تفاوت دمای نقطه جوش، آب و تری‌اتیلن‌گلیکول به خوبی از هم جدا می‌شوند و گلیکول (جریان گلیکول احیاشده) به برج جذب برمی‌گردد (TWR-100). با استفاده از این روش، خلوص گلیکول در واحدهای آب‌زدایی گازطبیعی بین ۹۸/۵ درصد وزنی تا ۹۹ درصد وزنی خواهد بود.

روش‌های افزایش خلوص گلیکول

چندین روش برای افزایش خلوص گلیکول در برج دفع (TWR-101) در واحد آب‌زدایی گاز وجود دارد (شکل ۱). یکی از روش‌های متداول، تزریق مستقیم گازطبیعی خشک یا گاز بی‌اثر به عنوان

(۱) Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene

(۲) Volatile organic compound



شکل ۱- نمایی از واحد آب‌زدایی از گاز طبیعی.

مورد بررسی قرار گرفت. شرایط عملیاتی و ترکیب خوراک به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ گزارش شده است. همچنین متغیرهای طراحی برج دفع و جذب پالایشگاه فراشبند در جدول ۳ ارائه شده است.

بخش نظری

شبیه‌سازی و اعتبار‌سنجی

فرایند احیای گلیکول با روش تزریق گاز حامل (حالت ۱)

نمای کلی واحد آب‌زدایی در پالایشگاه فراشبند در شکل ۲ نشان داده شده است. گاز حامل (جریان شماره ۶ با شدت جریان جرمی 80 kg/h) از گاز خشک تولید شده در برج جذب (TWR-100) تأمین می‌شود و شدت جریان این جریان به وسیله جداکننده (SPLT-100) تنظیم می‌شود. شدت جریان گاز حامل بر فرایند احیای تری‌اتیلن گلیکول تأثیر مستقیم دارد، ولی افزایش بیش از حد شدت جریان گاز حامل باعث اتلاف گلیکول می‌شود. پس از افزایش دمای گاز حامل از 4°C به 36°C توسط مبدل گرمایی (XCHG-103)، گاز حامل از پایین به برج توزیع کننده وارد می‌شود و گاز حامل، آب و ترکیب‌های BTEX موجود در جریان گلیکول را جذب می‌کند. گلیکول احیا شده از پایین برج توزیع کننده (TWR-102) خارج می‌شود و بعد از سرد شدن در مبدل گرمایی (XCHG-104) به برج جذب (TWR-100) وارد می‌شود. به دلیل اتلاف گلیکول در برج‌های جذب و دفع، جریان جبرانی تری‌اتیلن گلیکول (جریان شماره ۷) در نظر گرفته می‌شود.

انتشار ترکیب‌های BTEX در هوا را به شدت کاهش می‌دهد. کاربرد این روش برای بهبود جدا کردن آب از ترکیب‌های BTEX تری‌اتیلن گلیکول در آب زدایی گاز، مؤثرتر از سایر روش‌ها مانند تزریق گاز حامل است. پالایشگاه گاز فراشبند یکی از قدیمی‌ترین و اصلی‌ترین پالایشگاه‌ها در جنوب ایران است که برای خالص سازی 1400 میلیون فوت مکعب استاندارد (MMscf)^(۱) گاز طبیعی در روز از مخازن گاز آغار - دالان طراحی شده است. این پالایشگاه از ۶ واحد آب‌زدایی برای تزریق گاز حامل تشکیل شده است. در این پژوهش، فرایند آب‌زدایی از گاز طبیعی پالایشگاه فراشبند که بر اساس روش تزریق گاز حامل عمل می‌کند، در حالت پایدار توسط نرم افزار شبیه سازی شده است. مسئله‌ی مهم در این فرایند، خلوص گلیکول و انتشار زیاد BTEX و ترکیب‌های فرار آلی به محیط است. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، استفاده از حلال‌های فرار هیدروکربنی (فرایند دریزو) برای آب زدایی گاز طبیعی روش مؤثری است که در این پژوهش، شبیه‌سازی و استفاده از آن پیشنهاد شده است. در فرایند دریزو حلال حامل جایگزین گاز حامل شده و گلیکول با استفاده از حلال حامل احیا می‌شود. به کارگیری حلال BTEX باعث خلوص بیش تر گلیکول و در نتیجه افت بیش تر نقطه‌ی شبنم آب به بالای 100°C و حتی بیش تر می‌شود. حلال مورد نیاز فرایند دریزو به طور معمول از ناخالصی‌های BTEX موجود در گاز طبیعی تأمین می‌شود. همچنین در این پژوهش، فرایند آب زدایی در شرایط عملی تابستان و زمستان

(1) Million Standard Cubic Feet

جدول ۱- مشخصه‌های جریان‌های ورودی و خروجی برج جذب واحد آب‌زدایی گاز طبیعی در پالایشگاه گاز فرانشبند.

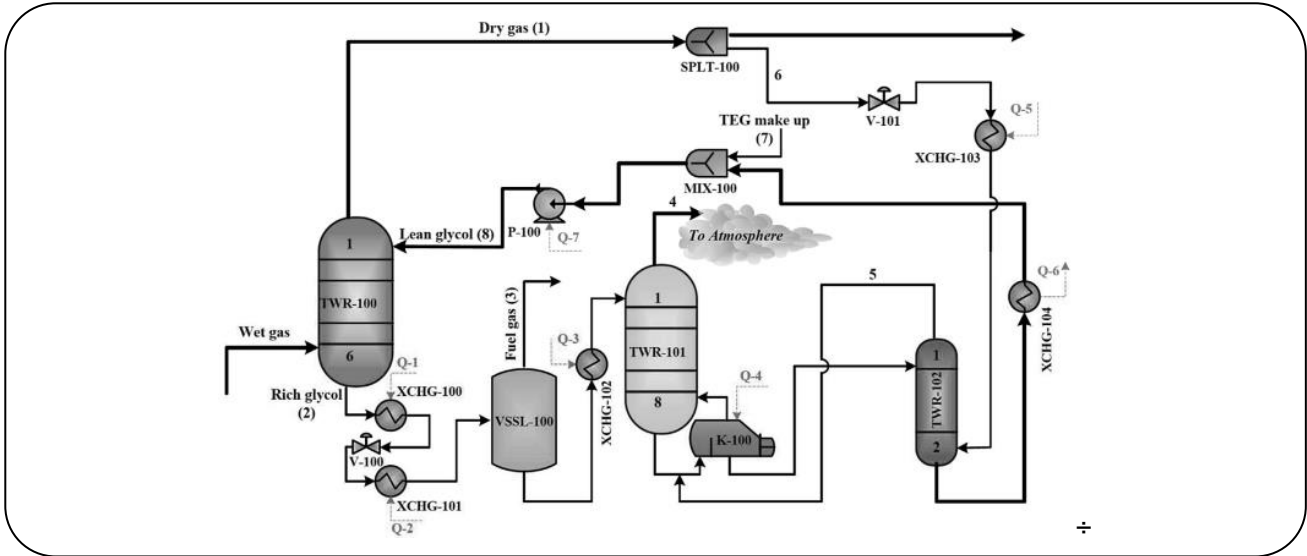
تابستان			زمستان			جریان‌ها
شدت جریان (kg/h)	دما (°C)	فشار (bar)	شدت جریان (kg/h)	دما (°C)	فشار (bar)	
۲۴۸۴۱۸	۵۱	۱۲۷/۸۰	۲۴۶۷۴۹	۳۳	۱۲۷/۴۸	گازمرطوب ورودی
۵۵۴۰	۶۰	۱۲۷/۴۸	۵۴۰۱	۴۲	۱۲۷/۴۸	گلیکول احیاشده ورودی
۲۴۸۱۰۵	۵۳	۱۲۶/۸۶	۲۴۶۶۰۰	۳۴	۱۲۶/۸۶	گازخشک خروجی
۵۵۴۶	۵۳	۱۲۷/۴۸	۵۵۴۶	۳۵	۱۲۷/۴۸	حلال گلیکول خروجی

جدول ۲- ترکیب مخازن گاز دالان (گازمرطوب).

