



# آبزدایی گاز طبیعی

## مقدمه

علاوه بر هیدروکربن های مایع، ترکیبات گوگرددار، دی اکسید کربن، نیتروژن، هلیوم، ذرات ریز جامد؛ آب نیز به مقدار قابل توجهی همراه گاز طبیعی استخراج می گردد. آب به صورت Saturated Soluable Water و Freewater همراه گاز وجود دارد، آب آزاد در تاسیسات سرچاهی (یا نزدیک به تاسیسات) و همچنین در ورودی پالایشگاه توسط لخته گیرها تا سطح  $12-25 \text{ lb/MMscf}$  از جریان گاز طبیعی جدا می شود. برای رسیدن به شرایط مطلوب باید مقدار  $115 \text{ lb/MMscf}$  -  $20$  آب از جریان اشاره شده جدا شده تا به شرایط گاز قابل فروش برسد، برای این منظور از فرایندی به نام آبزدایی (Dehydration) استفاده می شود. در مطلب جاری ابتدا به صورت مختصر به مبانی آب محلول اشاره شده و پس از ارائه لیستی از روش های مرسوم، آبزدایی به وسیله حلال مایع بررسی خواهد شد.

## ۱ « مبانی آب محلول در گازها »

میزان آب محلول در گازها را می توان برحسب نسبت حجمی، نسبت جرمی یا نقطه شبنم در فشار معین محاسبه نمود. برای محاسبه مقدار جذب آب در گازها غالباً از نمودارهای تجربی استفاده می شود که برای گاز شیرین بر حسب دما و فشار رسم شده اند. پس از بدست آوردن میزان آب موجود در گاز شیرین، با اعمال ضرایب اصلاح، تاثیر نمک و وزن مولکولی در نتایج لحاظ می شود. اعمال ضریب تصحیح نباید در شرایط حضور گازهای  $\text{H}_2\text{S}$  and/or  $\text{CO}_2$  انجام شود. همچنین باید دقت کرد که میزان جذب آب در گاز ترش بیشتر از گاز شیرین می باشد. تاثیر ترکیب گاز تحت اثر فشار به ویژه در حالتی که گاز حاوی  $\text{H}_2\text{S}$  and/or  $\text{CO}_2$  باشد، بیشتر می باشد.  $62 \text{ GPA RR}$  نمودارهای [معادلات حالت] مورد نیاز مربوط به میزان آب محلول را برای  $20$  هیدروکربن مختلف ارائه نموده است. از این معادلات حالت EOS [Equations-of-State] می توان برای تخمین مقدار آب حل شده در سیستم های هیدروکربنی استفاده نمود.  $42 \text{ GPA PR}$  نیز یک مقایسه تجربی در مقابل مقادیر محاسبه شده با استفاده از معادلات حالت اصلاح شده SRK [Soave- Redlich-Kwong] ایجاد نموده است. نتایج معادلات حالت را باید با احتیاط استفاده کرد و در صورت امکان به اطلاعات تجربی نیز توجه نمود. جالب است که بدانیم میزان حل شدن هیدروکربن در آب از میزان حل شدن آب در هیدروکربن کمتر است. برای گاز شیرین با مقدار گاز متان بیش از  $70\%$  و مقدار هیدروکربن های سنگین ناچیز، مقدار جذب آب به کمک نمودار شکل ۱، قابل محاسبه است. این نمودار برای اولین بار در سال ۱۹۵۸ میلادی توسط McKetta-Wehe ارائه شده و مبنای طراحی فرایندهای آبزدایی قرار گرفته است. جداسازی آب محلول از جریان گاز طبیعی بر مبنای روش های فیزیکی جذب آب صورت می گیرد. میزان آب جذب شده توسط هیدروکربن ها با دما و فشار رابطه دارد و بر همین مبنا با کاهش دما می توان بخش قابل توجهی از آب محلول را از جریان گاز جدا نمود، از طرف دیگر برخی از مواد مایع یا جامد



بخشی از گزارش پروژه مطالعاتی آبزدایی از گاز طبیعی<sup>۱</sup>

معاونت مهندسی شرکت سپانیر

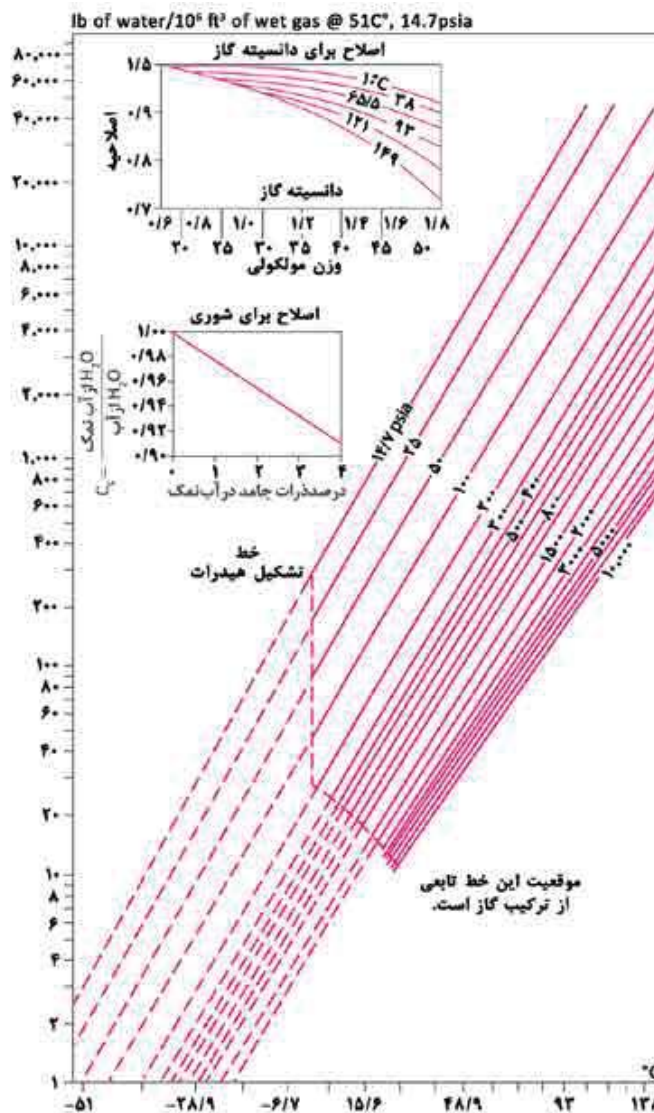
هنگام استخراج گاز طبیعی یا نفت خام، مقداری آب نیز به همراه آن استخراج می شود. آب در هیدروکربن ها محلول نیست، اما هیدروکربن ها می توانند مقداری بخار آب را جذب کنند. این بخار آب در گاز به صورت اشباع می باشد. مقدار جذب آب با دما نسبت مستقیم و با فشار گاز نسبت معکوس دارد. وجود آب در گاز طبیعی می تواند باعث ایجاد مشکلات متعددی شود، این مشکلات عبارتند از:

- ۱- وجود آب همراه گاز می تواند باعث تشکیل هیدرات در خط لوله انتقال گاز و انسداد مسیر عبور گاز شود. همچنین وجود قطرات آب نیز باعث ایجاد مشکلات مختلفی می شود. بنابراین دمای نقطه شبنم گاز باید پایین تر از کمترین دمای ممکن خط لوله باشد تا بخار آب میعان نشود.
- ۲- در حضور  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$  خوردگی تجهیزات فلزی افزایش می یابد.
- ۳- میعان شدن بخار آب، شرایط دوفازی به وجود می آورد که این جریان باعث کاهش بازده انتقال سیال و ارتعاش در خط لوله می شود. همچنین عمر لوله ها به دلیل سایش کاهش می یابد.
- ۴- وجود آب باعث کاهش ظرفیت انتقال خط لوله و همچنین کاهش ارزش حرارتی گاز می شود.
- ۵- در فرایندهای سرمایشی نظیر تفکیک هیدروکربن های مایع (NGL) یا تولید LNG آب موجود در جریان گاز میعان شده و باعث بروز مشکل می شود. در این حالت مقدار آب موجود در گاز باید  $1 \text{ ppmw}$  و کمتر باشد.
- ۶- مطابق بیشتر قراردادهای فروش گاز [تعرفه انتقال گاز از طریق خط لوله] حداکثر مقدار مجاز آب تعیین می شود و پالایشگاه باید گاز را با این مشخصات تحویل دهد. این مقدار در کشور آمریکا  $7 \text{ lb/MMscf}$  معادل  $122 \text{ gr/Sm}^3$  است. در ایران نیز همین مقدار حد مقدار مجاز آب تعیین شده است. در کشور کانادا حد مجاز  $2 \text{ lb/MMscf}$  و در کنسرسیوم اروپایی متشکل از کشورهای آلمان، فرانسه، بلژیک و هلند مقدار مجاز آب  $2/5 \text{ lb/MMscf}$  تعیین شده است. این مقدار همچنین برابر  $40 \text{ kg/10}^6 \text{ Sm}^3$  و برابر  $40 \text{ ppmw}$  در شرایط استاندارد  $15^\circ\text{C}$  در فشار  $101325 \text{ kPa}$  می باشد. علاوه بر واحدهای اشاره شده در پالایشگاه ها مرسوم است که مقدار آب مجاز را بر حسب نقطه شبنم آب در فشار مشخص اعلان کنند. در این روش مقدار مجاز نقطه شبنم آب در کنسرسیوم اروپایی  $15^\circ\text{C}$  - در فشار  $69 \text{ bar}$  می باشد.

بوده و ترجیح داده شوند. تقریباً از همه روش های اشاره شده به صورت عملیاتی استفاده شده است. برخی از آنها نظیر جداسازی به وسیله جاذب ها پر کاربردتر بوده و برخی دیگر نظیر جداسازی به وسیله غشا، فناوری در حال توسعه محسوب شده و تا کنون تنها یک واحد به صورت نمونه توسط شرکت شل در نیجریه، با استفاده از غشا ساخته شده است. استفاده از غشا در آب زدایی، یک پیشنهاد جذاب می باشد، غشاها سبک هستند و دارای دامنه عملیاتی (Turndown ratio) گسترده ای می باشند و به تعمیرات کمی نیاز دارند. در حال حاضر غشاها در جداسازی دی اکسید کربن کاربرد دارند. در شرایط خاص نظیر جریان گاز کمتر از 10 MMscfd، آب زدایی به وسیله غشا نسبت به آب زدایی به وسیله گلاپکول قابل رقابت می باشد. برای حجم گاز روزانه بیشتر، غشاها در حال حاضر غیراقتصادی می باشند. علاوه بر آن در دمای کمتر از 10°C و در صورت وجود ذرات جامد و قطرات مایع با اندازه بزرگتر از 3 میکرون غشا دچار مشکل می شود. حدس زده می شود که استفاده از غشا در آینده برای آب زدایی و شیرین سازی اقتصادی شود. همچنین ادعا می شود استفاده از غشا در فراساحل تا حدود 56 MMscfd نسبت به استفاده از آب زدایی به وسیله TEG اقتصادی تر بوده و علاوه بر آن مشکل انتشار BTEX نیز وجود ندارد. یک روش خلاقانه برای جداسازی آب که می تواند هم زمان از آن برای جداسازی مایعات هیدروکربنی، سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن نیز استفاده نمود، Twister می باشد.

