

# راهنمای سیستم‌های خنثی‌ساز کلر

مؤلف: زهرا علیزاده

ویراستار: فاطمه حاجیلاری

## سخن آغازین

گندزدایی آب آشامیدنی یکی از مهم‌ترین اقدامات جهت حفظ سلامت میکروبی آب آشامیدنی می‌باشد و در سیستم‌های آبرسانی به عنوان یکی از اصلی‌ترین واحدهای تاسیسات می‌باشد بروز هر حادثه ای که منجر به ایجاد وقفه در امر گندزدایی گردد می‌تواند تاثیرات مخربی روی سلامت همگانی داشته باشد؛ لذا باید در حد امکان اقدامات پیشگیرانه‌ای صورت گیرد تا مانع از ایجاد وقفه در امر گندزدایی شویم. از طرفی با توجه به استفاده گسترده از گاز کلر به عنوان یک ماده گندزدای موثر، ارزان و در دسترس و نیز مخاطرات استفاده از گاز کلر باید ملاحظات ایمنی لازم در نظر گرفته شود. استفاده از گاز کلر هم برای کارکنان و هم برای ساکنینی که در مجاورت تاسیسات هستند مخاطره آمیز است؛ لذا باید تمهیدات ایمنی لازم اندیشیده شود تا مانع از بروز حوادث نشت گاز کلر و متعاقب آن صدمات مالی و جانی جبران ناپذیر گردیم. در این راهنما سعی شده است در خصوص روش‌های خشتی‌سازی گاز کلر، واکنش‌ها، فرآیند طراحی سیستم‌های خشتی‌ساز توضیحات مختصری آورده شود. راهنمای حاضر با هدف افزایش آگاهی کارکنان و راهبران امور آب و بالابردن سطح علمی صنعت آب و فاضلاب کشور جهت مقابله با چالش‌های آینده نگاشته شده است.

**زهرا علیزاده**

**کارشناس دفتر نظارت بر بهداشت آب**

**شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور**

**بهار ۱۳۹۴**

## فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۶
۱-۱ دامنه کاربرد.....	۶
۲- تعاریف.....	۷
۲- ملاحظات شیمیایی.....	۸
۲-۱ محلول‌های خنثی‌ساز.....	۸
۲-۲ واکنش اصلی.....	۹
۲-۳ واکنش‌های جانبی.....	۹
۲-۴ اشباع شدن از کلر.....	۱۰
۲-۵ گرمای واکنش.....	۱۱
۲-۶ دیگر ملاحظات.....	۱۲
۲-۶-۱ ملاحظات حالیت.....	۱۲
۲-۶-۲ اثرات گرمایی دیگر.....	۱۳
۲-۶-۳ تجزیه.....	۱۳
۳- ملاحظات فرآیند.....	۱۴
۳-۱ ویژگی‌های جریان حاوی کلر.....	۱۵
۳-۲ جمع‌آوری نشت‌های حاوی کلر.....	۱۶
۳-۲-۱ ظرفیت.....	۱۶
۳-۲-۲ فشار.....	۱۷
۳-۲-۳ نشت بند.....	۱۷
۳-۲-۴ جلوگیری از جریان برگشتی.....	۱۸
۳-۲-۵ خطر رطوبت.....	۱۸
۳-۲-۶ شناسایی جریان‌های خاص و استثنایی.....	۱۹
۳-۲-۷ زهکش.....	۱۹
۳-۲-۸ اتصالات قابل انعطاف.....	۱۹

۳-۳	ظرفیت/سرعت طراحی سیستم	۲۰
۳-۳-۱	ظرفیت	۲۰
۳-۳-۲	سرعت	۲۰
۳-۴	سیال خنثی ساز	۲۰
۳-۵	اثرات گرما	۲۲
۳-۶	ملاحظات در خصوص تخلیه سیال خنثی ساز	۲۳
۳-۶-۱	تخلیه گاز	۲۳
۴-۱	طراحی سیستم	۲۸
۴-۱-۱	کلیات	۲۸
۴-۱-۱-۱	اصول کار	۲۸
۴-۱-۱-۲	مستندات طراحی	۳۰
۴-۱-۱-۳	مواد سازنده	۳۱
۴-۲	مخازن تماس (کنتاکتورها)	۳۲
۴-۲-۱	مخزن پاشش	۳۲
۴-۲-۲	جاذب‌های بر اساس فوم (کف)	۳۲
۴-۲-۳	برج‌های اسپری	۳۳
۴-۲-۴	برج‌های سینی و انباشته	۳۳
۴-۲-۵	خنثی‌سازهایی از نوع مکنده	۳۳
۴-۲-۶	خنثی‌سازهای سیلیکونی	۳۴
۴-۳	حرکت دهنده‌های کلر	۳۴
۴-۳-۱	افشار فرایند	۳۴
۴-۳-۲	کمپرسورها	۳۴
۴-۳-۳	دمنده ها	۳۴
۴-۴	حرکت دهنده‌های محلول خنثی ساز	۳۵
۴-۵	مبدل‌های حرارتی	۳۵
۴-۶	ذخیره‌سازی و تجزیه	۳۵

۳۶	.....	۴-۷ کنترل‌ها
۳۷	.....	۴-۸ آنالیز
۳۷	.....	۴-۹ قابلیت اطمینان
۳۹	.....	۵ - ملاحظات ایمنی سیستم
۴۰	.....	۶ - مراجع
۴۱	.....	پیوست ۱
۴۵	.....	پیوست ۲
۴۵	.....	محیط‌های خنثی‌کننده دیگر
۴۶	.....	پیوست ۳

## ۱ - مقدمه

هر چند کلر از نظر واکنش پذیری و سمی بودن ماده‌ای خطرناک محسوب می‌شود اما می‌توان با بکارگیری اقدامات پیشگیرانه و مناسب از کلر به‌طور ایمنی استفاده کرد. انجمن‌های بین‌المللی مثل انجمن جهانی کلر، موسسه کلر و یوروکلر و غیره سال‌ها تلاش کرده‌اند تا دستورعمل‌ها و رهنمودهایی جهت استفاده ایمن از کلر برای کسانی که با کلر سر و کار دارند؛ تهیه نمایند.

ارزیابی ریسک سیستم‌های کلرزی نشان داده است که نصب خنثی‌سازهایی مانند اسکرابر باید برای جلوگیری از انتشار بخارات کلر به محیط اطراف در برنامه‌های ایمنی و محیط زیستی در نظر گرفته شود.

در سیستم‌های کلرزی گازی احتمال نشر بخارات کلر به محیط وجود دارد لذا باید روش مناسبی جهت جلوگیری از آن یافت. شرکت‌های تولیدکننده گاز کلر معمولاً نمی‌توانند اطلاعات کاملی در خصوص سیستم‌های خنثی‌ساز ارائه دهند.

انجمن جهانی کلر این مستندات را تدوین نموده تا اقدامات جهانی در زمینه‌ی سیستم‌های ایمنی کلر و خنثی‌سازها را توضیح دهد. به دلایل قانونی، تاریخی و فرهنگی نمی‌توان دستورعمل مشترکی با تمام جزئیات تدوین نمود که در سرتاسر جهان قابل استفاده باشد؛ لذا راهنمای حاضر روی مهم‌ترین موارد متمرکز می‌گردد که می‌تواند با استفاده از خنثی‌ساز از نشر کلر گازی به شیوه‌ای ایمن جلوگیری نماید.

این اطلاعات جهت کمک به شرکت‌هایی تدوین شده است که با سیستم‌های خنثی‌ساز گاز کلر سروکار دارند و برای تولیدکننده‌های بلیچ کاربردی ندارد. اساس این روش شامل واکنش گاز کلر با یک ماده شیمیایی است که بدین وسیله کلر را از جریان گازی خارج کرده و در موقعیت‌های اضطراری قابل پیش‌بینی (نظیر قطع برق) از ورود احتمالی کلر به اتمسفر جلوگیری می‌کند.

### ۱-۱ دامنه‌ی کاربرد

ارزیابی ریسک در سیستم‌های خاص کلرزی نشان داده است که نصب سیستم‌های خنثی‌ساز باید برای جلوگیری از نشر بخارات کلر به محیط اطراف در برنامه‌های ایمنی و محیط زیستی در نظر گرفته شود. در نظر داریم رهنمودی جامع برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان کلر که با نشر کلر گازی مواجه هستند ارائه نماییم.

مواردی که در این راهنما آورده شده است شامل:

- خواص شیمیایی محلول‌های خنثی‌سازی و محصولات جانبی آن‌ها
- ملاحظات و داده‌های طراحی عملی

- توضیح مطالبی در خصوص انتخاب و بهره‌برداری از یک سیستم خنثی‌سازی
- ملاحظات عمومی در خصوص قابل اعتماد بودن سیستم خنثی‌سازی
- مواد سازنده

بسیاری از موارد نیز در این راهنما نیامده است که به شرح زیر است:

- تعیین اینکه خنثی‌ساز مورد نیاز است یا خیر.
- مستندات اضافی که برای تکمیل طراحی مورد نیاز است.
- ملاحظات طراحی برای سیستم‌های جمع‌آوری گاز
- مروری بر تاثیر سیستم روی کل تصفیه‌خانه و محیط‌های هم‌جوار
- مروری بر کلیه‌ی مقررات
- مروری بر مخاطرات فرآیند
- دستورعمل‌های نحوه بکارگیری و تعمیرات سیستم
- آموزش بهره‌برداران و کارکنان راه‌اندازی و تعمیرات سیستم

## ۱-۲ تعاریف

ABS

اکریلونیتریل بوتادی ان استیرن

carbon steel

مواد آهنی که در لوله کشی کلر خشک استفاده می‌شود (فولاد کربنی).

chlorine scrubber

دستگاهی برای حذف کلر از جریان گاز از طریق واکنش شیمیایی جذب<sup>۱</sup> یا جذب سطحی<sup>۲</sup>

CPVC

پلی وینیل کلراید کلردار شده

dry air

کلری که شرایط تعریف "خشک" را نداشته باشد "مرطوب" نامیده می‌شود و محتوای رطوبتی دارد که باعث خوردگی سریع استیل می‌شود. عبارت "کلر خشک" برخی اوقات به طور نادرستی جهت توصیف یک ترکیب کلرینه خشک (معمولا هیپوکلریت کلسیم یا ایزوسیانات‌های کلرینه) استفاده می‌شود.

dry chlorine

کلر خشک

<sup>1</sup> absorption

<sup>2</sup> adsorption

ECTFE	اتیلن کلروتری فلوئورو اتیلن
EPR	اتیلن پروپیلن
FEP	اتیلن پروپیلن فلوئوردار شده
FRP	یک ماده پلاستیکی تقویت شده از جنس فایبر گلاس با یک رزین مناسب (مثل پلی استر، اپوکسی یا وینیل استر) که بتواند در برابر محیط خورنده مقاومت نماید.
kPa	کیلو پاسکال
ORP	پتانسیل اکسیداسیون-احیا
PE	پلی اتیلن
PFA	پرفلوئورو آلکوکسی
PPL	پلی پروپیلن
ppm	قسمت در میلیون
psig	پوند بر اینچ مربع. Psi اغلب بنا برستی بجای psig استفاده می شود.
PTF	پلی تترا فلوئورو اتیلن
PVC	پلی وینیل کلراید
PVDF	پلی وینیلیدین فلوراید

## ۲ - ملاحظات شیمیایی

### ۲-۱ محلول های خنثی ساز

مواد شیمیایی که جهت خنثی سازی کلر استفاده می شوند شامل:

- هیدروکسید سدیم



- هیدروکسید پتاسیم
- کربنات سدیم
- هیدروکسید کلسیم
- سولفیت سدیم
- تیوسولفات سدیم
- کلرید آهن
- بستر جامد جاذب/جاذب سطحی (در موارد ویژه یک بستر جامد از جاذب‌های شیمیایی (به عنوان مثال کربن فعال) می‌تواند جهت حذف کلر از گاز نشر شده به کار رود)

محلول هیدروکسید سدیم رایج‌ترین محلولی است که جهت خنثی‌سازی استفاده می‌شود. مواد شیمیایی دیگر که در بالا لیست شده‌اند نیز به‌طور موفقیت‌آمیزی در موارد متعددی استفاده می‌شوند، بعضی از آن‌ها به دلیل ارزان‌تر بودن، بعضی به دلیل دسترسی آسان و بعضی به دلیل کاربردهای خاص (به عنوان مثال جاذب‌های شیمیایی بستر جامد در خنثی‌سازهای رزرو و در شرایط اضطراری) استفاده می‌شوند.

