

طرح برج جذب پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد «خانگیران»

دکتر طاهره کاغذچی

دانشیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حمیدرضا داودی راد

دانشجوی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

جداسازی گازهای اسیدی (CO_2 ، SH_2) از گاز ترش طبیعی، اساس فرایند پالایش گاز را تشکیل می‌دهد. این عمل عمدتاً توسط حلال‌های شیمیایی در برج‌های جذب (یا تماس‌دهنده) صورت می‌پذیرد. در کشور ما با وجود منابع عظیم گاز طبیعی برخلاف صنعت پالایش نفت، گاز بسیار کمی در مورد طراحی واحدهای عملیاتی تصفیه گاز صورت گرفته است. در این مقاله نتایج کار در زمینه طراحی مجدد برج جذب پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران) در سه قسمت تحت عناوین، محاسبه شدت محلول آمین مورد نیاز، بررسی مساله تعیین تعداد سینی‌های مورد نیاز و محاسبه هیدرولیک سینی‌ها ارائه گردیده است. این محاسبات که براساس جدیدترین روشها و اطلاعات قابل دسترسی انجام گردیده، با توجه به نتایج مناسبی که به دست داده نشانگر آن است که طراحی چنین واحدهائی در کشورمان دور از انتظار نمی‌باشد.

مقدمه:

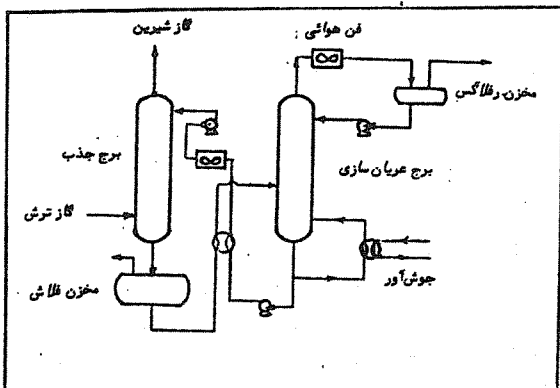
گاز طبیعی به عنوان یک منبع مهم در تولید انرژی و نیز به عنوان یکی از منابع مواد اولیه صنایع پتروشیمی اهمیت روزافزونی در جهان یافته است. با توجه به وجود منابع غنی این ماده در کشور ما، صنعت پالایش گاز می‌تواند جایگاه کاملاً ویژه‌ای را به خود اختصاص دهد. گاز طبیعی به‌طور کلی به دو شاخه گاز شیرین و گاز ترش تقسیم می‌شود.

گاز ترش گازی است که دارای گازهای اسیدی (CO_2 ، SH_2) می‌باشد و گاز شیرین به گازی اطلاق می‌شود که فاقد این مواد اسیدی باشد. پالایش گاز در مورد گازهای ترش و به‌منظور جدا نمودن اجزای اسیدی موجود در آن صورت می‌گیرد. عمل پالایش می‌تواند با توجه به موارد مختلف توسط محلولها یا مواد جامد جاذب صورت پذیرد. معمولترین روش استفاده از محلول اتانول آمینها در آب بخصوص مونواتانول آمین (MEA) و دی‌اتانول آمین (DEA) می‌باشد. و البته روزبه‌روز در این زمینه نوآوری‌هایی گزارش می‌شود.

تشریح فرایند و اطلاعات اولیه

شمای قسمتی از فرایند پالایش گاز در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد به‌شکلی ساده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

محلول جاذب ورودی به بالای برج، محلول دی‌اتانول آمین با غلظت ۳۴٪ و زنی در آب است که با دمای $130^{\circ}F$ به برج وارد می‌گردد و با تقریب خوب می‌توان آن را فاقد گازهای اسیدی فرض کرد. مطابق شکل ۱ گاز ترش ورودی به پائین برج جذب پس از تماس با



شکل ۱

محلول دی‌اتانول آمین، درحالی‌که از گازهای اسیدی عاری گشته از بالای این برج خارج می‌شود. میزان گازهای اسیدی در این جریان حداکثر ۷ ppm است.