کسر جرمی (%)	اجزا	کسر جرمی (%)	اجزا
۱/۹۱	CO ₂	۰/۲۸	ایزو - پنتان
۱۱/۱۲	N ₂	۰/۲۴	n- پنتان
۰/۰۷	H ₂ O	۰/۲۸	n- هگزان
۸۰/۲۶	متان	۰/۳۳	n- هپتان
۲/۵۸	اتان	۰/۰۴	بنزن
۰/۸۷	پروپان	۰/۰۵	تولوئن
۰/۰۴	ایزو - بوتان	۱/۰۰	اتیل بنزن
۰/۴۸	n- بوتان	۰/۴۵	ارتو - زایلن

جدول ۳- پارامترهای طراحی برج‌های دفع و جذب پالایشگاه گاز فرانشبند

برج دفع	برج جذب	پارامترهای طراحی
۳۶	۹۶/۰۶	قطر برج (in)
-	سینی از نوع دریچه‌ای	نوع سینی
-	۶	تعداد سینی‌ها
-	۰/۶۱	فاصله سینی (m)
-	۱/۷۰۸	طول سرریز (m)
-	۰/۰۵۱	ارتفاع سرریز (m)
۴	-	ارتفاع پرکن (m)
۲	-	اندازه پرکن (in)
حلقه Raschig	-	نوع پرکن



شکل ۲- نمای کلی فرایند احیای تری اتیلن گلیکول با استفاده از تزریق گاز حامل

کنترل آلودگی‌های زیست محیطی است. در این فرایند، به جای تزریق گاز حامل، حلال فرار هیدروکربنی مانند ایزو-اکتان، n-هیپتان یا ترکیب‌های BTEX به جوشاننده در برج دفع تزریق می‌شود. مخازن گاز دالان دارای مقدار زیادی ترکیب‌های BTEX است. بنابراین این ترکیب‌های به عنوان حلال در فرایند دریزو استفاده می‌شوند. مطابق با شکل ۳، جریان خروجی از بالای برج دفع (جریان شماره ۴)، پس از سرد شدن در مبدل گرمایی (XCHG-103) وارد جداکننده‌ی سه فاز می‌شود. برای جلوگیری از انتشار ترکیب‌های BTEX در هوا و به منظور بازگشت آن‌ها به عنوان حلال در فرایند احیای گلیکول، از جداکننده‌ی سه فاز استفاده می‌شود. مخلوطی از آب، BTEX و گاز وارد جداکننده‌ی سه فاز می‌شود. در جداکننده‌ی سه فاز، سطح‌های آب، BTEX و فشار به صورت مستقل کنترل می‌شوند و فازها به دلیل اختلاف در چگالی از هم جدا می‌شوند. شرایط عملیاتی در جداکننده‌ی سه فاز 25°C و $1/20$ bar است. فاز سبک بخار (جریان شماره ۵) و فاز آبی (جریان شماره ۶) از جداکننده خارج می‌شوند. قسمتی از جریان BTEX (جریان شماره ۸) برای احیای گلیکول به جوشاننده‌ی (K-100) برج دفع (جریان شماره ۷) برمی‌گردد و بخش دیگر آن (جریان شماره ۷) به واحدهای آب‌زدایی گاز آغار برای استفاده در فرایند دریزو فرستاده می‌شود. شرایط عملیاتی و ترکیب جریان‌ها در شرایط عملی تابستان برای حالت ۲ به ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ گزارش شده است.

در پالایشگاه فراشبنند، برج دفع از نوع برج‌هایی با بستر پر شده است، ولی در این شبیه‌سازی از برج سینی‌دار (TWR-101) با ۸ مرحله تعادلی استفاده شده است. در طول این برج، فشار از 1 bar به $1/2$ bar تغییر می‌کند. همچنین برج جذب (TWR-100) یک برج سینی‌دار با ۶ سینی است که در فشار بالا عمل می‌کند. مسئله‌ی بسیار مهم در فرایند (حالت ۱) بالا بودن مقدار ترکیب‌های BTEX در جریان خروجی از برج دفع (جریان شماره ۴) است که در محیط آزاد می‌شود و باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شود. به دلیل بالا بودن سرعت چرخش گلیکول، توان موردنیاز در جوشاننده (Q-4) برج دفع $618/33$ kw است که مقدار بالایی است. این فرایند در شرایط عملیاتی زمستان نیز شبیه‌سازی شده است. همه‌ی جریان‌ها و تجهیزهای همانند شرایط تابستان هستند ولی به دلیل پایین بودن دمای گاز مرطوب در شرایط عملیاتی زمستان، فرایند جذب در زمستان نسبت به تابستان مناسب‌تر است، بنابراین دمای نقطه شبنم آب، خلوص گلیکول و سایر متغیرهای مؤثر در زمستان دلخواه‌تر از تابستان است. شرایط عملیاتی و ترکیب جریان‌هایی که در شبیه‌سازی حالت ۱ استفاده می‌شوند به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ در شرایط عملیاتی تابستان گزارش شده‌اند.

شبیه‌سازی فرایند دریزوی منفرد (حالت ۲)

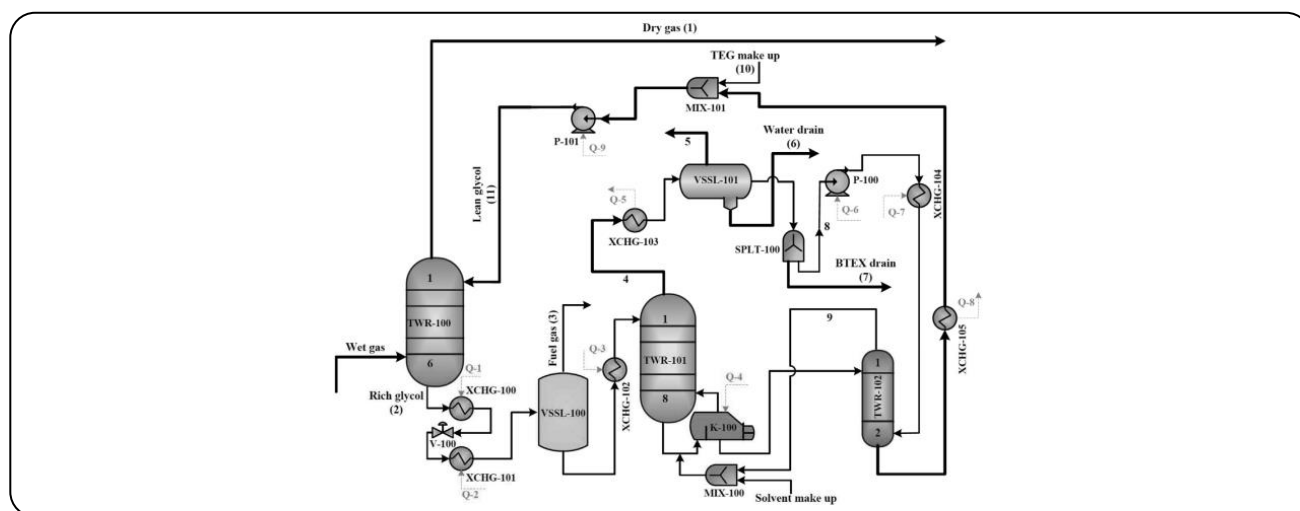
واحد آب‌زدایی گاز بر اساس فرایند دریزوی منفرد در شکل ۳ نشان داده شده است. فرایند دریزو، پیشنهاد مناسبی برای

جدول ۴- شرایط عملیاتی جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۱ در شرایط عملیاتی تابستان برای گاز دالان.