اطلاعات این راهنما برای محلول‌های هیدروکسید سدیم و واکنش آن‌ها با کلر نوشته شده است. خنثی‌سازی کلر فرآیند شیمیایی است که در آن نیاز به آگاهی از جزئیات واکنش‌ها شامل گرمای تولید شده حین فرآیند، محصولات نهایی، دفع محصولات نهایی و استفاده ایمن از کلیه‌ی مواد شیمیایی درگیر در واکنش می‌باشد. مواد شیمیایی غیر از هیدروکسید سدیم جهت خنثی‌سازی کلر خارج از اسکوپ این راهنما می‌باشد.

## ۲-۲ واکنش اصلی

افزودن کلر به محلول هیدروکسید سدیم (NaOH)؛ هیپوکلریت سدیم (NaOCl) و نمک (NaCl) تولید می‌کند:



معادله ۱-۲

از نظر وزنی یک پوند کلر (۰/۴۵۴ کیلوگرم) به اضافه ۱/۱۲۸ پوند هیدروکسید سدیم (۰/۵۱۲ کیلوگرم) تولید ۱/۰۵ پوند (۰/۴۷۷ کیلوگرم) هیپوکلریت سدیم می‌کند.

## ۲-۳ واکنش‌های جانبی

واکنش‌های دیگری که در حین خنثی‌سازی کلر با هیدروکسید سدیم روی می‌دهد باید در ملاحظات طراحی در نظر گرفته شود.

هیپوکلریت سدیم تشکیل شده می‌تواند به صورت زیر تجزیه شود:



## ۲-۴ اشباع شدن از کلر

اهمیت وجود هیدروکسید سدیم اضافی در جلوگیری از پدیده اشباع شدگی توسط کلر را نمی‌توان نادیده گرفت. کلر متناوباً وارد محلولی می‌شود که سود ندارد و لذا محلول با کلر اشباع می‌گردد (بسته به pH دما و غلظت یون‌ها بین ۰/۰۰۲ و ۰/۰۲ پوند/گالن). وقتی محلول اشباع از کلر می‌شود، کلر شروع به خروج<sup>۳</sup> از خنثی‌ساز می‌کند. بطور کلی فرض می‌شود وقتی سود موجود در محلول مصرف می‌شود، تمام کلر وارد شده به خنثی‌ساز؛ از خنثی‌ساز خارج خواهد شد.

همچنین وقتی کلر وارد محلولی می‌شود که اشباع از کلر است pH محلول به دلیل تولید اسید طبق واکنش‌های زیر کاهش می‌یابد:

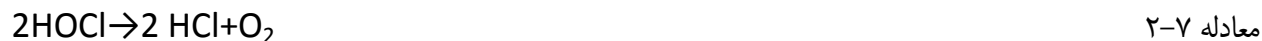


وقتی pH به زیر ۱۱ می‌رسد واکنش زیر اتفاق می‌افتد و pH به دلیل تشکیل HCl اضافی باز هم پایین می‌آید.



فقدان باز در محلول باعث می‌شود که کلر بدون اینکه جذب شود از واحد جاذب عبور کند.

وقتی pH به زیر ۵ می‌رسد HOCl از طریق واکنش زیر شروع به تجزیه شدن به HCl می‌کند.



وقتی HCl به اندازه کافی تولید شود؛ کلر از محلول از طریق واکنش زیر آزاد خواهد شد:



---

<sup>3</sup> venting

وقتی جریان کلر به محلول اشباع شده از کلر قطع می‌شود؛ تا زمانی که HCl به اندازه کافی مصرف شده و pH به بالای ۵ افزایش می‌یابد، کلر از محلول از طریق واکنش بالا خارج می‌شود.

## ۲-۵ گرمای واکنش

یک عامل خیلی مهم در بهره‌برداری و یا طراحی خنثی‌ساز کلر، دماست. مقادیر زیادی گرما در واکنش کلر-هیدروکسید سدیم آزاد می‌شود. مهم‌ترین واکنش‌هایی که در خنثی‌سازی کلر روی می‌دهد و گرمای واکنش آنها در زیر آمده است:

### • واکنش خنثی‌سازی



گاز کلر  $\Delta^{\text{H}25} = -626 \text{ Btu/lb} (-348 \text{ cal/g})$

### • واکنش تجزیه هیپوکلریت سدیم



هیپوکلریت تجزیه شده  $\Delta^{\text{H}25} = -336 \text{ Btu/lb} (-187 \text{ cal/g})$



هیپوکلریت تجزیه شده  $\Delta^{\text{H}25} = -188 \text{ Btu/lb} (-104 \text{ cal/g})$

گرمای واکنش‌های بالا در  $25^\circ \text{C}$  با استفاده از این مقادیر گرماهای تشکیل محاسبه شده‌اند:

$\Delta^{\text{H}25} \text{ NaOH} = -112.93 \text{ k cal/g.mole}$

$\Delta^{\text{H}25} \text{ NaCl} = -97.234 \text{ k cal/g.mole}$

$\Delta^{\text{H}25} \text{ H}_2\text{O} = -68.3174 \text{ k cal/g.mole}$

$\Delta^{\text{H}25} \text{ NaOCl} = -83.39 \text{ k cal/g.mole}$

$\Delta^{\text{H}25} \text{ NaClO}_3 = -78.92 \text{ k cal/g.mole}$

**نکته:** اگر کلر مایع مستقیماً به داخل هیدروکسید سدیم تزریق شود، گرمای واکنش تقریباً  $(292 \text{ cal/g})$  یا  $526 \text{ Btu/lb}$

کلر است زیرا گرمای تبخیر کلر مایع در دمای اتاق تقریباً  $(55 \text{ cal/g})$  یا  $100 \text{ Btu/lb}$  می‌باشد. (نمودارهای ۱-۳ تا ۳-۶

را ملاحظه فرمایید؛ در این نمودارها دمای خروجی در حالت‌های مختلف کلر و قدرت‌های مختلف سود ترسیم شده است)

## ۲-۶ دیگر ملاحظات

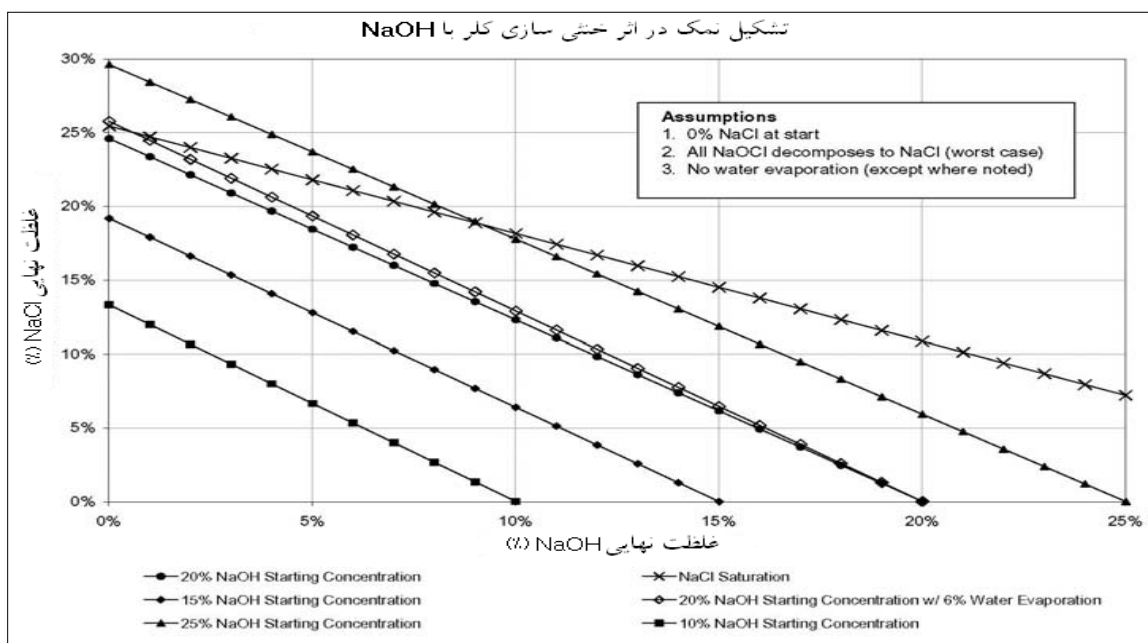
### ۲-۶-۱ ملاحظات حلالیت

تمهیداتی جهت جلوگیری از ورود جامدات به سیستم باید اتخاذ گردد. جامدات می‌توانند به علت انجماد، ورود مواد خارجی و یا در اثر مکانیزم‌های زیر در سیستم خنثی‌ساز تشکیل شوند:

#### سود (هیدروکسید سدیم) و تشکیل نمک جامد

معمولا هیدروکسید سدیم (سود) در جذب گازهای کلردار استفاده می‌شود. وقتی کلر با سود واکنش می‌دهد؛ نمک تشکیل می‌شود. نمک حلالیت کمی در محلول‌های خنثی‌ساز دارد. بنابراین وقتی سود تمام می‌شود خطر رسوب نمک وجود دارد. زمانی که از سود تجاری که ممکن است حاوی نمک (دیافراگمی، روش سلی و غیره) باشد، به عنوان محیط خنثی‌سازی استفاده می‌شود؛ این مساله تشدید می‌گردد. همچنین این مساله به دلیل بخار شدن آب، هنگام واکنش کلر با سود، نیز بیشتر شدت یابد.

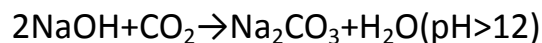
هنگامی که غلظت اولیه سود بالاتر از ۲۰ درصد وزنی/وزنی باشد، احتمال رسوب نمک جامد وجود دارد زیرا در این غلظت سود کاملا مصرف می‌شود. اگر از غلظت‌های بالاتر استفاده می‌گردد غلظت سود خروجی باید در مقادیر بالاتر نگه داشته شود تا نمک جامد تشکیل نشود. شکل ۲-۱ را مشاهده فرمایید.



شکل ۲-۱

## سود (هیدروکسید سدیم) و CO<sub>2</sub>

دی‌اکسیدکربن یک ناخالصی است که اغلب در بخارات کلر وجود دارد. دی‌اکسیدکربن با سود واکنش داده و کربنات سدیم و بی‌کربنات سدیم تولید می‌کند:



حلالیت کربنات سدیم در محلول خنثی‌ساز پایین است و حلالیت بی‌کربنات سدیم بسیار پایین است. بنابراین وقتی CO<sub>2</sub> در کلر وجود دارد و یا زمانی که محلول سود در تماس با اتمسفر است ممکن است نمک‌هایی تشکیل گردد. لذا به دلیل تشکیل این جامدات باید ملاحظات در طراحی و بهره‌برداری خنثی‌سازهای کلر در نظر گرفته شود به ویژه اگر غلظت سود کم شده و در نتیجه pH به زیر ۱۲ برسد.