این تجهیز هیچ بخش متحرکی ندارد و مناسب استفاده در فراساحل برای جداسازی کلی مایعات و مواد زائد دیگر همراه گاز می باشد. فشار بالا و ایجاد سرعت فراصوت اساس این فناوری محسوب می شود. این روش از پشتیبانی شرکت شل برخوردار بوده و به صورت آزمایشی در تاسیسات فراساحل استفاده شده است. یک روش دیگر اما کم کاربرد در آب زدایی استفاده از فناوری Vortex tube می باشد. از این روش تاکنون در هیچ واحد پالایشگاهی استفاده نشده است، تنها نمونه عملیاتی از این روش استفاده از آن برای آب زدایی از گاز در واحدهای ذخیره زیرزمینی گاز طبیعی می باشد. یکی از سناریوهایی که می توان برای آینده این فناوری پیش بینی کرد، استفاده ترکیبی با روش های جذب نظیر روش جذب توسط TEG می باشد. آب زدایی توسط TEG نسبت به آب زدایی توسط سیلیکاژل از سرمایه گذاری اولیه و عملیاتی کمتر، انتشار آلاینده کمتر، اشغال فضای کمتر و بهره برداری آسان تری برخوردار است. آب زدایی به وسیله گلاپکول ارزانتر از آب زدایی به وسیله جاذب های سطحی به ویژه از نوع غربال مولکولی می باشد، به انرژی کمتری برای احیا نیاز دارد، جبران گلاپکول تلف شده ارزانتر از تعویض جاذب های سطحی است و همچنین اضافه نمودن گلاپکول در حین عملیات امکان پذیر است، اما برای تعویض جاذب های جامد باید عملیات متوقف شود (یا یک برج اضافه وجود داشته باشد). در مجموع روش های آب زدایی را می توان به این صورت دسته بندی نمود:

- ۱- آب زدایی به وسیله جاذب های مایع
- ۲- آب زدایی به وسیله سرمایش (تبرید)
- ۳- آب زدایی به وسیله جذب سطحی
- ۴- آب زدایی به وسیله جاذب های جامد
- ۵- جداسازی توسط غشا
- ۶- جداسازی فراصوت
- ۷- روش های ترکیبی



شکل ۱: محتوای آب، گاز طبیعی شیرین به صورت تابعی از دما و فشار؛ به همراه اصلاحیه شوری، اصلاحیه دانسیته؛ خط چین ها تعادل فرایابدار را نشان می دهند. McKetta-Wehe

تمایل به جذب آب دارند و برخی از مواد نیز نظیر غربال های مولکولی می توانند مولکول های آب را به تله بیندازند. علاوه بر روش های اشاره شده می توان از غشا نیز برای جداسازی مولکول های آب از سایر مولکول ها استفاده نمود. همچنین به دلیل تفاوت وزن و اندازه حرکت مولکول های آب، گاز و ناخالصی ها، این تفاوت می تواند پایه فرایندهای فراصوت (Twister) و Vortex برای جداسازی توده های آب و ناخالصی ها قرار گیرد. علاوه بر روش های اشاره شده به منظور افزایش بازده و کاهش هزینه ها می توان از روش های ترکیبی نظیر سرمایش - جذب یا غشا - جذب و همچنین فراصوت - جذب استفاده نمود. با استفاده از اصول فیزیکی اشاره شده می توان آب را تا میزان مطلوب از جریان گاز طبیعی جدا نمود. بر پایه اصول اشاره شده فناوری و فرایندهای مناسب آب زدایی طراحی شده و سال های زیادی است که در پالایشگاه های گاز استفاده می شوند. برخی از روش ها به دلیل استفاده از یک تجهیز خاص یا به دلیل بهبود در فرایند جذب آب یا احیا حلال، فرایندی تحت Licence به حساب می آیند. اما امروزه به تعداد کافی فرایندهای Open-Art برای طراحی واحد آب زدایی وجود دارد. روش های مختلف آب زدایی، هر کدام بسته به شرایط ممکن است نسبت به روش های دیگر دارای مزیت هایی

در ادامه به بررسی روش آب‌زدایی به وسیله جاذب‌های مایع پرداخته شده و کلیات، فرایند و همچنین روش‌های تحت Licence بررسی خواهند شد. در شماره‌های آتی سایر روش‌ها بررسی خواهند شد:

**آب‌زدایی به وسیله جاذب‌های مایع**

جذب آب به وسیله جاذب‌ها/خشک‌کننده‌های مایع (Liquid Desiccants) یکی از روش‌های قدیمی فیزیکی آب‌زدایی می‌باشد. تعدادی از مایعات قابلیت جذب آب از جریان گاز را دارند و از میان آنها تعداد کمی، دارای مشخصات مناسب استفاده در کاربردهای تجاری می‌باشند. از کلراید کلسیم در اوایل دهه ۱۹۳۰ میلادی به عنوان جاذب برای آب‌زدایی از گاز طبیعی استفاده شد. دی‌اتیلن گلیکول (DEG) نیز در سال ۱۹۳۶ میلادی بدین منظور مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل مشخصات بسیار خوب گلیکول‌ها به ویژه تری‌اتیلن گلیکول (TEG) به تدریج استفاده از این جاذب مایع برای آب‌زدایی از گاز طبیعی گسترش یافت. باید توجه نمود که هر ماده جاذبی نمی‌تواند مناسب آب‌زدایی از گاز طبیعی باشد. جاذب‌هایی مناسب کاربرد تجاری باید دارای معیارهای زیر باشند:

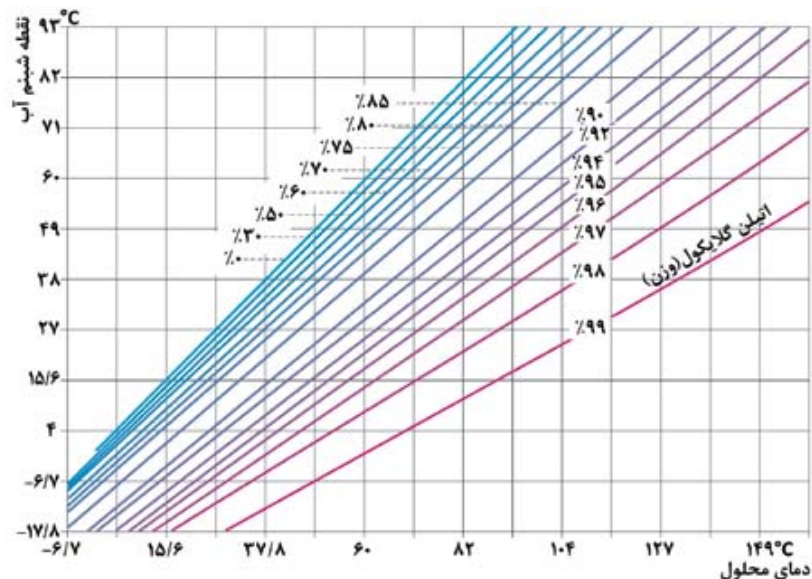
- ۱- جاذب باید آب دوست باشد. یعنی تمایل شدیدی برای جذب آب داشته باشد و همزمان باید ظرفیت جذب بالایی داشته باشد. همچنین جاذب باید قادر به کاهش میزان آب به میزان مطلوب باشد.
- ۲- هیدروکربن‌ها باید حلالیت کمی در [مایع] جاذب داشته باشند تا از اتلاف جاذب جلوگیری شده و همچنین گاز خروجی حاوی حداقل حلال باشند.
- ۳- جاذب باید به راحتی و به صورت پیوسته برای استفاده مجدد در غلظت‌های بالا قابل احیا باشد.
- ۴- فشاربخار جاذب باید کم باشد. این موضوع، مقدار اتلاف حلال در اثر تبخیر را کاهش می‌دهد. همچنین جاذب نباید باعث افت فشار زیاد در فرایند شود.
- ۵- جاذب باید دارای استحکام فیزیکی مناسب بوده و پایداری حرارتی خوبی به ویژه در دماهای بالا داشته باشد.
- ۶- جاذب نباید در گستره حرارتی فرایند آب‌زدایی، تبخیر یا منجمد شود.
- ۷- جاذب نباید با هیچکدام از اجزا گاز طبیعی به ویژه دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن واکنش دهد.
- ۸- جاذب باید ضمن داشتن هزینه ثابت و عملیاتی پایین، به راحتی در دسترس و قابل تهیه باشد.
- ۹- جاذب نباید باعث خوردگی مواد فلزی تجهیزات فرایندی و لوله‌ها شود یا در حضور ترکیبات گاز طبیعی شرایط خوردگی را تشدید نماید، همچنین جاذب نباید تمایل به تشکیل رسوب یا کف داشته باشد یا اینکه باید برای جلوگیری از این مشکلات راه حل مناسبی وجود داشته باشد. علاوه بر آن جاذب نباید تمایل به تشکیل امولسیون داشته باشد.
- ۱۰- جاذب در صورت امکان باید غیرسمی باشد و همچنین مواد سمی تولید نکند، در غیر این صورت باید فرایند مناسب برای جلوگیری از انتشار جاذب یا مواد سمی تولید شده وجود داشته باشد.