محلول آمین پس از جذب گازهای اسیدی از پائین این برج خارج شده و پس از تبادل حرارت با محلول آمین تمیز خروجی از برج عریان سازی^۱، وارد این برج می‌گردد که مجهز به جوش‌آور مجدد می‌باشد. در این برج عمل بازیابی آمین صورت پذیرفته و آمین تمیز حاصل که مقدار گازهای اسیدی در آن خیلی کم است پس از سرد شدن به برج جذب برگردانده می‌شود. مشخصات گاز ترش ورودی به برج جذب در جدول شماره ۱ آمده است.

نتیجه محاسبات	مقدار طراحی شده
شدت محلول آمین مورد نیاز	گالن بر دقیقه
۲۰۶۵	۲۰۴۸

(جدول شماره ۲)

جذب هریک از گازهای اسیدی SH_2 و CO_2 در محلول اتانول آمین ها، بر میزان جذب گاز دیگر اثر گذاشته و سیستم را غیر ایده آل می سازد. واکنش جذب حرارت قابل توجهی آزاد می سازد که در بعضی دماها وابسته به غلظت گاز در محلول آمین و در بعضی دماها مستقل از آن است. غلظت و نوع محلول آمین هم طبیعتاً پارامترهای تعیین کننده دیگری هستند که به همراه عوامل فوق باعث گردیده اند اطلاعات کاملاً محدودی راجع به وضعیت تعادلی در فرایند جذب همزمان دو گاز CO_2 و SH_2 در یک محلول خاص از اتانول آمین ها وجود داشته باشد. این اطلاعات اکثراً محدود به یک یا دو دمای خاص است که برای محاسبات مربوط به یک عملیات غیرهمدمای ناکافی به نظر می رسد. علاوه بر این، در ناحیه ای که فشار جزئی گازهای اسیدی کوچک می شود، منحنی های تعادلی موجود، فاقد دقت لازم هستند و این امر باتوجه به این که میزان SH_2 در گاز شیرین باید به کمتر از ۷ PPM برسد، ضعف عمده ای به شمار می رود.

تعیین تعداد سینی های برج جذب در طول سالهای متعددی به روش تجربی انجام گرفته است و وجود ۲۰ سینی یا عددی نزدیک به آن در اکثر برج های موجود به چشم می خورد (تعداد سینی های برج جذب مورد نظر نیز ۲۰ عدد می باشد). آن طوری که به نظر می رسد بیشترین مقدار جذب تقریباً در ۵ سینی اول (پائین) برج صورت می گیرد و مابقی سینی ها وظیفه رساندن مقدار گازهای اسیدی به حدود PPM را به عهده دارند و به عبارتی در اینجا بهینه سازی تعداد سینی ها براساس مساله ایمنی سیستم (باتوجه به خطر بالاتر بودن مقدار SH_2 در گاز شیرین از حد مجاز) انجام گرفته است نه براساس بهای برج.

به هر حال، در طول سالها تلاش فراوانی برای سیستماتیک نمودن تعادل بین اتانول آمین ها و گازهای اسیدی انجام گرفته تا از نتایج آن در جهت طراحی فرایند استفاده گردد. از جمله این تلاشها که با موفقیت هایی نیز روبرو گردیده است، تلاش در جهت توضیح واکنش شیمیائی وقوع یافته بین اتانول آمین ها و گازهای اسیدی می باشد. با اختصاص ثابت تعادل کاذبی که برای هرواکنش نوشته می شود و از طریق روابط تعادلی مقتضی، امکان مدل نمودن سیستم در حال تعادل به وجود می آید. Kent و Eisenberg (۱۹۳۳) یک سری معادلات برای مدل نمودن واکنش ارائه نموده و براساس قانون هنری، رابطه تعادلی بین فشار بخار جزئی گازهای اسیدی و غلظت آن ها در محلول اتانول آمین ها را بیان کردند. کارهای اولیه این دو در مقایسه با نتایج تجربی عجز خود را ظاهر ساخت اما به هر حال با ادامه کار بر روی این روش موفقیت هایی به دست آمد.

