سیستم دوگانه آمین – غشاء جهت افزایش بازدهی در واحد تصفیه گاز

دکتر سید سیاوش مدائنی
استاد گروه مهندسی شیمی ، دانشکده فنی، دانشگاه رازی،کرمانشاه
دکتر مسعود رحیمی
استادیار گروه مهندسی شیمی ، دانشکده فنی، دانشگاه رازی،کرمانشاه
فرشید هاشمی
گروه مهندسی شیمی ، دانشکده فنی، دانشگاه رازی- شرکت مهندسی و توسعه نفت

چکیده
در این تحقیق سعی شده است تا با معرفی و بررسی یک تکنولوژی نوین در صنعت گاز طبیعی گامی دیگر در جهت رشد و ارتقای صنعت پالایش گاز کشور برداشته شود.این تکنولوژی جدید تلفیقی از دو تکنولوژی معتبر تصفیه گاز طبیعی با محلول آمین و تصفیه گاز طبیعی با استفاده از غشاهای صنعتی می باشد که تحت عنوان سیستم دوگانه جداسازی CO_2 مطرح شده است. این سیستم قادر به تصفیه گاز طبیعی و جداسازی CO_2 از آن در شدت جریانهای زیاد گاز با محتوای CO_2 بالا می باشد.استفاده از غشاهای صنعتی به منظور تصفیه گاز طبیعی در فشار جزئی بالای CO_2 اخیرا مورد توجه قرار گرفته است لیکن تصفیه گاز توسط محلول آمین بیش از ۵۰ سال است که در واحدهای صنعتی متداول جهت تصفیه گاز از CO_2 و H_2S مورد استفاده قرار می گیرد.در این بررسی به مطالعه تکنولوژی غشاء و مقایسه معایب و مزایای آن با تکنولوژی آمین پرداخته می شود .در نهایت با تحقیق بر چگونگی تلفیق این دو تکنولوژی در قالب یک سیستم دوگانه تصفیه گاز می توان نتیجه گرفت ، در مواقعی که میزان شدت جریان گاز ترش به حدی بالاست که استفاده از دو واحد موازی تصفیه گاز را ضروری می سازد، بکارگیری سیستم دوگانه می تواند طراحی و ساخت دو واحد را به یک واحد کاهش دهد. مطالعات نشان می دهد که سیستم دوگانه در مقایسه با هر یک از دو واحد فوق هزینه ثابت یکسانی دارد، در حالی که این سیستم سبب کاهش هزینه عملیاتی بدلیل کاهش بخار مصرفی در ریبویلر واحد آمین می گردد.

مقدمه:

از آنجا که جداسازی CO_2 با استفاده از محلول آمین‌ها به طور گسترده برای جداسازی گازهای اسیدی از گاز طبیعی استفاده می شوند ، بنابراین فرآیند مناسبی برای این منظور تشخیص داده شده است[۲,۱] غشاءهای نیمه تراوا ، تکنولوژی تکمیل یافته‌ای هستند که بیش از ۲۰ سال است در فرآورش گاز طبیعی به کار می‌روند . اخیراً واحدهای غشائی برای جداسازی CO_2 از گاز طبیعی در میزان جریانهای ۱ تا ۲۵۰ میلیون فوت مکعب در روز در حال عملیات می باشند. واحدهای امروزی در این تکنولوژی برای حجم‌هایی تا ۵۰۰ میلیون فوت مکعب در روز نیز طراحی و ساخته می‌شوند [۴,۳] .

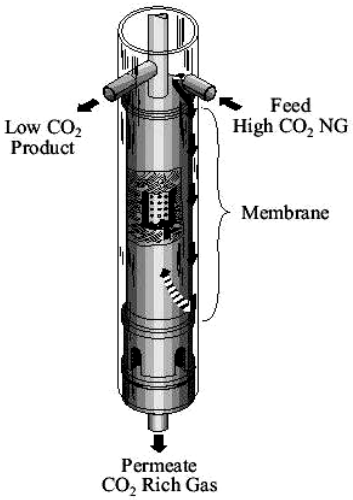
در غشاء لایه نازکی از یک پلیمر بدون تخلخل سبب نفوذپذیری بیشتر برخی از گازها نسبت به سایر گازها می شود. مکانیزم جداسازی گاز بستگی به پیکربندی غشاء دارد و براین اساس که گازهای مشخصی سریعتر از سایر گازها نفوذ می‌کنند ، استوار است . نفوذپذیری گاز بوسیله اندازه ملکول ، حلالیت آن در پلیمر غشاء و شرایط عملیات جداسازی تخمین زده می‌شود . انتخاب پذیری موجب می شود که مخلوطی از دو یا چند گاز به دو جریان متفاوت تقسیم شود . یکی از آنها حاوی اکثر ترکیبات نفوذپذیر بوده درحالی که در جریان دیگر، گازهائی با نفوذپذیری کمتر دیده می‌شوند .