دسته‌ای از ترکیبات آلی به نام گلیکول‌ها به خوبی با معیارهای اشاره شده تطابق دارند، نقطه جوش این ترکیبات بالاتر از آب است و فشار بخار آنها کمتر می‌باشد. البته گلیکول‌ها در دمای بالا تجزیه می‌شوند و این دما

حداکثر دمای فرایند [دما در ریویولر] را تعیین می‌کند. گلیکول‌های TEG، DEG، MEG(EG) یا T4EG می‌توانند در فرایند آب‌زدایی مورد استفاده قرار گیرند. اما به دلایل مختلف تنها TEG به عنوان جاذب مایع از خانواده گلیکول‌ها دارای کاربرد تجاری می‌باشد. MEG که به نام EG نیز شناخته می‌شود بیشتر به عنوان ممانعت‌کننده از یخ‌زدن یا تشکیل هیدرات در مسیر انتقال گاز طبیعی کاربرد دارد. DEG اگرچه ارزان‌تر از TEG است اما به دلیل فشار بخار بالا، دارای اتلاف زیادی می‌باشد. ضمن آنکه تمایل به ترکیب با آب DEG کمتر از TEG می‌باشد و در نتیجه کاهش نقطه شبنم آن هم کمتر است. از سوی دیگر T4EG گران‌تر و دارای ویسکوزیته بالاتری می‌باشد، این گلیکول اگرچه دارای فشاربخار کمتر و در نتیجه اتلاف کمتری است اما گران‌تری (ویسکوزیته) بالای آن باعث افزایش هزینه پمپاژ می‌شود. از T4EG می‌توان به عنوان جاذب مایع تا دمای ۵۰ استفاده نمود اما تاکنون هیچ واحد تجاری با استفاده از آن ساخته نشده است. فرایند پایه یک واحد با استفاده از TEG را در شکل ۳ مشاهده می‌نمایند. در این فرایند با کاهش نقطه شبنم به میزان ۷۰-۳۰°C، میزان آب موجود در جریان گاز به مقدار مورد نظر تقلیل می‌یابد. برای دستیابی به نقطه شبنم پایین‌تر و جداسازی NGL لازم است TEG در محدوده ۹۹/۹۹ تا ۹۹/۹۹۹ درصد در زمان احیا تغلیظ شود. امکان استفاده از این حلال مایع برای گازهای ترش وجود دارد، اما در طراحی باید احتیاط‌های لازم در نظر گرفته شود، زیرا ممکن است گازهای اسیدی در حلال حل شوند. در غلظت‌های بالای گاز اسیدی و فشار نسبی بالا، گلیکول انحلال‌پذیر خواهد شد. مشخصات دسته‌بندی شده این گلیکول‌ها به همراه متانول در جدول ۱، آمده است. معرفی مختصری از این حلال‌ها به این صورت می‌باشد:

#### ۱ «مونواتیلن گلیکول»

از این حلال بیشتر به عنوان ممانعت‌کننده از تشکیل هیدرات (Hydrate inhibitor) در مواردی که بتوان به وسیله جداسازی در دمای کمتر از ۱۰°C آن را بازیابی کرد، استفاده می‌شود. این حلال به دلیل اتلاف زیاد بخار مناسب استفاده در سیستم آب‌زدایی نمی‌باشد. MEG (Mono Ethylene Glycol) با نام EG نیز شناخته می‌شود. از اتیلن گلیکول برای جلوگیری از تشکیل هیدرات در خطوط انتقال گاز طبیعی [گازخام] از تاسیسات سرچاهی تا پالایشگاه گاز استفاده می‌شود. غالباً در پالایشگاه گلیکول از مخلوط آب و گلیکول و مقدار کم هیدروکربن‌های مایع، بازیابی شده و به وسیله یک خط لوله مجدد به تاسیسات سرچاهی منتقل می‌شود. در داخل پالایشگاه به دلیل عدم امکان



شکل ۲: نقطه شبنم گاز در حضور محلول آب و اتیلن گلیکول

نوع گلیکول / الکل	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی	دمای جوش (°C)	فشاربخار (۲۰°C) mmHg	چگالی g/cc @ ۲۰°C	گرانروی cP @ ۲۵°C	دمای انجماد (°C)	دمای اشتعال (°C)	دمای تخریب (°C)
۱ MEG	$C_2H_6O_2$	۶۲	۱۹۷	۰/۰۶	۱/۱۱۵	۱۶/۹	-۱۳/۴	۱۱۶	۱۶۵
۲ DEG	$C_4H_{10}O_4$	۱۰۶/۱	۲۴۵	۰/۰۲	۱/۱۱۸	۳۵/۷	-۹	۱۵۴	۱۶۴
۳ TEG	$C_6H_{14}O_6$	۱۵۰	۲۸۸	<۰/۰۱	۱/۱۲۵	۴۹	-۴/۳	۱۷۷	۲۰۷
۴ T4EG	$C_8H_{18}O_8$	۱۹۴/۲	۳۲۹	<۰/۰۱	۱/۱۲۴	۵۸/۳	-۴	۲۰۲	۲۳۷
۵ MeOH	$CH_3OH$	۳۲/۰۴	۶۴	۹۷	۰/۷۹	۰/۵۵	-۹۷/۸	۱۲	-

جدول ۱: مشخصات گلیکول‌ها و متانول، بر مبنای اطلاعات سایت شرکت DOW

#### ۴ «تترا اتیلن گلیکول»

این حلال دارای ویسکوزیته بالایی می‌باشد و به نسبت سایر گلیکول‌ها گرانتتر است. مزیت T4EG پایین‌تر بودن فشار بخار و در نتیجه اتلاف کمتر در مقایسه با سایر گلیکول‌ها در برج جذب می‌باشد. این حلال را در محدوده دمایی ۲۲۱°C-۲۰۴°C می‌توان تغلیظ کرد. T4EG در دمای نزدیک به ۲۳۷°C تخریب می‌شود. بنابراین این جاذب مناسب آب‌زدایی از گازها در دمای بالاتر از ۵۰°C می‌باشد، اما تاکنون هیچ نمونه صنعتی با استفاده از این حلال ساخته نشده است.

#### طراحی فرایند

برای طراح یک واحد آب‌زدایی لازم است ابتدا به مشخصات گازی که باید پالایش شود توجه کرد و سپس شرایط فرایندی، ظرفیت واحد، مشخصات محصول مورد انتظار و در نهایت آلاینده‌گی و پساب‌های احتمالی را در نظر داشت. در این بخش بررسی حلال‌های مایع و به صورت مشخص TEG مد نظر می‌باشد. علیرغم کلی بودن برخی ملاحظات طراحی، برخی از آنها فقط مربوط به TEG می‌باشند.

#### ۱ «دمای گاز»

در یک فشار ثابت، میزان آب محلول با افزایش دما، افزایش می‌یابد به عنوان مثال در فشار ۱۰۰۰ psia و در دمای ۲۷°C میزان آب محلول ۳۴ lb/MMscf و در دمای ۴۹°C میزان آب محلول ۱۰۴ lb/MMscf می‌باشد، این مقادیر نشان می‌دهد که آب‌زدایی در دمای بالا علاوه بر این که بار (Load) را افزایش خواهد داد، آب باقی‌مانده ممکن است تا بیش از سه برابر میزان مورد انتظار و مطلوب [مشخصه گازفروش] باشد. از طرف دیگر دمای بالای ۴۶°C باعث اتلاف زیاد TEG می‌شود. در این حالت می‌توان از T4EG استفاده نمود، البته مشروط به آنکه هزینه آن قابل پذیرش باشد. محدودیت دمایی دیگر مربوط به دمای شکل‌گیری هیدرات می‌باشد. در محدوده ۱۸-۲۱°C هیدرات تشکیل می‌گیرد. در دمای پایین‌تر از محدوده اشاره شده یک امولسیون پایدار میان حلال

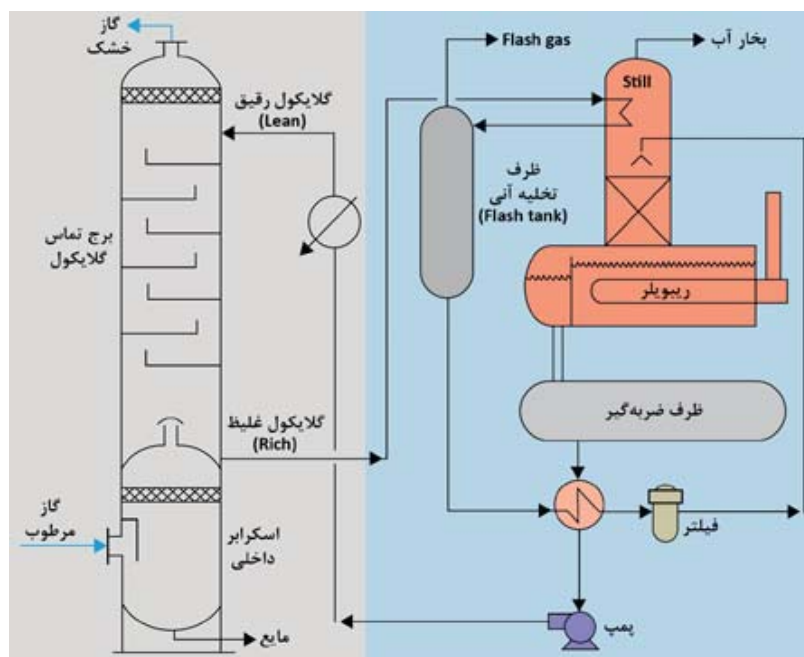
بازیابی گلیکول و نامناسب بودن آن در ترکیب گاز طبیعی، برای جلوگیری از تشکیل هیدرات در طی فرایندهای پالایشی از متانول استفاده می‌شود. متانول مصرفی بازیابی نمی‌شود، مقداری از آن فلر شده و مقدار بسیار کمی نیز در گاز فروش [گاز خروجی از واحد آب‌زدایی] باقی می‌ماند، این مقدار معمولاً در حد مجاز می‌باشد.

#### ۲ «دی اتیلن گلیکول»

این حلال از نظر قیمت از MEG گرانتتر و از TEG ارزان‌تر می‌باشد. DEG اتلاف زیادی به دلیل فشار بخار بالا دارد. این حلال را در محدوده دمایی ۱۶۳°C-۱۵۷°C می‌توان تا ۹۷٪ تغلیظ کرد. از طرف دیگر DEG در دمای نزدیک به ۱۶۴°C تخریب می‌شود. به همین دلیل تغلیظ آن از نظر صنعتی در محدوده مناسب فرایند آب‌زدایی به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه نقطه شبنم حاصل از این گلیکول بالاتر از دمای مطلوب می‌باشد. از DEG می‌توان در دماهای پایین‌تر از ۱۰°C استفاده نمود زیرا که این گلیکول در این محدوده دمایی دارای ویسکوزیته بالایی می‌باشد.

#### ۳ «تری اتیلن گلیکول»

این جاذب در میان گلیکول‌ها از هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر و اطمینان عملیاتی بیشتر برخوردار می‌باشد و استفاده از آن اقتصادی‌تر می‌باشد. این حلال را در محدوده دمایی ۲۰۴°C-۱۷۷°C می‌توان تا بیش از ۹۸٪ تغلیظ کرد. TEG در دمای نزدیک به ۲۰۷°C تخریب می‌شود. با استفاده از گازعریان‌ساز، امکان کاهش نقطه شبنم به میزان بیشتر از ۸۰°C به وسیله این جاذب امکان‌پذیر می‌باشد. در دمای بالاتر از ۴۸°C در برج جذب، احتمال اتلاف بخار وجود دارد. ویسکوزیته TEG در دمای کمتر از ۱۰°C پایین می‌باشد و در نتیجه علاوه بر مشکلات پمپاژ در برج جذب و تماس با گاز نیز مشکل ایجاد می‌کند.