در سال های اخیر چند مورد از نتایج برنامه های کامپیوتری که برای محاسبات مربوط به فرایند شیرین کردن گاز تنظیم شده اند، گزارش شده است که شامل محاسبه تعداد سینی های برج جذب نیز می شوند. از آن

شدت جریان گاز ورودی (بر مبنای 1 atm و 60° F) فوت مکعب بر روز	2×10^6
دمای گاز ورودی	70° F
صردم مولی متان در گاز ورودی	۸۸/۳۵
درصد مولی SH_2 در گاز ورودی	۳/۸۵
درصد مولی CO_2 در گاز ورودی	۶/۴۱
درصد مولی سایر مواد در گاز ورودی	۱/۳۹

(جدول شماره ۱)

محاسبه شدت محلول آمین مورد نیاز

در این محاسبات از بیلان جرم و انرژی کلی برج استفاده می شود. با فرض آدیاباتیک بودن برج، حرارت آزاد شده در اثر جذب شیمیائی برابر با حرارت داده شده به گاز و محلول آمین ورودی برای رسیدن به دماهای خروجی خواهد بود. گرمای ویژه گاز را تقریباً می توان با گرمای ویژه متان برابر دانست. گرمای ویژه و نرمالیتیه محلول آمین (منحنی های تعادلی برای این سیستم بر حسب نرمالیتیه محلول آمین متفاوت هستند) نیز از منحنی های موجود قابل دسترسی هستند. (۱)

طبق یک اصل تجربی دمای گاز خروجی از بالای برج تقریباً با دمای آمین تمیز ورودی به این ناحیه برابر است. مقدار حرارت واکنش براساس جزء مولی گاز اسیدی در محلول آمین، در جداولی موجود است. اگر نسبت شدت مولی محلول آمین به شدت مولی گاز ورودی را R بنامیم، معادله بیلان انرژی کلی به صورت زیر در می آید:

$$\Delta H = R \cdot CP'_{z} (T_{2z} - T_{1z}) + I \cdot CP'_{i} (T_{2i} - T_{1i})$$

که اندیس های i و z به ترتیب مربوط به جریان های گاز و محلول آمین و اندیس های ۱ و ۲ نشانگر جریان های ورودی و خروجی هستند. ΔH ، حرارت واکنش و برابر با مجموع حرارت های واکنش دو گاز CO_2 و SH_2 می باشد که در ابتدا برای آن ها مقداری حدس زده می شود و در مراحل بعدی محاسبات اعداد مربوطه به کمک جداول تصحیح می گردند. حال اگر مقداری برای دمای آمین خروجی (T_{2z}) حدس زده شود، مقدار R از معادله بیلان انرژی کلی قابل محاسبه است. پس از تعیین R می توان به کمک منحنی های تعادلی که در دو دما برای این سیستم خاص وجود دارند و از طریق برون یابی و درون یابی لگاریتمی، میزان فشار جزئی گازهای اسیدی را در جریان گاز ورودی به دست آورد. چنانچه مقادیر محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی باشند، حدس بعدی با تغییر مقدار T_{2z} و همراه با تصحیح لازم در مورد حرارت واکنش شروع می شود. مراحل حدس و خطا تا زمانی که فشارهای جزئی محاسبه شده برابر یا بزرگتر از مقادیر واقعی شان باشند، ادامه پیدا می کند.

نتیجه محاسبات انجام شده در کنار مقدار طراحی شده برای پالایشگاه در جدول شماره ۲ آمده است.

بررسی محاسبه تعداد سینی ها

تعیین تعداد سینی ها در برج جذب کار ساده ای نیست. بسیاری از صاحب نظران تلاش در جهت انجام این محاسبات را کوشش بیپوده ای دانسته اند (۲).

