

## فصل دوم: موازنه جرم

- ۱-۲ اصول اساسی مربوط به تنظیم موازنه جرم در واحد عملیات فیزیکی و واحد فرآیندهای شیمیایی
- ۲-۲ سازنده‌های اتصال و اهمیت آنها در تنظیم موازنه جرم
- ۳-۲ موازنه جرم و محاسبات نوچرخه، کنار گذر و جریان زدایش در فرآیندهای پیوسته پایا.
- ۴-۲ موازنه جرم در سیستمهایی با واکنشهای تعادلی
- ۵-۲ فرآیند تولید آمونیاک
- ۶-۲ موازنه جرم در فرآیندهای شیمیایی احتراق
- ۷-۲ موازنه جرم در فرآیندهای پیوسته ناپایا
- ۸-۲ تمرینات حل شده
- ۹-۲ مسائل

قانون بقا در علم مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. براساس این قانون در یک سیستم منزوی مقدار کل جرم و انرژی ثابت می‌باشد. بدیهی است اگر در دستگاه منزوی مورد نظر تبدیل متقابل جرم و انرژی صورت نپذیرد می‌توان گفت مقدار کل جرم در دستگاه مزبور همیشه مقدار ثابتی است. باید توجه داشت در عمل صحت این قانون فقط در چهارچوب خطا و تقریب ناشی از اندازه‌گیریها ممکن می‌گردد.

## ۱-۲- اصول اساسی مربوط به تنظیم موازنه جرم در واحد عملیات فیزیکی و واحد فرآیندهای

### شیمیایی

قبل از هر چیزی لازم است تعریفی از سیستم از دیدگاه علوم تجربی داشت. سیستم عبارت است از مجموعه‌ای از واقعیت‌های فیزیکی مرتبط بهم، که کلیتی را تشکیل داده‌اند و توسط مرز از دنیای ماکروسکوپی و میکروسکوپی جدا می‌گردد و در یک فاصله زمانی معین مورد نظر، مورد مطالعه ما قرار دارد. یک سیستم اگر در فاصله زمانی مورد نظر با محیط خود هیچگونه تبادل جرم و انرژی، نداشته باشد، سیستم منزوی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود و اگر تبادل جرمی نداشته باشد ولی تبادل انرژی وجود داشته باشد سیستم بسته<sup>۲</sup> خوانده می‌شود. در نهایت اگر سیستم در فاصله زمانی مورد نظر بطور همزمان تبادل جرم و انرژی داشته به آن سیستم باز<sup>۳</sup> یا سیستم جاری<sup>۱</sup> اطلاق می‌شود.

1. Isolated
2. Closed system
3. Open system

در سیستمهایی که طی تحولات درونی آنها تبدیل متقابل جرم و انرژی، به یکدیگر صورت نمی‌گیرد می‌توان موازنه جرم و انرژی را بطور مجزا تنظیم نمود در غیر این صورت لزوماً باید موازنه جرم و انرژی بطور همزمان تنظیم گردد. در صنایع شیمیایی معمول به غیر صنایع هسته‌ای برای عموم سیستمها می‌توان موازنه جرم و انرژی را بطور مجزا تنظیم نمود. کلیه موارد مطرح شده در این فصل از نوع سیستمهای عمومی هستند که رابطه اصلی موازنه جرم در کلیه سیستمها را می‌توان بترتیب زیر نوشت:

$$\boxed{\text{جرم تجمع یافته در یک سیستم}} = \boxed{\text{جرم ورودی به داخل محدوده سیستم}} - \boxed{\text{جرم خروجی از محدوده سیستم}} + \boxed{\text{تولید جرم در داخل سیستم}} - \boxed{\text{مصرف جرم در داخل سیستم}} \quad (1-2)$$

رابطه عمومی بالا را می‌توان با توجه به نوع یا انواع مختلف سیستمها ساده نمود. رابطه ۱-۲ را برای موازنه کل جرم در سیستمی که تولید و مصرف جرم مطرح نیست بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$\text{خروجی} - \text{ورودی} = \text{انبار شده} \quad (2-2)$$

اگر در سیستم انبار شدن نیز صورت نپذیرد رابطه بالا بترتیب زیر تغییر می‌کند:

$$\text{ورودی} = \text{خروجی} \quad (2-2)$$

سیستمهای پیوسته پایدار از انواع سیستمهایی هستند که در آنها انبار شدن صورت نمی‌پذیرد، لذا در آنها رابطه ۲-۳ صادق است. در سیستمهای ناپیوسته، در فاصله زمانی انجام تحول، ورود و خروج مواد صورت نمی‌پذیرد لذا رابطه (۱-۲) به شکل زیر اصلاح می‌گردد.

$$\text{مصرف} - \text{تولید} = \text{مقدار انبار شده} \quad (3-2)$$

موازنه کل جرم را براساس سه حالت مایع، جامد، گاز بترتیب زیر می‌توان نوشت:

$$G_S + G_L + G_g = G'_S + G'_L + G'_g \quad (4-2)$$

در رابطه بالا  $G_S$  و  $G_L$  و  $G_g$  بترتیب مقادیر مواد جامد، مایع و گاز در جریان تغذیه به دستگاه هستند

همین مقادیر در محصولات نهایی می‌باشند نسبتهای  $\frac{G_g}{G'_g}, \frac{G_L}{G'_L}, \frac{G_S}{G'_S}$  تحت عنوان

ضرایب مصرف<sup>۲</sup> خوانده می‌شوند. در سیستمهای همگن ضریب مصرف اصولاً برابر یک است ولی در سیستمهای ناهمگن به علت انتقال جرم از یک فاز به فاز دیگر ضرایب مصرف بطور قابل توجهی

از رقم یک کمتر و یا زیادتر است در بعضی از شرایط لازم است موازنه جرم برای هر یک از فازها بصورت مجزا نوشته شود در این صورت رابطه زیر را خواهیم داشت :

$$G(g,l,s) + G(g,l,s)a = G'(g,l,s) + G'(g,l,s)d \quad (۶-۲)$$

در رابطه بالا  $G', G$  وزن هر یک از فازهای مورد نظر ورودی و خروجی  $G'_d, G_a$  بترتیب مقدار اضافه شده و کاهش یافته از فاز مورد نظر در درون دستگاه است.

در واحد فرآیندها تفاضل مقدار ورودی و خروجی برای هر یک از مواد نشان دهنده این واقعیت است که آیا ماده مورد نظر طی تحولات داخل دستگاه مصرف و تولید شده است یا نه؟ در تنظیم موازنه جرم در یک سیستم اولین هدف بدست آوردن تعدادی معادله مستقل است که حداقل برابر با تعداد مجهولات باشد. در برخورد اولیه با مسائل مربوط به موازنه جرم نکات زیر را باید در نظر داشت :

الف) موازنه کل جرم برای کلیه واحدهای صنعتی اعم از واحد عملیات و واحد فرایندها قابل تنظیم است

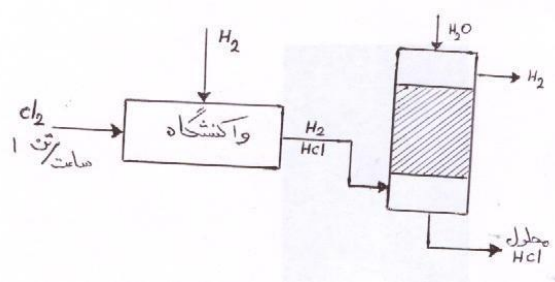
ب) در واحد عملیاتی تنظیم موازنه جرمی عناصر کمک چندانی به حل مسائل نمی‌کند در این شرایط بهتر است موازنه هر یک از ترکیبات نوشته شده و در صورت نبودن یک ترکیب شیمیایی خالص می‌توان مخلوط ترکیبات مختلف را اساس قرار داد ولی در واحد فرآیندهای شیمیایی لزوماً باید موازنه هر یک از عناصر نوشته شود.

ج) در واحد عملیاتها اکثراً از واحدهایی نظیر گرم، پوند، کیلوگرم و تن استفاده می‌شود ولی در واحد فرایندها بیشتر از واحدهایی نظیر مول، مولکول گرم، فرمول گرم و اتم گرم استفاده می‌شود.

د) اگر بتوانیم روابطی مستقل که تعدادشان از مجهولات بیشتر است بنویسیم بهتر خواهد بود چون مجهولات را به کمک روابط مستقل به تعداد خودشان پیدا می‌کنیم و صحت نتایج حاصله را به یاری روابطی که مورد استفاده قرار نگرفته‌اند کنترل می‌نمائیم ولی اگر تعداد معادلات مستقل کمتر از تعداد مجهولات باشد لزوماً باید به سراغ روشهای تقریبی رفت.

ه) در واحد فرآیندها و واحد عملیات ترجیحاً یکی از سازنده‌ها که طی مراحل مختلف بدون تغییر باقی می‌ماند (سازنده اتصال)<sup>۱</sup> بعنوان سازنده کلیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

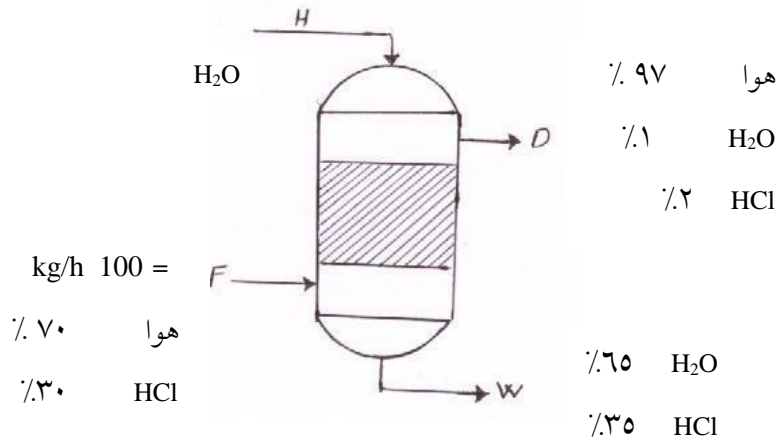
مثال ۱-۲) خط تولید HCl در صنعت شماتیک در زیر نشان داده شده است. دبی گاز کلر ورودی ۱ تن در ساعت فرض می‌شود. جهت مصرف کلیه مقدار کلر ورودی لازم است ۲۰٪ مولی هیدروژن اضافی وارد شود. گاز HCl خروجی از واکنشگاه در ستون جذب بطور کامل توسط آب جذب شده و محلول ۲۵٪ وزنی HCl تولید می‌شود به کمک اطلاعات بالا به سوالات زیر پاسخ دهید: (قابل ذکر است که سیستم بصورت پیوسته پایا کار می‌کند)



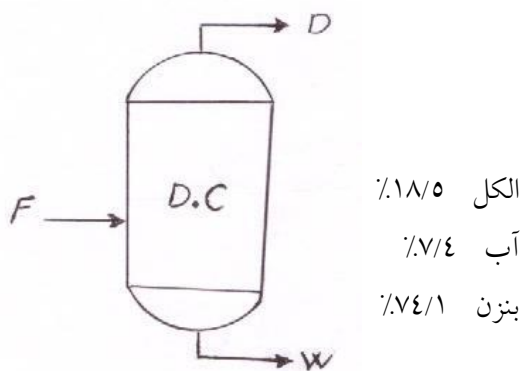
شکل ۱-۲

- (۱) دبی گاز هیدروژن ورودی به واکنشگاه و خروجی از ستون جذب بر حسب مول بر ساعت؟
- (۲) دبی آب مورد نیاز در ستون جذب بر حسب kg/h
- (۳) موازنه کل مواد ورودی و خروجی

۲-۲) برای تهیه محلول اسید هیدروکلریک غلیظ از ستون جذب با مشخصات زیر که بطور پیوسته پایا کار می کند استفاده می گردد، با وصف اینکه کلیه درصدها وزنی است مطلوبست محاسبه آب خالص مورد نیاز و مقدار محلول اسید هیدروکلریک غلیظ تولید شده در یک ساعت.