جریان‌ها	دما (°C)	فشار (bar)	جرم مولکولی (kg/mol)	شدت جریان جرمی (kg/h)	درصد مولی مایع	درصد مولی بخار
گاز خشک	۵۲	۱۲۵	۱۷/۸۷	۲۴۷۱۷۰	۰	۱۰۰
حلال گلیکول	۵۲	۱۲۷	۹۹/۸۷	۶۱۴۴	۱۰۰	۰
گاز سوخت	۱۰۵	۶/۵۲	۲۱/۰۳	۶۱	۰	۱۰۰
جریان ۴	۱۲۵	۱/۰۵	۲۵/۴۸	۱۱۸۷	۰	۱۰۰
جریان ۵	۱۹۹	۱/۲۰	۲۵/۷۷	۱۸۵	۰	۱۰۰
جریان ۶	۵۲	۱۲۵	۱۷/۸۷	۸۰	۰	۱۰۰
تری‌اتیلن گلیکول جبرانی	۳۰	۳/۷۲	۱۴۹/۰۸	۳	۱۰۰	۰
گلیکول احیا شده	۶۲	۱۲۷	۱۴۸/۲۷	۵۵۰۴	۱۰۰	۰

جدول ۵- ترکیب درصد جرمی جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۱ در شرایط عملی تابستان برای گاز دالان.

جریان‌ها	CO ₂	N ₂	H ₂ O	آلکان‌ها (C ₁ -C ₇)	ترکیب‌های BTEX	تری‌اتیلن گلیکول
گاز خشک	۱/۹۱	۱۱/۱۴	۰/۰۰	۸۵/۵۰	۱/۴۵	۰/۰۰
حلال گلیکول	۰/۱۲	۰/۰۳	۵/۸۲	۰/۸۳	۳/۸۰	۸۹/۴
گاز سوخت	۸/۸۸	۲/۸۱	۴/۸۶	۷۲/۱۱	۱۱/۲۸	۰/۰۶
جریان ۴	۰/۵۲	۱/۳۴	۹/۴۲	۱۱/۲۵	۷۶/۸۱	۰/۶۶
جریان ۵	۰/۸۲	۴/۸۱	۲۲/۲۹	۳۶/۸۴	۰/۴۴	۳۴/۸۰
جریان ۶	۱/۹۱	۱۱/۱۴	۰/۰۰	۸۵/۵۰	۱/۴۵	۰/۰۰
تری‌اتیلن گلیکول جبرانی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹۰
گلیکول احیا شده	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۰	۹۹/۶۳



شکل ۳- نمای کلی فرایند احیای تری‌اتیلن گلیکول با فرایند در بزو منفرد.

جدول ۶ - شرایط عملیاتی جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۲ در شرایط عملیاتی تابستان برای گاز دالان

جریان‌ها	دما (°C)	فشار (bar)	جرم مولکولی (kg/kmol)	شدت جرمی (kg/h)	درصد مولی مایع	درصد مولی بخار
گاز خشک	۵۲	۱۲۵/۰۰	۱۷/۸۹	۲۴۸۱۹۰	۰	۱۰۰
حلال گلیکول	۵۲	۱۲۷/۰۰	۱۱۵/۲۷	۵۶۱۶	۱۰۰	۰
گاز سوخت	۷۵	۶/۵۲	۱۹/۸۷	۴۸	۰	۱۰۰
جریان ۴	۱۳۶	۱/۷۰	۵۵/۷۱	۹۴۳	۰	۱۰۰
جریان ۵	۲۵	۱/۲۰	۲۷/۶۲	۶	۰	۱۰۰
تخلیه آب	۲۵	۱/۲۰	۱۸/۴۶	۱۶۶	۱۰۰	۰
تخلیه BTEX	۲۵	۱/۲۰	۹۹/۹۷	۸	۱۰۰	۰
جریان ۸	۲۵	۱/۲۰	۹۹/۹۷	۷۶۳	۱۰۰	۰
جریان ۹	۲۰۰	۱/۲۲	۸۳/۷۷	۵	۰	۱۰۰
تری‌اتیلن گلیکول جبرانی	۴۶	۱/۰۷	۱۵۰/۱۷	۳	۱۰۰	۰
گلیکول احیاشده	۶۰	۱۲۷/۰۰	۱۴۴/۹۵	۵۴۳۷	۱۰۰	۰

خروجی‌های برج دفع در ۳ واحد آب‌زدایی گاز دالان در یک جریان مخلوط می‌شوند. انرژی مصرفی در دو مبدل گرمایی (XCHG-103 و XCHG-104) و پمپ انتقال حلال (P-100) در حالت ۳ از مقدار آن در حالت ۲ بیش‌تر است. اندازه‌ی جداکننده‌ی سه فاز در این حالت بزرگ‌تر از حالت ۲ است. بنابراین در یک فرایند درازمدت ترکیبی نسبت به سه فرایند منفرد درازمدت، از یک پمپ بزرگ‌تر و دو مبدل گرمایی با توان بالاتر به جای ۳ پمپ انتقال حلال و ۶ مبدل گرمایی، استفاده می‌شود. حلال BTEX مورد نیاز در فرایند احیا گلیکول در واحدهای آب‌زدایی از تخلیه BTEX جداکننده‌ی سه فاز در فرایند درازمدت ترکیبی فراهم می‌شود. بخش دیگر تخلیه BTEX به واحد آب‌زدایی آغار فرستاده می‌شود. ویژگی‌های برج‌های دفع، جذب و توزیع‌کننده همانند حالت ۲ است. شرایط عملیاتی و ترکیب‌های جریان‌ها در شرایط عملی تابستان برای حالت ۳ به ترتیب در جدول‌های ۸ و ۹ گزارش شده است.

طبق نتیجه‌های شبیه‌سازی، دمای نقطه‌ی شبنم آب گاز خشک حدود 25°C - و مقدار آب گاز مرطوب در خروجی گاز خشک به $0/00$ درصد وزنی کاهش می‌یابد. همچنین خلوص گلیکول در محلول احیا شده (جریان شماره ۱۵) کم‌تر از حالت ۲ است. طبق جدول‌های ۶ و ۸، نرخ جریان گلیکول احیا شده در حالت ۳ بیش‌تر از حالت ۲ است و اتلاف گلیکول در حالت‌های ۲ و ۳ کم‌تر از حالت ۱ است. براساس نتیجه‌های شبیه‌سازی، استفاده از فرایند درازمدت

دمای محاسبه شده برای نقطه‌ی شبنم در این حالت 29°C - است که کم‌تر از حالت ۱ است و میزان آب جریان مرطوب از $0/07$ درصد وزنی به $0/00$ درصد وزنی کاهش می‌یابد. برابر دیگر این حالت این است که با استفاده از حلال هیدروکربنی فرار (BTEX) به جای تزریق گازحامل، خلوص گلیکول در محلول احیا شده به $99/81$ درصد وزنی افزایش می‌یابد. بنابراین براساس نتیجه‌های جدول‌های ۴ و ۶، اتلاف گلیکول (جبرانی TEG) کاهش می‌یابد. طبق نتیجه‌های شبیه‌سازی، با کاربرد فرایند درازمدت منفرد مورد نیاز در جوشاننده (Q-4) از $618/33$ kW به $457/24$ kW کاهش می‌یابد زیرا در حالت ۱ نرخ جریان چرخش گلیکول در جوشاننده بیش‌تر از حالت ۲ است.

شبیه‌سازی فرایند درازمدت ترکیبی (حالت ۳)

در فرایند درازمدت به ازای هر واحد آب‌زدایی منفرد (شکل ۳)، جداکننده‌ی سه فاز (VSSL-101)، پمپ (P-100) و دو مبدل گرمایی (XCHG-100 و XCHG-104) به تجهیزهایی رایج در واحد آب‌زدایی افزوده می‌شوند. بنابراین استفاده از یک چرخه‌ی درازمدت ترکیبی به جای ۳ واحد جداگانه چرخه‌ی درازمدت منفرد برای ۳ واحد آب‌زدایی پیشنهاد می‌شود. در این حالت، خروجی برج‌های دفع واحدهای آب‌زدایی گاز دالان مخلوط می‌شوند و پس از سرد شدن در مبدل گرمایی به جداکننده‌ی سه فاز فرستاده می‌شود.