### ۲-۶-۲ اثرات گرمایی دیگر

اثرات گرمایی دیگری که باید در نظر گرفته شود:

- گرمای ناشی از میعان گاز
- گرمای حاصل از رقیق‌سازی

### ۲-۶-۳ تجزیه

چندین عامل وجود دارد که موجب تسریع تجزیه محصولات جانبی حاصل از واکنش خنثی‌سازی می‌شود:

#### ▪ تجزیه حرارتی

تجزیه حرارتی براساس این واقعیت است که سرعت تجزیه محلول هیپوکلریت در دمای بالاتر افزایش می‌یابد. غلظت‌های بالای هیپوکلریت و وجود مقادیر کم سود نیز سرعت تجزیه را افزایش می‌دهد. یک روش رایج تجزیه این است که مخزن حاوی محلول هیپوکلریت با بخار حرارت داده شود. این حرارت‌دهی همراه با گرمای ناشی از تجزیه هیپوکلریت، خود منجر به تجزیه سریع‌تر هیپوکلریت سدیم به اکسیژن و نمک می‌شود.

### ▪ تجزیه کاتالیزوری

حضور و یا افزودن یون‌های فلزی مثل کبالت، نیکل، مس و آهن به محلول‌های هیپوکلریت به طور کاتالیستی سرعت تجزیه را افزایش می‌دهد. وجود نمک‌های این فلزات همراه با گرمای حاصل از فرآیندهای حرارتی منجر به تجزیه کامل هیپوکلریت سدیم می‌شود. البته باید توجه داشت که برای دفع بسیاری از فلزات، نیاز به اخذ مجوزهای خاصی دارد.

### ▪ زمان و نور

تمام محلول‌های هیپوکلریت در اثر گذشت زمان تجزیه خواهند شد. وجود نور خورشید فرآیند را تسریع می‌کند. در بعضی موارد، استخرهای با عمق کم که در معرض نور قرار دارند جهت تجزیه محلول‌های ضعیف هیپوکلریت استفاده می‌شوند.

### ▪ تجزیه شیمیایی

مواد شیمیایی خاصی از جمله دی‌اکسید سولفور ( $SO_2$ )، سولفیت‌ها ( $Na_2SO_3, NaHSO_3$ )، تیوسولفات و پراکسید هیدروژن با محلول‌های هیپوکلریت واکنش می‌دهند. در بیشتر موارد استفاده از این مواد شیمیایی به عنوان روشی برای تجزیه هیپوکلریت قوی، بسیار گران است و بیشتر برای واکنش‌هایی کوچک و حذف مقادیر کمی از هیپوکلریت سدیم استفاده می‌شود. استفاده از مواد شیمیایی خاص منجر به بالا رفتن میزان COD شده و بنابراین مجوز دفع پساب باید بررسی شود.

معمولاً برای بازیافت کلر، اسیدهای مصرف شده را با مایع خارج شده از خنثی‌ساز واکنش داده و کلر را به فرآیند باز می‌گردانند. واکنش اسیدهایی مثل اسید هیدروکلریدریک ( $HCl$ ) و اسید سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) با هیپوکلریت سدیم گاز کلر آزاد می‌کنند.

## ۳ - ملاحظات فرآیند

در طراحی خنثی‌ساز باید ایمنی افراد و حفاظت از محیط زیست الویت اصلی باشد. تمامی جنبه‌های فرآیند در سیستم خنثی‌سازی و سیستم‌های تخلیه در خنثی‌ساز باید طوری تعریف شود که بتواند تمامی شرایط و الزامات زیست محیطی و دیگر الزامات را رعایت کند.

فرآیند باید طوری طراحی شود که تمامی منابعی که ممکن است حاوی گاز کلر (جریان‌ات پیوسته و موقت) باشد را تحت پوشش قرار دهد:

- خروج کلر از اتصالات یا تجهیزات کلرزی
- خروج کلر از آنالیزهای آنلاین کلر
- خروج کلر از واحد مایع‌سازی گاز
- خروج گاز کلر در اثر روشن و خاموش کردن الکترونیکی تاسیسات
- خروج اضطراری گاز کلر در سیستم‌های کلرزی
- آزادشدن کلر از شیر فشارشکن یا اتصالات هیدرولیکی
- خروج گاز از سیستم‌های کلرزی شامل کپسول‌ها، اتصالات انعطاف پذیر، لوله‌کشی‌ها و ...

### ۳-۱ ویژگی‌های جریان حاوی کلر

جهت طراحی صحیح یک سیستم خنثی‌ساز، ویژگی‌های جریان حاوی کلر باید با دقت تعیین شود. خواص جریان حاوی کلر می‌تواند به شدت روی طراحی سیستم خنثی‌ساز تاثیرگذار باشد. در تعیین ویژگی‌ها، حالت‌های مختلف بهره‌برداری باید در نظر گرفته شود: مرحله روشن کردن، خاموش کردن، بهره‌برداری نرمال، نگهداری، بهره‌برداری غیرنرمال و اورژانسی، جنس و اجزای سازنده، جریان تولید موقتی یا پیوسته، دما و فشار. در نمودارهای ۱-۳ تا ۶-۳ دمای خروجی در حالت‌های مختلف کلر و قدرت‌های مختلف سود ترسیم شده است.

اطمینان از حالت سیال بسیار مهم و تعیین‌کننده است. اگرچه بیشتر خنثی‌سازهای کلر برای مواجهه با کلر گازی تعبیه شده‌اند اما می‌توانند با طراحی مناسب، کلر مایع را نیز خنثی نمایند. گرمای تبخیر کلر مایع، افزایش دما در خنثی‌ساز را کاهش می‌دهد. اگر کلر مایع وارد خنثی‌ساز شود باید با حجم زیادی از سیال خنثی‌کننده در تماس باشد تا کلر مایع در آن پخش و پراکنده شود. این مساله مانع از تجمع کلر در سیال خنثی‌ساز گردیده (یا مانع از اشباع شدن سیال خنثی‌ساز با کلر شده) و از افزایش فشار به دلیل تشکیل حباب‌های بزرگ گاز جلوگیری می‌نماید.

اگر سیستم خنثی‌ساز برای کلر مایع طراحی نشده باشد باید اقدامات پیشگیرانه‌ای جهت ممانعت از ورود کلر مایع به سیستم اتخاذ گردد؛ بدین منظور از جداکننده‌های مایع از گاز جهت جلوگیری از ورود مایع استفاده می‌شود. این جداکننده‌ها باید مجهز به سنسور هشداردهنده حساس به سطح یا دمای کم باشند که وجود کلر مایع در جداکننده را نشان دهند.

از نقطه نظر انتقال جرم، خنثی‌سازی کلر خالص آسان‌تر از کلری است که حاوی گازهای بی‌اثر می‌باشد. وجود گازهای بی‌اثر سطح تماس مورد نیاز را افزایش داده و مقدار تبخیر آب از محلول خنثی‌کننده را افزایش می‌دهد. در حالی که افزایش تبخیر می‌تواند به حذف گرما از سیستم کمک کند، اما احتمال رسوب نمک از محلول خنثی‌کننده را نیز افزایش می‌دهد.

مقدار رطوبت در جریان حاوی کلر ورودی باید مشخص باشد. اگر بخار آب از جریان کلر ورودی در خنثی‌ساز میعان پیدا کند، میزان گرمای میعان در مقایسه با گرمای کل چشم‌گیر می‌شود. اگر خنک‌کردن به میزان کافی انجام نگیرد بخار آب به صورت یک گاز بی‌اثر عمل خواهد کرد و ممکن است راندمان را تا جایی کاهش دهد که جذب کلر مختل شود.

احتمال وجود ناخالصی‌های جزئی در بخار کلر نیز باید در نظر گرفته شود. هیدروژن، تری‌کلرید نیتروژن، کلرید هیدروژن، مواد آلی و دیگر ناخالصی‌ها در بعضی بخارات کلر وجود دارد. این ناخالصی‌ها می‌توانند در سیستم‌های خنثی‌ساز جمع شده و تغلیظ گردند و موقعیت خطرناکی (به عنوان مثال مخلوط‌های قابل انفجار) ایجاد نمایند. ناخالصی‌های کلر همچنین می‌توانند روی انتخاب نوع مواد سازنده سیستم خنثی‌ساز تاثیر گذارند.

وجود مقادیر کمی از فلزات که منجر به تجزیه هیپوکلریت می‌شوند (مانند نیکل، آهن، مس و غیره) نیز باید در نظر گرفته شوند.

فشاری که در آن جریان حاوی کلر موجود است می‌تواند روی نوع تجهیزات خنثی‌کننده‌ای که استفاده می‌شود اثر گذارد.

## ۳-۲ جمع‌آوری نشت‌های حاوی کلر

طراحی سیستم‌های جمع‌آوری نشت بسیار مهم است. علاوه بر اندازه سیستم که باید جهت جمع‌آوری تمامی نشت‌ها مناسب باشد، سیستم می‌تواند تجهیزاتی داشته باشد که عملکرد ایمن سیستم جذب را تضمین نموده و از اثرات منفی روی کارایی آن جلوگیری نماید.

**نکته:** اگر خطر این وجود دارد که نشت‌های گازهای دیگر بتوانند با کلر واکنش داده و محصولات نامطلوبی تولید کنند که راندمان جذب را کاهش داده یا به تجهیزات جذب (هیدروژن و مواد آلی و ...) آسیب برسانند توصیه می‌شود که از اختلاط گازهای باقیمانده حاوی کلر با دیگر نشت‌های گازی جلوگیری شود.

### ۳-۲-۱ ظرفیت

شبکه جمع‌آوری باید اندازه مناسبی داشته باشد تا کلر خارج شده از یک بخش نتواند از بخش دیگری فرار کند. ظرفیت باید طوری طراحی شود که ماکزیمم جریان گاز احتمالی در نظر گرفته شود مثلاً در موارد اضطراری (به عنوان مثال وقتی کلر تولید اتاق کلرزی برای یک دوره زمانی محدود خارج شود).

فشار/جریان احتمالی که در اثر باز بودن شیر اطمینان فشار یا پاره شدن صفحه اطمینان به سیستم اعمال می‌شود نیز باید در نظر گرفته شود.