۲-۳) در تقطیر محلول اتانول - آب در حدود ۹۵٪ وزنی الکل، محلول به نقطه هم جوش می‌رسد لذا بدست آوردن الکل مطلق به روش تقطیر معمولی ممکن نیست. در صنعت برای تهیه الکل مطلق روشی تحت عنوان «Kags» مورد استفاده است که براساس این روش به محلول ۹۵٪ وزنی الکل، بنزن خالص علاوه می‌شود. بنزن فراریت الکل را به شدت کاهش می‌دهد و در تقطیر محلول جدید بخارات خروجی از ستون تقطیر دارای ترکیب وزنی ۱۸/۵٪ الکل - ۷/۴٪ آب و ۷۴/۱٪ بنزن است و به این ترتیب کلیه آب و بنزن از طریق فاز بخار خارج می‌شود و محصول زیرین الکل مطلق مایع است. با وصف اینکه چگالی الکل ۹۵٪ و الکل ۱۰۰٪ و بنزن بترتیب برابر ۷۹۹، ۷۸۵ و ۸۷۲ می‌باشد محاسبه نمایید که برای تولید ۲۵۰۰ لیتر الکل مطلق باید چه حجمی بنزن مصرف کرد.



بنزن + الکل ۹۵٪

a = درصد الکل

b = درصد بنزن

c = درصد آب

الکل مطلق









## ۲-۲- مسائل مربوط به سازنده‌های اتصال

سازنده اتصال سازنده‌ای است که از یک جریان به جریان دیگر انتقال می‌یابد بدون آنکه در آن تغییری صورت گیرد. در حل مسائل صنعتی این سازنده بعنوان کلید مورد استفاده قرار می‌گیرد، این نوع سازنده‌ها در واحد فرآیندها، و در واحد عملیات‌ها می‌توانند وجود داشته باشند.

مثال ۲-۴) دانه‌های روغنی با مشخصات مندرج در شکل زیر با دبی  $100 \text{ kg/h}$  وارد یک دستگاه استخراجی حلال می‌شود از طرف دیگر هگزان خالص بعنوان حلال وارد دستگاه می‌گردد محصول بالائی D با مشخصات مندرج در شکل جهت تقطیر و بدست آوردن روغن خالص بدستگاه تقطیر هدایت می‌گردد و

---

1.Tie

تفاله با مشخصات مندرج در شکل خارج می گردد. با وصف اینکه قسمتی از رطوبت بصورت بخار آب دستگاه را ترک می کند به سؤالات زیر پاسخ دهید:

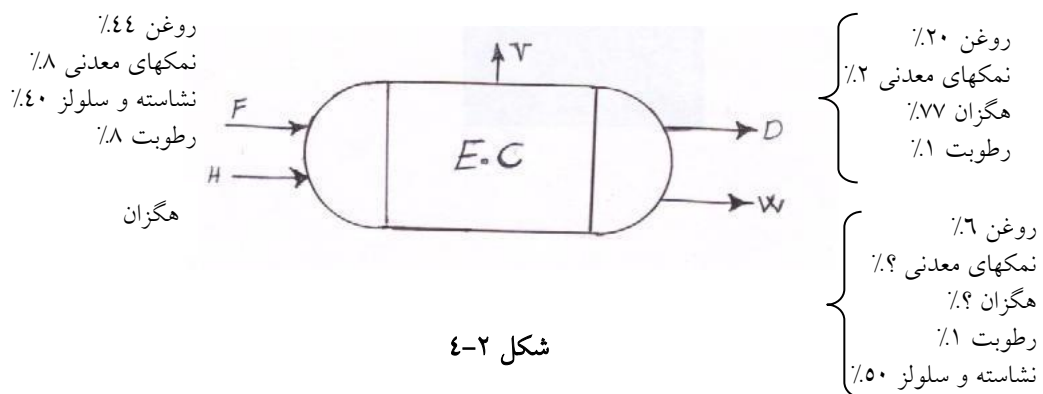
الف) دبی جریان بالائی

ب) دبی جریان پائینی

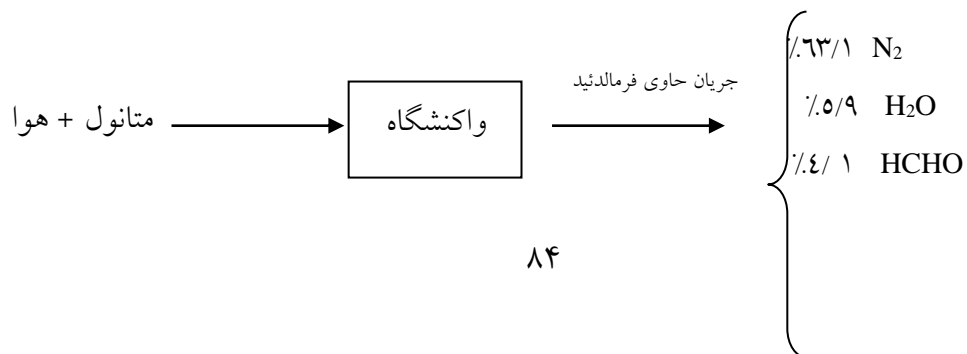
ج) مقدار هگزان مورد نیاز

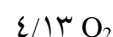
د) مقدار بخار آب خروجی از دستگاه

ه) مشخصات کامل کیک (تفاله)

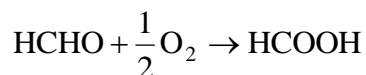
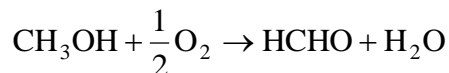


مثال ۲-۵) از اکسایش کاتالیتیکی متانول با اکسیژن هوا فرمالدئید بدست می آید در طراحی، بهره نظری واکنش در یک گذر ۳۰ درصد قبول شده است و در این گذر اصولاً باید به نسبت ۶ به ۱ حجمی هوا و متانول وارد واکنشگاه شود با وصف اینکه طی واکنش فرعی از اکسایش فرمالدئید اسید فرمیک نیز حاصل می شود. ترکیب حجمی مخلوطی که واکنشگاه را ترک می کند بترتیب زیر است:





شکل ۳-۵



الف) مطلوبست بهره واقعی واکنش در یک گذر  
ب) فرآیند را مطالعه کرده و نکات ضعف آن را با ذکر علل محتمل روشن نمائید.

### ۲-۳- محاسبات کنارگذر، نوچرخه<sup>۲</sup> و زدایش<sup>۳</sup> در سیستمهای پیوسته پایدار

در سیستم نوچرخه قسمتی از محصولات برگشت داده شده و با جریان ورودی مخلوط می‌گردد با استفاده از سیستم کنترل کیفیت در خروجی و تعبیه کامپیوتر برنامه‌ریزی شده در این محل، می‌توان کیفیت محصول را بطور قابل توجهی نگهداشت. این روش در ضمن می‌تواند به سینتیک واکنش جاری در تحرک، تأثیر قاطعی گذاشته و در جهت مطلوب آن را سوق دهد.

در سیستمهای کنار گذر قسمتی از مواد ورودی بدون اینکه وارد سیستم تحولات شود از کنار دستگاه عبور کرده و با محصولات، مخلوط می‌گردد. این روش بویژه از نظر ثابت نگهداشتن کیفیت محصول دارای اهمیت است.

در سیستم نوچرخه در عمل ناخالصی‌های جزئی به‌مراه موادی که باید وارد واکنش شوند به واکنشگاه راه پیدا می‌کنند. چون در طول تحول این مواد بی‌اثر در واکنش شرکت نمی‌کند لذا غالباً در

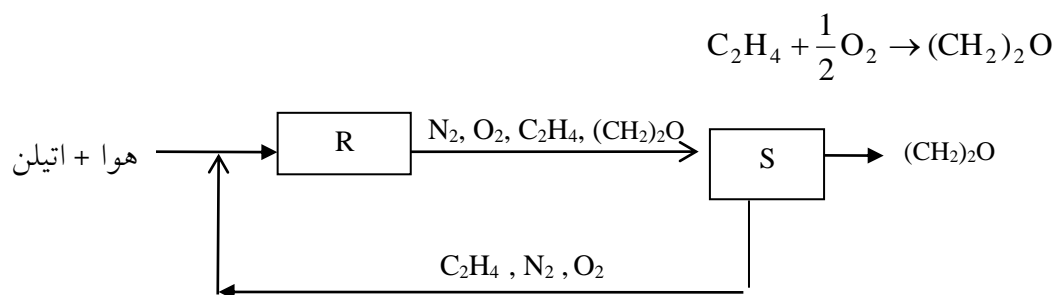
1. Bypass
2. Recycle
3. Purge stream

درون واکنشگاه تغلیظ شده و پس از مدتی موجب اشکالاتی از جهات مختلف بویژه در سینتیک واکنش می‌گردد. از این رو لازم است مقداری از جریان نوچرخه به خارج دفع گردد مقدار این جریان زدایش باید در حد معینی باشد و این حد با توجه به حداکثر مقدار مجاز ماده بی‌اثر در درون واکنشگاه محاسبه می‌گردد.

مثال ۲-۶) از اکسایش کاتالیتیکی اتیلن، اتیلن اکسید بدست می‌آید در مخلوط گازی که وارد واکنشگاه می‌شود نسبت هوا به اتیلن برابر  $\frac{10}{1}$  است درجه تکمیل این واکنش در یک گذر  $0.23$  است. اتیلن اکسید تولیدی نیز بطور انتخابی در دستگاه جدا کننده تفکیک می‌شود. و بقیه گازها وارد سیستم نوچرخه می‌گردند:

الف) مطلوبست محاسبه ترکیب مولی مخلوط گاز ورودی و خروجی از واکنشگاه  
 ب) برای اینکه نسبت هوا به اتیلن ثابت باشد می‌توان از دو روش استفاده کرد در روش نخست از مخلوط گازهای نوچرخه، اتیلن ترکیب نشده را جذب و سپس به کمک واجذب، بازیابی می‌کنند. اتیلنی که بدین ترتیب بدست می‌آید برای هر کیلوگرم  $1000$  ریال هزینه می‌گردد. در روش دوم به جریان نوچرخه، اکسیژن خالص مورد نیاز را اضافه می‌کنیم هر تن اکسیژن خالص  $80000$  ریال قیمت دارد.