جدول ۷- ترکیب درصد جرمی جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۲ در شرایط عملی تابستان برای گاز دالان.

جریان‌ها	CO ₂	N ₂	H ₂ O	آلکان‌ها(C ₁ -C ₇)	ترکیب‌های BTEX	تری‌اتیلن‌گلیکول
گازخشک	۱/۹۱	۱۱/۱۳	-/۰۰	۸۵/۴۰	۱/۵۶	۰/۰۰
حلال گلیکول	-/۱۱	۰/۲۸	۳/۰۱	۰/۵۹	۴/۹۰	۹۱/۱۱
گازسوخت	۹/۱۰	۳/۱۹	۰/۸۹	۸۰/۹۷	۵/۸۴	۰/۰۱
جریان ۴	-/۳۰	۰/۰۰	۱۷/۱۵	۶/۲۸	۷۵/۸۰	۰/۴۷
جریان ۵	۳۱/۱۳	۰/۴۶	۱/۷۲	۶۰/۶۴	۶/۰۵	۰/۰۰
تخلیه آب	-/۰۳	۰/۰۰	۹۷/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۴	۲/۶۷
تخلیه BTEX	-/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۷/۱۷	۹۲/۶۸	۰/۰۰
جریان ۸	-/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۷/۱۷	۹۲/۶۸	۰/۰۰
جریان ۹	-/۱۳	۰/۰۰	۴/۷۴	۸/۳۱	۷۷/۵۲	۹/۳۰
تری‌اتیلن‌گلیکول جبرانی	-/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰
گلیکول احیا شده	-/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۴	۹۹/۸۱

جدول ۸- ویژگی‌های جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۳ در شرایط عملیاتی تابستان برای گاز دالان.

جریان‌ها	دما (°C)	فشار (bar)	جرم مولکولی (kg/kmol)	شدت جرمی (kg/h)	درصد مولی مایع	درصد مولی بخار
گازخشک	۵۲	۱۲۵	۱۷/۸۹	۲۳۴۷۲۵	۰	۱۰۰
حلال گلیکول	۵۲	۱۲۷	۱۱۵/۴۷	۵۶۹۶	۱۰۰	۰
گازسوخت	۷۵	۶/۵۲	۱۹/۸۸	۴۹	۰	۱۰۰
جریان ۴	۱۳۶	۱/۷۰	۵۵/۵۴	۹۳۳	۰	۱۰۰
جریان ۵ (واحد ۲)	۱۳۶	۱/۷۰	۵۵/۷۱	۹۴۳	۰	۱۰۰
جریان ۶ (واحد ۳)	۱۳۶	۱/۷۰	۵۵/۷۱	۹۴۳	۰	۱۰۰
جریان ۷	۳۵	۱/۰۳	۳۰/۱۳	۲۴	۰	۱۰۰
تخلیه آب	۳۵	۱/۰۶	۱۸/۴۶	۹۴۶	۱۰۰	۰
تخلیه BTEX	۳۵	۱/۰۶	۱۰۰/۰۹	۲۳	۱۰۰	۰
حلال واحد ۲	۱۳۷	۱/۶۶	۱۰۰/۰۹	۵	۷۷	۲۳
حلال واحد ۳	۱۳۵	۱/۵۲	۱۰۰/۰۹	۵	۷۵	۲۵
جریان ۱۲	۱۳۵	۱/۵۲	۱۰۰/۰۹	۷۵۸	۷۵	۲۵
جریان ۱۳	۱۹۶	۱/۲۲	۸۲/۱۰	۵	۰	۱۰۰
تری‌اتیلن‌گلیکول جبرانی	۴۶	۱/۰۷	۱۵۰/۱۷	۳	۱۰۰	۰
گلیکول احیاشده	۶۰	۱۲۷	۱۴۴/۷۱	۵۵۲۱	۱۰۰	۰

جدول ۹- ترکیب‌های درصد جرمی جریان‌ها در شبیه‌سازی حالت ۳ در شرایط عملیاتی تابستان در گاز دالان.

جریان‌ها	CO ₂	N ₂	H ₂ O	آلکان‌ها (C ₁ -C ₇)	ترکیب‌های BTEX	تری‌اتیلن‌گلیکول
گاز خشک	۱/۹۱	۱۱/۱۳	۰/۰۰	۸۵/۴۰	۱/۵۶	۰/۰۰
حلال گلیکول	۰/۱۱	۰/۰۳	۲/۸۹	۰/۸۴	۴/۹۰	۹۱/۱۴
گاز سوخت	۹/۱۰	۳/۱۹	۰/۸۹	۷۸/۸۸	۷/۹۳	۰/۰۱
جریان ۴	۰/۲۹	۰/۰۰	۱۷/۲۹	۶/۲۱	۷۵/۷۳	۰/۴۸
واحد ۲	۰/۳۰	۰/۰۰	۱۷/۱۵	۶/۲۷	۷۵/۸۱	۰/۴۷
واحد ۳	۰/۳۰	۰/۰۰	۱۷/۱۵	۶/۲۷	۷۵/۸۱	۰/۴۷
جریان ۷	۲۷/۰۴	۰/۳۷	۳/۱۵	۵۹/۰۹	۱۰/۳۵	۰/۰۰
تخلیه آب	۰/۰۲	۰/۰۰	۲۷/۹۷	۰/۰۰	۰/۰۴	۲/۶۷
تخلیه BTEX	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۵	۷/۰۵	۹۲/۸۱	۰/۰۱
حلال واحد ۲	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۵	۷/۰۵	۹۲/۸۱	۰/۰۱
حلال واحد ۳	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۵	۷/۰۵	۹۲/۸۱	۰/۰۱
جریان ۱۲	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۵	۷/۰۵	۹۲/۸۱	۰/۰۱
جریان ۱۳	۰/۱۰	۰/۰۰	۵/۳۰	۸/۳۹	۷۶/۷۷	۹/۴۴
تری‌اتیلن‌گلیکول جبرانی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰۰
گلیکول احیا شده	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۱۴	۹۹/۷۲

پالایشگاه و نتیجه‌های شبیه‌سازی در شرایط عملی تابستان و زمستان برای حالت ۱ در جدول ۱۰ انجام شده است. مقایسه دمای نقطه‌ی شبنم در شرایط عملی زمستان و تابستان نشان می‌دهد میزان خطا به ترتیب ۳/۶ درصد وزنی و ۴/۷ درصد وزنی است که مقدارهای قابل‌پذیرشی می‌باشد. همچنین طبق نتیجه‌های شبیه‌سازی، خلوص گلیکول در شرایط عملی زمستان و تابستان به ترتیب حدود ۹۹/۷۵ درصد وزنی و ۹۹/۶۳ درصد وزنی است و داده‌های پالایشگاه ۹۹/۶ درصد وزنی و ۹۹/۷ درصد وزنی است.

نتیجه‌ها و بحث

تأثیر متغیرهای عملیاتی بر فرایند دریزوی منفرد

انجام فرایند دریزوی منفرد (حالت ۲) با استفاده از حلال‌های گوناگون با نرخ‌های متفاوت در شرایط تابستان و زمستان بررسی شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ الف و ب نشان داده شده است،

ترکیبی توان مصرفی در جوشاننده را در مقایسه با حالت ۱ (۶۱۸/۳۳ kW) به ۴۶۳ kW کاهش می‌دهد، زیرا سرعت جریان چرخش گلیکول در جوشاننده‌ی (K-100) حالت ۱ بیش‌تر از حالت ۳ است. به دلیل بیش‌تر بودن سرعت جریان چرخش گلیکول در حالت ۳، توان مصرفی جوشاننده بیش‌تر از حالت ۲ است.