## ۳-۲-۲ فشار

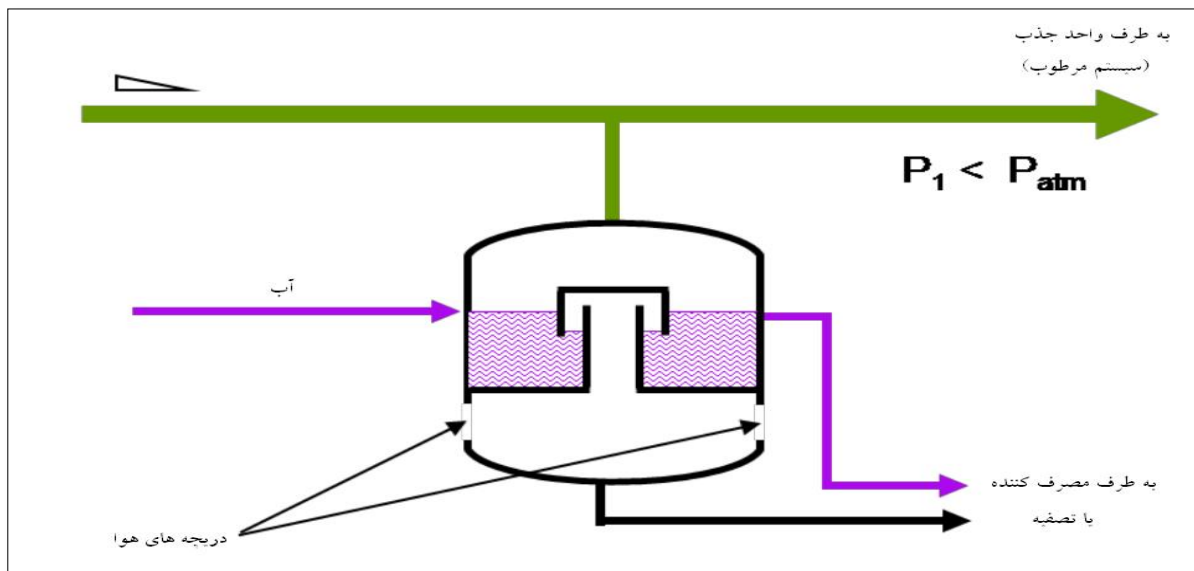
در طراحی کل سیستم باید ماکزیمم و مینیمم فشاری که ممکن است در شبکه اتفاق بیفتد در نظر گرفته شود و در مواقعی که فشار بالا در سیستم پیش می‌آید، در مقابل خروج گاز مقاومت نشان دهد.

باید خلأی ایجاد شود تا گازهای خروجی را به واحد جذب بکشد. سه طراحی مختلف ممکن است استفاده شود:

- قرار دادن یک فن در موقعیتی بین سیستم لوله‌کشی جمع‌آوری و واحد جذب
- یک فن در خروجی واحد جذب
- اجکتورهای (افشانه‌های) مایع

جهت محافظت از سیستم جمع‌آوری و دیگر تجهیزات در برابر فشار بیش از حد یا خلا می‌توان نشت بند هیدرولیکی نصب نمود (شکل ۳-۱ را ملاحظه فرمایید).

تمهیداتی باید در نظر گرفته شود که از وجود منبع دائمی آب اطمینان حاصل کنیم (قطعی آب پیش نیاید) و از انجماد آن در هوای سرد جلوگیری شود.



شکل ۳-۱ نشت بند هیدرولیکی جهت جلوگیری از تحت فشار قرار گرفتن

## ۳-۲-۳ نشت بند

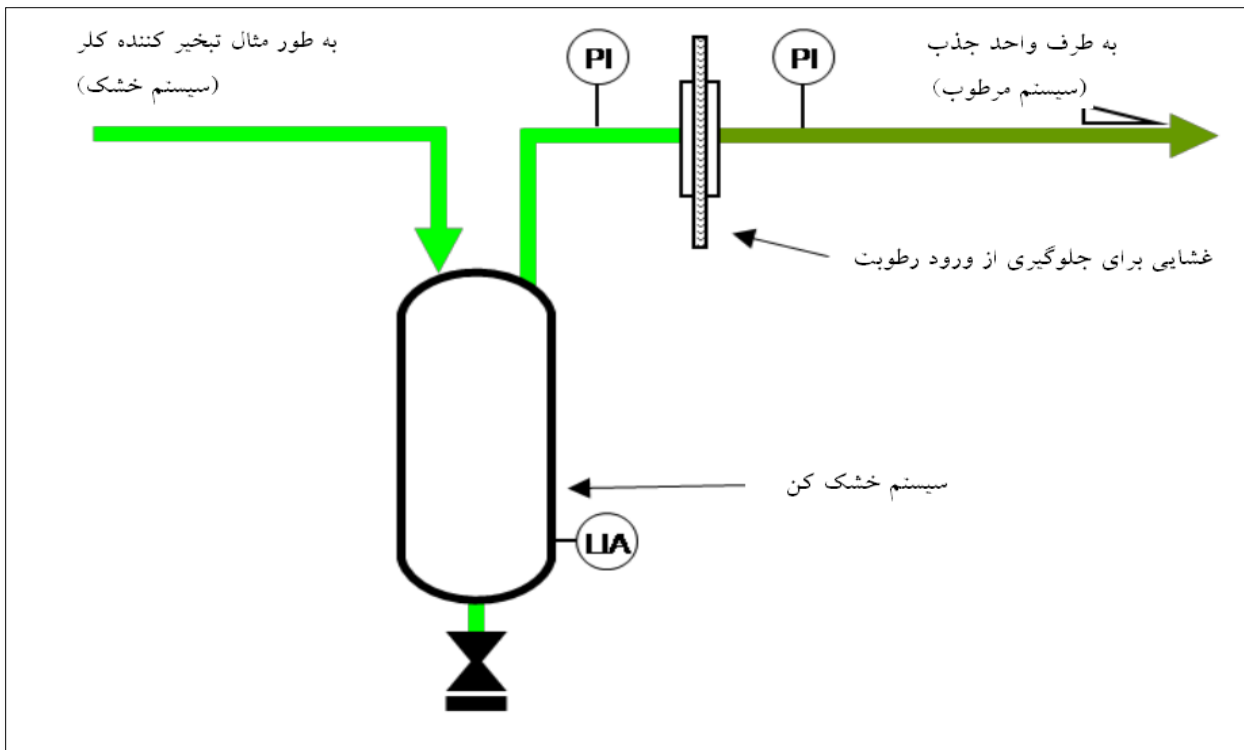
نشت‌بندی سرلوله‌های گاز از ورود احتمالی هوا جلوگیری می‌کند؛ هوا حاوی  $CO_2$  است و منجر به مصرف بیشتر واکنشگرها می‌شود.

### ۴-۲-۳ جلوگیری از جریان برگشتی

اقداماتی باید در نظر گرفته شود تا مانع از مکش معکوس مایع به سیستم کلرژنی گازی شود. این اقدامات شامل استفاده از حفاظ هیدرولیکی و خشک کن و غیره می‌باشد.

### ۵-۲-۳ خطر رطوبت

بخش‌هایی از سیستم که به منظور کار با گاز خشک می‌باشند باید طوری طراحی شوند که در مقابل برگشت رطوبت از سیستم جاذب محافظت گردند. این امر را می‌توان هم توسط عبور دادن یک جریان دائمی کنترل شده از گاز خشک (نیتروژن یا هوا) انجام داد تا مانع از ایجاد جریان برگشتی در سرعت پایین گاز شویم و یا با جدا کردن سیستم مرطوب و خشک توسط یک غشا پلاستیکی یا PTFE که به صورت یک صفحه اطمینان<sup>۴</sup> (rupture disk) عمل می‌کند انجام می‌شود (شکل را ملاحظه فرمایید). بخش خشک سیستم را می‌توان تحت فشار کمی از یک گاز خشک بی‌اثر قرار داد تا از نفوذ رطوبت از میان غشا جلوگیری نموده و امکان تعیین و شناسایی پارگی آن را فراهم نمود. هر بخشی از سیستم که در آن امکان وجود رطوبت باشد باید از موادی ساخته شود که نسبت به کلر خشک و مرطوب مقاوم باشد.



شکل ۲-۳ نشت بند بخش‌های خشک/مرطوب توسط غشا

<sup>۴</sup>rupture disk یک صفحه اطمینان است که اغلب سیستم تجهیزات یا ظروف تحت فشار را در برابر فشار بیش از حد یا آسیب دیدن در شرایط خلا محافظت می‌نماید در واقع یک بخش قربانی شونده محسوب می‌شود به دلیل اینکه یک غشا یکبار مصرف دارد که در برابر اختلاف فشار از پیش تعیین شده مثبت یا خلا از بین می‌رود.

### ۳-۲-۶ شناسایی جریان های خاص و استثنایی

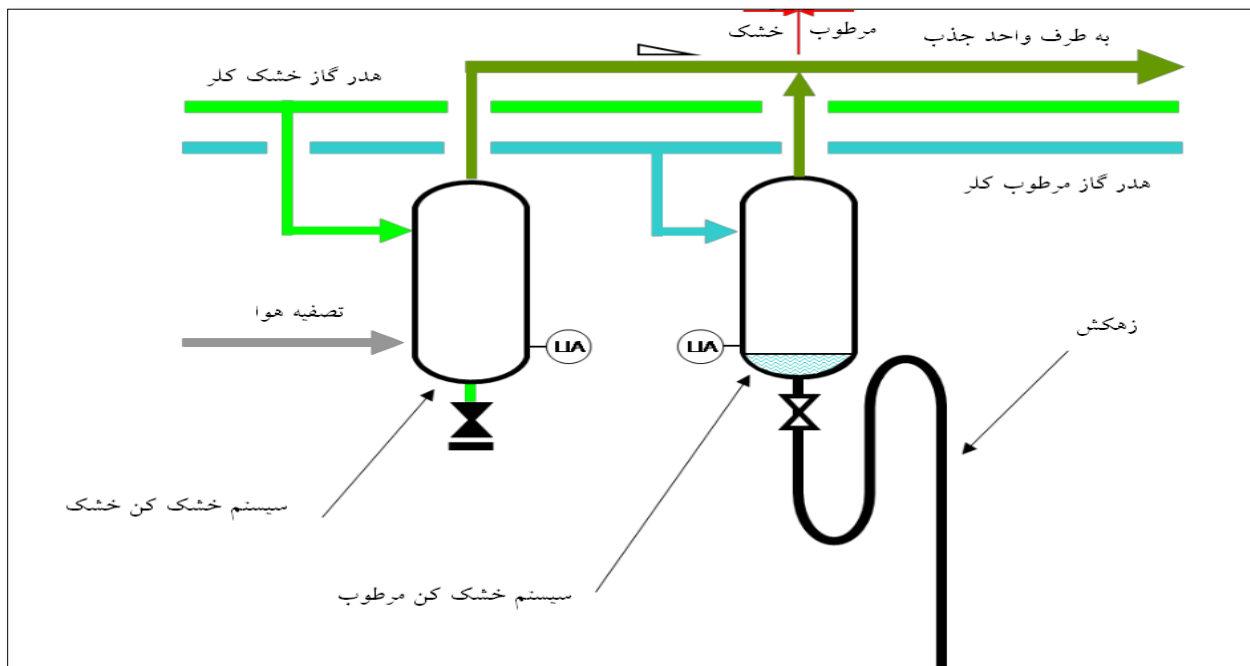
اتصال به شبکه خروج (ونت) گاز از نقاط خاص نشت (به عنوان مثال شیر فشارشکن) را می توان طوری طراحی کرد که جریان را نشان دهد. این کار را می توان به عنوان مثال با استفاده از نصب یک صفحه اطمینان بالای شیر اطمینان به همراه نصب یک گیج فشاری که دارای سیستم هشداردهنده یا آلارمی بین این دو (بین صفحه اطمینان و شیر اطمینان) است انجام داد.

در جریان مایع نیز این کار را می توان با نصب یک آلارم روی حفاظ هیدرولیکی انجام داد.

### ۳-۲-۷ زهکش

از وجود هر مایعی در نقاط پایین شبکه یا فشار کنار فن خروجی باید اجتناب کرد و در صورت نیاز باید سیستم های زهکش نصب شود (شکل ۳-۳ را ملاحظه فرمایید).

بهتر است انشعابات در بالای هدرها باشد.