در فرایند تولید اکسید، کدامیک از روشهای مذکور در بالا اقتصادی‌تر است؟

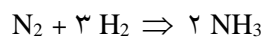
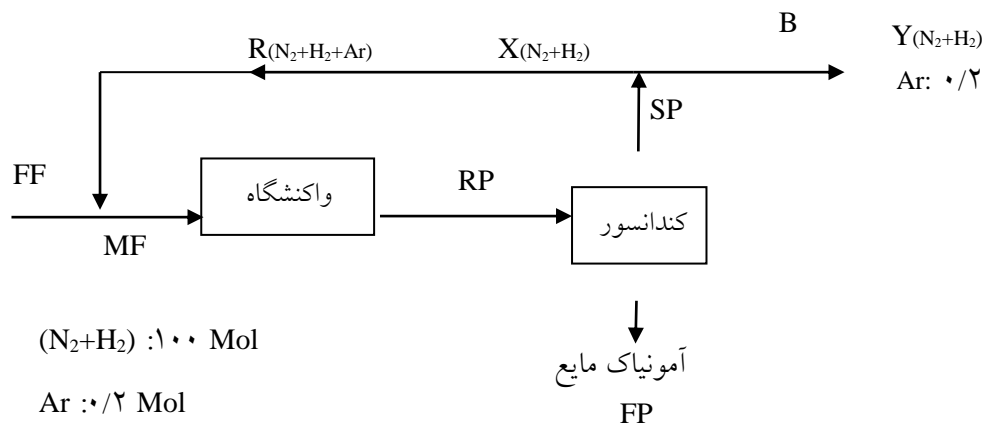


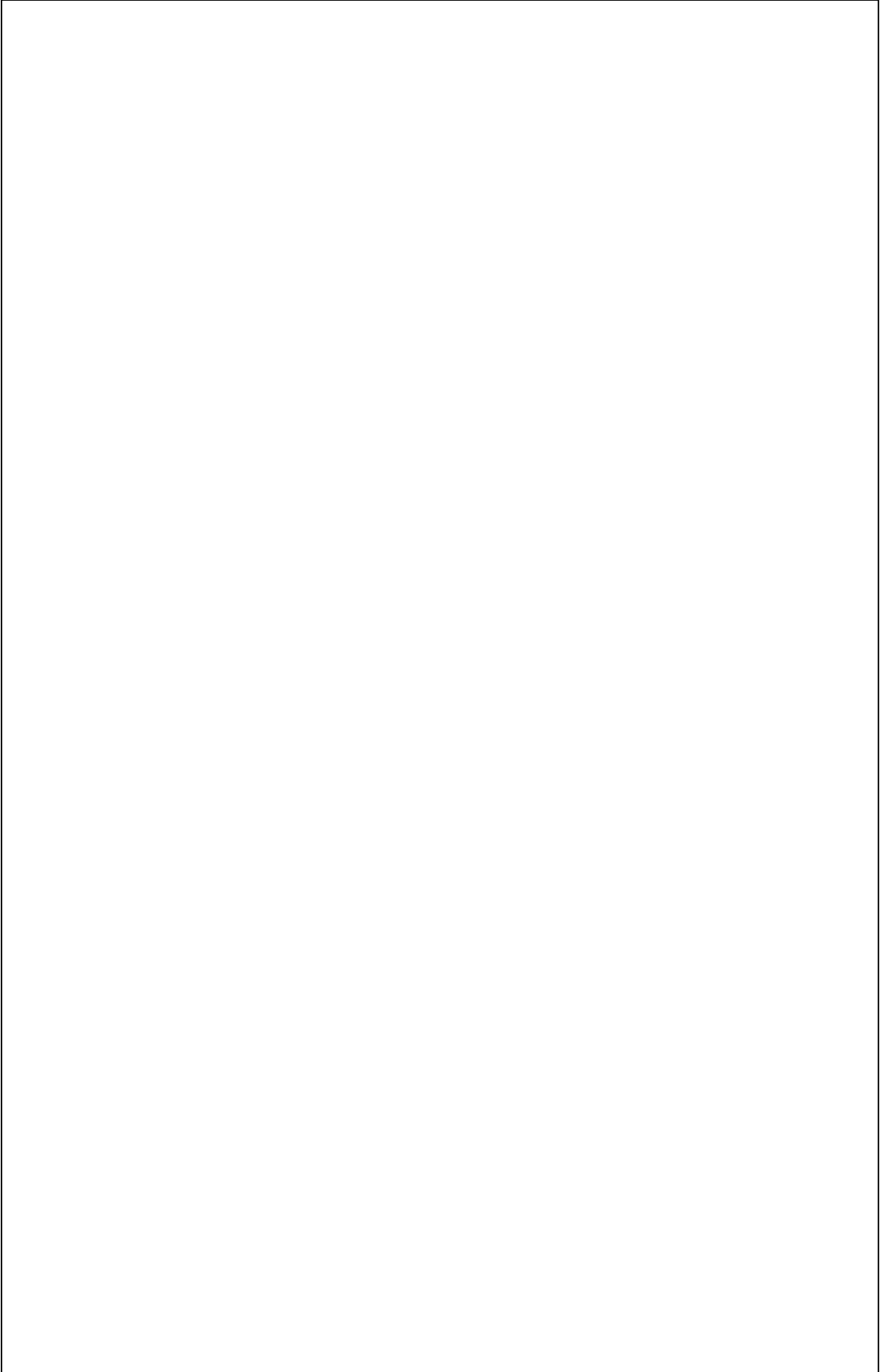
مثال ۲-۷: در شکل پائین فرایند سنتز آمونیاک بطور شماتیک نشان داده شده است در جریان ورودی اولیه (FF) نسبت مولی ازت به هیدروژن  $\frac{1}{3}$  و درصد تبدیل واکنش ۲۵٪ است. فرآورده‌هایی که از واکنشگاه خارج می‌شوند (RP) در کندانسور سرد شده و آمونیاک بصورت مایع جدا می‌شود و گازهایی که وارد واکنش نشده‌اند (SP) وارد سیستم نوچرخه می‌گردند. در خوراک اولیه (FF) تعداد مولهای آرگون به ازاء صد مول (N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>) برابر ۰/۲ مول است و در محل ورود به واکنشگاه (MF) حداکثر می‌تواند ۰/۵٪ مجموع مولهای N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> باشد. مطلوبست:

(الف) محاسبه نسبت برگشت (تعداد مول برگشتی N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> به ازاء یک مول (N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>) ورودی در جریان اولیه (FF))

(ب) مقدار آمونیاک تولید شده بازاء ۱۰۰ مول H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> ورودی در جریان خوراک اولیه (FF)

(ج) نسبت مقدار گازهای خروجی در جریان زدایش (تعداد مول گازهای خروجی در جریان زدایش به ازاء یک مول مخلوط گاز برگشتی)













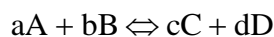






۴-۲) موازنه جرم در سیستم‌هایی با واکنش‌های تعادلی

در شرایط عمومی رابطه زیر را می‌توان نوشت:



(۷-۲)

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

با این فرض که سیستم گازی بوده و از قانون دالتون پیروی می‌کند رابطه بالا را براساس فشار جزئی هر یک از گازها ( $P_i$ ) به ترتیب زیر می‌توان نوشت:

$$K_p = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b} \quad (۸-۲)$$

اگر رابطه (۷-۲) را بر اساس غلظت گازها بنویسیم خواهیم داشت:

$$K_c = \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b} \quad (۹-۲)$$

معادله حالت برای هر یک از گازها بصورت زیر است:

هرگاه  $x_i$  تعداد مولهای گونه  $i$  باشد:  $P_i V = x_i RT$

$$P_i = \frac{x_i}{V} RT = C_i RT \Rightarrow C_i = \frac{P_i}{RT}$$

$$K_c = \frac{(P_C / RT)^c (P_D / RT)^d}{(P_A / RT)^a (P_B / RT)^b} = K_p \cdot (RT)^{-[(C+d)-(a+b)]}$$

(۱۰-۲)

$$[(c+d)] - (a+b) = \Delta n$$

$$K_c = K_p \cdot (RT)^{-\Delta n} \quad (۱۱-۲)$$

اگر ثابت تعادل را برحسب کسر مولی بیان کنیم رابطه ۷-۳ را بصورت زیر می‌توان نوشت:

(۱۲-۲)

$$K_x = \frac{X_C^c \cdot X_D^d}{X_A^a \cdot X_B^b}$$

$$P_i = X_i P \Rightarrow X_i = \frac{P_i}{P} \quad (۱۳-۲)$$

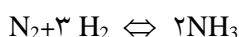
اگر رابطه (۱۲-۳) در رابطه (۱۳-۳) جایگذاری شود.

$$K_x = K_p P^{-\Delta n} \quad (۱۴-۲)$$

اگر  $\Delta n = 0$  باشد  $K_x = K_p = K_c$  خواهد بود.

## ۲-۵) فرآیند تولید آمونیاک

فرآیند تولید آمونیاک از مهمترین واحدهای صنعت شیمیایی محسوب می‌شود و با توجه به اینکه آمونیاک ترکیب حدواسط بسیاری از محصولات شیمیایی از جمله کودهای شیمیایی و ترکیبات نیترات‌دار است از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. امروزه کنورتر<sup>۱</sup> (واکنشگاه) عظیم آمونیاک سازی ساخته شده‌اند که ظرفیت تولید آنها بیش از ۱۷۰۰ تن در روز است. آمونیاک بظاهر طی واکنشگاه تعادلی ساده زیر تولید می‌شود:



مهمترین مرحله انجام این واکنش تهیه مخلوط گازی مشتمل بر ازت و هیدروژن به نسبت یک بر سه است. این مخلوط گازی از گاز طبیعی تولید می‌شود که خود حاوی ترکیبات گوگردی است و این ترکیبات اثرات بسیار مخربی روی کاتالیزورهای مصرفی دارند. با عبور گاز طبیعی از روی بستر کاتالیزور بوکسیت<sup>۲</sup> در دمای حدود ۷۰۰°F ترکیبات آلی گوگرددار نظیر مرکاپتانها به هیدروکربنهای اشباع و H<sub>2</sub>S تبدیل می‌شود، و H<sub>2</sub>S مذکور پس از سرد کردن طی عمل جذب انتخابی در برج اسکرابر<sup>۳</sup> کاستیک جدا می‌گردد. بطوریکه در نمودار جریان<sup>۴</sup> (شکل ۳-۱۰) دیده می‌شود مخلوط گازهای سولفور زدائی شده که حاوی متان است پس از اختلاط با بخار آب وارد رفورمر کاتالیزی<sup>۵</sup> شده که دمای حدود ۱۲۰۰°F الی ۱۷۰۰°F داشته و همچنین حاوی کاتالیزورهای نیکلی می‌باشد و در این محل واکنش‌های زیر انجام می‌گیرند.

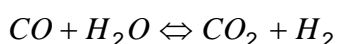


واکنش‌های مذکور مشهور به واکنش‌های رفورمینگ هستند. هر دو واکنش مذکور در بالا گرماگیر بوده و بکمک گرمادهی می‌توان دمای آن را در مقدار مورد نظر تنظیم کرد. در این رفورمر تقریباً هفتاد درصد متان وارد واکنش می‌شود و مخلوط گازهای خروجی از آن تقریباً دارای ترکیب مولی ۶٪ CH<sub>4</sub>، ۸٪ CO، ۶٪ CO<sub>2</sub>، ۵۰٪ H<sub>2</sub> و ۳۰٪ H<sub>2</sub>O است. (رفورمرها معمولاً در فشار ما بین ۳۰۰ الی ۵۰۰ Psia کار می‌کنند. با توجه به اینکه برای هر دو واکنش تعداد مول فرآورده‌ها از واکنشگرها زیادتر است باید با علم بر اصل لوشاتلیه و در ضمن ضرورت کاهش حجم کنورتر فشار بهینه را انتخاب نمود. لازم به ذکر است درصد مولی متان در مخلوط خروجی ۶٪ و در مخلوط ورودی نیز حدود ۳۰٪ است.

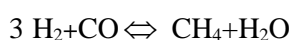
1. Converter
2. Bauxite
3. Causric
4. Flowsheet
5. Catalytic Reformer



برای تکمیل واکنش متان باقی مانده و تنظیم نسبت هیدروژن و ازت به واکنشگاه دیگری نیاز است. این واکنشگاه یک کوره احتراق با کاتالیزور نیکل است که در داخل آن فرآورده‌های خروجی از رفورمر در دمای  $1700^{\circ}\text{F}$  با اکسیژن هوا ترکیب می‌شوند و  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  تولید می‌گردد و مخلوط گازهای خروجی از کوره احتراق دارای  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{N}_2$  است. بمنظور تبدیل  $\text{CO}$  به  $\text{CO}_2$  و تنظیم میزان  $\text{H}_2$  از واکنش تعادلی زیر که طی دو مرحله در دو کنورتر شیف<sup>۱</sup> که به ترتیب در دماهای نسبتاً پایین  $850^{\circ}\text{F}$  و  $750^{\circ}\text{F}$  در حضور کاتالیزور اکسید آهن که توسط اکسید کرم برانگیخته شده‌اند انجام می‌گیرد.