پیکربندی غشاء:

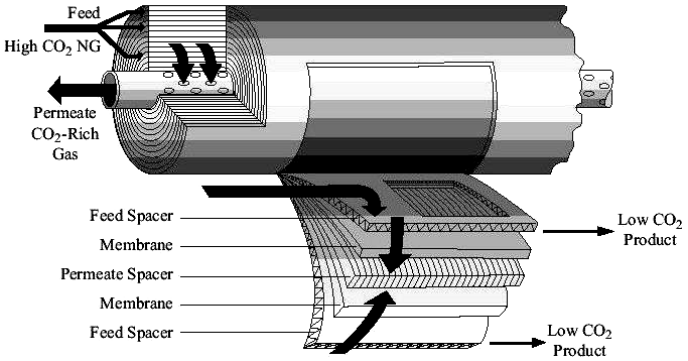
بخش اصلی غشاء نامتقارن[۱] که به صورت یک صفحه صاف[۲] ساخته می شود، قسمت نگهدارنده[۳] آن است که با منافذ باز سبب عبور جریانات گاز بدون ممانعت می‌شود . تمام انتخاب پذیری در قسمت لایه نازک بالایی پلیمر می‌باشد . بعدها با توسعه روشهای استفاده از غشاءهای نامتقارن برای جداسازی گاز ، پیکربندی الیاف توخالی[۴] مناسب‌تر از صفحه صاف شناخته شد. الیاف توخالی دانسیته فشردگی (سطح غشاء به حجم بسته بندی شده) بالاتری نسبت به صفحه صاف دارند .

به منظور استفاده از غشاءها دریک سیستم جداسازی تجاری ، آنها می‌بایستی دریک محفظه خاصی قرار گیرند که غشاء را نگه داشته و ایجاد دو جریان گاز تولیدی را تسهیل نمایند ، این محفظه، عنصر[۵] یک غشاء نامیده می‌شود. اکثر عناصر غشاء که امروزه برای جداسازی گاز طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند ، الیاف توخالی و حلزونی مارپیچ[۶] می‌باشند . شکل(۱) نمایشگر نحوه قرارگیری الیاف توخالی در داخل یک عنصر می باشد. عناصر نوع حلزونی مارپیچ در شکل(۲) نشان داده شده که شامل یک یا بیش از یک لایه غشاء می‌باشند . هر لایه حاوی یک غشاء دو لایه است که توسط یک ماده سخت و متخلخل و با قابلیت عبور جریان به هم متصل شده اند که صفحه حائل جریان نفوذکننده[۷] نامیده می شود.صفحه حائل[۸] سبب تسهیل جریان نفوذکننده[۹] شده و دو لایه غشاء را بمنظور توزیع خوراک از یکدیگر جدا می کند. شکل (۳) یک مدول[۱۰] غشاء صنعتی را نشان می دهد.

1-Asymmetric 2-Flat Sheet 3-Support 4-Hollow Fiber 5-Element 6-Spiral-Wound
7-Permeate Spacer 8-Spacer 9-Permeate 10-Module



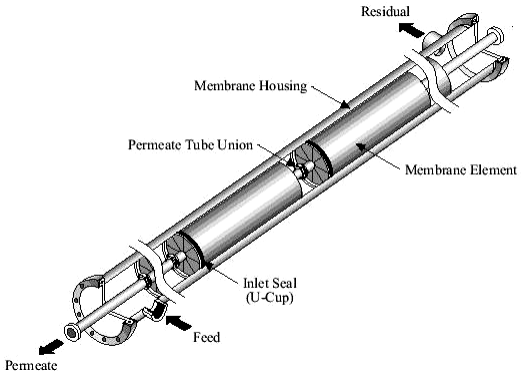
شکل ۱ : عنصر نوع الیاف توخالی[۳,۴]