شکل ۳: فرایند پایه آب‌زدایی با استفاده از TEG

و بستر پر شده سرامیکی آن می شود. بهترین دما برای خروج بخار از سیال، محدوده  $107^{\circ}\text{C}$  -  $102^{\circ}\text{C}$  می باشد. افزایش دما به بیش از  $121^{\circ}\text{C}$  باعث تبخیر و همچنین اتلاف TEG می شود. دما در قسمت بالای ستون تقطیر همچنین می تواند با افزایش میزان اتیلن گلیکول عبور کرده از کندانسور جریان برگشتی (Reflux Condenser Coil) کاهش یابد. اگر دما در قسمت اشاره شده خیلی افت کند و به کمتر از  $104^{\circ}\text{C}$  برسد، باعث می شود که مقدار زیادی آب، میعان شده و به قسمت ریویلر برگردد، این موضوع باعث اتلاف انرژی و افزایش بار ریویلر برای تبخیر مجدد آب می شود. همچنین سرد بودن بیش از اندازه گلیکول گردش در کندانسور جریان برگشتی، می تواند باعث کاهش دما در این کندانسور به کمتر از  $104^{\circ}\text{C}$  شده و میعان شدن بخار آب افزایش می یابد. به همین دلیل معمولاً از یک شیر دستی یا شیر کنترل خود کار برای کنترل جریان برگشتی و کنترل تاثیر آن بر دمای ستون تقطیر استفاده می شود.

#### ۴ فشار در ستون جذب

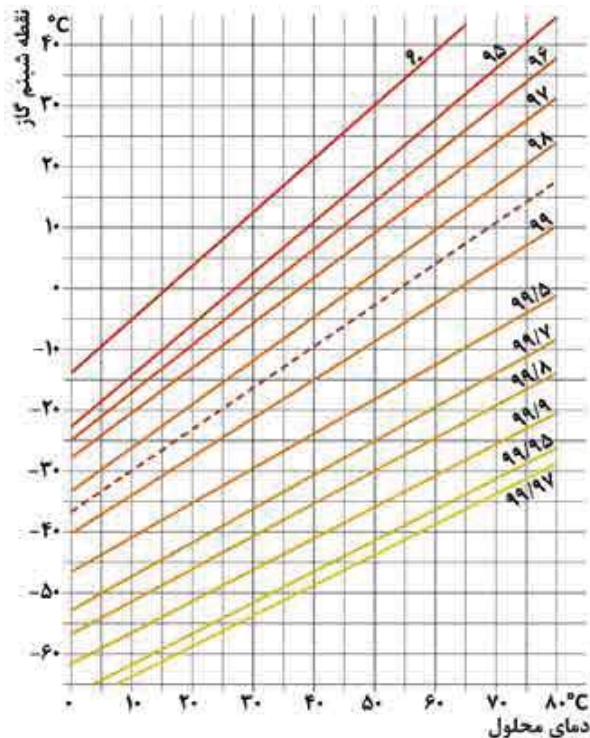
در یک دمای ثابت، مقدار آب در گاز با افزایش فشار، کاهش می یابد. فشار پایین به معنای اندازه بزرگتر ستون جذب [قطر ستون] می باشد. بهترین آب زدایی در فشار کمتر از  $3000\text{ psig}$  در حالیکه فشار ثابت است اتفاق می افتد، اما حالت بهینه غالباً مربوط به فشار  $1200\text{ psig}$  -  $550\text{ psig}$  است. طراحی باید بر اساس حداقل فشار قابل انتظار گاز ورودی در حالت عملیاتی باشد. همچنین تغییرات سریع فشار باعث تغییرات سریع سرعت جریان گاز شده و در اثر آن ممکن است به آب بندهای داخل برج آسیب برسد. همچنین این تغییرات ممکن است موجب جریان یافتن گاز از طریق Downcomer و هم از طریق Bubble cap ها شود. این تغییرات می تواند باعث شود که گلیکول به جای تماس مناسب، با گاز حرکت کرده [بچرخد] و در اثر آن سرعت آب جذب شده کاهش یافته و از مشخصات مطلوب گاز فروش نیز فاصله بگیرد.

#### ۵ فشار در بخش احیا

کاهش فشار در ریویلر و ستون تقطیر باعث افزایش خلوص گلیکول بازیابی شده می شود. بیشتر احیاکنندها برای فشار پایین طراحی می شوند. در شرایط فشار اتمسفری، افزایش فشار در ستون بالای ریویلر باعث کاهش خلوص گلیکول شده و اتلاف گلیکول نیز افزایش می یابد. رسوب بر روی سرامیک های برج تقطیر باعث افزایش فشار می شوند. برای جلوگیری از این افزایش فشار و ایجاد فشار برگشتی به قسمت ریویلر باید اجازه داد از طریق Vent فشار کاهش یابد و همچنین به صورت دوره ای باید سرامیک های بستر تعویض گردند. فشار کمتر از فشار اتمسفر راندمان خالص سازی گلیکول را افزایش می دهد زیرا که در این شرایط دمای جوش مخلوط گلیکول و آب کاهش می یابد. در عمل طراحی ریویلر تحت شرایط خلا پیچیده می باشد. اگر گلیکول با خلوص  $99/5\%$  نیاز باشد، باید ریویلر در فشار  $10\text{ psia}$  قرار داشته باشد یا اینکه از گازعریان سازی (Stripping gas) استفاده شود.

#### ۶ غلظت گلیکول

در مطالب قبلی اشاره شد که غلظت گلیکول در تنظیم نقطه شبنم نقش اساسی دارد به عنوان نمونه با TEG با خلوص  $99\%$  می توان به نقطه شبنم  $12^{\circ}\text{C}$  رسید، این در حالی است که با TEG که خلوص آن  $99/9\%$  است می توان به نقطه شبنم پایین تر از  $40^{\circ}\text{C}$  دست یافت. با افزایش دما، کاهش فشار یا استفاده از گازعریان ساز می توان به گلیکول با خلوص بالا دست یافت. در شرایط تزریق مستقیم گاز (از طریق Sparger tube)، خلوص TEG می تواند از  $99/1\%$  تا  $99/6\%$  افزایش یابد. با استفاده از روش اشتال (Stahl method) که در آن از جریان گازعریان ساز در خلاف جهت جریان سیال بعد از تغلیظ استفاده می شود، می توان به خلوص بالاتر دست یافت. در این شرایط و در دمای  $204^{\circ}\text{C}$  می توان به غلظت  $99/95\%$  دست یافت.



شکل ۴: نمودار تعادلی آب- اتیلن گلیکول؛ نقطه چین نشان دهنده غلظت lean TEG در فشار اتمسفر و دما  $204^{\circ}\text{C}$  بخش احیا است.

و هیدروکربن های مایع تشکیل شده و باعث تشکیل کف (Foam) بر روی سینی ها می شود. از طرف دیگر باید دما بالاتر از  $10^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شود. زیرا در دمای پایین تر مشکلاتی در رابطه با گرانیروی TEG خواهیم داشت. افزایش دما، باعث افزایش حجم گاز و در نتیجه بزرگ شدن اندازه برج جذب و سایر تجهیزات مرتبط می شود که در موقع طراحی باید به آن توجه شود.

#### ۲ دما در بخش جذب

دمای گلیکول ورودی از بالای برج در محدوده  $5/5^{\circ}\text{C}$  -  $8/3^{\circ}\text{C}$  بالاتر از دمای گاز ورودی نگه داشته می شود. این موضوع به آن دلیل است که شرایط تعادلی گلیکول و بخار آب موجود در گاز از دما تاثیر می پذیرد، همچنین در صورت بالاتر بودن دمای گلیکول به میزان زیاد، دمای گاز اطراف گلیکول افزایش یافته و میزان جذب آب در این بخش کاهش می یابد. از طرف دیگر بالاتر بودن دمای گلیکول از محدوده اشاره شده باعث افزایش اتلاف گلیکول نیز می شود. همچنین تفاوت دمایی زیاد، تمایل گلیکول به تشکیل امولسیون با ناخالصی های همراه گاز را افزایش داده و باعث اتلاف حلال می شود.

#### ۳ دما در بخش احیا

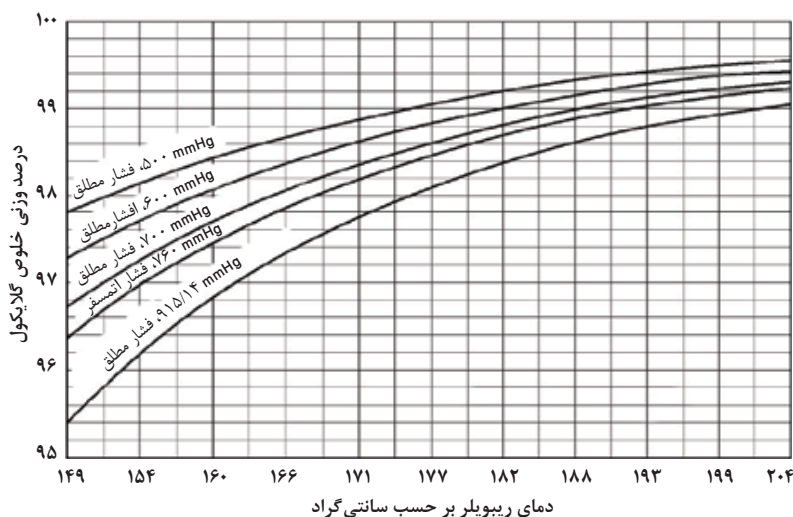
با افزایش دما در مرحله احیا (تغلیظ گلیکول و جداسازی آب) میزان تغلیظ افزایش می یابد. باید توجه کرد که TEG در دمای نزدیک به  $207^{\circ}\text{C}$  تخریب می شود و بهترین محدوده دمایی تغلیظ  $177^{\circ}\text{C}$  -  $204^{\circ}\text{C}$  می باشد. در این محدوده می توان به تغلیظ  $98/5\%$  -  $98/9\%$  دست یافت. برای دستیابی به درصد تغلیظ بالاتر می توان از گازعریان ساز (Stripping gas) در مرحله احیا استفاده نمود یا بخش های ریویلر و Still بر روی آن را در شرایط خلا قرار داد. ریویلر در دمای  $177^{\circ}\text{C}$  -  $204^{\circ}\text{C}$  کار می کند، این دما باعث انتقال میزان کافی گرما به ستون تقطیر (Still column)