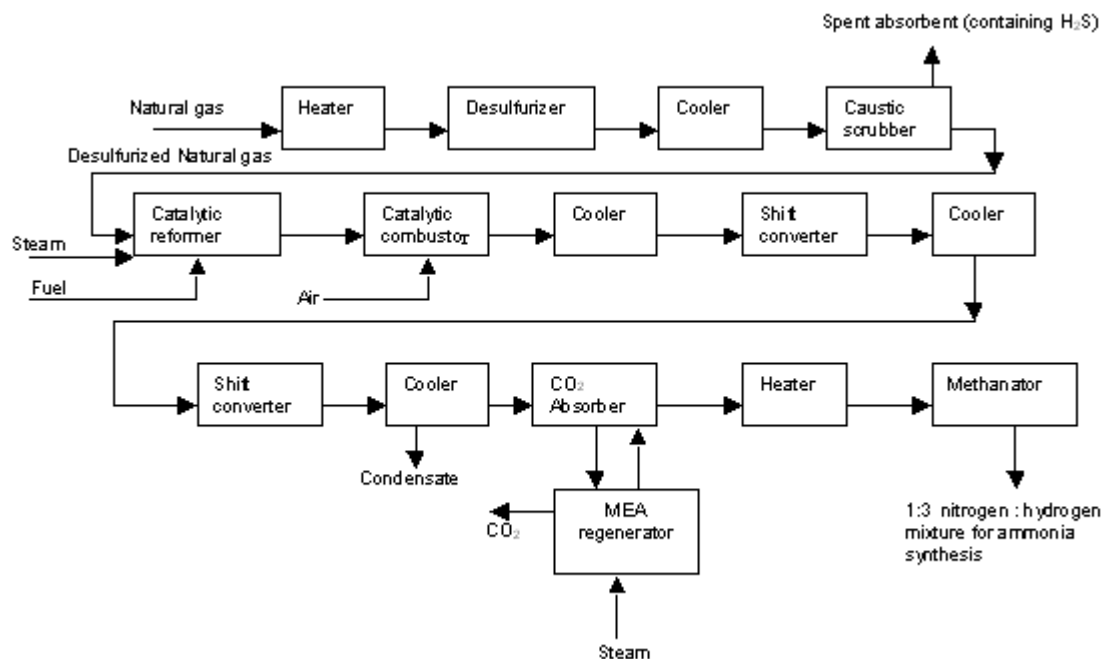


گازی که کنورتر دوم را ترک می‌کند حاوی کمتر از یک درصد مولی  $\text{CO}$  است. گازهای خروجی از کنورتر دوم سرد شده و سپس در برج جذب با محلول ۱۵ الی ۲۰ درصد منواتانول آمین جذب می‌شود و این فرآیند موجب می‌شود که درصد مولی  $\text{CO}_2$  به  $0/1$  الی  $0/5$  درصد کاهش یابد. در نهایت برای حذف مقادیر باقی مانده  $\text{CO}_2$  و  $\text{CO}$  که وجود آنها در کنورتر آمونیاک به کاتالیزور آهن بسیار مضر است از دستگاه متاناتور<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که در داخل آن واکنش‌های زیر در فشار  $900 \text{ Psia}$  و دمای  $570^{\circ}\text{F}$  بکمک کاتالیزور نیکل انجام می‌پذیرند.



طی واکنش‌های بالا هیدروژن بصورت ناخواسته مصرف می‌شود و متان که در کنورتر آمونیاک مزاحم است باید بنحو مقتضی توسط جریان زدایش از سیستم خارج شود، تولید می‌گردد ولی در مجموع کاهش  $\text{CO}_2$  و  $\text{CO}$  از این نظر که مسموم کننده‌های بسیار مضر برای کاتالیزور کنورتر آمونیاک هستند مفید می‌باشد.

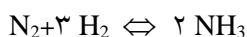
1. Shift Converter  
2. Methanator



شکل ۲-۱۰: نمودار جریان تولید خوراک کنورتر آمونیاک

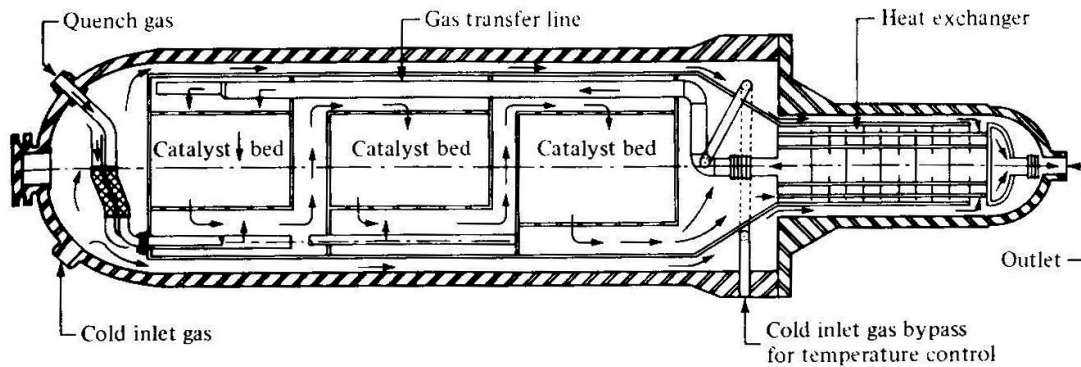
در کل، سیستم بالا باید به ترتیبی کنترل گردد که خروجی متاناتور حاوی نسبت مولی یک برسه ازت به هیدروژن باشد و از این نظر کنترل سیستم از حساسیت زیاد برخوردار است. در خاتمه قابل توجه است که محلول متانول آمین حاوی  $\text{CO}_2$  در ستون واجذب بکمک بخار داغ  $\text{CO}_2$  را آزاد و متانول آمین بازیابی شده مجدداً در ستون جذب استفاده می شود.

خوراک تولیدی از سیستم قبل وارد سیستم جدیدی با نمودار جریان منعکس شده در شکل (۳-۷) می گردد. خوراک مخلوط ازت و هیدروژن (۱:۳) که تقریباً فشاری معادل  $450 \text{ Psia}$  دارد سرد شده و سپس بکمک کمپرسورهای سانتریفوژ<sup>۱</sup> فشار آن به  $2200 \text{ Psia}$  (۱۵۰ اتمسفر) می رسد و پس از سرد شدن با جریان گازهای نوچرخه مخلوط و پس از سردسازی آمونیاک باقی مانده و بخار آب جدا می گردند خروجی جدا کننده پس از گرمایش مجدد وارد واکنشگاه سنتز آمونیاک می گردد.



واکنش گرمازا است، لذا بایستی سرد شده و دمای آن کاهش یابد. واکنش بسیار آهسته می باشد لذا لازم است از کاتالیزور مناسب استفاده شود. کاتالیزور مذکور از اهمیت ویژه برخوردار است و از اکسید آهن مذاب ساخته می شود که جهت برانگیختن آن مقدار کمی اکسید پتاسیم اکسید آلومینیوم به یک کوره الکتریکی اضافه شده و مذاب توسط جریان هیدروژن سرد می گردد. همچنین ضرورت

تنظیم دمای واکنشگاه در حدود  $450-500^{\circ}\text{C}$  وجود دارد که این امر در درصد تبدیل واکنش نیز تاثیر زیادی دارد.



شکل ۲-۱۱- نمودار جریان سنتز آمونیاک

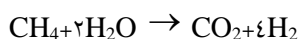
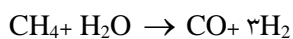
مثال ۲-۸) در یک واکنشگاه سنتز آمونیاک در شروع یک مول  $\text{N}_2$  و ۳ مول  $\text{H}_2$  وجود دارد. اگر فرض کنیم که  $x$  مول  $\text{N}_2$  وارد واکنش می شود در شرایط تعادل مقدار مولی هر یک از ترکیبات را در دمای  $800^{\circ}\text{F}$  و  $600^{\circ}\text{F}$  و در فشار کل ۵۰ اتمسفر محاسبه نمایید لازم به ذکر است که مقدار  $K_p$  برای واکنش زیر در دمای های مذکور به ترتیب  $9/5 \times 10^{-6} \text{ atm}^{-2}$  و  $2/0 \times 10^{-3} \text{ atm}^{-2}$  است.

مثال ۲-۹) واکنش تعادلی سنتز گاز آب در دمای  $500^{\circ}\text{F}$  انجام می‌گیرد. با این فرض که تعداد مولهای اولیه هر یک از سازنده‌ها ۱۰ مول است تعداد مول هر یک از آنها در پایان واکنش و در شرایط تعادل را محاسبه نمایید. رابطه تجربی زیر ما بین  $K_p$  و دمای تعادلی واکنشگاه یعنی  $T(^{\circ}\text{F})$  در

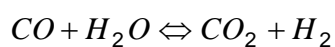
$$K_p = 0.0202e^{7350/(T+460)}$$

دست است:

مثال ۲-۱۰) در فرآیند تهیه خوراک کنورتر آمونیاک، در رفورمر کاتالیزی واکنش‌های زیر انجام می‌گیرد.

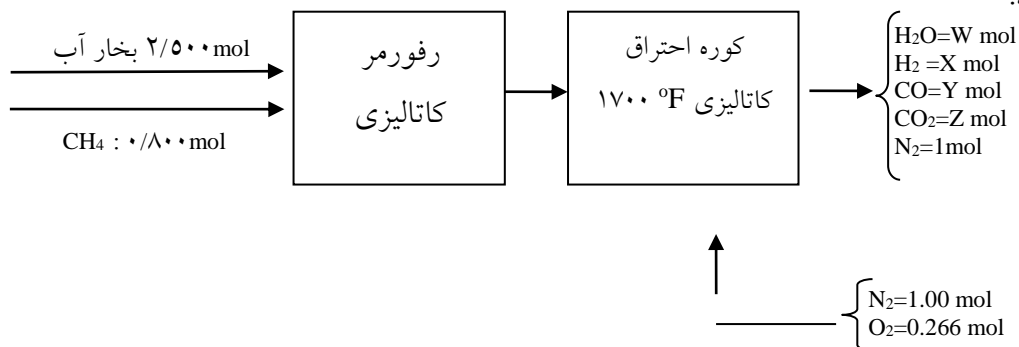


در فرآیند بالا علی‌رغم استفاده از بخار آب اضافی تمام  $\text{CH}_4$  در واکنش شرکت نمی‌کند. لذا در مرحله بعدی خروجی رفورمر کاتالیزی به کوره احتراق کاتالیزی وارد می‌گردد و مخلوط با اکسیژن هوا می‌سوزد و در نتیجه واکنش تعادلی زیر انجام گیرد (سنتر گاز آب):



با توجه به داده‌های مندرج در شکل زیر و مقدار  $K_p$  ترکیب مولی گازهای خروجی از کوره احتراق را

محاسبه کنید:

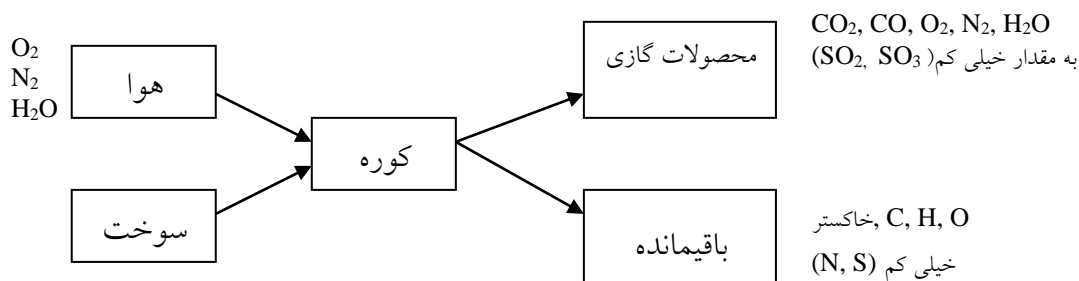


شکل ۳-۱۲

$$K_p = 0.607 = \frac{ZX}{YW} \quad (\text{دمای } 1700 \text{ } ^\circ\text{F})$$

۶-۲ فرایند شیمیائی احتراق<sup>۱</sup>

شکل ۲-۱۳



جامد: C, H, O, N, S, H<sub>2</sub>O

گاز: C, H, O, N<sub>2</sub>

مایع: C, H, O

احتراق در واقع نوعی اکسایش مواد سوختنی توسط اکسیژن است فرایند احتراق باید بترتیبی سامان یابد که از نظر اقتصادی بهترین بازدهی را داشته باشد. بدین منظور باید کلیه عوامل موثر در فرآیند احتراق بترتیب مقتضی بهینه‌سازی شود. به عنوان مثال دمای گازهای خروجی از کوره احتراق، نباید بیش از حد معینی سرد شود. دود ضمن اینکه از دودکشها خارج می‌شود سرد شده و باعث افت فشار و در نتیجه مکش ایجاد گردد. و این مکش موجب می‌شود که تمام گازهای سوختنی بتوانند خارج شوند. مقدار و دمای هوای ورودی به کوره و طرز پخش و توزیع آن در درون کوره باید بترتیب مقتضی صورت گیرد. در کل با وصف اینکه احتراق یک واکنش شیمیایی است حتی الامکان باید مراحل مختلف واکنشها با دقت لازم تنظیم گردد.