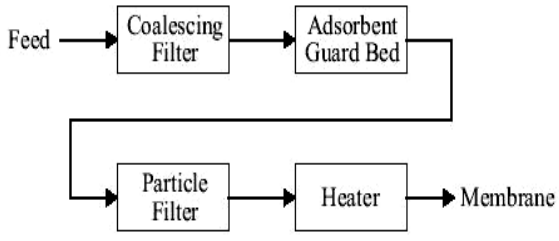
شکل ۲: عنصر نوع حلزونی مارپیچ[۳,۴]

پیش تصفیه گاز خوراک:

کاربردهای اولیه غشاء ، به سرعت کارپردازان صنعت گاز را به استفاده از پیش تصفیه کافی جریان خوراک ورودی به کارخانه‌های تصفیه گاز سوق داد . در آن زمان عمر مفید غشاء بسیار پایین بود. برخلاف برخی از کاربردهای اولیه غشاء در جائیکه گاز خوراک به صورت گاز طبیعی بوده ، این گاز می‌توانست حاوی آلوده‌گرهای بیشمار باشد که اثرپذیری غشاءها را کاهش داده و سبب اجبار در تعویض عناصر می‌شدند . از آنجائیکه تعویض غشاء ، هزینه عملیاتی بحرانی تلقی می‌شود بنابراین در فاصله زمانی اندک استفاده از حداقل استاندارد پیش تصفیه ، اتخاذ شد . شکل (۴) شماتیکی از پیکربندی پیش تصفیه خوراک را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمایش یک مدول غشاء بهمراه عناصر [۳,۴]



شکل ۴: پیش تصفیه استاندارد گاز خوراک [۴]

این پیکربندی قادر به جداسازی اکثر آلوده‌گرهای متعارف در گاز است . فیلتر منعقد کننده[1] ذرات جامد و مقداری از مایعات آزاد را جدا می‌کند . مایعات همراه گاز به این دلیل که بر سطح غشاء ته نشین شده

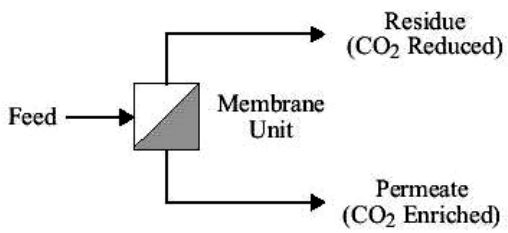
1-Coalescing Filter

و سبب کاهش انتقال جرم می‌شود از گاز خوراک جدا می‌شوند . یک بستر محافظ[1] ، پر شده از کربن فعال ، برای جدا ساختن اجزاء هیدروکربنی سنگین مانند روغن‌های روانساز استفاده می‌شود . یک فیلتر ذره‌گیر[2] در پایین دست جریان ، هرگونه ذرات ریز را پس از عبور از بستر جذب کننده سطحی جدا می‌کند ، در نهایت در اغلب طراحی‌ها یک پیش گرم کننده خوراک برای ایجاد جریان گاز با دمای یکنواخت به غشاء نصب می‌شود . به علت افت فشار ایجاد شده در دو طرف غشاء ، سرد سازی ژول-تامپسون[3] در عنصر غشاء رخ می دهد . از آنجا که محتوای CO_2 تغییر می‌کند ، در نتیجه نقطه شبنم هیدروکربن می‌تواند به طور قابل توجهی در طول لوله مرکزی غشاء تغییر نماید بنابراین از پیش گرم کننده برای ایجاد یک محدودهٔ مناسب نقطه شبنم برای اطمینان از عدم وجود چگالش هیدروکربن بر روی سطح غشاء استفاده می‌شود . هیدروکربن‌های مایع فقط ظرفیت سیستم را کاهش نمی‌دهند بلکه ممکن است یک غشاء را برای همیشه تخریب نمایند .

