دستگاه اندازه گیری تراوائی گازهای خالص

مقدمه

جداسازی گازی توسط غشا یکی از روش های مرسوم جداسازی است که امروزه مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته و کاربردهای متوعی یافته است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جداسازی دی اکسید کربن یا هیدروژن از متان (در شیرین سازی گاز طبیعی)
- جداسازی ایزوتوپ های اورانیم
- تنظیم نسبت هیدروژن/مونوکسید کربن در گاز سنتز
- جداسازی هوا و تولید اکسیژن و نیتروژن تغلیظ شده
- بازیافت هلیم
- باریافت متان از گاز زیستی (biogas)

برای جداسازی گازها می توان از غشاهای پلیمری، معدنی و آمیخته (ترکیب مواد معدنی در مواد پلیمری) استفاده کرد. غشاهای جداسازی گازی در گذشته متخلخل بوده اند ولی امروزه استفاده از غشاهای متخلخل به جز در موارد خاص دیگر رایج نبوده و تقریبا عموم غشاهای جداسازی گازی نامتخلخل (یا متراکم اند).

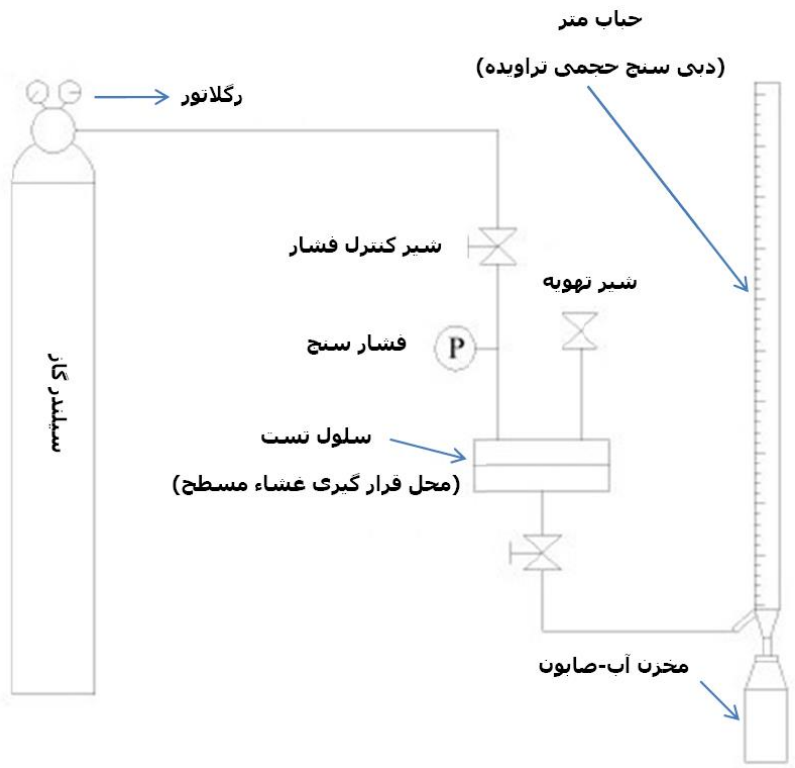
غشاهای جداسازی گازی پلیمری و آمیخته در مقیاس آزمایشگاهی می توانند متقارن یا نامتقارن باشند و از نظر شکل می توانند مسطح یا به شکل الیاف میان تهی ساخته شوند که از میان این دو نوع غشا، غشاهای مسطح یا تخت بیشتر در آزمایشگاه های تحقیقاتی استفاده می شوند چرا که هم ساخت آنها ساده تر و ارزان تر است و هم ارزیابی خواص آنها در ماژول های غشایی تخت نیاز به تجهیزات پیچیده ای ندارد.

برای ارزیابی خواص غشاهای جداسازی گازی مسطح یا تخت در مقیاس آزمایشگاهی معمولا از دو نوع ماژول انتها بسته (dead end) و جریان عرضی (Tangential) استفاده می شود که شرح عملکرد ماژول انتها بسته (طراحی شده در شرکت تراوا فرایند افراز) در ادامه آمده است.

اجزا و شرح عملکرد سامانه اندازه گیری تراوائی گازهای خالص

همانگونه که در بالا ذکر شد، ماژول سامانه اندازه گیری تراوائی گازهای خالص (طراحی شده در شرکت تراوا فرایند افراز) از نوع تخت انتها بسته است.