جمله نتایج برنامه‌ای است که توسط Tomcej و Otto (۵۶) ارائه گردیده و در آن از فرم پیشرفته معادلات Kent و Eisenberg استفاده شده است. البته این برنامه کامپیوتری هنوز در زمینه محاسبه تعداد سینی‌ها تکویری ناموفق می‌نماید زیرا در طراحی مجدد چند فرایند موجود، تعداد سینی‌ها را خیلی کمتر از میزان واقعی محاسبه کرده است. مورد دیگر برنامه‌ای است که توسط Blauwhoff و Kamphuis (۷) برای محلول‌های جاذب دی‌ایزوپروپانول آمین و متیل دی اتانول آمین تهیه گردیده اما چون در نتایج ارائه شده، تعداد سینی‌های موجود در کنار مقادیر محاسبه شده عنوان نگردیده، لذا امکان ارزیابی در این زمینه وجود ندارد.

به‌رحال بررسی‌های فعلی نشان دهنده آن است که دستیابی به نتایج قابل قبول در این زمینه هنوز محتاج به پژوهش و تلاش‌های بیشتری می‌باشد.

محاسبه هیدرولیک سینی‌ها

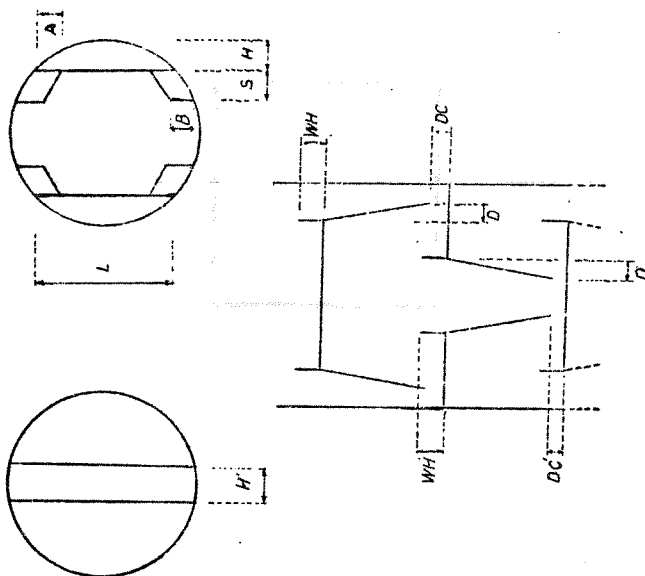
برج‌های جذب پالایشگاه سینی دار بوده و سینی‌های آن از نوع Valve tray می‌باشد. ابزار تعبیه شده بر روی این نوع سینی‌ها به صورت شیرهای یک‌طرفه عمل می‌نمایند. محاسبات مربوط به هیدرولیک سینی‌ها با استفاده از روش و منحنی‌های تجربی ارائه شده توسط شرکت Koch، سازنده این نوع سینی‌ها که خود آنها را Flexitray می‌نامد، انجام گردیده است (۸). در این روش ابتدا در مرحله طراحی اولیه مقادیر قطر برج فاصله سینی‌ها و تعداد گذرهای مایع تعیین می‌شود. نگاه در مرحله طراحی جزئی و نهائی پس از مشخص شدن جزئیات مربوط به سینی، میزان درصد طغیان محاسبه گردیده و کوچکتر بودن آن از حد مجاز در طراحی کنترل می‌گردد و در صورت لزوم تغییرات مقتضی در ابعاد انجام شده و محاسبات تکرار می‌گردد. ارائه جزئیات روش طراحی به‌خاطر طولانی بودن مسیر محاسبات و کثرت منحنی‌های مورد استفاده در این مقاله میسر نیست. نتایج حاصل از محاسبات به کمک شکل شماره ۲ در جداول شماره ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