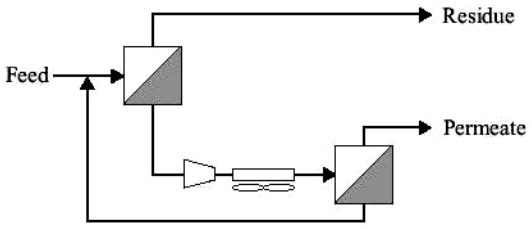
آرایش‌های جریانی غشاء :

واحد تک مرحله‌ای ، ساده‌ترین کاربرد تکنولوژی غشاء برای جداسازی CO_2 از گاز طبیعی است. چنانچه در شکل (۵) نشان داده شده ، یک جریان خوراک که از پیش تصفیه عبور کرده است ، ترجیحاً در فشار بالای سیستم و فشار جزئی بالای CO_2 وارد مدول غشاء می‌شود . گاز باقی مانده[4] برای فرآیند بعدی و یا به خطوط لوله جهت فروش منتقل می‌شود . جریان نفوذ کننده در فشار پایین تخلیه و سوزانده شده و یا به عنوان گاز سوختی با ارزش حرارتی نسبتاً پایین استفاده می‌شود . دراین سیستم هیچ بخش متحرکی وجود ندارد بنابراین این سیستم با کمترین مراقبت از طرف اپراتور کار می‌کند . تا زمانی که گاز خوراک عاری از هرگونه ترکیب آلوده‌گر باشد ، عناصر می‌بایستی برای ۵ سال یا بیشتر تداوم داشته باشند .ساخت این سیستم بسیار قابل اطمینان ولی گران قیمت است .

هیچ غشائی به صورت یک جداکننده کاملاً ایده‌آل عمل نمی‌کند ، بنابراین برخی از گازهای کندتر (به لحاظ نفوذپذیری) از غشاء عبور کرده و سبب اتلاف هیدروکربن می‌شود . این مسئله مانع بزرگی برای سیستم‌های تک مرحله‌ای است . به منظور بازیابی هیدروکربن‌هایی که به این صورت اتلاف می‌شوند ، یک سیستم دو مرحله‌ای به کار گرفته می‌شود (شکل ۶) . در این پیکربندی جریان نفوذ کننده از مرحله اول که ممکن است از هیدروکربن غنی باشد ، فشرده و سرد شده ، به مرحله دوم از پیش تصفیه برای



شکل۵: پیکربندی تک مرحله ای [۵]



شکل ۶:پیکربندی دو مرحله ای[۵]

1-Guard Bed 2-Particle Filter 3-Joule-Tompson 4-Residue

جداکردن روغنهای روانساز و به منظور کنترل دمای گاز فرستاده می‌شود .از غشاء مرحله دوم جهت جدا نمودن CO_2 از جریان اولی و به منظور برگرداندن جریان گاز باقی مانده به غشاء مرحله اول استفاده می‌شود . سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه عملیاتی یک سیستم دو مرحله‌ای می‌تواند به طور قابل توجهی بیش از یک واحد تک مرحله‌ای به دلیل استفاده از سیستم تراکم سازی باشد . می‌بایستی توجه شود که این تراکم سازی نیازی به کمپرسور یدکی ندارد . پارامترهای اصلی مؤثر بر هزینه اولیه و هزینه عملیاتی جداسازی CO_2 از گاز طبیعی توسط غشاء در جدول(۱) ارائه شده اند.

جدول ۱:پارامترهای اصلی موثر بر هزینه اولیه و هزینه عملیاتی جداسازی CO_2 بوسیله غشاء[۳,۲]

	Operating Cost	**Capital Cost**
Pretreatment	Energy use, consumables	Standard vs. advanced
Stage Cut	Hydrocarbon losses	Single-Stage vs. two stage
Number vs. Stages	Compressor fuel	Compression
Membrane Elements	Replacement elements	Initial fill of elements

برتری‌ها و معایب واحدهای آمین و غشاء:

نخست باید متذکر شد که استفاده از غشاءها به میزان جریانهای گاز طبیعی کم و یا جریانهای گاز همراه با محتوای CO_2 خیلی بالا ، همانند گاز استحصال شده از نفت به روش ازدیاد برداشت[1] با تزریق CO_2 ، محدود می‌شود . جدول (۲) نگاهی به چند مورد کلیدی در مقایسه بین دو تکنولوژی آمین و غشاء دارد. بازیافت هیدروکربن‌ها مطلب مهمی دراین واحدهاست . واحدهای آمین مقداری از هیدروکربن‌های گاز خوراک را از دست می‌دهند که این اتلاف در حدود ۱٪ از گاز خوراک می‌باشد . متناسب با شرایط فرآورش ، اتلاف هیدروکربن‌ها می‌تواند از ۲ تا ۱۰٪ (و یا بیشتر) از گاز خوراک ورودی به سیستم‌های غشائی تک مرحله ای باشد . اتلاف بیشتر هیدروکربن‌ها در جریان نفوذ کننده می‌تواند یک مزیت باشد زیرا که این جریان می‌تواند به عنوان گاز سوختی مصرف شود و یا متراکم شده و به توربین برای تولید برق فرستاده شود .

وجود هیدروژن سولفاید نکته دیگری است که می‌بایستی درنظر گرفته شود . از آنجاکه نفوذپذیری گاز H_2S مشابه با CO_2 است ، هردو گاز با نسبت تقریباً یکسانی از گاز خوراک به جریان خروجی ، نفوذ خواهند کرد . برای جریانی از گاز همراه با مقادیر ناچیزی از H_2S ، یک سیستم غشائی می‌تواند گازی با حدود ۴ ppm حجمی از H_2S جهت جلوگیری از خوردگی خطوط لوله تولید نماید . چنانچه غلظت H_2S در گاز خوراک تا ۱۰۰ ppm حجمی بالا رود ، غلظت آن در جریان گاز تولیدی ممکن است به ۳۰ppm-۱۰ حجمی متناسب با حضور CO_2 در گاز خوراک و مقدار CO_2 در گاز نفوذکننده افزایش یابد . می توان از واحدهای آمین برای رساندن غلظت گاز H_2S به مشخصات خطوط لوله در مواقعی که غلظت بالایی از آن در گاز خوراک وجود دارد، استفاده نمود.

عملیات غشاءها به مراتب آسانتر از واحدهای آمین بوده و کارهای عملیاتی و تعمیراتی کمتری برای اداره یک سیستم غشائی موردنیاز است . زمانی که بحث درخصوص هزینه عملیاتی باشد، زمان عمر غشاءها

1-Enhanced Oil Recovery (EOR)

می‌بایستی در نظر گرفته شود . آلوده‌گرها ، بازدهی جداسازی را کاهش داده و سبب از بین رفتن سطح غشاء می‌گردند .

جدول ۲: مقایسه پارامترهای کلیدی در دو واحد غشاء و آمین [۵]

Operating Issues	**Amines**	**Membranes**
User Comfort Level	Very familiar	Still considered new technology
Hydrocarbon Losses	Very low	Losses depend upon conditions
Meets Low CO_2 Spec.	Yes (ppm levels)	No(< 2% economics are challenging
Meets Low H_2S Spec	Yes (< 4 ppm)	Sometimes
Energy Consumption	Moderate to high	Low, unlesscompression used
Operating Cost	Moderate	Low to moderate
Maintenance Cost	Low to moderate	Low, unlesscompression used
Ease of Operation	Relatively complex	Relatively simple
Environmental Impac	Moderate	Low
Dehydration	Product gas saturated	Product gas dehydrated
Capital Cost Issues	**Amines**	**Membranes**
Delivery Time	Long for large systems	Modular construction is faster
On-Site Installation Time	Long	Short for skid-mounted equipment
Pretreatment Cost	Low	Low to moderate
Recycle Compression	Not used	Use depends upon condition

زمانی که تعویض دوره‌ای عناصر غشاء ، با حلال جبرانی ورودی به سیستم‌های پیوسته حلال مقایسه می‌شود ، آشکار می‌گردد که غشاءها هزینه پایین‌تری نسبت به مصرف حلال جبرانی داشته ، علاوه بر آن سیستم‌های غشاء هزینه کارگری کمتری دارند . هزینه نگهداری و تعمیر زمانی که یک واحد تک مرحله‌ای غشائی با واحدهای آمین مقایسه می‌شود کمتر است .