احتراق معمولاً واکنشی از نوع کنترل شده دیفوزیونی است و از این رو بیش از آنکه سینتیک واکنش اهمیت داشته باشد چگونگی تماس مواد اولیه با یکدیگر (سوخت و هوا) و تخلیه فرآورده‌ها از کوره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بطوری که در شکل بالا مشهود است هوا حاوی N<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> و رطوبت است. دیگر ناخالصیهای موجود در آن معمولاً قابل صرف نظر کردن هستند. مواد قابل سوخت با توجه به حالتشان دارای ترکیب ویژه‌ای هستند. سوختهای گازی معمولاً متشکل از سه عنصر کربن، نیتروژن و اکسیژن و گاهی N<sub>2</sub> هستند.

سوختهای مایع به طور معمول فقط دارای C و H و O هستند ولی سوختهای جامد علاوه بر عناصر مذکور در بالا دارای مقادیر کمی ازت، گوگرد، آب و خاکستر می‌باشد. خاکستر موجود در سوختهای جامد اصولاً بطور مستقیم وارد مواد باقی مانده می‌گردد.

در مواد باقی مانده علاوه بر خاکستر با توجه به چگونگی تنظیم و انجام احتراق، مقداری کربن ئیدروژن، اکسیژن، گوگرد و ازت تولید می‌شود.

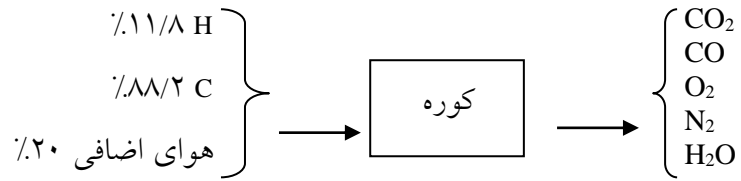
گازهای خروجی در حالت عمومی متشکل از  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{O}_2$ ،  $\text{N}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  و مقادیر کمی  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_x$  هستند.

ترکیب گازهای سوختی بهترین معرف چگونگی انجام فرآیند احتراق است. در غالب موارد به منظور تکمیل در مرحله دیفوزیونی مقداری هوای اضافی مصرف می‌شود. این هوای اضافی از نیمه سوز شدن مواد جلوگیری می‌کند. ولی همین هوای اضافی ضمن خروج از کوره مقداری انرژی به خارج منتقل و در نتیجه موجب تلفات انرژی می‌شود.

از این رو تعیین درصد هوای اضافی از نکات مهم و بارز است. لازم به تاکید است با وجودی که در عمل خواه، ناخواه مقداری از سوخت بصورت ناقص می‌سوزد ولی در محاسبه مقدار اکسیژن تئوریک فرض بر کامل بودن سوخت است. در ضمن معمولاً ترکیب گازهای خروجی بدون در نظر گرفتن رطوبت (یعنی در شرایط خشک) اندازه‌گیری و بیان می‌گردد.

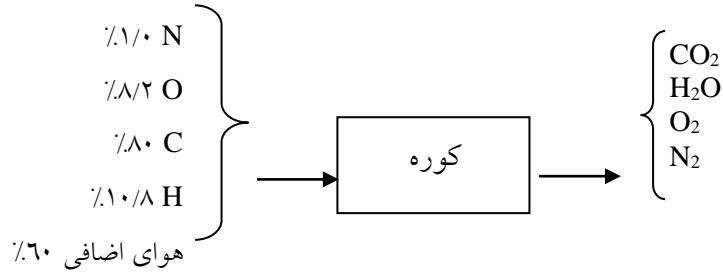
مثال ۳-۱۱: سوخت مایع با ترکیب درصد وزنی  $\frac{۸۸}{۲}$ ٪ کربن و  $\frac{۱۱}{۸}$ ٪ ئیدروژن با ۲۰٪ هوای اضافی می‌سوزد در این شرایط فرض می‌کنیم تمام ئیدروژن موجود تبدیل به آب می‌شود ولی ۹۵٪ کربن به

شکل  $\text{CO}_2$  و ۵٪ آن به شکل  $\text{CO}$  می سوزد مطلوبست الف) محاسبه هوای مورد نیاز به ازاء صدگرم سوخت و ب) درصد مولی گازهای خروجی بصورت خشک.





مثال ۲-۱۲) سوخت مایعی با ترکیب درصد وزنی ۸۰٪ کربن، ۱۰/۸٪ هیدروژن و ۸/۲٪ اکسیژن و ۱٪ ازت و مقدار جزئی گوگرد (قابل صرف نظر کردن) در دست است. این سوخت مایع با ۶۰٪ هوای اضافی بطور کامل می‌سوزد مطلوبست (الف) محاسبه اکسیژن و هوای مورد نیاز تئوریک و عملی بازا صدگرم سوخت ب) درصد مولی گازهای خروجی خشک؟



در مورد سوخته‌های جامد ذکر نکات زیر ضروری است اینگونه سوخته‌ها براساس دو نوع روش تجربی بیان می‌گردد.

۱- تجزیه صنعتی که تجزیه تقریبی است.

۲- تجزیه عنصری که به غیر خاکستر بقیه درصدها بر حسب مقادیر هر یک از عناصر بیان می‌گردد. در تجزیه صنعتی، آب موجود در نمونه بر دو نوع است نخست آبی که در  $105^{\circ}\text{C}$  نمونه سوخت را ترک می‌کند که به رطوبت ظاهری موسوم است و آب دیگر که آب ترکیب نامیده می‌شود عبارتست از اکی‌والان اکسیژنی که از تجزیه نمونه‌های جامد بدست می‌آید.

مواد قابل سوخت موجود در نمونه را در تجزیه با نماد V.C.M نشان می‌دهند.

مقدار این مواد با توجه به کیفیت هر یک از سوخته‌ها و دمای گرمایش تغییر می‌کند. پس از خارج شدن مواد فرار قابل سوخت بغير خاکستر، کربن ثابت نامیده می‌شود و با علامت اختصاری F.C نشان داده می‌شود.

خاکستر در هر مورد تجزیه مقدار ثابتی است که عمدتاً از مواد معدنی می‌باشد. سوخته‌ها معمولاً فاقد ازت هستند، ولی در بعضی مواقع مقدار ازت قابل توجه است و عدم توجه به آن ممکن است خطای قابل ملاحظه‌ای را ایجاد کند. در محاسبات. مقدار اکسیژن موجود در سوخت باید مدنظر باشد و معمولاً این اکسیژن بصورت آب ترکیب قبول می‌شود و در محاسبه هوای مورد نیاز بترتیب لازم دخالت داده می‌شود.

در احتراق سوخته‌ها گوگرد را معمولاً بصورت  $\text{SO}_2$  در نظر می‌گیرند مقدار گوگردی که بر  $\text{SO}_3$  تبدیل می‌شود بسیار ناچیز است و صرفنظر کردن از آن خطای چندان قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند. وجود بیش از حد  $\text{SO}_3$  در گازهای خروجی موجب اشکالاتی در تجزیه گازهای مذکور می‌گردد. در عمل اگر مقدار  $\text{SO}_2$  کم باشد آن را همراه  $\text{CO}_2$  در بالای ستونهای جیوه‌ای جمع کرده و مجموع دو گاز در یکجا اندازه‌گیری می‌شود ولی اگر مقدار  $\text{SO}_2$  قابل ملاحظه باشد و یا دقت بیشتری مورد نظر گردد  $\text{CO}_2$  در محلولهای قلیائی و  $\text{SO}_2$  توسط  $\text{PbO}_2$  جذب و اندازه‌گیری می‌شود.

بعضی محاسبات صنعتی براساس ترکیب گازهای خروجی انجام می‌پذیرد در این مواقع بویژه از موازنه ازت بعنوان سازنده کلید استفاه می‌شود در مجموع با مقایسه و تنظیم موازنه جرمی کامل می‌توان ترکیب گازهای خروجی مقدار هوای تئوریک، درصد هوای اضافی و ترکیب سوخت را تعیین نمود باید توجه داشت در کوره‌ها همیشه از یک نوع سوخت استفاده نمی‌شود ممکن است بطور همزمان دو نوع سوخت که معمولاً از نظر حالت یکسان هستند استفاده شود.

1. Volatile Combustible Mater
2. Fixed Carbon

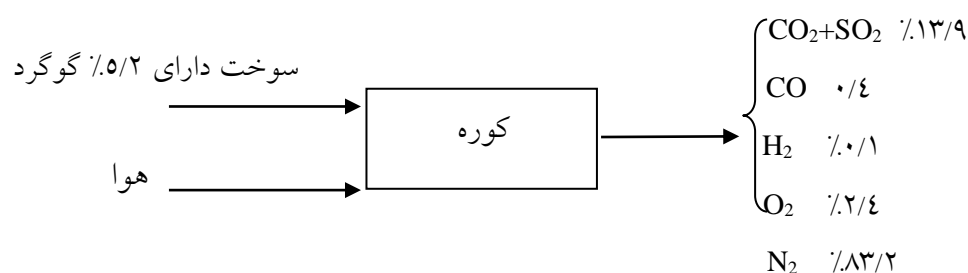
در این مواقع تعیین اتوماتیک ترکیب گازهای خروجی با توجه به کیفیت هر یک از سوختها می تواند امکان کنترل اتوماتیک دمای کوره را فراهم نماید. لازم به ذکر است که اگر مقدار بعضی ناخالصیها نظیر گوگرد بیش از حد باشد این مواد ممکن است بدون شرکت در عمل احتراق در مواد باقی مانده، که شامل خاکستر نیز هست وارد شود.

مثال ۲-۱۳): در یک کوره صنعتی که مازوت ( نفت کوره) را می سوزاند درصد وزنی گوگرد، کربن و هیدروژن در سوخت به ترتیب  $5/2$ ،  $y$  و  $x$  می باشد و ترکیب گازهای خروجی به ترتیب زیر است:

$N_2$   $83/2$ ٪ ،  $O_2$   $2/4$ ٪ ،  $H_2$   $0/1$ ٪ ،  $CO$   $0/4$ ٪

و مجموعه درصدهای  $CO_2$  و  $SO_2$   $13/9$ ٪ می باشد با توجه به مقادیر بالا مطلوبست تجزیه عنصری سوخت و درصدهای وزنی آن و در ضمن مقدار هر یک از گازهای  $CO_2$  و  $SO_2$  در گازهای خروجی بطور مجزا.