شکل ۳-۳ تاسیسات زهکشی

### ۳-۲-۸ اتصالات قابل انعطاف

در هر جایی که از کلر استفاده می شود ممکن است نشت های کوچکی وجود داشته باشد شلنگ های انعطاف پذیر می توانند نصب شوند تا سریعاً به بخش مکش شبکه خروج گازی متصل شده و به یونیت خنثی سازی کلر برسند.

### ۳-۳ ظرفیت/سرعت طراحی سیستم

دو عامل اصلی در تعیین اندازه سیستم در نظر گرفته می شود: ظرفیت طراحی و سرعت.

#### ۳-۳-۱ ظرفیت

ظرفیت طراحی مقدار کلری است که می تواند با کل مقدار سود موجود در سیستم، خنثی سازی شود و به مقدار هیدروکسید سدیم موجود در خنثی ساز در طی یک حادثه بستگی دارد. معمولاً با حجم کل سود موجود می توان این مساله را کنترل نمود.

#### ۳-۳-۲ سرعت

سرعت، جرم کلری است که در واحد زمان جذب شده است. سرعت معمولاً با سرعت رسیدن به هیدروکسید سدیم محدود می شود. اگر بخار کلر موقتی باشد و دائمی نباشد سرعت طراحی برای سیال خنثی ساز استیوکیومتری بوده و معادل با پیک جریان کلر به علاوه ی مقداری اضافی دلخواه است.

به عنوان مثال خروجی گاز یک دستگاه کاهش دهنده فشار<sup>۵</sup> ممکن است به مدت ۳ ساعت وارد خنثی ساز شود پیک جریان کلر در نقطه اطمینان ممکن است به ۵۰۰۰ کیلوگرم/ساعت برسد. اگر ۱۰ درصد سیال خنثی کننده اضافی مطلوب باشد؛ سرعت طراحی (اگر هیدروکسید سدیم سیال خنثی کننده باشد) باید

$$\{5000 \text{ kg/hr} \times 1/1 \times (\text{نسبت وزن مولکولی کلر / سود}) \times 1/128 \times 100\} = 6200 \text{ kg/hr}$$

۶۲۰۰ kg/hr از هیدروکسید سدیم ۱۰۰ درصد باشد. ظرفیت طراحی برای خنثی ساز (۳ ساعت × ۶۲۰۰ kg/hr) یا ۱۹۰۰۰ کیلوگرم از محلول سود ۱۰۰ درصد است.

#### ۳-۴ سیال خنثی ساز

سیال خنثی ساز باید براساس در دسترس بودن، هزینه، نوع محصولات جانبی تولیدی، واکنش پذیری با کلر، حلالیت اجزای سازنده در مایعات خنثی کننده از ابتدا تا انتها و قابلیت انجماد انتخاب شوند. کمیت و کیفیت گازهای مورد تصفیه نیز باید در نظر گرفته شود.

اجزایی بودن دفع محلول هایی که عمل خنثی سازی را انجام داده اند نیز باید در نظر گرفته شود. امکان فروش یا بازیافت پساب ممکن است انتخاب محلول خنثی ساز را تعیین کند.

رایج ترین سیال خنثی سازی هیدروکسید سدیم است. طراح باید ملاحظات فرایندی زیر را در نظر بگیرد:

---

<sup>5</sup> pressure relief

## • محلول اولیه

هیدروکسید سدیم اکثراً به صورت محلول ۵۰ درصد در آب فروخته می شود. این محلول برای استفاده در اکثر خنثی سازها بسیار غلیظ است. این محلول حاوی مقدار خیلی کمی آب جهت جذب گرمای واکنش و نگهداری محصولات واکنش (نمک) در محلول است؛ به علاوه نقطه انجماد بالایی دارد که می تواند مانع از بهره برداری از خنثی ساز در آب و هوای سرد شود.

معمولاً در خنثی سازها هیدروکسید سدیم ۵۰ درصد را رقیق می کنند یا دانه های سود را حل می کنند تا محلول با غلظت دلخواه را بدست آورند. گرمای رقیق سازی باید در نظر گرفته شود به عنوان مثال وقتی یک محلول ۵۰ درصد هیدروکسید سدیم در ۲۶/۷ درجه سانتی گراد با آب با دمای ۲۶/۷ درجه سانتی گراد تا ۲۰ درصد رقیق سازی می شود دمای محلول نهایی حدوداً ۵۰ درجه سانتی گراد است.

وقتی رقیق سازی هیدروکسید سدیم انجام می شود اثرات حجمی باید در نظر گرفته شود. یک حجم سود وقتی با یک حجم آب رقیق می شود کمتر از دو حجم محلول تولید می کند.

بیشتر خنثی سازها از هیدروکسید سدیم ۱۸ تا ۲۲ درصد استفاده می کنند. این محلول نقطه انجماد پایینی دارد و محلول نمک تشکیل شده در اثر واکنش کامل با کلر کاملاً اشباع شده نیست. اگر محلول اولیه گرم باشد و اگر انتظار می رود مقدار زیادی آب در طول بهره برداری تبخیر شود باید غلظت اولیه پایین تر آورده شود.

در حضور دی اکسید کربن غلظت سود تازه باید کاهش یابد یا سود اضافی در خروجی نهایی بالاتر نگه داشته شود تا مانع از تشکیل بی کربنات و کربنات سدیم شوند که می توانند در محلول رسوب کنند.

## • غلظت نهایی

در خنثی سازهایی که هیپوکلریت سدیم تولید شده به فروش می رسد؛ غلظت نهایی هیدروکسید سدیم معمولاً توسط مشخصات محصول مشخص می شود.

همیشه باید هیدروکسید سدیم اضافی وجود داشته باشد. در غیر این صورت کلر واکنش نخواهد داد. در شرایط حاد حتی کلر می تواند آزاد شود. در فرآیندهای کنترل شده می توان به غلظت های بسیار کم هیدروکسید سدیم باقیمانده رسید. در مواردی که جریان کلر غیر قابل پیش بینی و متغیر است و یا در سیستم هایی با کنترل کمتر نیاز به غلظت های بالایی از سود باقیمانده داریم تا مانع از نشت کلر شویم.

در غلظت‌های بالاتر از ۵ تا ۸ درصد، قدرت هیدروکسید سدیم تاثیر کمی روی ضریب انتقال جرم سیستم دارد. در غلظت‌های پایین‌تر ضریب انتقال جرم سریعاً کاهش می‌یابد و روی اندازه تماس‌دهنده (کتناکتور) تاثیر خواهد گذاشت.

## • حلالیت

تمهیداتی باید در نظر گرفته شود تا مانع از تشکیل یا تجمع جامدات شویم. جامدات می‌توانند به علت انجماد، ورود مواد خارجی یا واکنش شیمیایی در سیستم خنثی‌ساز تشکیل شوند.

وقتی هیدروکسید سدیم با کلر واکنش می‌دهد، نمک تشکیل می‌شود. نمک قابلیت انحلال‌پذیری کمتری از هیدروکسید سدیم دارد و اگر غلظت هیدروکسید سدیم اولیه خیلی بالا باشد و یا اگر آب زیادی در طول فرآیند خنثی‌سازی تبخیر شود نمک می‌تواند رسوب کند.

اگر هوا از میان هیدروکسید سدیم خنثی‌ساز عبور کند، سود دی‌اکسیدکربن هوا را خنثی خواهد کرد. کربنات سدیم تولید شده حلالیت کمتری از نمک دارد و در محلول رسوب‌هایی تولید خواهد کرد؛ در صورتی که نمک به تنهایی کاملاً محلول است.

## ۳-۵ اثرات گرما

جدول ۳-۱ گرمای واکنش و میعان آب را در یک خنثی‌ساز فرضی کلر نشان می‌دهد که با کلر در سرعتی معادل با ۴ تن در ساعت (۱۰۰ تن در روز) به طور آبی واکنش می‌دهد. ردیف "بدون تجزیه شدن" فرض می‌کند که همه کلر واکنش می‌دهد و تولید هیپوکلریت سدیم می‌کند. ردیف "تجزیه شده" فرض می‌کند ۲۵ درصد هیپوکلریت سدیم تولید شده به اکسیژن و نمک تجزیه می‌شود.

**توجه:** تجزیه ۲۵ درصدی ذکر شده تنها یک آیتم فرضی است و فقط به جهت روشن شدن موضوع در نظر گرفته شده است. مقدار تجزیه تحت تاثیر عواملی چون دمای واکنش (تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد عملاً هیچ تجزیه‌ای اتفاق نمی‌افتد بالای این دما تجزیه شروع می‌شود) و وجود ناخالصی‌ها (مثل مس، کبالت، کروم، آهن و منگنز) که می‌توانند واکنش تجزیه را کاتالیز کنند؛ می‌باشد. میزان تجزیه مورد انتظار برای هر سیستم باید بررسی شود. در غیاب سیستم خنک‌کننده خارجی و نداشتن اطلاعاتی در مورد کاتالیست‌های ویژه موجود، تخمین حدودی افزایش دما با فرض تجزیه ۱۰۰ درصد تعیین می‌شود.

جدول ۱-۳ میزان گرما (بار حرارتی) در خنثی‌ساز کلر <sup>۱</sup>		
<b>ورودی کلر خشک</b>		
بدون تجزیه	$5/2 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$	$1/31 \times 10^6 \text{ kcal/hr}$
تجزیه	$6/9 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$	$1/74 \times 10^6 \text{ kcal/hr}$
<b>ورودی کلر مرطوب</b>		
بدون تجزیه	$7/8 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$	$1/97 \times 10^6 \text{ kcal/hr}$
تجزیه	$8/5 \times 10^6 \text{ Btu/hr}$	$2/15 \times 10^6 \text{ kcal/hr}$

<sup>۱</sup> ورودی ۱۰۰ تن در روز فرض می‌شود.

وقتی کلر با مقادیر استیوکیومتری ۱۵ تا ۲۰ درصد سود خنثی می‌شود، حرارت تولید شده می‌تواند محلول را به دمای جوش برساند. سپس بخار آب تولید شده توسط محلول در حال جوش، کلر را رقیق خواهد کرد و راندمان انتقال جرم خنثی‌ساز را کاهش می‌دهد. بنابراین بهتر است دمای محلول را زیر نقطه جوش نگه داریم. انتقال گرما از محلول به سیستم خنک‌کننده خارجی اولین انتخاب بدیهی است. اگر سیستم خنک‌کننده خارجی موجود نباشد و یا استفاده از آن عملی (قابل اجرا) نباشد، کنترل دما می‌تواند با کاهش غلظت هیدروکسید سدیم اولیه و یا خنثی‌سازی با مقادیر اضافه بیشتری از هیدروکسید سدیم انجام شود. نمودارهای ۱-۳ و ۲-۳ اثر افزایش دمای محلول خنثی‌ساز را برای آب اشباع شده با کلر در زمانی که قدرت هیدروکسید سدیم اولیه از ۵ تا ۲۰ درصد تغییر می‌کند و ۱ تا ۴ برابر مقدار استیوکیومتری از هیدروکسید سدیم برای خنثی‌سازی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. در این نمودارها فرض شده است که کلر ورودی با بخار آب در فشار اتمسفری و ۹۵ درجه سانتی‌گراد با ۵ درصد اضافی هیدروکسید سدیم اشباع شده است. خنثی‌سازهای کلر خشک بار حرارتی کمتری از خنثی‌سازهای کلر مرطوب دارند که می‌تواند از داده‌های جدول ۱-۳ تعیین شود.