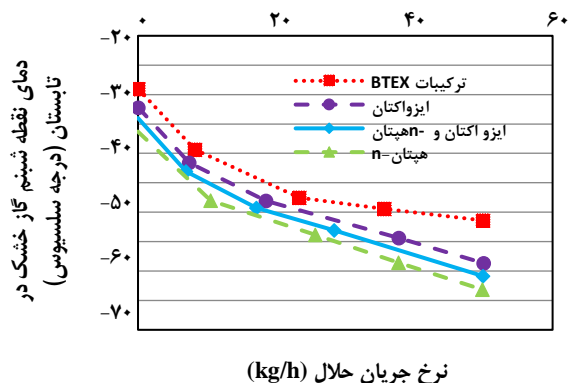
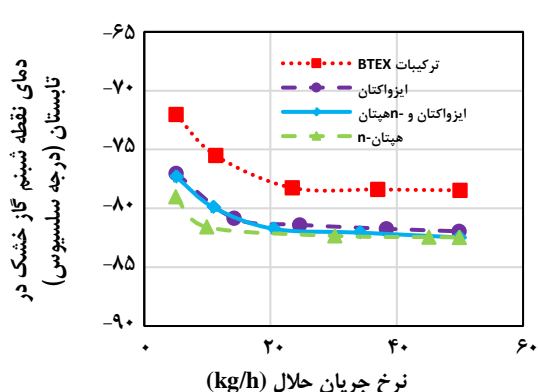
بررسی ترمودینامیکی و اعتبارسنجی

برای طراحی و اعمال فرایند آب‌زدایی گاز طبیعی، بررسی ترمودینامیکی رفتار فاز مواد بسیار مهم است. در سال ۲۰۰۹ میلادی سامانه‌های دوجزئی (آب و TEG) و سه‌جزئی (آب، TEG و تولوئن) با مدل‌های ون‌لار^(۱)، ضریب فعالیت شیمیایی و ضریب فعالیت تصادفی دو مایع پیشنهاد شد [۱۲]. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که برای سامانه ۳ جزئی این دو الگو مناسب هستند. برای اثبات نتیجه‌های شبیه‌سازی، مقایسه‌ای بین داده‌های

(۱) Van Laar

جدول ۱۰- داده‌های پالایشگاه گاز فرآشند و نتیجه‌های شبیه‌سازی حالت ۱ در شرایط عملی تابستان و زمستان

تابستان			زمستان			
خطا (%)	نتیجه‌های شبیه‌سازی	داده‌های پالایشگاه	خطا (%)	نتیجه‌های شبیه‌سازی	داده‌های پالایشگاه	پارامتر مؤثر
۴/۳۵	-۲۴	-۲۳	۳/۵۷	-۲۹	-۲۸	دمای نقطه شبنم آب (°C)
۳/۲۰	۳/۰۰	۳/۱۰	۳/۱۰	۲/۸۰	۲/۸۹	اتلاف گلیکول (kg/h)
۰/۶۵	۵۵۰۵	۵۵۴۰	۰/۹۵	۵۳۵۰	۵۴۰۱	چرخش گلیکول (kg/h)
۰/۱۳	۹۹/۶۳	۹۹/۵۰	۰/۱۵	۹۹/۷۵	۹۹/۶	خلوص گلیکول (wt%)



شکل ۴- الف) تأثیر نرخ جریان حلال بر دمای نقطه شبنم گاز خشک با استفاده از حلال‌های گوناگون (حالت ۲) در تابستان. ب) تأثیر نرخ جریان حلال بر دمای نقطه شبنم گاز خشک با استفاده از حلال‌های گوناگون (حالت ۲) در زمستان

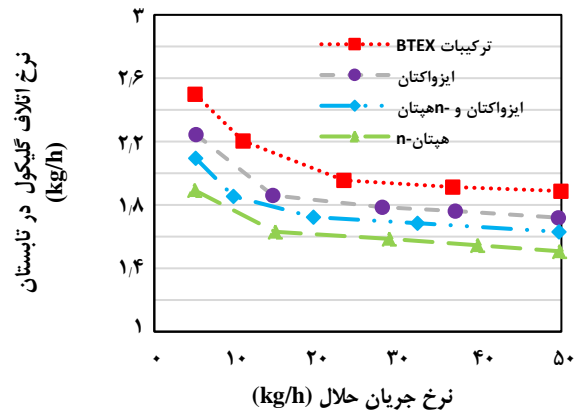
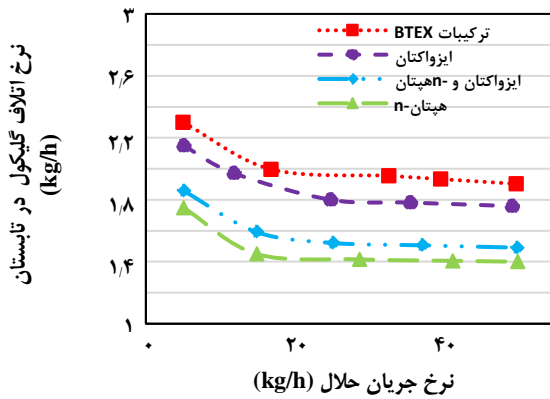
تأثیر متغیرهای عملیاتی بر فرایند دریزوی ترکیبی

عملکرد فرایند دریزوی ترکیبی در حضور حلال‌های گوناگون با شدت جرمی ۵ kg/h و ۱۰ kg/h در هر دو شرایط تابستان و زمستان بررسی شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، در هر دو شرایط تابستان و زمستان و برای هر حاللی، زمانی که نرخ حلال ۱۰ kg/h است، دمای نقطه‌ی شبنم گاز خشک کم‌تر از زمانی است که نرخ حلال ۵ kg/h می‌باشد. بنابراین با افزایش نرخ جریان حلال، دمای نقطه‌ی شبنم حلال کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در حالت‌های پیشین اشاره شده است، دمای نقطه‌ی شبنم گاز خشک در شرایط زمستان کم‌تر از این مقدار در شرایط تابستان است. همچنین شکل ۷ تأثیر نرخ جریان حلال از ۵ kg/h به ۱۰ kg/h، در همه حلال‌ها سرعت اتلاف گلیکول کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی خلوص گلیکول در شرایط تابستان و زمستان در جدول ۱۲، بیش‌تر بودن خلوص گلیکول در زمستان نسبت به تابستان را نشان می‌دهد. طبق شکل‌های ۶ و ۷

برای حلال متفاوت (BTEX، n-هپتان، ایزواکتان، ۵۰٪ n-هپتان و ۵۰٪ ایزواکتان) با افزایش نرخ جریان حلال، دمای نقطه شبنم گاز خشک کاهش می‌یابد. همچنین دمای نقطه شبنم در شرایط عملیاتی زمستان کم‌تر از این مقدار در تابستان است. با توجه به شکل ۴، کم‌ترین مقدار برای دمای نقطه شبنم گاز خشک در شرایط تابستان و زمستان به n-هپتان تعلق دارد. همچنین براساس شکل ۵ الف و ب، نرخ اتلاف گلیکول با افزایش نرخ جریان حلال کاهش می‌یابد. سرعت اتلاف گلیکول در شرایط زمستان کم‌تر از تابستان است و در هر دو شرایط، کم‌ترین مقدار سرعت اتلاف گلیکول با n-هپتان به‌دست می‌آید. طبق جدول ۱۱، در هر دو شرایط تابستان و زمستان، بیش‌ترین مقدار خلوص گلیکول به n-هپتان تعلق دارد و برای هر حلال، خلوص گلیکول در شرایط زمستان بیش‌تر از خلوص آن در تابستان است. نتیجه‌های ارایه شده نشان می‌دهد استفاده از ناخالصی‌های BTEX همراه با گاز طبیعی به عنوان حلال، می‌تواند خلوص گلیکول در شرایط عملیاتی متفاوت را همانند سایر حلال‌های هیدروکربنی بهبود بخشد و عملکرد یکسانی داشته باشد.