ماژول اندازه گیری تراوائی گازهای خالص از جنس استیل ضدزنگ و دارای دو بخش است. بخش پائینی که غشا تخت مدور در آن قرار می گیرد، روی صفحه اصلی میز سامانه ثابت شده و دارای سوراخی است که تراویده را به دستگاه اندازه گیری دبی حجمی گاز تراویده (حباب متر یا فلومتر) منتقل می‌کند. بخش بالائی که متحرک است روی صفحهٔ پائینی آب بندی شده و گاز تحت فشار به آن وارد می شود. بنابراین در این سامانه گاز مورد آزمایش با فشار معینی وارد ماژول شده و پشت سد غشای مدور تخت قرار می گیرد. بخشی از گاز تراوش کرده و از غشا عبور می‌کند و سپس از سوراخ تعبیه شده در ته صفحهٔ پائینی ماژول خارج شده و توسط یک لوله به دستگاه اندازه‌گیری دبی حجمی تراویده منتقل می شود. در دستگاه دو نوع فلومتر تعبیه شده است که بسته به دبی و نوع گاز می تواند وارد لوله حباب متر شده و یا وارد فلومتر جرمی (MFC=mass flow meter) گردد. اگر گاز مورد آزمایش هوا، نیتروژن یا اکسیژن و دبی گاز تراویده تا حداکثر ۲۰۰ میلی لیتر باشد استفاده از MFC توصیه می شود در غیراینصورت (به ویژه با در نظر گرفتن قیمت بسیار بالای MFC) بهتر است از لوله حباب متر استفاده شود. در فلومتر دوم (حباب متر) در اثر تماس تراویده با آب-صابون موجود در مخزن انتهایی لوله، یک حباب از گاز تراویده تشکیل و درون لوله مدرج حباب متر بالا می‌رود. با اندازه گیری سرعت حرکت حباب می‌توان دبی حجمی تراویده را اندازه‌گیری نمود. نمائی از سامانه اندازه گیری تراوائی غشاهای جداسازی تخت در شکل زیر نمایش داده شده است.



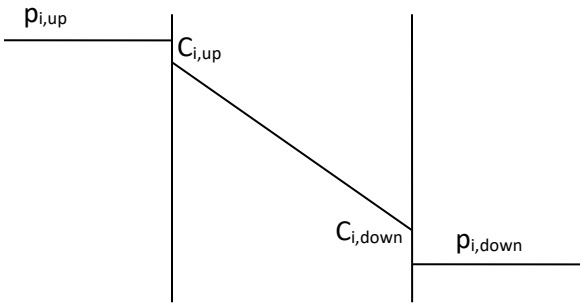
شکل ۱: دستگاه اندازه‌گیری تراوائی غشاهای ورقه ای مسطح

همانگونه که در شکل قابل مشاهده است، یک شیر تهویه بر روی بخش بالائی و متحرک ماژول نصب شده است (شیر تهویه) که بیشتر برای تخلیه گاز آزمایش در پایان فرایند و نیز شستشوی سامانه با گاز جدید (وقتی نوع گاز مورد آزمایش هنگام کار با یک نوع غشا تغییر می کند) قابل استفاده است. شیر سوزنی نصب شده بر روی خط انتقال گاز از سیلندر به ماژول نیز برای کنترل فشار بالادست غشاست.

باید دقت شود پس از اندازه گیری دبی تراویده، لازم است دبی حجمی محاسبه شده را با توجه به فشار و دمای آزمایش به دبی حجمی در شرایط استاندارد (STP) تبدیل نمود. برای محاسبه تراوائی گاز می‌توان از رابطهٔ فیک به شکل زیر استفاده نمود.

$$Q_i(STP) = D_i \times A \times \frac{\Delta C_i}{l} \qquad (۱)$$

که در آن، Q_i دبی حجمی جزء تراوش کننده، D_i ضریب نفوذ جزء i در غشا، A سطح غشا، C_i غلظت جزء i در بالادست و پائین دست غشا و z بیانگر جهت انتقال در غشا است. در این رابطه از مقاومت انتقال جرم جزء i در طرفین غشا صرفنظر شده است. یعنی فرض شده است غلظت جزء i در فصل مشترک طرفین غشا برابر غلظت آن جزء در توده گاز طرفین غشا است (که این فرض در مورد گازهای خالص که مورد هدف این سامانه است کاملا صادق است). شکل (۲) این فرض را به صورت نمادین به تصویر کشیده است.