## ۳-۶ ملاحظات در خصوص تخلیه سیال خنثی‌ساز

### ۳-۶-۱ تخلیه گاز

خروجی (ونت) گاز نهایی از جاذب باید از محلی در بالای تاسیسات، به جو تخلیه شود. نقاط تخلیه باید از هوای ورودی به واحدهای بهره‌برداري دیگر فاصله داشته همچنین از محل کار پرسنل فاصله داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که میزان کلر باقیمانده با استفاده از آشکارساز (دتکتور) یا آنالایزر پایش گردد.

### ۳-۶-۲ تخلیه مایعات خروجی از خنثی‌ساز

اگر محصولات جانبی فروخته یا بازیافت نشوند قبل از تخلیه آن‌ها موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- محدودیت‌هایی در خصوص غلظت هیپوکلریت (کلر آزاد) : غلظت کلر آزاد در تصفیه‌خانه یا خروجی سایت و یا آب دریافتی باید بررسی شود معمولا لازم است کلر فعال را از بین ببریم.
- محدودیت‌هایی در خصوص pH
- محدودیت‌هایی در خصوص مواد آلی کلرینه
- محدودیت‌هایی در خصوص کل جامدات محلول
- محدودیت‌هایی در خصوص فلزات سنگین که ممکن است در اثر تجزیه هیپوکلریت ایجاد شود.

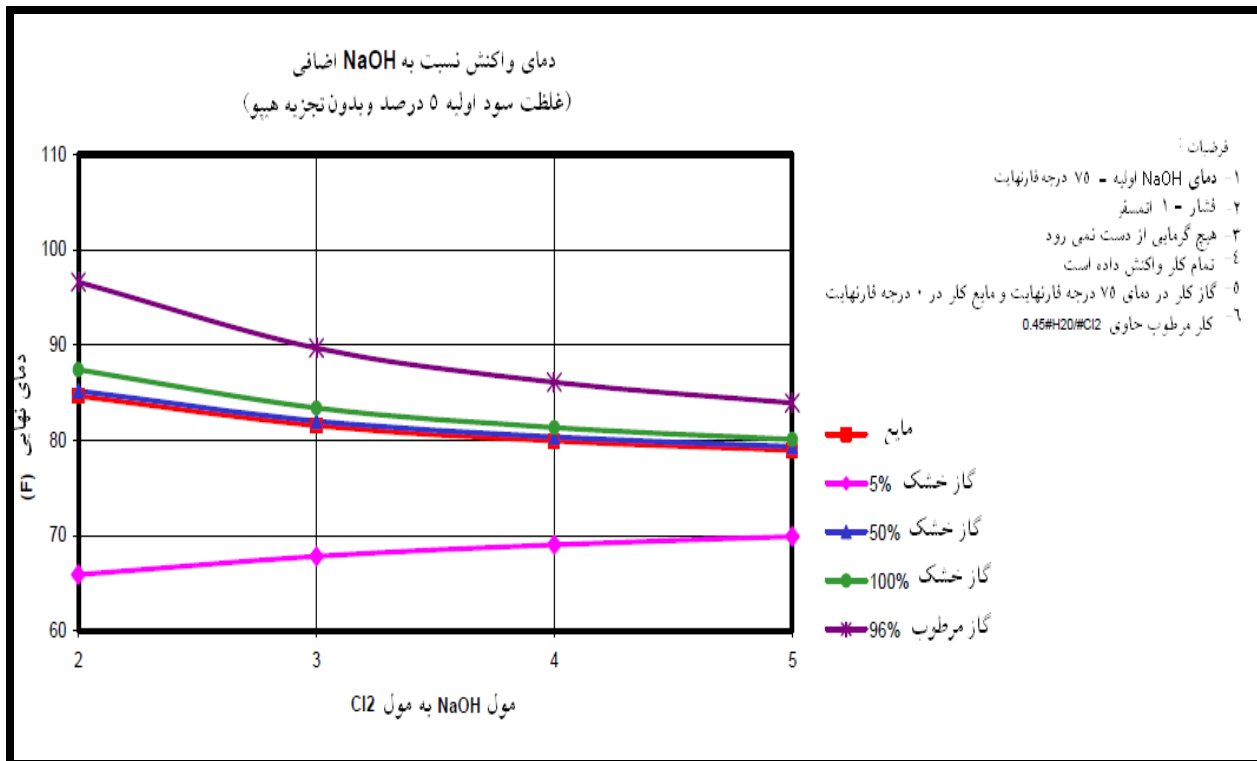
کلر آزاد در پساب خروجی را می‌توان به روش‌های مختلفی از بین برد. یک شیوه رایج این است که مخزن حاوی محلول هیپوکلریت را با بخار تازه حرارت داد. این حرارت‌دهی همراه با حرارت ناشی از تجزیه منجر به تجزیه سریع هیپوکلریت سدیم به اکسیژن و نمک می‌شود.

یک تکنیک دیگر این است که با استفاده از راکتورهایی با کاتالیزور نیکل، کلر فعال را در پساب‌های خروجی از خنثی‌ساز از بین برد.

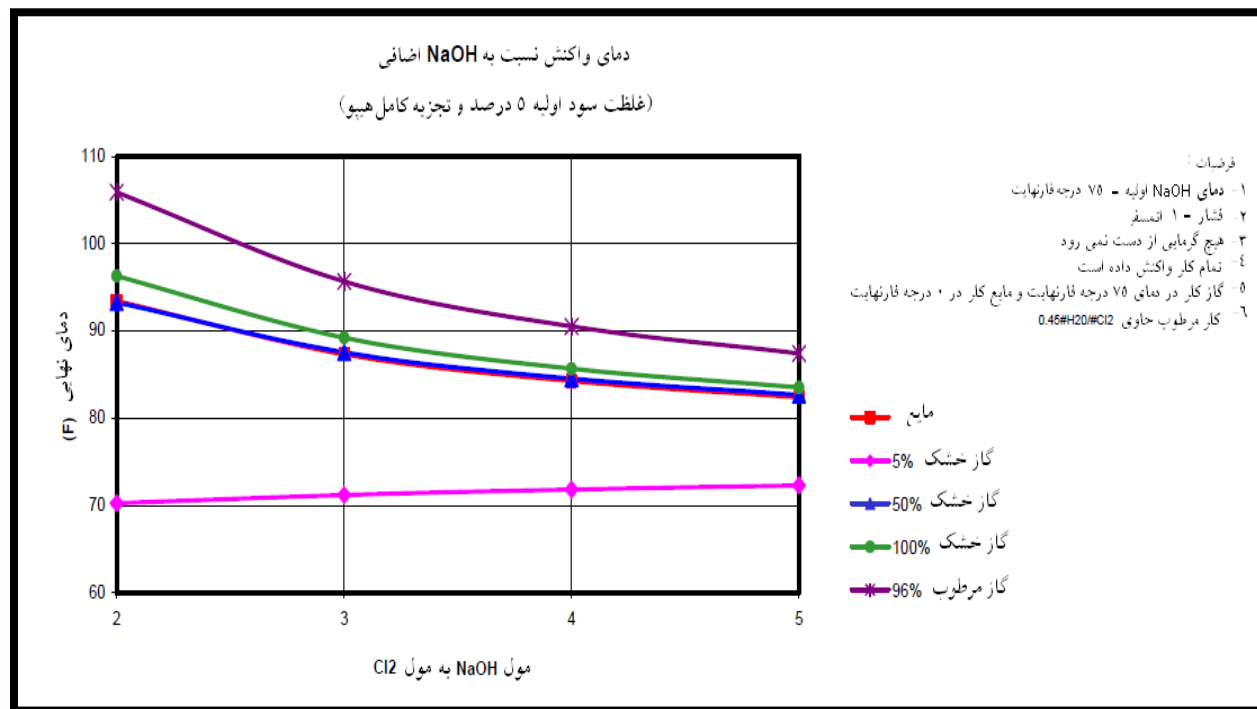
در بعضی موارد استخرهای کم عمق در مجاورت نور استفاده می‌شود تا محلول‌های ضعیف هیپوکلریت را تجزیه کند. تجزیه شیمیایی نیز استفاده می‌شود، اما گاهی اوقات واکنش‌های batch کوچک برای حذف مقادیر باقیمانده کم از هیپوکلریت سدیم استفاده می‌شود. استفاده از مواد شیمیایی خاص ممکن است باعث افزایش تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD) شود؛ بنابراین از لحاظ حدود مجاز برای تخلیه به پساب باید بررسی شود.

**توجه:** اسید هرگز نباید به هیپوکلریت اضافه شود زیرا کلر آزاد می‌شود اما در بعضی موارد این تکنیک جهت تجزیه هیپوکلریت استفاده می‌شود این موضوع نیاز به مهندسی دقیق و توجه ویژه دارد زیرا کلر آزاد می‌شود و نیاز به بازیافت دارد. اگر مایعات خروجی به فاضلاب تخلیه شوند باید توجه داشته باشیم که تماس بین خروجی حاوی هیپوکلریت و مواد آلی یا اسیدی می‌تواند منجر به تشکیل کلر و یا خطر انفجار شود. در نتیجه باید تمام اقدامات احتمالی برای جلوگیری از تماس بخارات خروجی ناسازگار را به کار بگیریم که از آن جمله می‌توان به طراحی مجاری فاضلاب جدا اشاره نمود.