حل:











## ۷-۲ موازنه جرم در فرآیندهای پیوسته ناپایدار

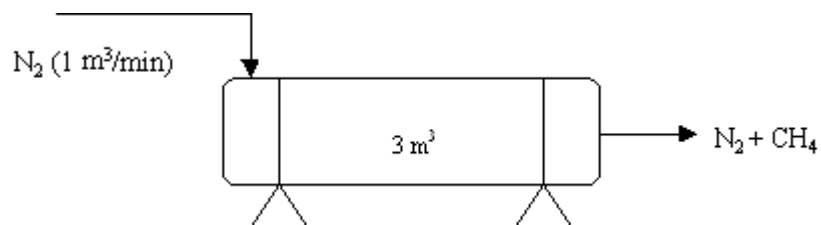
غالباً واحد فرآیندها و واحد عملیات موجود در صنایع شیمی را با قبول تقریب صنعتی ویژه‌ای می‌توان از نوع پایدار محسوب نمود ولی در بعضی مواقع با سیستمهای ناپایدار روبرو می‌شویم. می‌توان گفت سیستم پایدار در واقع حالت خاصی از سیستمهای ناپایدار است. حل مسائل مربوط به سیستمهای ناپایدار در مقایسه با سیستمهای پایدار بسیار مشکل و پیچیده است. در گذشته با توجه به محدودیت‌های موجود در کاربرد ریاضیات حل این نوع مسائل گاه‌ها غیرممکن بود ولی با توجه به امکانات جدید در حال حاضر سعی می‌گردد طراحی دستگاهها و واحدها براساس شرایط ناپایدار انجام گیرد. اولیه و در نهایت مدل ریاضی سیستم در شرایط ناپایدار محاسبه و به کامپیوتر مربوطه برنامه‌ریزی شده باشد کامپیوتر می‌تواند سیستم را در شرایط راه‌اندازی و یا اتفاقات غیرمترقبه هدایت نماید.

$$\text{خروجی} - \text{ورودی} = \text{تغییرات} \quad (۱۷-۲)$$

مثال ۲-۱۴) در صنایع، مخازن بزرگ گاز پس از اینکه گاز تحت فشار، تخلیه شد از نظر ایمنی نباید بهمان صورت باقی بمانند چون گاز قابل سوخت در فشار یک اتمسفر درون مخزن باقی مانده و هر آن ممکن است عامل یک خطر جدی شود. برای جلوگیری از این اتفاقات گاز داخل مخزن بوسیله تزریق گاز ازت تخلیه می‌شود. تخلیه صد در صد، اقتصادی نیست. عمل تخلیه در حدی که احتمال خطر را دفع کند کافی است. مخزن گاز متان به حجم  $3\text{m}^3$  توسط گاز ازت با دبی  $1\text{ m}^3/\text{min}$  در فشار



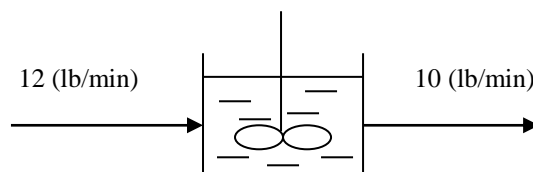
۱atm و دمای  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  تخلیه می‌شود. از نظر ایمنی لازم است که متان بیش از ۵٪ حجمی در درون مخزن نباشد. با فرض اینکه گازهای داخل مخزن بطور یکنواخت مخلوط می‌شوند زمان لازم برای تخلیه گاز متان را محاسبه کنید.



شکل (۲-۱۷)

۲-۱۵) در یک مخزن بهم‌زن‌دار یک مترمکعب از محلولی وجود دارد که از انحلال ۴۰ کیلوگرم نمک در آب حاصل شده است. آب خالص با دبی ۵۰ لیتر در دقیقه به داخل مخزن وارد می‌شود و محلول نمک با همین شدت خارج می‌گردد. اگر عمل اختلاط در مخزن کامل باشد پس از گذشت یک ساعت غلظت نمک در محلول داخل مخزن چند ppm خواهد بود. فرض می‌کنیم که چگالی محلول نمک با آب خالص یکسان است.

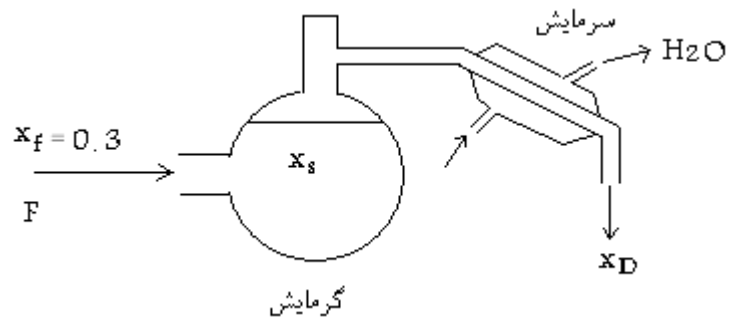
مثال ۲-۱۶) در درون مخزن بهمزن دار ۱۰۰ lb محلول ۵۰-۵۰ وزنی آب و سدیم سولفات وجود دارد. محلول آبیکی ۱۵٪ وزنی سدیم سولفات با دبی ۱۲ lb/min به مخزن وارد می شود و محلول با دبی ۱۰ lb/min آنرا ترک می کند با قبول این فرضها که اولاً عمل اختلاط بطور یکنواخت انجام می گردد و ثانیاً هر گونه تغییر حجمی ناشی از انجام عمل اختلاط قابل صرف نظر کردن است غلظت محلول درون مخزن بهمزن دار را در پایان ده دقیقه محاسبه کنید.



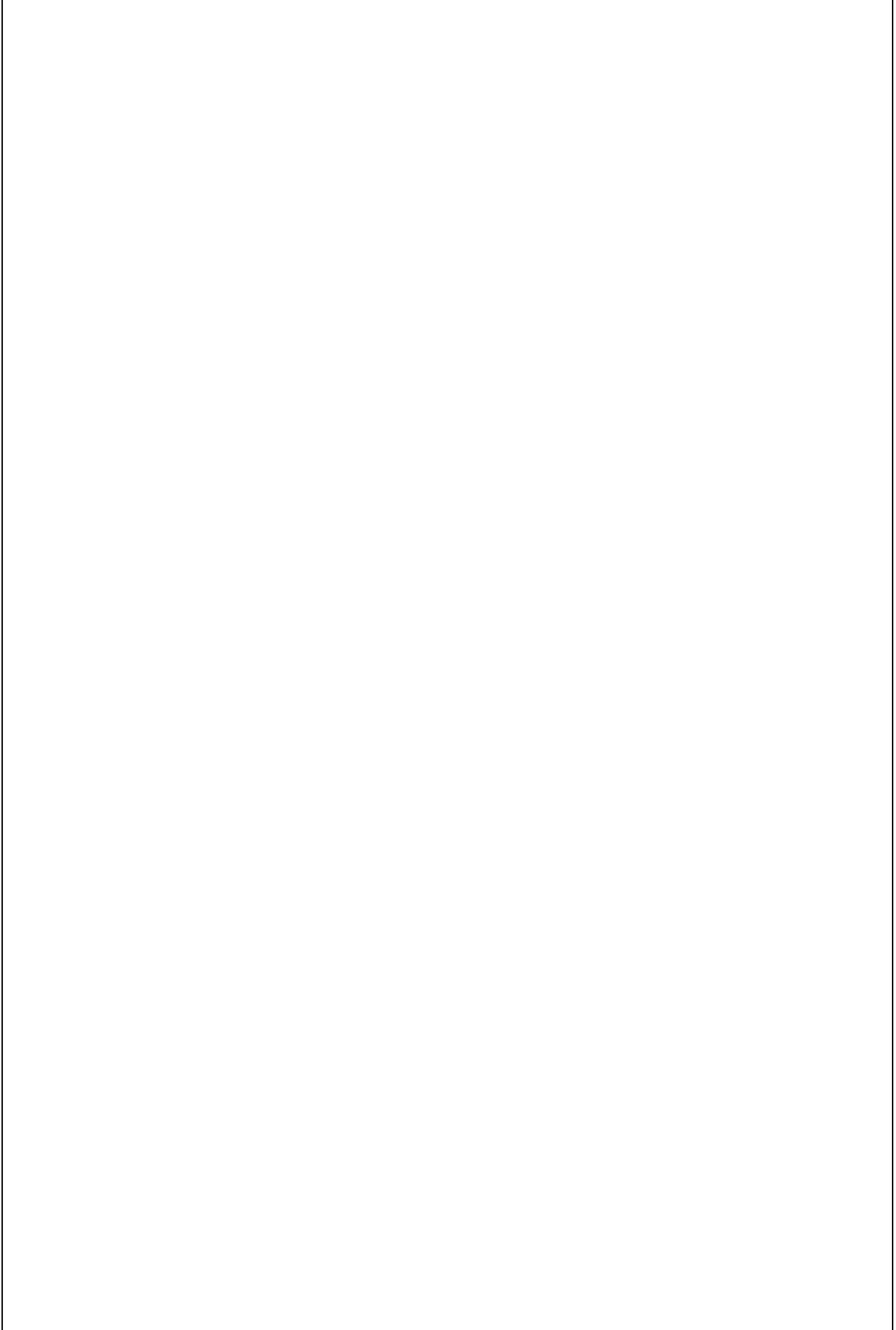
شکل ۲-۱۸

مثال ۲-۱۷) در دستگاه تقطیر کوچکی که بطور پیوسته ناپایدار کار می‌کند در دمای  $135^{\circ}\text{C}$  پروپان و بوتان از یکدیگر جدا می‌شوند. در شروع  $10 \text{ kg mol}$  مخلوط در داخل دستگاه است که در آن کسر مولی بوتان  $0/3$  است مخلوط پروپان و بوتان با دبی  $5 \frac{\text{kg mol}}{\text{h}}$  بدون دستگاه تزریق می‌شود و کسر مولی بوتان در ورودی  $0/3$  است. تعداد کل مولهای مایع درون دستگاه در طول زمان ثابت بوده و غلظت مولی بوتان در مایع و بخار بترتیب  $x_s$  و  $x_D$  فرض می‌شود که بر اساس رابطه زیر به یکدیگر مربوط می‌شوند. مقدار  $x_s$  در شروع  $0/3$  است آیا بعد از گذشت چه مدت مقدار آن به  $0/4$  خواهد رسید؟ در ضمن پس از اینکه سیستم به شرایط پایدار رسید مقدار  $x_s$  چقدر خواهد بود؟

$$x_D = \frac{x_s}{1 + x_s}$$



شکل ۱۹-۳













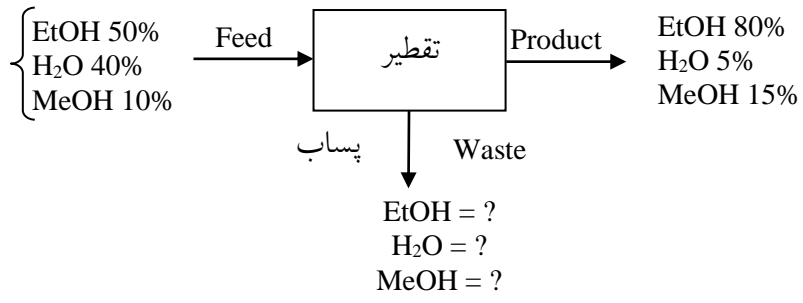




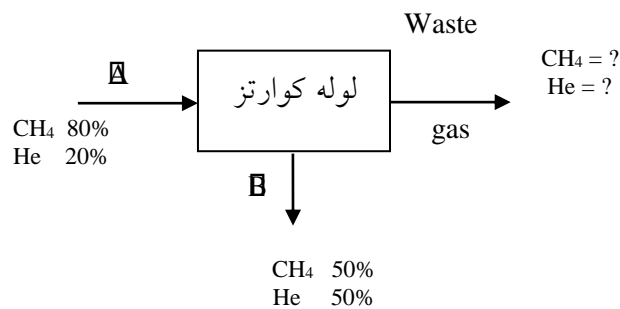
۸-۲ مسائل حل شده

- (۱) هزینه تمام شده برای تولید هر پوند از HCN تولیدی از مواد زیر را با یکدیگر مقایسه کنید:
- (a) 90% KCN، به بهای هر پوند ۵۰ سنت.
- (b) مخلوطی از 65% KCN و 25% NaCN به بهای هر پوند شصت سنت.