برتری‌های پیکربندی سیستم دوگانه :

در برخی از حالات ، قراردادن یک سیستم غشائی تک مرحله ای در بالادست یک واحد آمین اثرات مثبت زیادی دارد . حضور هریک از این دو واحد ، کاستی‌های واحد دیگر را حذف می‌کند . ایجاد یک سیستم دوگانه هزینه کمتری نسبت به ساخت و عملیات یک واحد جدید دیگر خواهد داشت و سبب انعطاف پذیری بیشتر در تغییر شرایط گاز خوراک خواهد شد. جدول(۳) لیستی از پتانسیل موجود در سیستم‌های دوگانه را ارائه می‌دهد . چنانچه محتوای CO_2 از فشارهای جزئی کم به متوسط در گاز خوراک افزایش یابد ، بارگزاری حلال آمین تا حدی که افزایش در غلظت CO_2 را پاسخگو باشد ، افزایش می‌یابد . ولی چنانچه فشار جزئی افزایش بیشتری یابد ، میزان حلال به حداکثر مقدار بارگزاری خود می‌رسد ، دراین صورت هر افزایشی در مقدار CO_2 می‌تواند فقط بوسیله افزایش مقدار آمین در گردش جدا شود. این مطلب برای سیستم‌های غشائی به این گونه صحیح نمی‌باشد ، نفوذپذیری CO_2

چنانچه فشار جزئی آن در گاز خوراک افزایش یابد ، زیاد می‌شود . بنابراین در غلظت‌های بالای CO_2 ساخت غشاء بسیار مؤثرتر می‌باشد. با ترکیب این تکنولوژی‌ها به صورت سری برای تصفیه گاز با فشار جزئی بالای CO_2 ، بطور مثال در پروژه های ازدیاد برداشت نفت خام توسط تزریق CO_2 ، غشاء در بهترین حالت (در غلظت بالای CO_2) و سیستم حلال آمین در بهترین حالت خود (رسیدن به محتوای پایین CO_2 در گاز تصفیه شده) عمل می کنند [۵].

جدول ۳: مقایسه یک واحد دوگانه با واحدهای آمین و غشاء [۵]

Operating Issues	**Hybrid vs. Amine**	**Hybrid vs. Membrane**
Hydrocarbon Losses	Increased losses, unless there is a use for permeate	Slight increase in losses,but typically no compression
Meets Low CO_2 Spec.	Same	Yes, much better
Meets Low H_2S Spec	Same	Yes, much better
Energy Consumption	Lower	Higher
Operating Cost	Lower	Higher
Maintenance Cost	Slightly higher	Higher
Ease of Operation	Slightly more complex	More complex
Dehydration	Product still saturated	Re-saturates product gas
Corrosion Potential	Lower (lower loading)	Not a concern
Amine foaming	Virtually eliminated	Not a concern
Capital Cost Issues	**Hybrid vs. Amine**	**Hybrid vs. Membrane**
Recycle Compression	Not a concern	Eliminates need for compression
Total Installed Cost	Same to lower	Higher
Very Large Gas Flow	Significant saving	Higher

به علت آنکه غشاءها برای فرآورش گاز طبیعی با فشار جزئی بالای CO_2 مؤثرتر هستند بنابراین هزینه‌های اولیه و عملیاتی آن برای یک سیستم دوگانه زمانی که با یک سیستم حلالی مقایسه شود ، پایین‌تر است .

نکته مهمی که می‌بایستی به دقت تحت کنترل باشد ، اتلاف مقدار هیدروکربن (بویژه متان) همراه با نفوذ CO_2 از غشاء به جریان نفوذ کننده می‌باشد . اگر اتلاف هیدروکربن در بخش غشائی یک سیستم دوگانه زیاد باشد ، این امر سبب می شود بار حرارتی ریبویلر که توسط واحد تصفیه گاز در بالادست واحد حلالی تعیین شده ، متعادل‌شود .اگر اتلاف هیدروکربن‌ها زیاد باشد ، استفاده از یک سیستم غشاء دو مرحله‌ای می‌تواند این هرزروی را کاهش دهد . راه دیگر ، استفاده از جریان نفوذ کننده به عنوان گاز سوختی (با Btu پایین) در محل است .