جدول ۱۱- تأثیر حلال‌های گوناگون بر خلوص گلیکول در شرایط تابستان و زمستان برای حالت ۲ (kg/h = ۵ شدت جریان حلال).

حلال‌ها	خلوص گلیکول در زمستان (wt%)	خلوص گلیکول در تابستان (wt%)
n-هپتان	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹۸
۵۰٪ n-هپتان - ۵۰٪ ایزواکتان	۹۹/۹۹۵	۹۹/۹۹۰
ایزواکتان	۹۹/۹۹۱	۹۹/۹۸۰
ترکیب‌های BTEX	۹۹/۸۵۰	۹۹/۸۱۰



شکل ۵- الف) تأثیر نرخ جریان حلال بر نرخ اتلاف گلیکول با استفاده از حلال‌های متفاوت (حالت ۲) در تابستان. ب) تأثیر نرخ جریان حلال بر نرخ اتلاف گلیکول با استفاده از حلال‌های متفاوت (حالت ۲) در زمستان.

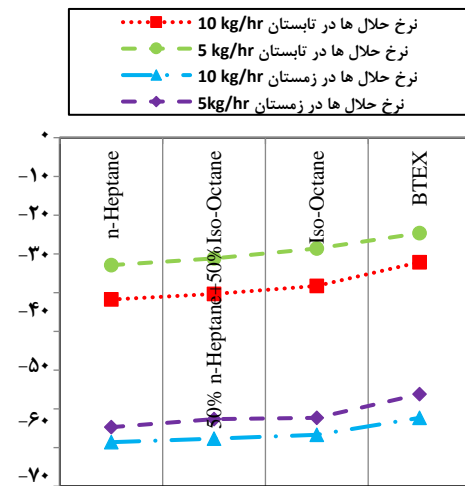
زیرا به سرعت در جوشاننده تبخیر می‌شود و فراریت آب را که منجر به افزایش غلظت تری‌اتیلن‌گلیکول می‌شود، بهبود می‌دهد.

مقایسه عملکرد روش‌های تزریق گاز حامل، فرایند دریزوی منفرد و

ترکیبی در فرایند احیای گلیکول دمای نقطه شبنم گاز خشک

عملکرد واحد آب‌زدایی پالایشگاه گاز فراشبند (تزریق گاز حامل) با دو فرایند دریزو منفرد و ترکیبی (حالت ۲ و ۳) مقایسه شده است. در فرایند دریزو دمای نقطه‌ی شبنم گاز خشک در شرایط تابستان در حالت‌های ۲ و ۳ به ترتیب -29°C و -25°C می‌باشد، ولی در پالایشگاه گاز فراشبند -25°C است. همچنین دمای نقطه شبنم گاز خشک در شرایط عملی زمستان برای حالت‌های ۱ تا ۳ به ترتیب -29°C ، -72°C و -67°C است. بنابراین کم‌ترین دمای نقطه‌ی شبنم گاز خشک در هر دو شرایط تابستان و زمستان به فرایند دریزوی منفرد تعلق دارد. اتلاف گلیکول در شرایط عملیاتی تابستان برای حالت‌های ۲ و ۳ به ترتیب $2/5 \text{ kg/h}$ و $2/65 \text{ kg/h}$ است، اما در حالت تزریق گاز حامل، 3 kg/h است. در شرایط زمستان اتلاف گلیکول برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب $2/8$ ، $2/3$ و $2/5 \text{ kg/h}$ می‌باشد.

دمای نقطه شبنم گاز خشک (درجه سلسیوس)



شکل ۶- تأثیر حلال‌های گوناگون بر دمای نقطه شبنم گاز خشک در فرایند دریزو ترکیبی در تابستان و زمستان.

و جدول ۱۲، n-هپتان عملکرد بهتری نسبت به سایر حلال‌ها دارد. n-هپتان فراریت آب را بهتر از سایر حلال‌های هیدروکربنی (ایزواکتان، BTEX و مخلوطی از n-هپتان و ایزواکتان) بهبود می‌بخشد،

جدول ۱۲- تأثیر حلال‌های گوناگون بر خلوص گلیکول در شرایط عملیاتی تابستان و زمستان در حالت ۳ (kg/h) = ۵ شدت جریان حلال).

حلال‌ها	خلوص گلیکول در زمستان (wt%)	خلوص گلیکول در تابستان (wt%)
n-هپتان	۹۹/۹۵۰	۹۹/۹۸۰
۵۰٪ n-هپتان-۵۰٪ ایزواکتان	۹۹/۹۸۰	۹۹/۹۵۰
ایزواکتان	۹۹/۹۵۰	۹۹/۹۰۰
ترکیب‌های BTEX	۹۹/۸۰۰	۹۹/۷۲۰

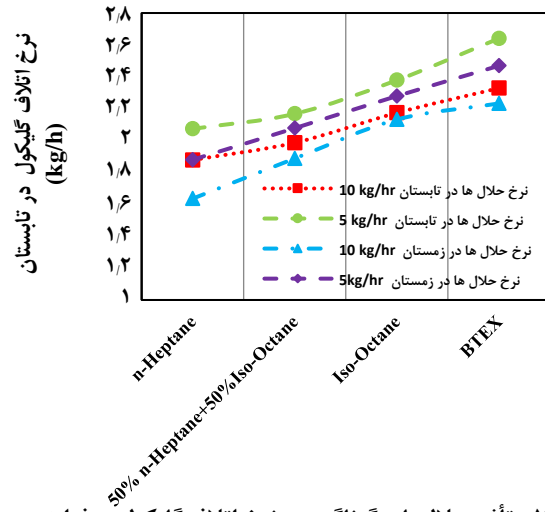
در دی‌اتیلن‌گلیکول کم‌تر از تری‌اتیلن‌گلیکول حل می‌شوند و به طور چشمگیری در اتیلن‌گلیکول کم محلول است [۱۵]. انتخاب بهترین جاذب در فرایند آب زدایی گاز طبیعی در فرایند دریزوی منفرد و ترکیبی در شکل ۸ بررسی شده است. بررسی حالت‌های گوناگون نشان می‌دهد که استفاده از تری‌اتیلن‌گلیکول به عنوان حلال آب زدایی عملکرد بهتری نسبت به دی‌اتیلن‌گلیکول دارد و همچنین می‌توان نتیجه گرفت که فرایند دریزوی منفرد بهتر از فرایند دریزوی ترکیبی است.

تأثیر دمای جوشاننده بر مقدار آب گاز طبیعی

جوشاننده‌ی با فشار عملیاتی اتمسفریک عامل مؤثری در کنترل مقدار آب در گاز طبیعی و انتشار BTEX از سامانه است. دمای جوشاننده باید تا حد امکان بالا باشد ولی از ۲۵۰°C فراتر نرود. دمای بالاتر، باعث اتلاف بیش از حد گلیکول و تخلیه جریان گاز دورریز و تخریب گرمایی گلیکول می‌شود. برای بررسی تأثیر دمای جوشاننده بر مقدار آب گاز طبیعی در فرایندهای دریزوی منفرد و ترکیبی در شرایط عملی تابستان، عملکرد n-هپتان و مخلوطی از n-هپتان-BTEX به عنوان حلال در دماهای گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، با افزایش دمای جوشاننده از ۱۸۰°C به ۲۰۰°C، مقدار آب در گاز طبیعی کاهش پیدا می‌کند. همچنین مقایسه‌ی بین حالت‌های گوناگون نشان می‌دهد، زمانی که از n-هپتان خالص به عنوان حلال استفاده می‌شود، مقدار آب در فرایند دریزوی منفرد کم‌ترین مقدار است.