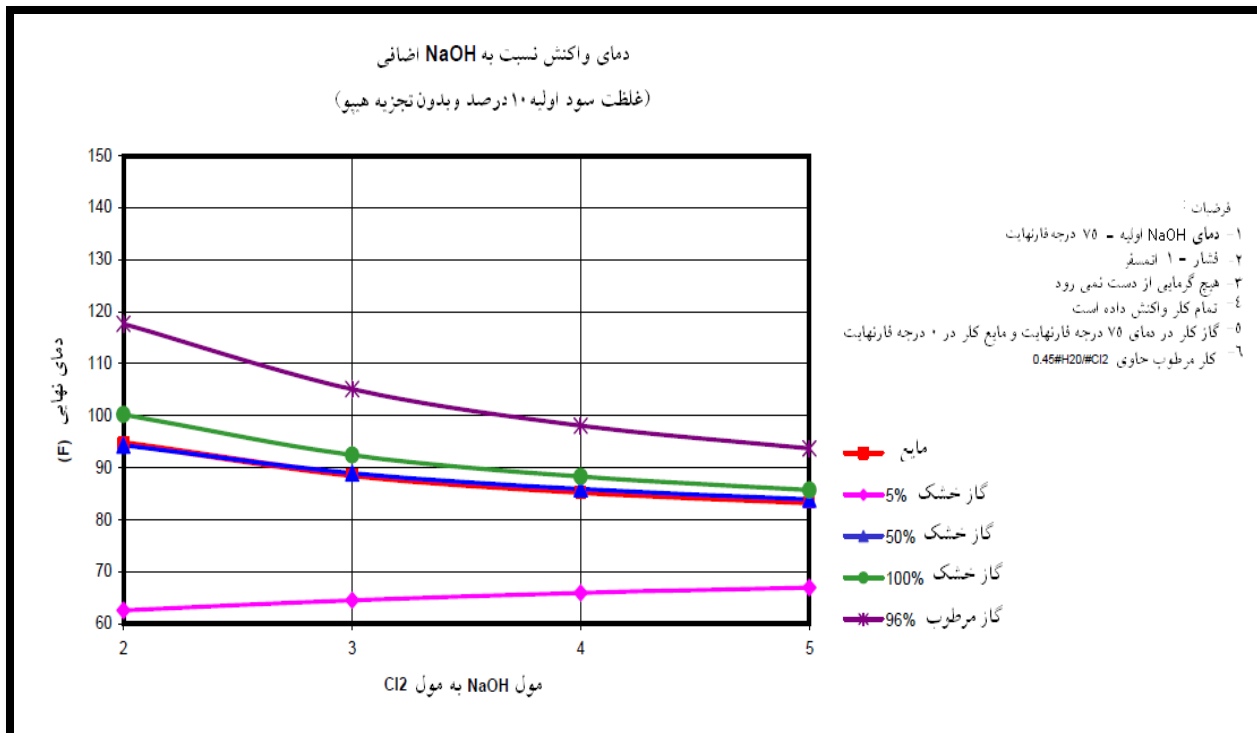




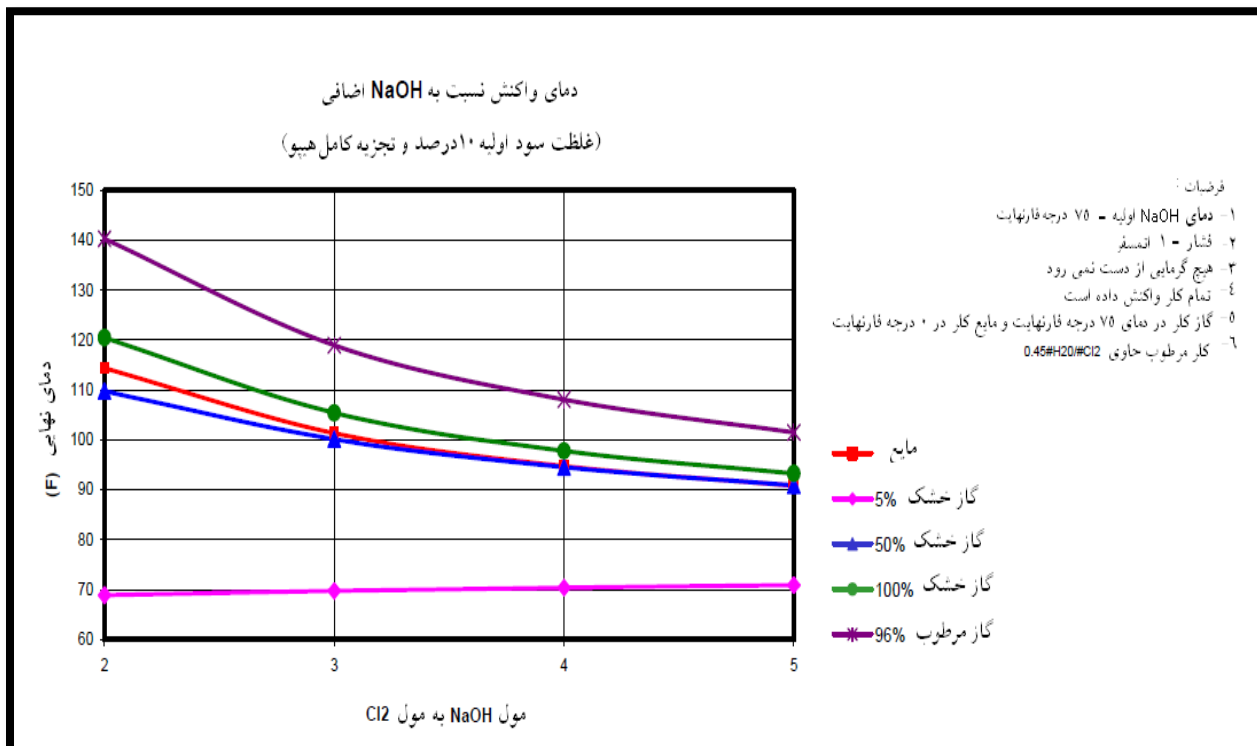
نمودار شماره ۳-۱



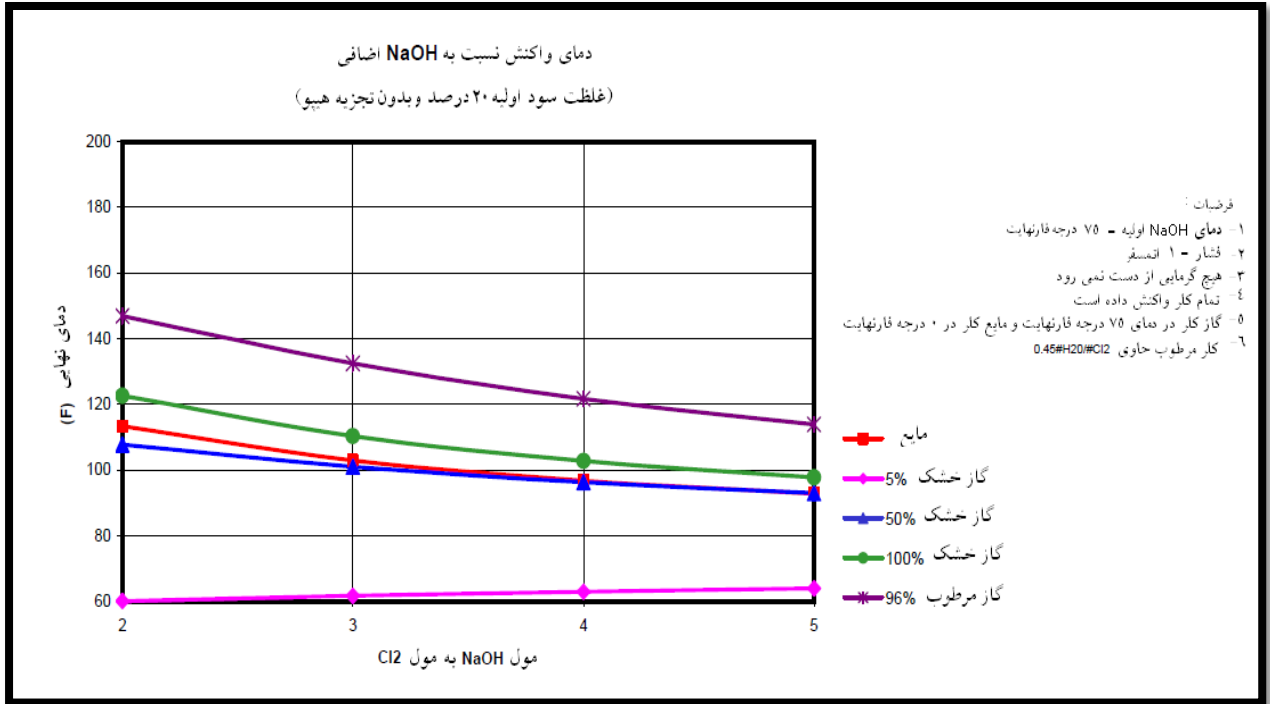
نمودار شماره ۳-۲



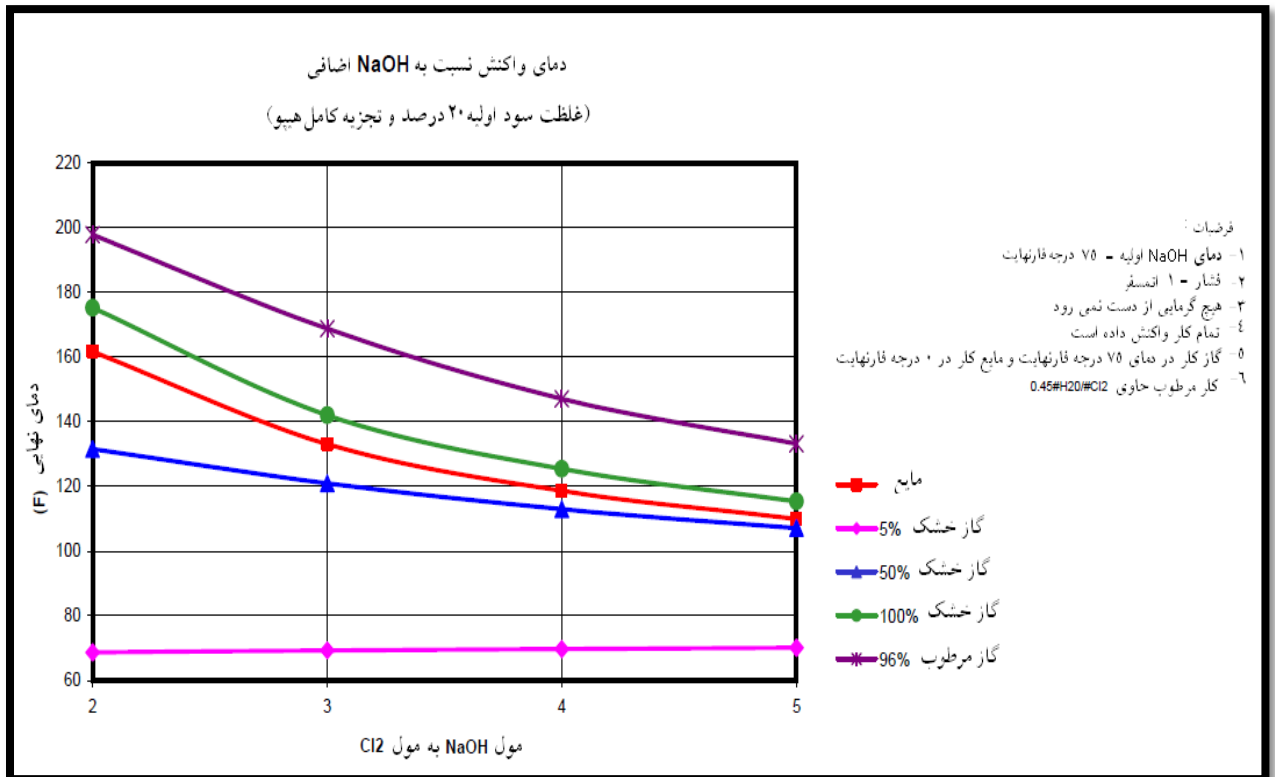
نمودار شماره ۳-۳



نمودار شماره ۳-۴



نمودار شماره ۳-۵



نمودار شماره ۳-۶

## ۴ - طراحی سیستم

### ۴-۱ کلیات

واحد جذب باید برای شرایط بسیار سخت طراحی شود تا غلظت کلر در خروجی سیستم از میزان قابل قبول فراتر نرود. اولین عمل در سیستم خنثی‌ساز، تماس کلر با محلول خنثی‌ساز و حذف آن از فاز گازی است. سیستم‌های خنثی‌ساز کلر نصب می‌شوند تا محدوده وسیعی از جریان‌های گازی فرآیندها را کاهش دهند. بسته به ابعاد و هدف اصلی از نصب خنثی‌ساز و ویژگی‌های جریان گازی که جذب می‌شود گزینه‌های مختلفی برای انتخاب وجود دارد. مثال‌هایی از جریان‌های گازی که خنثی می‌شوند شامل خروجی در فرآیندهای پیوسته، خروجی‌های اضطراری تعبیه شده در سیستم، خروجی‌های ناپیوسته ناشی از انجام عملیات بارگیری و تخلیه و خروجی از محیط‌های آلوده و یا اتاق‌های انبارش کلر می‌باشد. در طراحی یک واحد اضطراری انتخاب پیوسته یا ناپیوسته بودن سیستم بر روش انتقال سیال و روش در تماس آوردن آن‌ها اثر خواهد داشت. در طراحی سیستم‌های اضطراری خنثی‌ساز کلر فرض می‌شود که کلر مرطوب است. در خصوص مکان نصب سیستم‌های خنثی‌ساز باید ایمنی محیط‌های مجاور در نظر گرفته شود. استفاده از تجهیزات ابزار دقیق کمکی و اضافی، عوامل افزایش‌دهنده ایمنی در طراحی، سیستم‌های کمکی آماده به کار و یا منبع تغذیه الکتریکی رزرو باید در نظر گرفته شود.