اخیراً مطالعه‌ای در مورد واحدی با ظرفیت ۲۴۰ میلیون فوت مکعب در روز که خوراک ورودی حاوی ۴۱٪ CO_2 و محتوای CO_2 در گاز باقی مانده در حدود ۳٪ بوده ، صورت گرفته است . به دلیل محدودیت‌های قطر برج ، سیستم حلالی مجبور به پیکربندی با دو واحد موازی می شد ، درحالیکه پیکربندی یک سیستم دوگانه تک واحد بوده که به صورت یک سیستم غشائی تک مرحله‌ای و در پی آن یک واحد آمین به صورت سری بوده است[۵] .

دو واحد نصب شده به صورت سری مزایای مشخصی نسبت به دو واحد موازی دارند که عبارتنداز:
۱- در صورت افزایش غلظت CO_2 در گاز خوراک ، غشاء می‌تواند بوسیله جداکردن بیشتر CO_2 با سطح غشاء یکسان بدون تحمیل به واحد پایین دستی آمین ، این مسئله را برطرف نماید . اگر مقدار CO_2 کاهش یابد غشاء می‌تواند سبب کاهش در هرزروی هیدروکربن‌ها شود . ۲- نصب پیش تصفیه در بالا دست سیستم غشائی ، آلوده‌گرهای هیدروکربنی را در پایین دست کاهش می‌دهد . (حذف پتانسیل تولید کف در واحد آمین) ۳- هزینه اولیه هر دو گزینه تقریباً یکسان است ولی هزینه عملیاتی در سیستم دوگانه با وجود اتلاف بیشتر هیدروکربن‌ها به علت کاهش بار حرارتی ریبویلر در واحد آمین ، کمتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی :

سیستم‌های غشائی برای جداساختن CO_2 از گاز طبیعی یک تکنولوژی توسعه یافته است . ترکیب دو تکنولوژی غشاء و حلال توانایی آنرا دارد که مزایای هر دو تکنولوژی را افزایش و معایب آنرا کاهش دهد. غشاءها بهترین عملکرد را در فشارهای جزئی بالای CO_2 دارند درحالیکه حلالها بیشترین راندمان را در تصفیه گاز با فشار جزئی پایین CO_2 دارا می باشند . بنابراین گاز با فشار بالا و همراه با محتوای بالایی از CO_2 ، کاندیدای بسیار مناسبی برای استفاده از سیستم‌های دوگانه می‌باشد. هزینه‌های ثابت و عملیاتی در هر دو واحد تقریباً یکسان بوده ولی برای یک واحد دوگانه با دبی پایین گاز خوراک ،کمتر می‌باشد . اپراتورهایی که در سیستم‌های حلال کار می‌کنند می‌توانند در هر دو واحد عملیاتی به سهولت کار کنند. در فرآورش مقدار جریانات بالای گاز ، جائیکه دو واحد یا بیشتر ممکن است موردنیاز باشد یک سیستم دوگانه قادر است سیستم را به یک واحد که ارزانتر است ، کاهش دهد . اگر یک واحد حلال برای پاسخگویی به افزایش محتوای CO_2 در گاز خوراک نیاز به اصلاح داشته باشد ، اضافه نمودن یک غشاء در بالادست واحد حلال یک روش بسیار مناسب برای افزایش ظرفیت سیستم است . اکثر طراحی‌های مقرون به صرفه سیستم‌های دوگانه ، از گاز نفوذکننده به عنوان گاز سوختی برای گرم کن‌ها و یا تولید الکتریسیته استفاده می‌کنند.

منابع:

1-Rachelle, G.T. and Mshewa M.M., *Carbon Dioxide Absorption/Desorption Kinetics in Blended Amines*, Presented at the Laurence Reid Gas Conditioning Conference, Oklahoma, 1994, page 251.
2-Weiland, R.H. and Dingman J.C., *Effect of Blend Formulation on Selectivity in Gas Treating*, Presented at the Laurence Reid Gas Conditioning Conference, Oklahoma, 1995, page 268.
3-Dannstrom, H. Sanderson, *Natural Gas Sweetening Using Membrane Gas/Liquid Contactors*, Presented at the Laurence Reid Gas Conditioning Conference, Oklahoma, 1999, page 405.
4-Meyer, H.S. and Gamez J.P., Gas *Separation Membranes*, Presented at the Laurence Reid Gas Conditioning Conference, Norman, Oklahoma, 1995, page 284.
5-McKee, M.J. Stuksord,"CO_2 Removal: Membrane plus Amine", Hydrocarbon Processing, April 1991, page 63.