بررسی اثرهای زیست‌محیطی فرایند دریزو

جدول ۱۳ میزان انتشار BTEX در واحد آب‌زدایی گاز طبیعی با استفاده از تزریق گاز حامل (حالت ۱) و فرایند دریزوی منفرد و ترکیبی (حالت‌های ۲ و ۳) با استفاده از ترکیب‌های BTEX و n-هپتان به عنوان حلال در برج دفع و در شرایط عملی تابستان و



شکل ۷- تأثیر حلال‌های گوناگون بر نرخ اتلاف گلیکول در فرایند دریزو ترکیبی در تابستان و زمستان.

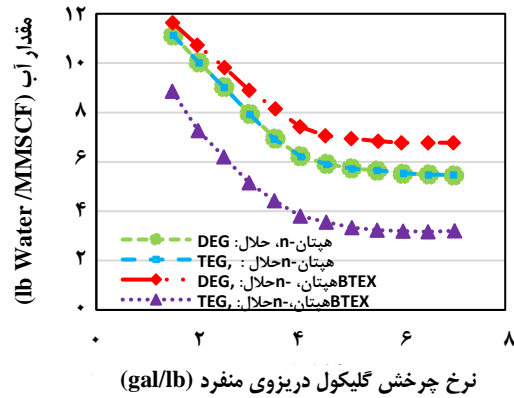
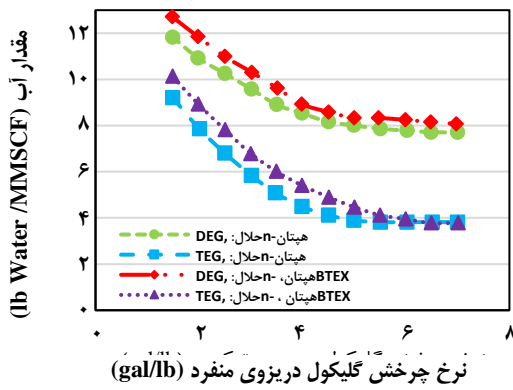
اتلاف گلیکول در فرایند آب‌زدایی با استفاده از فرایند دریزو کاهش می‌یابد و کم‌ترین اتلاف گلیکول در فرایند دریزوی منفرد در هر دو شرایط تابستان و زمستان به دست می‌آید.

خلوص گلیکول

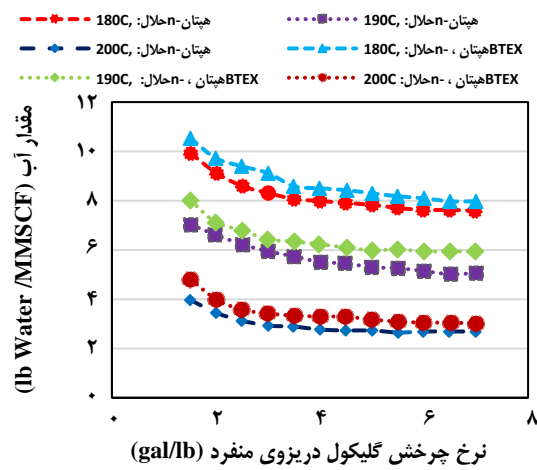
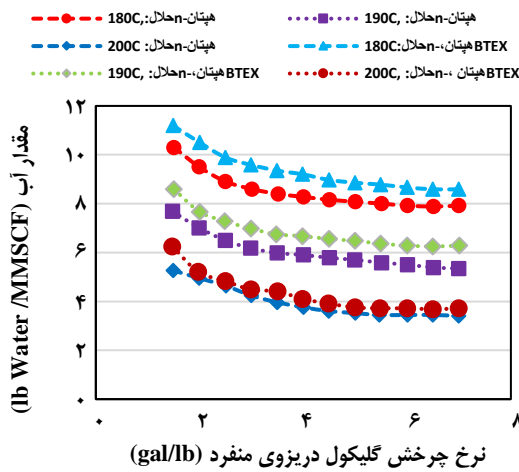
در شرایط عملی تابستان در حالت‌های ۱ تا ۳، خلوص گلیکول در جریان احیا شده گلیکول به ترتیب ۹۹/۶۳ درصد وزنی، ۹۹/۸۱ درصد وزنی و ۹۹/۷۲ درصد وزنی است. همچنین در زمستان، بیش‌ترین خلوص گلیکول به فرایند دریزوی منفرد که ۹۹/۸۵ درصد وزنی است، تعلق دارد. بنابراین بررسی حالت‌های گوناگون نشان می‌دهد که فرایند دریزو منفرد (حالت ۲) بهترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها دارد.

تأثیر عامل آب زدایی بر مقدار آب همراه گاز طبیعی

حلال آب‌زدایی، عامل مؤثر دیگر در کنترل مقدار آب همراه گاز طبیعی و انتشار گازهای BTEX می‌باشد. ترکیب‌های BTEX



شکل ۸ - الف) تأثیر حلال آبدایی بر مقدار آب موجود در گاز طبیعی در شرایط تابستان در فرایند دریزوی منفرد. ب) تأثیر حلال آبدایی بر مقدار آب موجود در گاز طبیعی در شرایط تابستان در فرایند دریزوی ترکیبی.



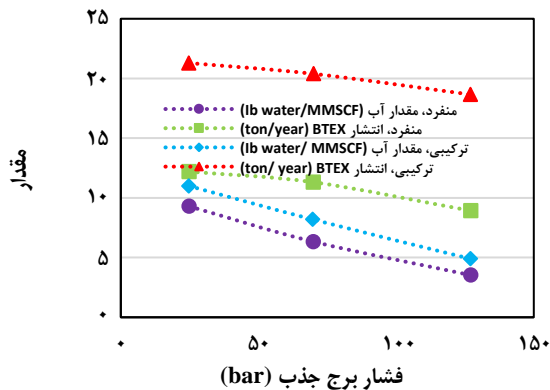
شکل ۹ - الف) تأثیر دمای جوشاننده بر مقدار آب در گاز طبیعی در شرایط تابستان در فرایند دریزوی منفرد. ب) تأثیر دمای جوشاننده بر مقدار آب در گاز طبیعی در شرایط تابستان در فرایند دریزوی ترکیبی.

مقدار آب گاز طبیعی است، اما به دلیل مسائل زیست‌محیطی، کاهش میزان انتشار ترکیب‌های BTEX بسیار مهم است. فرایند دریزو جایگزین مؤثری برای رسیدن به این هدف است. گرچه افزایش نرخ مصرف تری‌اتیلن‌گلیکول، مقدار آب در گاز طبیعی را کاهش می‌دهد، ولی با افزایش نرخ چرخش گلیکول سرعت انتشار BTEX نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). همچنین این شکل نشان می‌دهد افزایش نرخ چرخش تری‌اتیلن‌گلیکول به بیش از ۴ gal TEG/lb water در مقدار آب فرایندهای دریزوی منفرد و ترکیبی تأثیر چشمگیری ندارد. شکل ۱۱ تأثیر فشار برج جذب بر سرعت انتشار BTEX و مقدار آب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل آرایه شده است، افزایش فشار اعمال شده به برج جذب تأثیر چشمگیری بر کاهش BTEX و مقدار آب دارد.