مقدار طراحی شده	مقدار محاسبه شده	
فوت ۹/۵	فوت ۹	قطر برج
اینچ ۳۰	اینچ ۳۰	فاصله ۵ سینی کف برج
اینچ ۲۴	اینچ ۲۴	فاصله ۱۵ سینی بالای برج

(جدول شماره ۳)

	برای فاصله سینی ۲۴ اینچ	برای فاصله سینی ۳۰ اینچ	
A	اینچ ۱۱	اینچ ۱۰	
B	اینچ ۸	اینچ ۶	
S	اینچ ۱۲	اینچ ۱۲	
H	اینچ ۱۵	اینچ ۱۳	
L	فوت ۶/۳	فوت ۵/۹	
H'	اینچ ۲۰	اینچ ۱۶/۲۵	
WH'	اینچ ۳/۵	اینچ ۳/۵	
WH'	اینچ ۳/۵	اینچ ۳/۵	
DC	اینچ ۳	اینچ ۳/۲۵	
DC	اینچ ۳	اینچ ۳/۲۵	
D	اینچ ۲	اینچ ۲	
D'	اینچ ۳	اینچ ۲/۵	

(جدول شماره ۴)



بررسی نتایج

مقدار محاسبه شده برای شدت آمین اختلاف بسیار کمی نسبت به مقدار طراحی شده دارد. درصد اختلاف به میزان ۸/۸ درصد و قابل صرف نظر کردن است.

در مورد اندازه قطر برج همان طوری که ملاحظه گردید میزان محاسبه شده به اندازه ۵/۵ فوت از مقدار طراحی شده کوچکتر است و این تفاوت می تواند تاثیر تعیین کننده ای در عملکرد برج داشته باشد.

در طی آزمایش های عملی که بر روی برج های مورد نظر صورت گرفته است (Test run) گزارش گردیده که این برج ها قادرند تا ۱/۵ برابر

مقدار ظرفیت طراحی شده از گاز را نیز به نحو مطلوب تصفیه کنند. با توجه به این مطلب می توان گفت که برجی با ابعاد محاسبه شده کاملاً قادر خواهد بود که گاز را به میزان ظرفیت طراحی شده پالایش و تصفیه نماید و اصولاً وجود چنین ضریب اطمینان بالائی با توجه به موارد مشابهی که در صنعت نفت دیده شده، از طراحان خارجی دور از انتظار نیست. ابعاد دیگر مربوط به سینی ها نیز مطابق روش شرکت سازنده آنها کنترل و تایید گردیده است.

به هر حال، این نتایج همان طور که قبلاً مطرح گردید با توجه به دقت موجود می تواند راهگشای ما در طراحی چنین واحدهائی باشد.

پاورقی :

1. Strippet

۲. جهت دسترسی به جزئیات می توان به مرجع شماره ۹ مراجعه شود.

منابع

- 1- Maddox, R. N., Gas Conditioning and Processing, Volume 4: *Gas and Liquid Sweetening*, Campbell Petroleum Series, 1982.
- 2- Connors, J.S; Perkins, C.L. and Vandaveer, F.E. *Gas Engineers Handbook*, Chap. 9. New York: The Industrial Press 1975.
- 3- Kent, R. L. and Eisenberg, B. *Gas Conditioning Conference*, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, 1975.
- 4- Kent, R. L. and Eisenberg, B. *Hydrocarbon Processing*, Feb. 1976, p. 87.
- 5- Tomcej, R.A; Otto, F. D., Nolte, F.W. *Proc., Gas Cond. Conf.* 1983, 33. p. 1-27.
- 6- Tomcej, R.A; Otto, F.D. *Eng. Process./Cand.* 1983, 75(3), 27-32.
- 7- Blauwhoff, P.M.M; Kamphuis, B; Van Swaigi, W.P.M. *Chem. Eng. Process.* 1985, 19(1), 1-25.
- 8- Koch Engineering Company, Inc. *Flexitray Design Manual*.