### شرح فرایند

گاز مرطوب پس از عبور از یک جداکننده و جداسدن مایعات همراه، وارد برج جذب می‌شود. گلایکول در خلاف جهت حرکت گاز، به سمت پایین جریان می‌یابد و آب موجود در گاز را جذب می‌کند. TEG همچنین ترکیبات آلی فرار (VOCs) که همراه با آب تبخیر شده‌اند را نیز جذب می‌کند. گاز خشک پس از عبور از یک فیلتر و مبدل حرارتی آماده افزایش فشار و ارسال از طریق خطوط انتقال گاز می‌باشد. گلایکول غنی از آب از پایین برج جذب خارج می‌شود و پس از عبور از کندانسور برگشتی وارد یک برج تبخیر ناگهانی می‌شود. در برج تبخیر ناگهانی هیدروکربن‌ها از جریان گلایکول جدا می‌شوند. از این گاز می‌توان به منظور سوخت گازی و یا Stripping gas استفاده کرد. گلایکول غنی از آب پس از عبور از یک مبدل حرارتی توسط گلایکول احیا شده، پیش گرم می‌شود و در برج احیا (Still column) که همراه با یک ریویلر می‌باشد، آب جذب شده در گلایکول در فشار اتمسفریک توسط حرارت تقطیر می‌شود. پس از خشک شدن در مبدل‌های حرارتی، گلایکول احیا شده به سینی بالایی برج جذب پمپ می‌شود. در طراحی سیستم TEG، باید به کمترین غلظت TEG مورد نیاز برای رسیدن به نقطه شبنم مورد نیاز برای گاز توجه کرد. نمودار شکل ۴ نقطه شبنم آبی جریان گاز در تعادل با محلول TEG در دماها و غلظت‌های مختلف TEG را نشان می‌دهد. از این شکل می‌توان برای تخمین غلظت TEG مورد نیاز در کاربردهای خاص در دمای مشخص برج جذب و یا دستیابی به نقطه شبنم مورد نیاز استفاده کرد. نقطه شبنم که با استفاده از این نمودار به دست می‌آید، دمای پایین تری از مقداری که در واقعیت حاصل می‌شود دارند. این اختلاف معمولاً تابعی از دما، فشار و ترکیب گاز می‌باشد ولی مقدار آن تقریباً بین  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $8^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. شکل ۷، یک واحد آب‌زدایی به وسیله TEG به همراه بخش احیا را نشان می‌دهد.

#### ۷ فرایندهای افزایش بازدهی آب‌زدایی

بازده فرایند آب‌زدایی با گلایکول کاملاً به میزان تغلیظ و خالص‌سازی گلایکول در بخش احیا بستگی دارد. در بخش احیا از تقطیر مخلوط آب و گلایکول برای جداسازی و تغلیظ گلایکول استفاده می‌شود. حداکثر دما، به دمای تجزیه گلایکول محدود می‌شود. برای فایق آمدن بر این محدودیت روش‌های مختلفی ابداع گردیده است. استفاده از تزریق Stripping gas یا ایجاد خلاء در ریویلر همچنین استفاده از تجهیزات بهینه‌سازی شده، راهکارهای عملی می‌باشند که در طراحی واحدهای جدید مورد توجه قرار می‌گیرند.

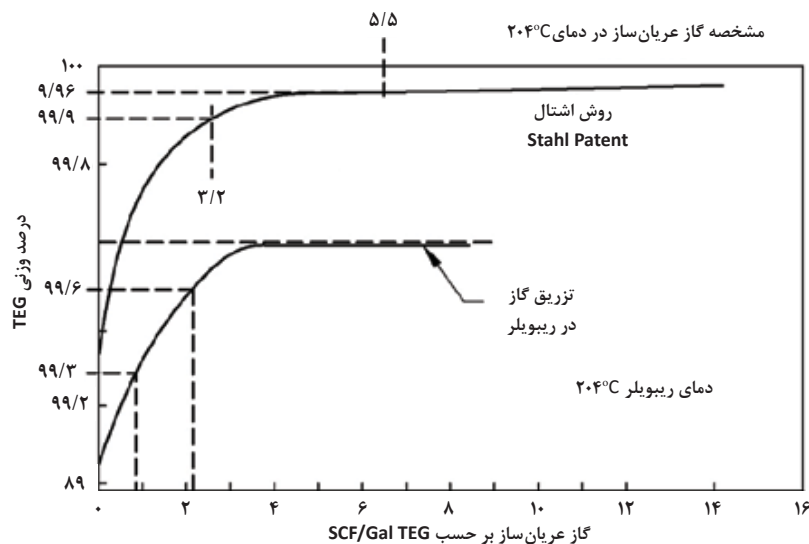


شکل ۵

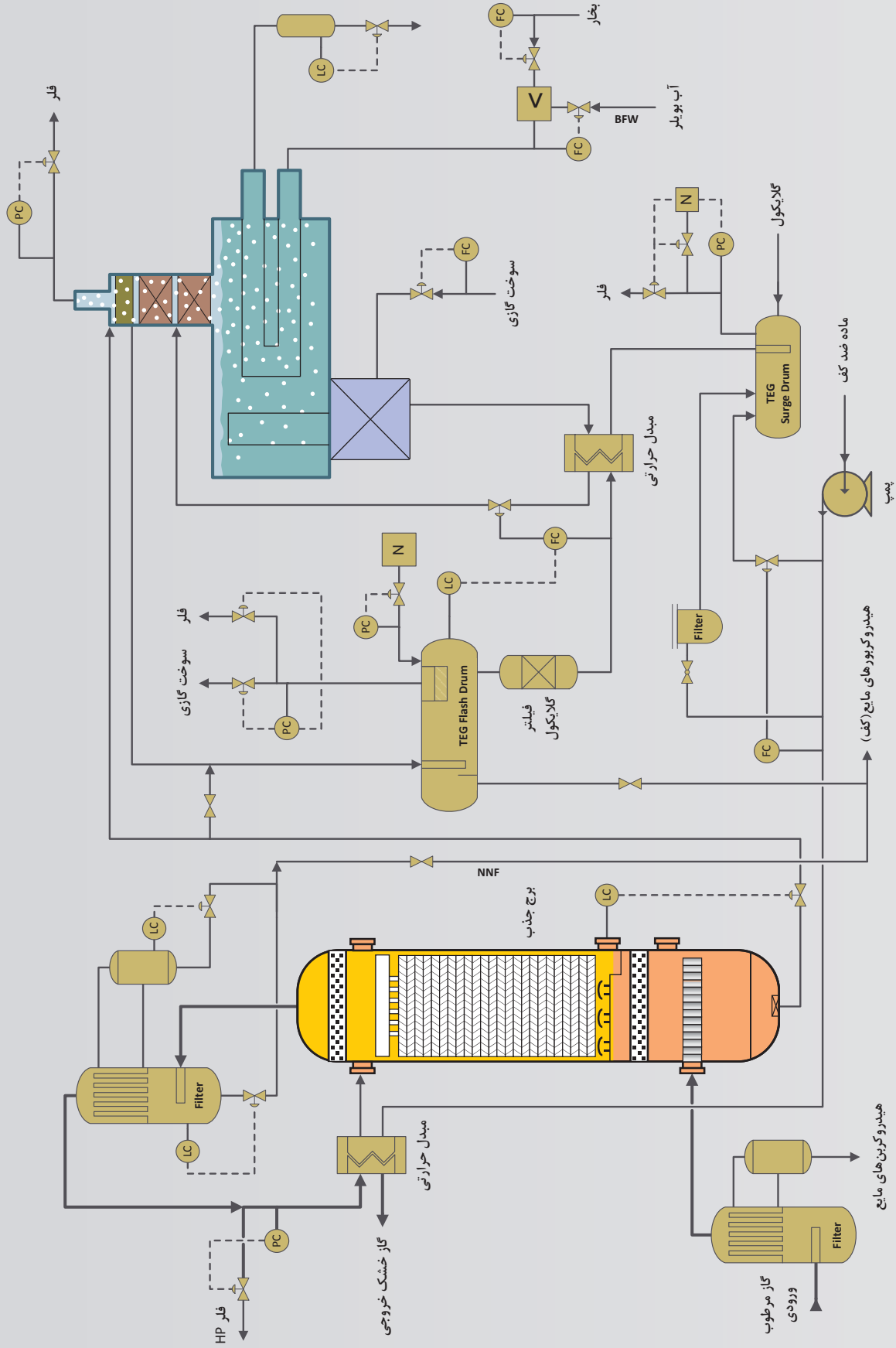
#### ۷ نرخ گردش گلایکول

با ثابت نگه داشتن تعداد سینی‌ها و غلظت گلایکول، با افزایش نرخ گردش گلایکول می‌توان نقطه شبنم را بیشتر کاهش داد. هرچه میزان گلایکول وارد شده به ستون جذب بیشتر شود، میزان آب جذب شده و خارج شده نیز افزایش خواهد یافت. در واقع غلظت گلایکول نقش اصلی در کاهش نقطه شبنم و مقدار گلایکول نقش اصلی در کنترل میزان آبی دارد که باید جذب و از ستون جذب خارج شود. در شرایط بهره‌برداری عادی هر سه گالن گلایکول، می‌تواند یک پوند آب را جذب و انتقال دهد. در حالی که افزایش نرخ گردش گلایکول مفید است، اما نمی‌توانیم این نرخ را بیش از اندازه افزایش دهیم. زیرا که در این صورت مشکلات زیر ایجاد خواهند شد:

- ۱- بار بیش از اندازه (Overload) بخش احیا،
- ۲- لزوم ماند مناسب گلایکول در بخش احیا برای داشتن خلوص مناسب
- ۳- لزوم ماند کافی برای جذب آب توسط گلایکول در ستون جذب
- ۴- ملاحظات مکانیکی نظیر ظرفیت پمپ گلایکول
- ۵- اتلاف گلایکول
- ۶- کاهش دما در ریویلر