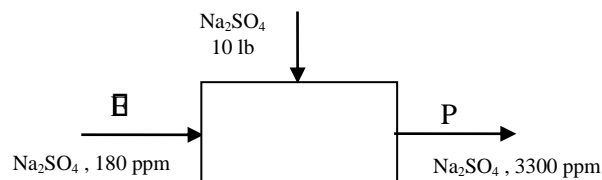
- (۲) فرآیندی طبق شکل زیر انجام می شود ترکیب درصد وزنی  $w$  را بدست آورید. کلیه درصدها وزنی بوده و نسبت جرمی  $\frac{P}{f}$  برابر  $\frac{1}{6}$  می باشد و سیستم بطور پیوسته پایا کار می کند.



۳- گازی شامل  $CH_4$  ۸۰٪ و  $He$  ۲۰٪ را از یک لوله کوارتز جهت بازیابی هلیوم عبور می‌دهیم. ۲۰٪ وزنی گاز اولیه بازیابی شده ( $B=0/2A$ ) و غلظت آن به ۵۰٪ مولی هلیوم می‌رسد، اگر در هر دقیقه ۱۰۰ مول از گاز اولیه وارد فرآیند شود مطلوبست درصد گازهای خروجی (Waste gas).



۴) روشی جهت یافتن دبی آب رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد که در اینجا به عنوان مثال بیان می‌گردد. فرض کنید تجزیه آب رودخانه نشان می‌دهد که حاوی  $180 \text{ ppm}$  سولفات سدیم است، اگر  $10 \text{ lb}$  سولفات سدیم بطور یکنواخت در مدت یکساعت به جریان آب اضافه گردد، تجزیه آب پایین رودخانه که بطور کامل انجام شده نشان می‌دهد که نمونه حاوی  $3300 \text{ ppm}$  سولفات سدیم است چند گالن (در مدت یکساعت) آب در این رودخانه جریان دارد؟



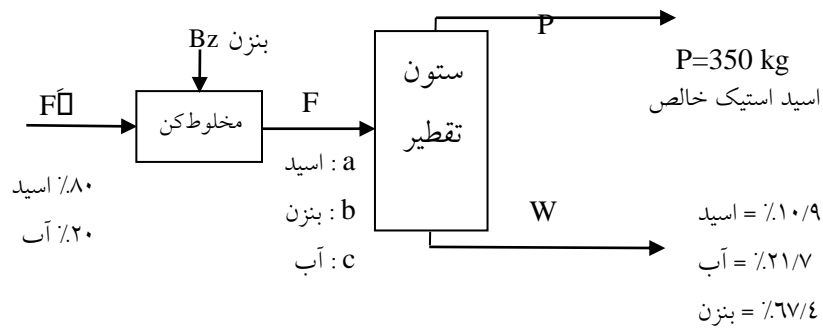
شکل ۲-۲



۵) در یک سیستم مداوم تقطیر برای جداسازی اسید استیک، آب و بنزن از یکدیگر آزمایش زیر انجام می‌گیرد. به علت اینکه دستگاه اندازه‌گیری بنزن خراب است. میزان ترکیب بنزن مشخص نمی‌باشد. با توجه به داده‌های مندرج در شکل مطلوبست:

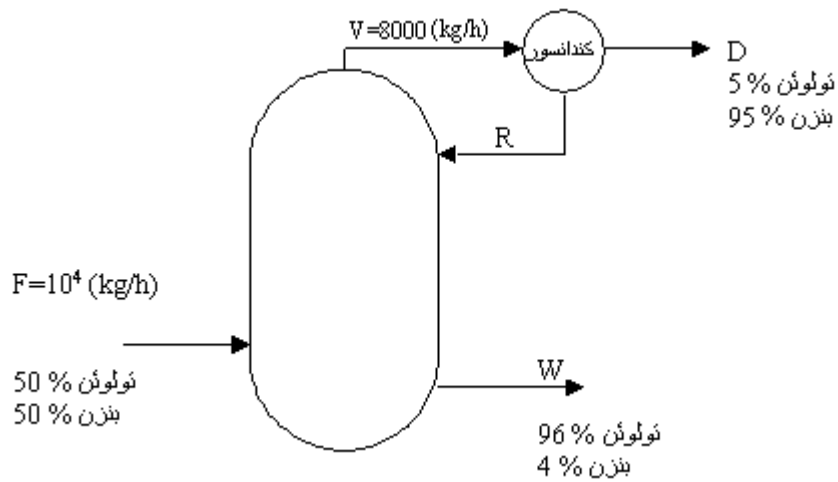
الف) مقدار بنزن در خوراک ورودی؟

ب) برای بدست آوردن ۱ kg اسید استیک خالص چقدر بنزن مصرف می‌شود؟

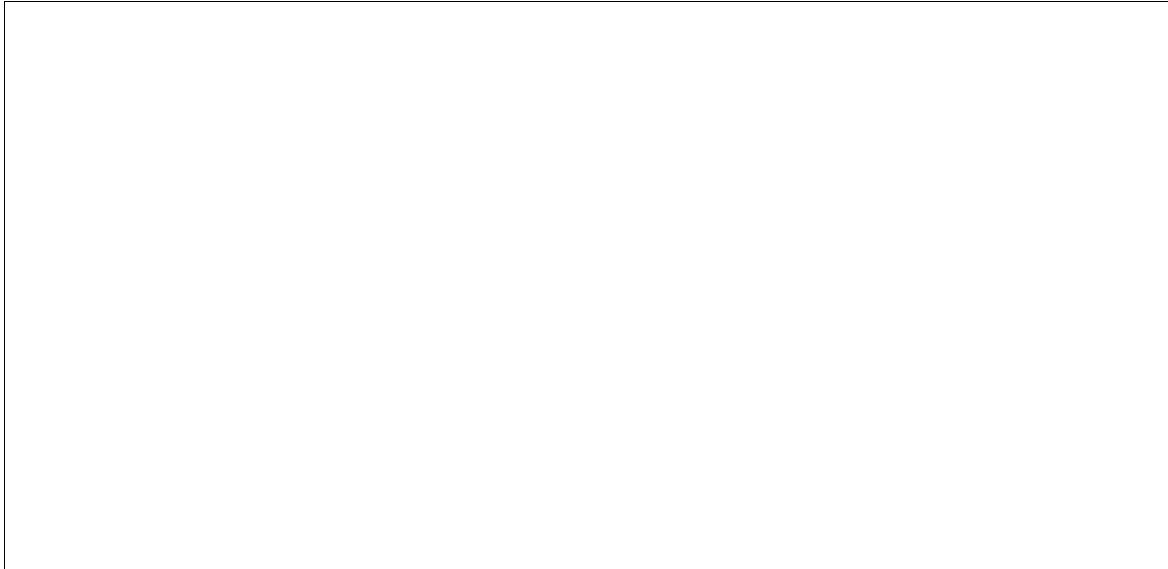


شکل ۲-۲۳

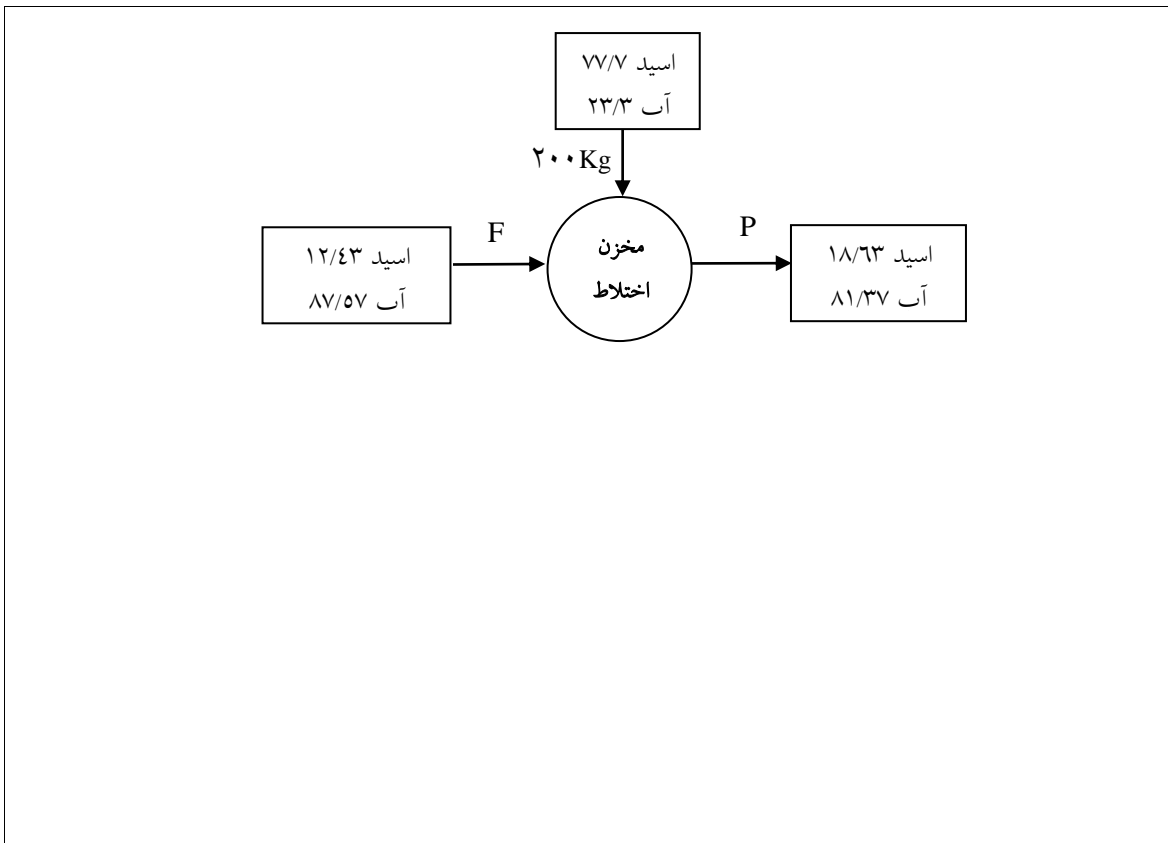
۶) در یک ستون تقطیر، بنزن و تولوئن با درصدهای وزنی هر کدام ۵۰٪ وارد ستون می‌گردد. به علت سبکی بنزن نسبت به تولوئن محصول بالائی حاوی بنزن ۹۵٪ و تولوئن ۵٪ می‌باشد. در سیستم بالائی کندانسوری جهت سردسازی و بهینه ساختن درصد خروجی وجود دارد (البته با شیر برگشتی بنام Recycle valve) پایین ستون نیز تولوئن ۹۶٪ و بنزن ۴٪ می‌باشد. نسبت  $\frac{R}{D}$  را بدست آورید.