شکل (۲): نمائی از روند تغییرات غلظت در عرض غشا

C_i را می‌توان توسط رابطهٔ زیر به حلالیت و فشار جزئی i نسبت داد:

$$C_i = p_i \times S_i \qquad (۲)$$

که در آن p_i فشار جزئی گاز و S_i حلالیت جزء i در غشا است. با جایگزینی رابطهٔ (۲) در (۱) به دست می‌آید:

$$Q_i(STP) = D_i \times S_i \times A \times \frac{\Delta p_i}{l} = P_i \left\{ \frac{p_i|_{upstream} - p_i|_{downstream}}{l} \right\} \qquad (۳)$$

در این رابطه P_i تراوائی جزء i در گذر از غشا و l ضخامت غشا و $p_i|_{upstream}$ و $p_i|_{Downstream}$ فشار جزئی جزء i در دو جریان بالادست و پایین دست غشاست. در شرایطی که غشا مورد آزمایش نامتقارن باشد، با فرض اینکه بتوان از مقاومت پایه متخلخل صرفنظر کرد، l ضخامت لایهٔ فعال یا همان ضخامت لایهٔ انتخاب‌پذیر است.

با در نظر گرفتن رابطهٔ (۳) می توان تراوائی جزء i (P_i) را از رابطه ۴ مطابق زیر بدست آورد:

$$Q_i(STP) = P_i \times A \times \frac{\Delta p_i}{l} \rightarrow P_i = \frac{Q_i(STP) \times l}{A \times \Delta p_i} \quad (4)$$

برخی از محققین که امکان اندازه‌گیری ضخامت لایهٔ فعال با SEM را ندارند، نسبت P_i / l را که به تراوش (Permeance) معروف است گزارش می‌دهند. تراوش جزء i را می‌توان از رابطهٔ (۵) محاسبه کرد.

$$\frac{P_i}{l} = \frac{Q_i(STP)}{A \times \Delta p_i} \quad (۵)$$

اگر Q_i بر حسب سانتیمتر مکعب در ثانیه، l بر حسب سانتیمتر، A بر حسب سانتیمتر مربع و Δp_i بر حسب سانتیمتر جیوه گزارش شود، P_i در رابطهٔ (۴) بر حسب $cm^3 \cdot cm / cm^2 \cdot s \cdot cmHg$ و تراوش از رابطهٔ (۵) بر حسب $cm^3 / cm^2 \cdot s \cdot cmHg$ به دست می‌آید. هر $10^{-10} cm^3 \cdot cm / cm^2 \cdot s \cdot cmHg$ را یک Barrer و هر $10^{-6} cm^3 / cm^2 \cdot s \cdot cmHg$ را یک GPU می‌نامند. لازم به ذکر است GPU مخفف gas permeance unit است و Barrer یک اسم خاص و یکی از متعارف ترین واحدهای تراوائی گازها محسوب می شود.

انتخاب‌پذیری غشا را نیز می‌توان از رابطهٔ (۶) به دست آورد.

$$\alpha_{i,j} = P_i / P_j \quad (۶)$$

در رابطهٔ بالا، $\alpha_{i,j}$ انتخاب‌پذیری ایده‌آل غشا در مقابل عبور اجزاء i و j و P_i و P_j تراوائی اجزاء i و j است.

در جدول زیر مشخصات کامل سامانه ارائه شده است.

TARAVA FARAYAND AFRAZ

تـراوا فرایـند افـراز

دستگاه اندازه گیری تراوایی گازها (Gas Permeation Setup)	
شرکت سازنده	تراوا فرایند افراز
سال ساخت	۱۴۰۱
محدوده فشار عملیاتی	0-230 psia
سطح موثر غشا	20 cm^2
نوع غشای مورد استفاده	مسطح (تخت)
محدوده نرخ تراویده	0-200 ml/min
جنس ماژول غشایی و لوله ها	استیل زنگ نزن 316