شکل ۶

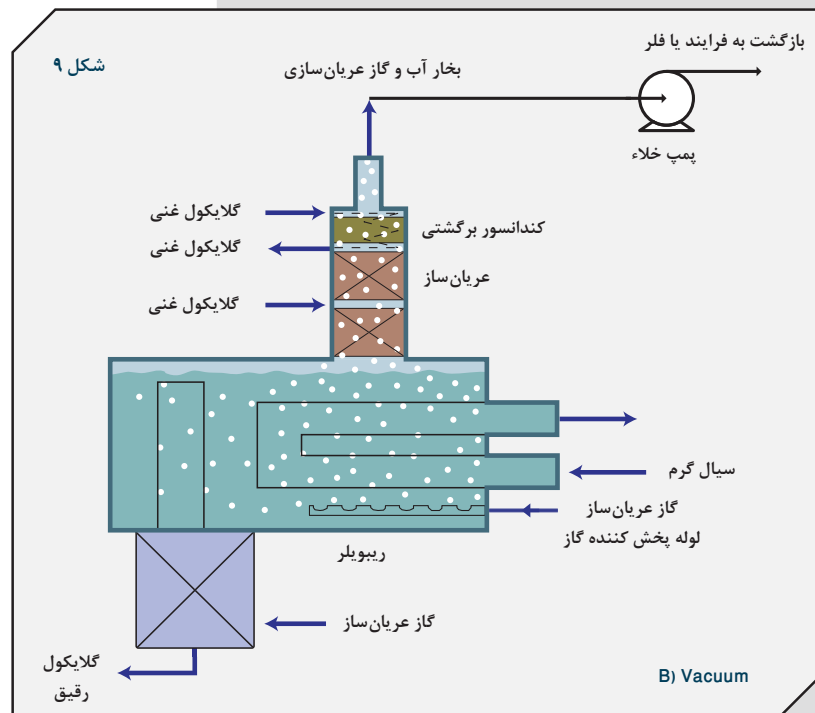
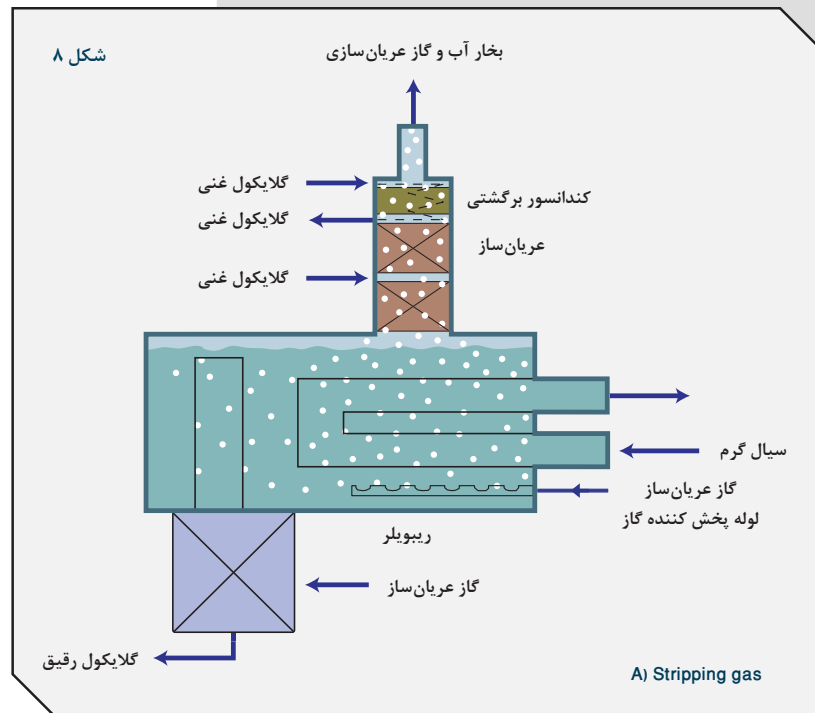


شکل ۷

## ۲ «آلاینده‌گی»

حلالیت ترکیبات آروماتیک نظیر BTEX برخلاف هیدروکربن‌های پارافینی در TEG زیاد است. در دما و فشار معمول تقریباً ۲۵٪ ترکیبات آروماتیکی موجود در جریان گاز جذب TEG می‌شوند. جذب زایلین در این فرایند از همه بیشتر و جذب بنزن از همه کمتر است. ترکیبات جذب شده در مرحله جذب، در زمان احیا می‌توانند آزاد شده و با توجه به اینکه این ترکیبات سرطان‌زا می‌باشند، خطر جدی برای سلامت افراد ایجاد نمایند. جذب آروماتیک‌ها با افزایش فشار و کاهش دما افزایش می‌یابد. از سوی دیگر جذب آروماتیک‌ها رابطه مستقیم با نرخ گردش TEG دارد. همچنین بیشتر ترکیبات آروماتیک در برج احیا از TEG جدا خواهند شد. نرخ گردش بالا، جذب را افزایش می‌دهد. جذب آروماتیک‌ها مستقل از تعداد سینی‌ها در برج جذب می‌باشد، بنابراین یکی از روش‌های کاهش جذب آروماتیک‌ها استفاده از برج جذب بلندتر و کاهش نرخ گردش TEG می‌باشد. در این حالت کاهش راندمان ناشی از کاهش نرخ گردش با افزایش راندمان ناشی از افزایش تعداد سینی‌ها و در نتیجه تماس بیشتر جبران می‌شود. به همین دلیل اگرچه طراحی این فرایند می‌تواند به صورت یک فرایند Open-art انجام شود، اما برای اطمینان از عدم رهاسازی این مواد در جو غالباً از فرایند تحت لیسانس استفاده می‌شود. در این فرایندها علاوه بر گارانتی کاهش میزان آب به کمتر از ۱ppm، از فلرینگ یا رها شدن این مواد در جو نیز جلوگیری می‌شود. طراحی بخش احیا در این فرایند دارای اهمیت بیشتری نسبت به بخش جذب می‌باشد. در بخش جذب می‌توان از تجهیزات، حلال و طرح‌های خوب بهره برد، بازده این بخش در بیشتر طرح‌ها تقریباً نزدیک به هم می‌باشد. اما بخش احیا دارای شرایط متفاوتی می‌باشد. از یک سو انتشار BTEX یک محدودیت جدی است و از سوی دیگر بازده در بخش جذب کاملاً وابسته به میزان خالص سازی TEG در بخش احیا می‌باشد.

در بخش احیا فناوری‌های Coldfinger, Vacuum, Stripping gas, Drizo در مقابل استفاده ساده از ریویولر توسط شرکت‌های مختلف ارائه شده‌اند. هرکدام از فناوری‌های اشاره شده به خوبی توسعه یافته‌اند، از فرایندهای تحت لیسانس می‌توان به فناوری‌های Progly™, Cleanol™, Drizo™ متعلق به شرکت Prosernat و فناوری‌های Ecoteg™ و Siirtec NIGI S.p.A و فناوری آب‌زدایی Coldfinger™ متعلق به شرکت Gas Conditioners International اشاره نمود.

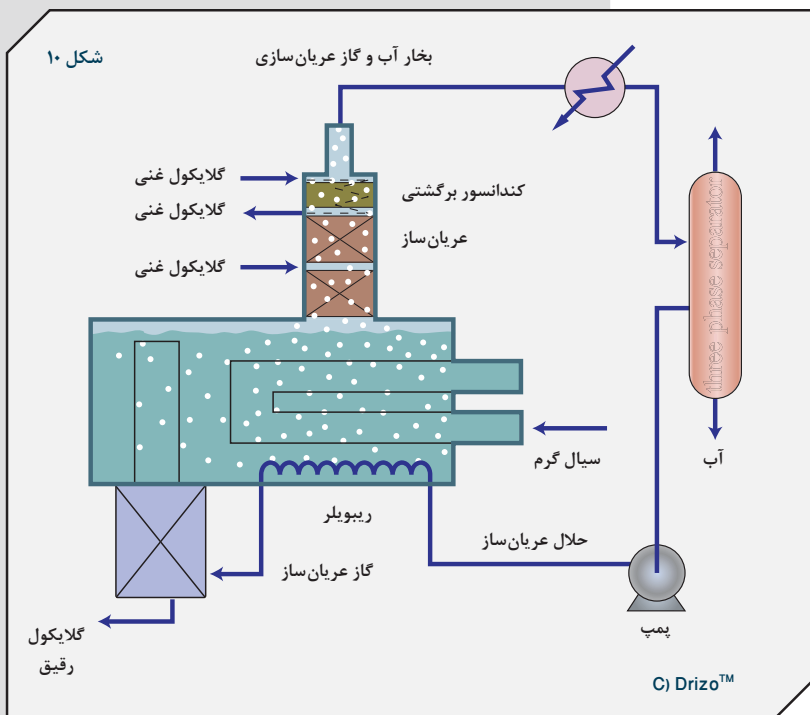




« فناوری Drizo™ »

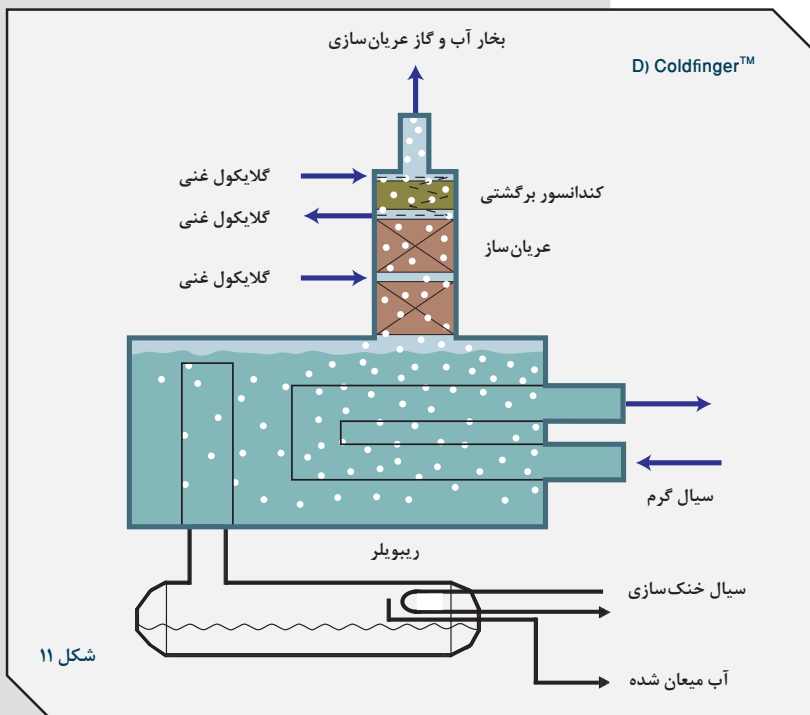
این فناوری در سال ۱۹۷۲ میلادی توسط Pearce و همکاران معرفی شد و توسط شرکت DOW Chemical Co. توسعه یافته و به ثبت رسید. در سال ۱۹۸۵ میلادی شرکت OPC Engineering این فناوری را از شرکت DOW خرید و تا اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی آن را توسعه داد و چندین اصلاحیه ثبت شده به آن اضافه نمود. در نهایت این شرکت فناوری توسعه داده شده را در سال ۱۹۹۸ میلادی به شرکت Prosernat فروخت. در این فرایند بخش جذب مشابه دیگر فرایندها می باشد. البته نوآوری های مختلفی برای افزایش راندمان در این بخش نیز انجام شده است. اما تفاوت عمده این فرایند مربوط به بخش احیا گلایکول می باشد. در این بخش Solvent stripping جایگزین Gas stripping شده است. همانگونه که در شکل ۱۲ مشاهده می نماید، یک حلقه Solvent stripping و هیدروکربن های آروماتیک را به برج عریان ساز بر می گرداند. تفاوت دیگر فرایند Drizo و فرایند استاندارد، جدا بودن ستون عریان ساز و ریویلر می باشد. علاوه بر آن در این فرایند جداکننده سه فازی وظیفه جدا کردن آب، هیدروکربن های آروماتیک و گاز را برعهده دارد. در شکل ۱۳ یک نمونه از فرایند Drizo بهینه سازی شده برای تاسیسات پالایش گاز Szeged در جنوب کشور مجارستان مشاهده می نماید. شرکت OPC کاهش نقطه شبنم آب به  $85^{\circ}\text{C}$  - در فشار ۱۶ barg را تضمین نموده است. همچنین این شرکت اتلاف گلایکول را به میزان کمتر از ۰/۱ US gal/MMscf تضمین کرده است. در این شرایط میزان آب در گاز خشک خروجی در محدوده ۰/۱-۰/۱۶ ppm می باشد. برای دستیابی به این بازده باید بتوان گلایکول را تا بیش از ۹۹/۹۹۹ wt% خالص نمود. در طراحی مربوط به Szeged برج جذب در محدوده دمایی  $20-35^{\circ}\text{C}$  و فشار ۵۰-۶۰ barg کار می کند. به صورت خلاصه مزیت های اصلی این سیستم عبارتند از:

- « کاهش میزان BTEX منتشر شده به کمتر از ۲۰٪ فرایند پایه »
- « کاهش انتشار  $\text{CO}_2$  به کمتر از ۶۰٪ فرایند پایه »
- « کاهش میزان آب تا ۰/۱ ppm و قابل رقابت شدن آن با آب زدایی به وسیله غربال مولکولی »
- « کاهش انرژی مصرفی در حدود ۳۰٪ نسبت به واحدهای آب زدایی به وسیله جاذب های جامد »
- « کاهش هزینه ساخت برای واحدهای کوچک در حد ۱۰٪ و برای واحدهای بزرگتر از ۲۰ MMscf در حدود ۵۰٪ نسبت به واحدهای آب زدایی به وسیله جاذب های جامد »



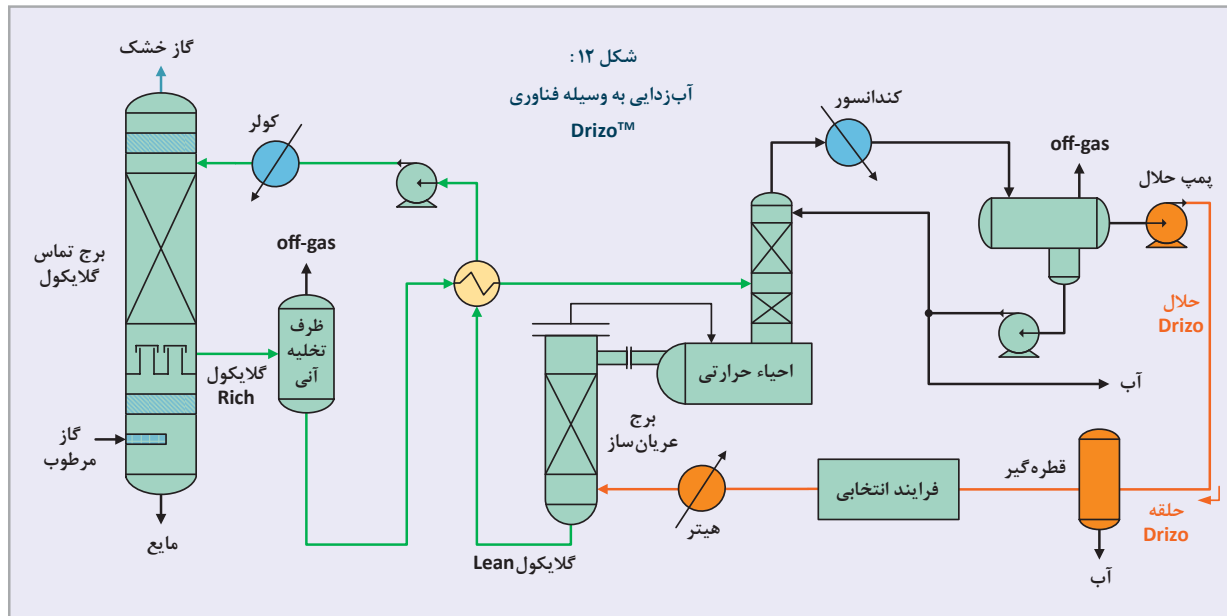
شکل ۱۰

C) Drizo™



شکل ۱۱

D) Goldfinger™

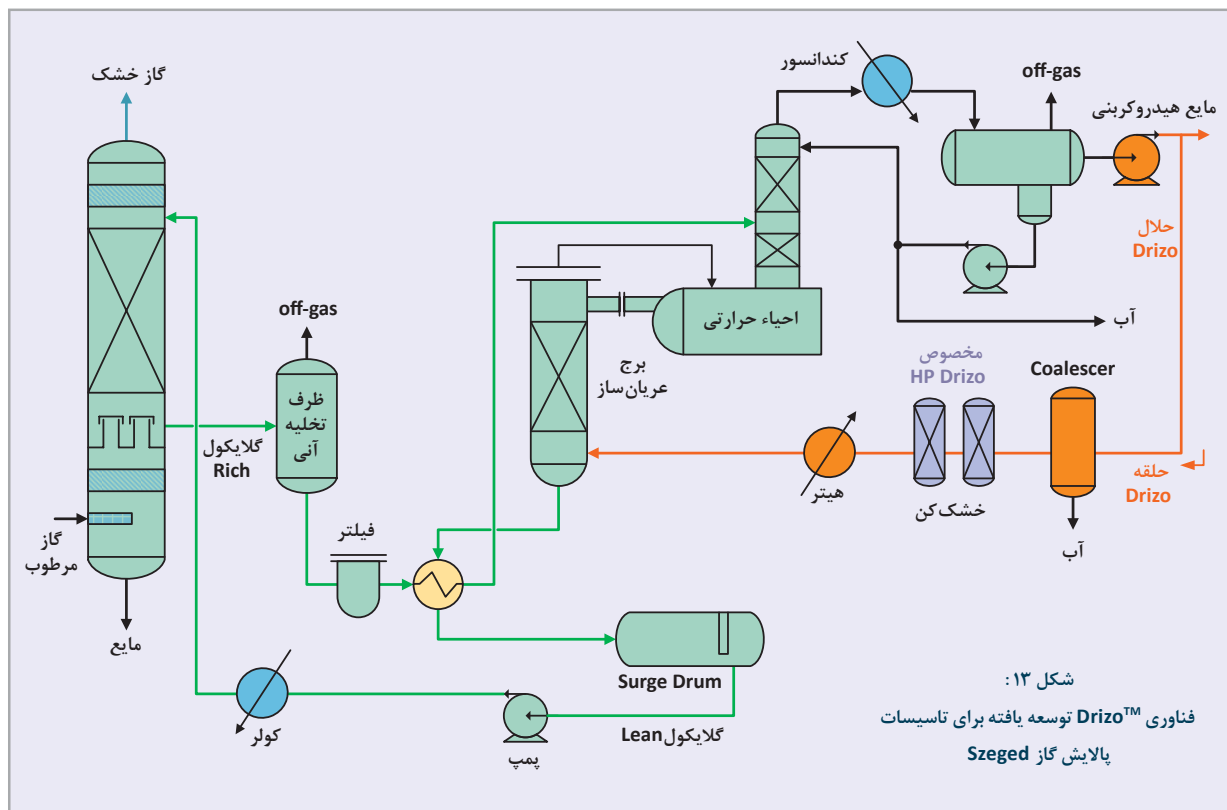


### فناوری Drigo™

این فناوری مناسب آب‌زدایی از گاز طبیعی با نقطه شبنم بسیار پایین بدون نیاز به احیا در شرایط خلاء یا مصرف سوخت گازی/حلال مایع برای عریان‌سازی می‌باشد. در این فرایند بخش جذب همانگونه که در شکل ۱۴ مشاهده می‌نمایید برای بهینه‌سازی مصرف

« کاهش هزینه ساخت در حدود ۲۰٪ نسبت به واحدهای پایه TEG

این فناوری را می‌توان در واحدهای در حال کار TEG که نیاز به ارتقا فرایند برای دستیابی به بازده بالاتر و کنترل بهتر BTEX و CO<sub>۲</sub> وجود دارد، با حداقل تجهیزات اضافه و کمترین زمان توقف جایگزین نمود. این فرایند در حال حاضر تحت لیسانس Prosernat IFP Group Technologies بوده و از طریق شرکت یاد شده یا شرکای تجاری آن نظیر KPN Gas Technology, Total, Axens ارائه می‌شود و تاکنون بیش از ۶۰ واحد با فرایند Drigo ساخته شده است.



« فناوری Coldfinger®

این فناوری در سال ۱۹۷۵ میلادی توسط Reid معرفی شد. اساس این فرایند همانند روش‌های اشاره شده قبلی بر پایه فرایندهای معمول گلایکول می‌باشد. تفاوت این فرایند مربوط به میعان و جمع‌آوری آب/هیدروکربن از فاز بخار ریویولر و خارج کردن آن از ریویولر می‌باشد. برای بالا بردن خلوص گلایکول در این فرایند از یک هسته سردسازی به نام کندانسور Coldfinger همراه با یک سینی جمع‌کننده در فضای مربوط به فاز بخار ریویولر استفاده می‌شود. تازمانی که بخار بالای گلایکول غلیظ شده در بخار آب، غلیظ تر از بخار گلایکول است، آب میعان شده و از جریان جداسازی می‌شود. هنگامی که بخار گلایکول، نسبت به بخار آب غنی تر شد، فرایند جداسازی آب از گلایکول آغاز می‌شود. آب اضافی نیز از گلایکول داغ تبخیر شود. مخلوط آب/میعانات در یک ظرف جمع‌آوری می‌شود و از آنجا به جریان Still feed پمپ می‌شود. میزان خلوص گلایکول در این فرایند می‌تواند به ۹۹/۹۶٪ بالغ گردد. این فرایند متعلق به شرکت Comart می‌باشد و بنا به ادعای این شرکت در حال حاضر ظرفیتی نزدیک به ۶۱,۰۰۰ MMscfd به صورت پیوسته با استفاده از این فرایند در حال آب‌زدایی از گاز طبیعی می‌باشند.