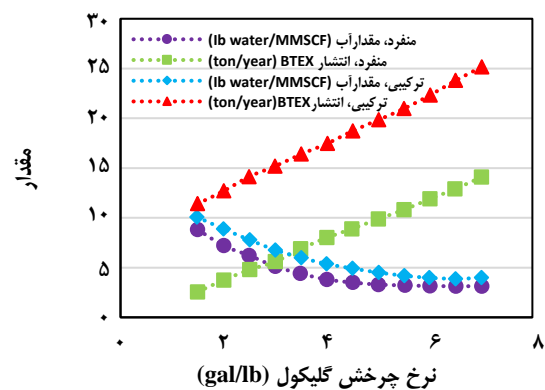
زمستان را مقایسه می‌کند. به دلیل جداسازی ترکیب‌های BTEX توسط جداکننده‌ی سه‌فازی در فرایند دریزو و بازگشت این ترکیب‌ها به برج دفع، سرعت انتشار در فرایند دریزوی منفرد و ترکیبی کاهش می‌یابد. ترکیب‌های BTEX بیش‌تری به‌وسیله گلیکول از گاز مرطوب جذب می‌شود، زیرا فرایند جذب در دمای کمتر، عملکرد بهتری دارد. بنابراین در شرایط عملیاتی زمستان، به دلیل بالا بودن ترکیب‌های BTEX در جریان حلال گلیکول، سرعت انتشار BTEX در همه‌ی حالت‌ها بیش‌تر می‌باشد. با وجود این که در فرایند دریزو، حلال n-Halal بهترین تأثیر را در پارامترهای مؤثر واحد آبدایی گاز دارد، اما در این پژوهش استفاده از ترکیب‌های BTEX پیشنهاد می‌شود زیرا این امر منجر به کاهش سرعت انتشار گازهای BTEX و کاهش هزینه تهیه حلال می‌شود. مهم‌ترین هدف فرایند دریزو کاهش

جدول ۱۳- سرعت انتشار BTEX در حالت‌های ۱ تا ۳

فرایند دریزو پیچیده (حالت ۳)		فرایند دریزو منفرد (حالت ۲)		گاز حامل (حالت ۱)	میزان انتشار BTEX به محیط زیست (kg/h)
n-Heptane= 5 kg/h	BTEX= 5 kg/h	n-Heptane= 5 kg/h	BTEX= 5 kg/h		
۱۲/۸	۱۱/۴	۱۰/۹	۹/۵	۹۱۲	تابستان
۱۴/۵	۱۲/۸	۱۲/۴	۱۰/۳	۱۰۲۳	زمستان



شکل ۱۱- اثر فشار برج جذب بر میزان آب همراه گاز و میزان انتشار ترکیب‌های BTEX در فرایند دریزوی منفرد و ترکیبی.



شکل ۱۰- اثر نرخ چرخش گلیکول بر میزان آب همراه گاز و میزان انتشار ترکیب‌های BTEX در فرایند دریزوی منفرد و ترکیبی.

نتیجه‌گیری

کاهش می‌دهد. با وجود اینکه در بین حلال‌های گوناگون n-Heptane بهترین عملکرد را دارد، استفاده از ترکیب‌های BTEX بازگشتی به عنوان حلال فرایند دریزو، انتشار ترکیب‌های BTEX را به شدت کاهش می‌دهد. فرایند دریزو به دلیل ضریب بالای آب زدایی و کاهش انتشار BTEX و اجرای آسان و هزینه کم به عنوان بهترین فرایند آب‌زدایی پیشنهاد می‌شود. همچنین نتیجه‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد با افزایش دمای جوشاننده، سرعت چرخش گلیکول و فشار برج جذب، می‌توان مقدار آب موجود در گاز طبیعی را کاهش داد.

انتشار ترکیب‌های BTEX در واحد آب‌زدایی گاز طبیعی چالش زیست‌محیطی مهمی در صنعت گاز است. به منظور ارایه راهکاری مناسب جهت کاهش انتشار ترکیب‌های BTEX در پالایشگاه گاز فرآیند، دو روش جایگزین براساس فرایند دریزو پیشنهاد شد. نتیجه‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با استفاده از فرایند دریزو برای احیای گلیکول به جای روش تزریق گاز حامل، پارامترهای عملیاتی همچون دمای نقطه شبنم آب، اتلاف گلیکول و خلوص گلیکول در جریان گلیکول احیا شده افزایش و همچنین انتشار گازهای BTEX کاهش می‌یابد. داده‌ها نشان می‌دهند که افزایش فشار در برج جذب میزان انتشار ترکیب‌های BTEX را

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۰

مراجع

[۱] افخمی پور، مرتضی؛ آذین، رضا؛ عصفوری، شهریار؛ مدل سازی جذب انتخابی گاز هیدروژن سولفید توسط

محلول متیل دی اتانول آمین در برج جذب پرشده، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۲): ۳۱ تا ۳۹

(۱۳۹۱).

- [۲] فتحی، سهراب؛ عسگری، سامانه؛ قائمی، نگین؛ شریف نیا، شهرام؛ اصلاح جاذب SAPO-34 جهت جداسازی دی اکسید کربن از گاز طبیعی در فشار پایین: بررسی اثر اسیدیته، تبادل یون و نسبت Si/Al، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۴): ۳۷ تا ۱۲۱ تا ۱۳۳ (۱۳۹۶).
- [3] Bahadori A., Vuthaluru H. B., [Rapid Estimation of Equilibrium Water Dew Point of Natural Gas in TEG Dehydration Systems](#), *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **1**: 68-71 (2009).
- [4] Rangunathan T., Xu X., Wood C.D., [Gas Phase Dehydration Using Hydrogels](#), *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **59**: 1-8 (2018).
- [5] Paymooni K., Rahimpour M.R., Raeissi S., Abbasi M., Saviz M.B., [Enhancement in Triethylene Glycol \(TEG\) Purity via Hydrocarbon Solvent Injection to a TEG + Water System in a Batch Distillation Column](#), *Energy Fuel.*, **25**: 5126-5137 (2011).
- [6] Bahadori A., [New Model Predicts Solubility in Glycols](#), *Oil Gas J.*, **105**: 50-55 (2007).
- [7] Rahimpour M.R., Seifi M., Saidi M., [Improvement of Natural Gas Dehydration Performance by Optimization of Operating Conditions: A Case Study in Sarkhun Gas Processing Plant](#), *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **15**: 118-126 (2013).
- [8] Covington K., Lyddon L., Ebeling H., ["Reduce Emissions and Operating Costs with Appropriate Glycol Selection"](#), *In Proceedings, Annual Convention-Gas Processors Association*, 42-48 (1998).
- [9] Chang S.F., Huang T.C., Pearson A.M., [Control of the Dehydration Process in Production of Intermediate-Moisture Meat Products: A Review](#), *Advances in Food and Nutrition Research*, **39**: 115-161 (1996).
- [10] Reid Laurance S., ["Goldfinger an Exhauster for Removing Trace Quantities of Water from Glycol Solutions Used for Gas Dehydration"](#), Ball-Reid Engineers, Inc., Oklahoma City, Oklahoma, 592-602 (1975).
- [11] Barbosa L.C., Fernandes Araújo José O.Q., Medeiros L., [Carbon Capture and Adjustment of Water and Hydrocarbon Dew-Points via Absorption with Ionic Liquid \[Bmim\]\[Ntf2\] in Offshore Processing of CO₂-Rich Natural Gas](#), *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **66**: 26-41 (2019).
- [12] Paymooni K., Rahimpour M.R., Raeissi S., Abbasi M., Saviz M.B., [Enhancement in Triethylene Glycol \(TEG\) Purity via Hydrocarbon Solvent Injection to a TEG + Water System in a Batch Distillation Column](#), *Energy Fuel.*, **25**: 5126-5137 (2011).
- [13] Kong Z.Y., Mahmoud A., Liu S., Sunarso J., [Revamping Existing Glycol Technologies in Natural Gas Dehydration to Improve the Purity and Absorption Efficiency: Available Methods and Recent Developments](#), *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **56**: 486-503 (2018).
- [14] Khosravanipour A.M., Rahimpour M.R., Shariati A., [Vapor-Liquid Equilibria of Water+Triethylene Glycol \(TEG\) and Water+TEG+Toluene at 85 kPa](#), *J. Chem. Eng. Data.*, **54**: 876-881 (2009).
- [15] Covington K., Lyddon L., Ebeling H., ["Reduce Emissions and Operating Costs with Appropriate Glycol Selection"](#), *In Proceedings, Annual Convention-Gas Processors Association*, 42-48 (1998).