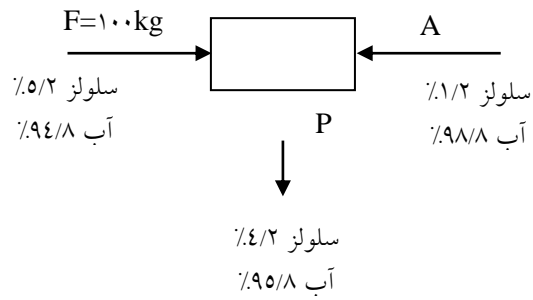
شکل ۲-۲۴



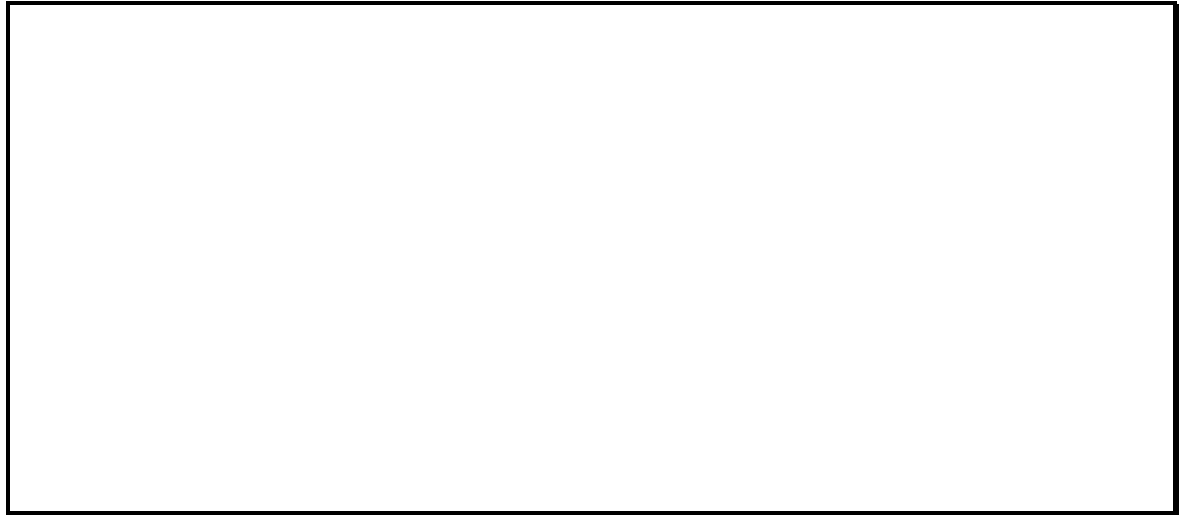
۷) در یک تعمیرگاه، اسید سولفوریک رقیق را باید به باطریهای شارژ شده خشک به منظور فعال کردن آنها اضافه کنند از شما خواسته شده است تا مقداری اسید تازه تهیه کنید. مخزنی محتوی محلول اسید باطری کهنه در دست است که دارای ۱۲/۴۳٪ اسید سولفوریک می باشد (بقیه آب خالص هست) اگر ۲۰۰kg محلول ۷۷/۷٪ اسید سولفوریک به مخزن اضافه گردد و محلول نهائی حاوی ۱۸/۶۳٪ اسید سولفوریک باشد چند کیلوگرم اسید باطری تهیه گردیده است.



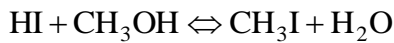
۸) یک محلول سلولز دارای ۵/۲٪ وزنی سلولز در آب است چند کیلوگرم محلول ۱/۲٪ سلولز لازم است تا ۱۰۰ کیلوگرم از محلول ۵/۲٪ را تا ۴/۲٪ رقیق کند.



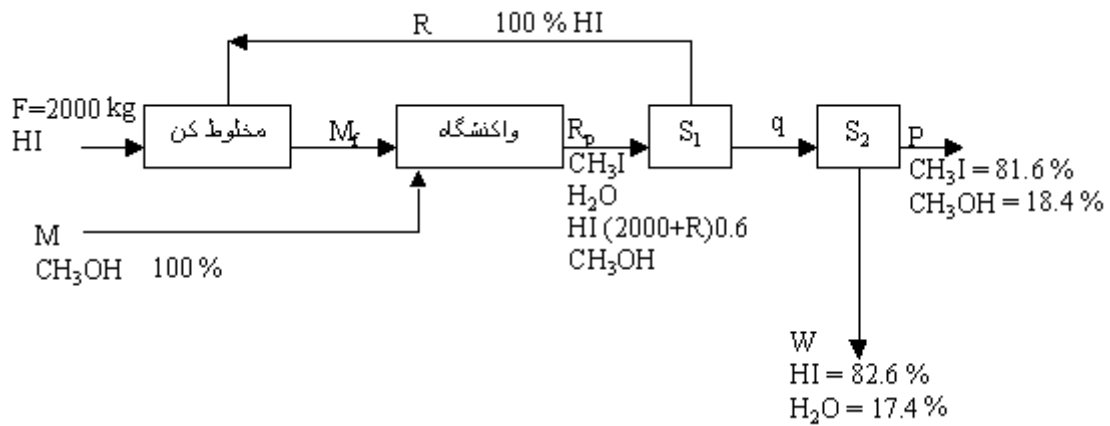
شکل ۳-۲۶



۹) در یک روش تولید یدید متیل،  $2000\text{ kg}$  در روز اسید یدیدریک را بر متانول اضافی اثر می‌دهند.



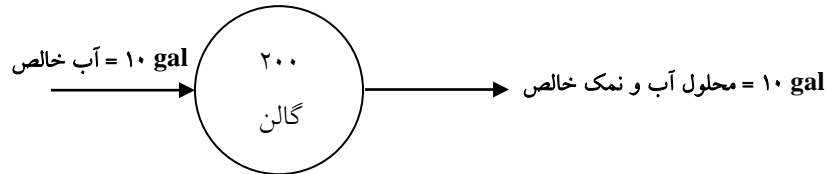
اگر محصول محتوی  $81/6$  درصد وزنی یدیدمتیل به همراه متانول ترکیب نشده و پساب نیز متشکل از  $82/6$  درصد اسید یدیدریک بوده و بقیه آب فرض شوند و درجه تکمیل واکنش در راکتور نیز  $40\%$  باشد با توجه به شکل زیر هر یک از جریانات و ترکیب آنها را تعیین کنید.



شکل ۲-۲۷



۱۰) در مخزنی ۲۰۰ گالن از محلولی قرار دارد که از انحلال ۸ lb نمک در آب حاصل شده است. آب خالص با شدت (دقیقه/گالن) ۱۰ به داخل مخزن وارد و محلول نمک با همین شدت خارج می‌شود. اگر عمل اختلاط در مخزن کامل باشد. پس از گذشت ۱۰۰min چه مقدار نمک در مخزن باقی خواهد ماند و غلظت این نمک را برحسب ppm بدست آورید. فرض کنید که چگالی آب و محلول نمک یکسان است.



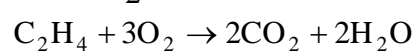
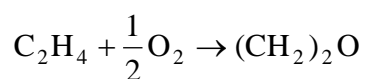
۱۱) در یک واکنشگاه تولید اتیلن اکسید از اتیلن و هوا (خوراک‌های اولیه) ترکیب مخلوط گازهای ورودی به واکنشگاه به ترتیب مندرج در زیر است. با توجه به اینکه تولید انتخابی ۶۵٪ و درصد تبدیل اتیلن به اتیلن اکسید ۳۵٪ است (در یک گذر) مطلوب‌ست محاسبه ترکیب گازهای خروجی (خشک).

N<sub>2</sub>      درصد مولی ۸۰/۰

O<sub>2</sub>      درصد مولی ۷/۰

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>      درصد مولی ۴/۵

CO<sub>2</sub>      درصد مولی ۸/۵













۹-۲) مسائل

۱) برای اندازه‌گیری شدت جریان آب در یک رودخانه از نمک کلرید سدیم بعنوان ردیاب استفاده می‌گردد، مقدار NaCl در آب طبیعی رودخانه ۳۰۰ ppm را نشان می‌دهد. اگر ۱۰۰ lb نمک را به تدریج و بطور یکنواخت در مدت زمان نیم ساعت به جریان آب بیافزائیم، تجزیه آب در فرود جریان که در آنجا عمل اختلاط کامل انجام یافته است وجود ۹۰۰ ppm نمک را نشان می‌دهد. شدت جریان آب را برحسب:

الف) پاوند در ساعت محاسبه کنید. ب) گالن در دقیقه محاسبه کنید.

۲) در یک واکنشگاه، نفتالین توسط هوا اکسایش یافته و برطبق واکنش زیر انیدرید فتالیک تولید می‌کند. مخلوط گازهای خروجی از واکنشگاه حاوی  $\frac{83}{2}$  مول  $N_2$  و  $\frac{12}{56}$  مول  $O_2$  هستند. با این فرض که درجه تکمیل واکنش یک است مطلوبست:

الف) نسبت مولی هوا به نفتالین در خوراک.

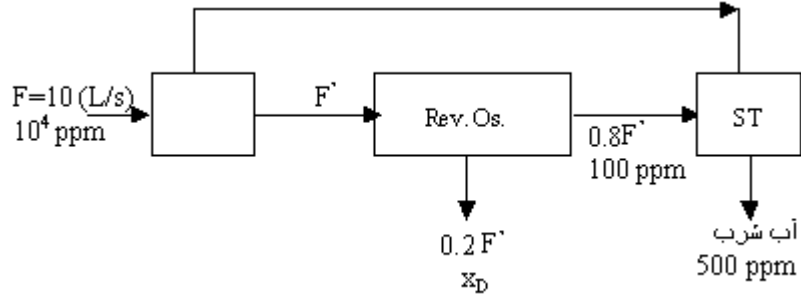
ب) تعداد مولهای  $CO_2$  و انیدرید فتالیک تولید شده.

ج) درصد هوای اضافی مصرف شده.



۳) بعنوان یکی از مسئولین خط تولید در واحد لاک‌سازی، یکی از سرکارگران مسأله زیر را با شما مطرح می‌کند. ۱۰۰۰ lb محلول ۸٪ وزنی نیتروسولوز موردنیاز است. محلول نیتروسولوز موجود مخزن ۵/۵٪ وزنی است. سؤال سرکارگر این است که باید به روی چند کیلوگرم از محلول موجود چند کیلوگرم نیتروسولوز خشک بیافزائیم تا محلول موردنظر بدست آید.

۴) از روش اسمز معکوس به منظور کاهش غلظت نمک در آب و رساندن آن به حد قابل قبول جهت شرب در یک استراحتگاه کویری استفاده می‌گردد. تحول کلی در شکل زیر نشان داده شده است در واحد اسمز معکوس آب محتوی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل می‌شود. مطلوبست مقدار  $F'$  برحسب لیتر در ثانیه و غلظت نمک در پساب شور برحسب میلی‌گرم در لیتر.



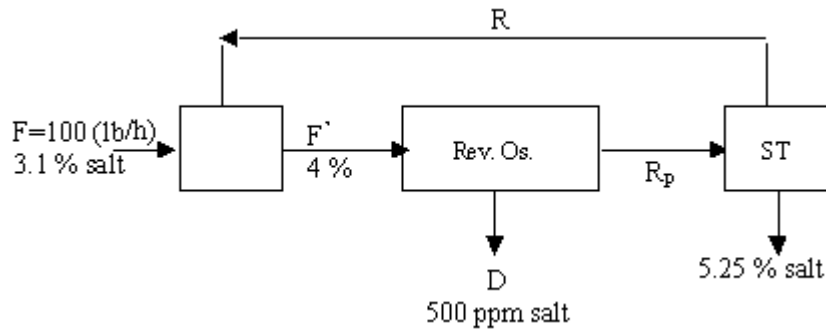
شکل ۲۹-۳

۵) آب دریا را به روش اسمز معکوس مطابق شکل زیر نمکزدائی می کنند با استفاده از اعداد داده شده در شکل مطلوبست:

الف) شدت جریان پساب شور.

ب) شدت جریان آب نمکزدائی شده.

ج) مقدار R.



شکل ۳۰-۳