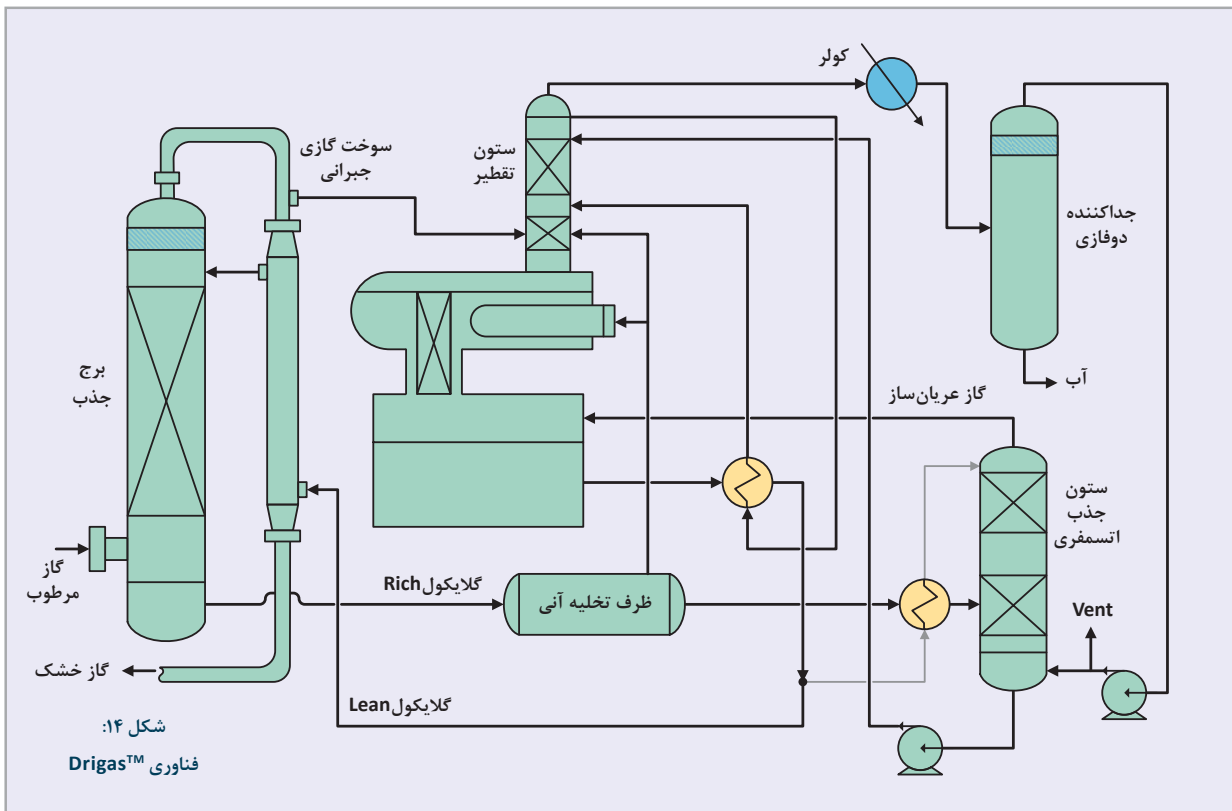
انرژی دارای تغییراتی نسبت به فرایند پایه TEG می‌باشد. مزیت این فرایند ناشی از تغییرات انجام شده در بخش احیا می‌باشد. در این فرایند بخارات خروجی از بالای برج احیا گلایکول، خنک شده و پس از جداسازی آب و خشک شدن از آن برای عریان‌سازی استفاده می‌شود. بنابراین در این فرایند نیاز به استفاده از سوخت گازی برای عریان‌سازی وجود ندارد. برای دستیابی به غلظت بالاتر می‌توان یک بخش در بالای ستون جذب اتمسفری اضافه نمود. در این فرایند حداکثر دبی گلایکول  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$  بوده و خلوص TEG می‌تواند به ۹۹/۹۹ wt٪ برسد شود. دبی جریان گاز در این فرایند در شرایط عملیاتی می‌تواند به ۱۵ MMscmd برسد شود. دمای ورودی کمتر از  $60^\circ\text{C}$  و فشار نیز کمتر از ۱۵۰ bar می‌باشد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری این فرایند بیشتر از فرایند پایه TEG است، اما به دلیل بازده بالا، آلایندگی کم و عدم استفاده از سوخت گاز به عنوان Stripping gas، این فرایند از نظر اقتصادی نیز قابل رقابت می‌باشد. این فرایند متعلق به شرکت Siirtec NIGI S.p.A بوده و تنها یک واحد صنعتی با استفاده از این فرایند تا کنون ساخته و عملیاتی شده است.

« فناوری Ecoteg™

این فناوری مشابه فناوری Drigas™ و متعلق به همان شرکت می‌باشد. تفاوت مهم در این فناوری، توجه و کاهش انتشار BTEX در محل فرایند [پالایشگاه] می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، بخشی از BTEX که به صورت مایع و همراه آب می‌باشد به وسیله جریان هوای احتراق ریویولر از آب جدا می‌شود. بخش دیگری از BTEX به جریان فرایندی TEG برگشت داده می‌شود و بخشی دیگر با جریان گاز خشک مخلوط می‌شود و همراه گاز مصرف می‌شود. در مجموع هدف این فرایندها پخش کردن BTEX و جلوگیری از تجمع آن در محل پالایشگاه می‌باشد.

« فناوری Cleanol+™

این فرایند در برگیرنده فناوری‌های افزایش خلوص گلایکول و کاهش انتشار آلایندگی می‌باشد. در این فرایند از BTEX جمع‌آوری شده از Still column به عنوان Stripping gas استفاده می‌کند. میزان خلوص TEG حاصل از این فرایند ۹۹/۹۹٪ می‌باشد. این تکنولوژی را می‌توان به راحتی به واحد TEG موجود اضافه نمود. این فرایند متعلق به Prosernat می‌باشد و به دلیل کاهش قابل توجه BTEX و  $\text{CO}_2$  با عنوان فرایند Zero emission نیز شناخته می‌شود.



مدل قدیمی	مدل جدید	مدل ظرفیت بالا	مدل نهایی
Bubble Cap trays and KnitMesh™ mist eliminators	Mellapak™ and KnitMesh™ mist eliminators incl. the sophisticated KnitMesh 9797 type	MellapakPlus™ and our high capacity mist eliminators such as MKS Multi Cassette™, Mellachevron™, Shell SMS™	Shell Swirl Tube™ Trays and Shell SMS™ (see also the Brochure Trays for any Applications)
Characteristics	Characteristics	Characteristics	Characteristics
۱۰۰٪ ظرفیت	۱۹۰٪ ظرفیت	۳۰۰٪ ظرفیت	۴۰۰٪ ظرفیت
~ 1.5 F-Factor ( $\sqrt{\text{Pa}}$ )	~ 2.9 F-Factor	~ 4.5 F-Factor	~ 6.0 F-Factor
	تا ۲۰٪ بازده بیشتر	تا ۲۰٪ بازده بیشتر	تا ۲۰٪ بازده بیشتر

شکل ۱۵: مقایسه انواع مختلف برج‌های جذب شرکت Sulzer

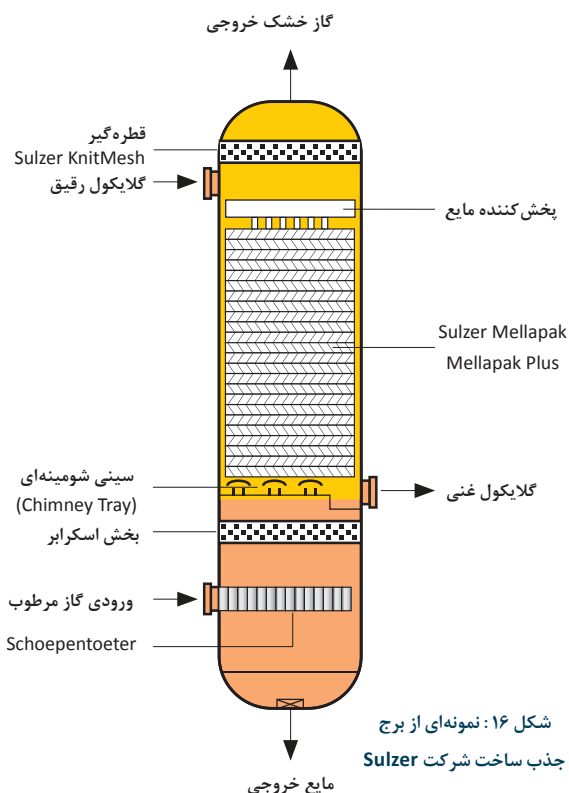
## « فناوری Progly™ »

این فناوری بر پایه سیستم خلاء می‌باشد. تفاوت اصلی میان این فرایند و فرایند خلاء پایه در این است که در این فرایند خلاء فقط در ظرف بالای ریویولر که بخار را دریافت می‌کند، اعمال می‌شود. به همین دلیل اندازه پمپ خلاء کوچکتر خواهد بود. این فرایند نیازی به Stripping gas ندارد و می‌تواند گلابیکول را تا ۹۹/۹٪ تغلیظ نماید. از این سیستم به دلیل هزینه عملیاتی بالا، کنترل پیچیده و مشکلات تجزیه گلابیکول به دلیل نفوذ هوا کمتر استفاده می‌گردد. البته می‌توان از این سیستم به صورت ترکیب با سیستم‌های گلابیکول موجود استفاده نمود. همچنین واحد بازیابی BTEX را نیز می‌توان به این سیستم اضافه نمود.

## تجهیزات واحد آب‌زدایی

امروزه مانند گذشته ساخت تجهیزات پالایشگاهی در انحصار چند شرکت یا کشور محدود نمی‌باشد. شرکت‌های زیادی در کشورهای مختلف به ساخت تجهیزات فرایندی پالایشگاه گاز مشغول می‌باشند، اما شرکت‌های کمی به صورت خلاقانه در پی توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات فرایندی می‌باشند. شرکت Sulzer, Koch, Glitsch, Nutter, Cameron, Akersolutions, Frames-group, Alcosasoil, Escher, Petro-Techna International, Thermo Design نمونه‌ای از این شرکت‌ها می‌باشند. یک نمونه از برج جذب بهینه‌سازی شده توسط شرکت Sulzer را در شکل ۱۶ و مقایسه‌ای از برج‌های مختلف این شرکت را در شکل ۱۵ مشاهده می‌کنید. **ارام‌دار**

مطالعه، پژوهش و طراحی؛ معاونت مهندسی و تکنولوژی شرکت سپانیر؛  
محمدرضا نجفی‌زاده، بیتا پورنژدی  
علی صفار، اسحاق رستگار



شکل ۱۶: نمونه‌ای از برج جذب ساخت شرکت Sulzer