#### ۴-۱-۱ اصول کار

طراحی واحد جذب باید بر اساس مطالعه ارزیابی ریسک باشد تا در طول تمام شرایط اضطراری (که یک مورد آن می‌تواند مشکل در منبع تامین برق باشد) مانع از تخلیه کلر به جو شویم. عوامل مهمی که باید در نظر گرفته شود شامل:

- ماکزیمم جریان گاز خودبخودی
- ترکیب سازنده جریان گاز
- ماکزیمم مقدار کلر که در شرایط اضطراری جذب می‌شود.

میزان کلر در گاز خروجی از واحد جذب باید پایش شود. طراحی طوری باید باشد که تضمین کند در طول بهره‌برداری عادی این عدد کمتر از  $3\text{mg/m}^3$  است.

**نکته:** کلر تغلیظ شده در مخازن و خطوط تعادل فشار گاز و یا از سیستم‌های انبارش و غیره به طور عادی به فرآیند بازگشت داده می‌شود و یا در هر زمان ممکن جهت استفاده به تصفیه خانه فرستاده می‌شود.

تاسیسات جذب می‌توانند بر اساس یکی از تکنیک‌های زیر باشد:

- سیستم ستون انباشته با چرخش مجدد مایعات
- خنثی‌ساز ونتوری یا اجکتور مایع
- برج اسپری با چرخش مجدد مایعات
- لوله پاشش که در داخل مخزنی پر از واکنشگر غوطه‌ور شده

به طور کلی تفاوت‌های بین این سیستم‌ها می‌تواند به صورت زیر مشخص شود:

- ستون‌های انباشته باید در محدوده‌ای از دما/غلظت/مواد سازنده کار کنند که در آن‌ها رسوب جامد اتفاق نیفتد. مزیت این دستگاه بالاتر بودن حجم نگهداری سود است که حداکثر مقدار کلر را جذب کرده و راندمان بالاتری را نشان می‌دهد. در ستون انباشته در مقایسه با اجکتورها سرعت مایع نسبتاً پایین‌تر است.
- یک سیستم اجکتور سازه ساده‌ای دارد و در آن تنها به یک پمپ جهت انتقال سود و مکش گاز نیاز است؛ این سیستم در غلظت‌های بالا و پایین کلر در گاز خروجی موثر عمل می‌کند و کمتر به رسوب نمک حساس است، اما به فرسایش و ساییدگی حساس می‌باشد؛ این سیستم مصرف برق بالایی دارد و طراحی آن عمدتاً بر اساس تجربه است. ساختار این سیستم ممکن است جهت اطمینان حاصل کردن از غلظت کم کلر در گازهای خروجی نیاز به پشتیبانی یک ستون انباشته داشته باشد؛ اجکتورها معمولاً برای جذب غلظت‌های بالای کلر و یا سرعت‌های بالا مناسب‌ترند.
- به طور کلی استفاده از برج اسپری به دلیل راندمان محدود و مشکل اینکه نمی‌توان غلظت پایین کلر در گازهای خروجی را تضمین کرد توصیه نمی‌شود. استثنائاً در طراحی‌های محافظه‌کارانه و با مستندات قوی و با بازرسی‌های منظم دوره‌ای می‌توان از این سیستم استفاده کرد.
- طراحی سیستم مخزن پاشش به دلیل ریسک عبور کلر و مکش برگشتی سود بسیار حساس است. این سیستم اغلب استفاده نمی‌شود و به علت اینکه قادر به تضمین غلظت پایین کلر در گازهای خروجی نمی‌باشد لذا فقط به عنوان بخشی از سیستم اضطراری (نه در تصفیه نرمال گازهای خروجی) استفاده می‌شود.

#### نکته:

- واحدهای جذبی که برای گاز کلر طراحی می‌شوند معمولاً نزدیک به فشار اتمسفر طراحی می‌شوند، و نه مایع. در مواردی که مقداری کلر مایع می‌تواند در ونت خروجی وجود داشته باشد باید خشک‌کن و وسیله‌های مناسب تشخیص مایع (سطح، دما) در طول خط نصب شود تا قبل از اینکه مایع کلر به واحد جذب برسد آن را به دام اندازیم. سپس امکان تبخیر شدن این کلر مایع و وارد شدن آن به واحد با سرعت قابل قبول وجود دارد.

- ممکن است از ترکیبی از این سیستم‌های مختلف استفاده شود مثلاً ستون انباشته و اجکتور که قبلاً ذکر کردیم و به این صورت عملکرد کلی سیستم ارتقا پیدا می‌کند و محدود کردن غلظت کلر در گاز خروجی تضمین می‌شود.
- وقتی غلظت هیدروژن به دلیل جذب کلر افزایش می‌یابد باید توجه داشته باشیم که از خطر انفجار جلوگیری کنیم؛ تزریق هوای اضافی می‌تواند به کاهش غلظت هیدروژن تا زیر محدوده اشتعال پذیری کمک کند.
- در جایی که کلر با فشار خودش به سیستم فرستاده نمی‌شود بجز اجکتورها می‌توان از فن‌های مکنده استفاده کرد.
- برای حفاظت در مقابل نشست‌های کوچک احتمالی سیال جذب شده، کفپوش محل‌هایی که در آن جذب انجام می‌شود، باید با مواد مقاوم در برابر بلیچ و سود پوشیده شود. سطح باید شیبی داشته باشد که این نشست‌های احتمالی را در یک سیستم فاضلاب مناسب جهت خنثی‌سازی جمع کند.

## ۲-۱-۴ مستندات طراحی

### • تعریف فرآیند

فرآیند با توجه به فرمول مواد سازنده سیستم و موازنه انرژی تعریف می‌شود. در طراحی کلیه سیستم‌های خنثی‌ساز کلر باید جزئیات مواد سازنده و موازنه انرژی در نظر گرفته شود.

مواد سازنده و موازنه انرژی باید موارد زیر را نشان دهد:

- جریان کلر ورودی
  - جریان (نرمال، حداکثر و میانگین)
  - گستره فشار، دما و فرمول ترکیب
- ساخت و ترکیب سیال خنثی‌ساز
  - مقادیر میانگین
  - مقادیر حداکثر/ batch
  - غلظت و دما
- جریان‌های سیال خنثی‌ساز در مخازن تماس (کنتاکتور)
  - سرعت طراحی در ورودی (یا شروع batch) (جریان، فرمول ترکیب، دما)
  - ظرفیت طراحی در ورودی (یا شروع batch) (حجم، فرمول ترکیب، دما)

-سرعت طراحی در خروجی(یا پایان batch)(جریان،فرمول ترکیب، دما)  
- ظرفیت طراحی در خروجی(یا پایان batch)(حجم ، فرمول ترکیب، دما)

- خروج کلر خنثی شده

-جریان(نرمال، حداکثر و میانگین)

-گستره فشار، دما و فرمول ترکیب

- **توصیف سیستم**

نمودار جزئیات لوله کشی و طراحی تجهیزات ابزار دقیق (P&ID) که تمامی اجزای سیستم خنثی ساز را نشان می دهد، یکی از اولین گام های طراحی سیستم است.

P&ID باید شامل موارد زیر باشد:

- کلیه ی تجهیزات

- کلیه ی شیرها و لوله کشی ها

- تجهیزات ابزار دقیق و دستگاه های ایمنی

### ۳-۱-۴ مواد سازنده

در فرآیند انتخاب موادی که جهت ساخت استفاده می شود؛ طراح باید پارامترهای بهره برداری که در آن سیستم خنثی ساز نه فقط تحت شرایط نرمال بلکه تحت شرایط اضطراری استفاده می شود را نیز در نظر بگیرد. غلظت ها و دماهای مختلف هیپوکلریت و هیدروکسید سدیم می تواند روی خوردگی این محلول ها اثر بگذارد. بنابراین شرایط بهره برداری نرمال و اضطراری روی انتخاب مواد سازنده مناسب تاثیر خواهد داشت. هر تاسیساتی باید به طور جداگانه مطالعه شود تا یک سیستم کارا، اقتصادی و ایمن بدست آید. استفاده از مواد نامناسب می تواند منجر به خرابی نابهنگام اجزای سیستم شود.

تیتانیوم یک ماده عالی جهت ساخت اجزای سیستم خنثی ساز می باشد؛ البته تا زمانی که در معرض کلر مرطوب است. وقتی در معرض کلر خشک قرار می گیرد خود بخود مشتعل می شود.

در پیوست ۳ جزئیات موادی که عموماً در سیستم های خنثی ساز استفاده می شوند، آورده شده است.

برای اینکه بحرانی ترین شرایطی که در آن سیستم می تواند کار کند را بتوانیم تعریف کنیم (به عنوان مثال قطعی برق) باید مطالعه HAZOP یا معادل انجام شود؛ این مطالعه به طراحی صحیح سیستم کمک می کند.

## ۴-۲ مخازن تماس (کنتاکتورها)

### ۴-۲-۱ مخزن پاشش

مخازن پاشش از فشار استفاده می‌کنند تا کلر را از میان توزیع‌کننده پخش کنند؛ توزیع‌کننده در پایین و سطح مناسبی از سیال خنثی‌ساز واقع شده است. آنها به سیستم‌های سیرکوله‌کننده (گردش مایعات) وابسته نیستند تا محلول خنثی‌ساز را در تماس با کلر بیاورند. این سیستم ساده و ارزان است و هیچ بخش متحرکی ندارد.

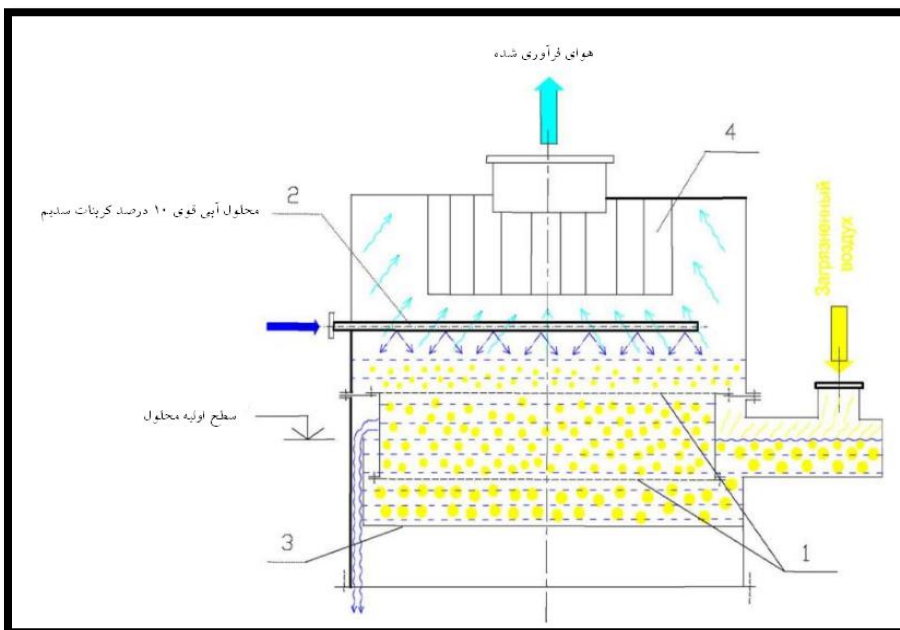
مخازن پاشش چندین عیب دارند که از آن جمله نیاز به غلبه بر هد سطح سیال خنثی‌ساز و افت فشار توزیع‌کننده را می‌توان نام برد. قابلیت خنثی‌سازی به طراحی و بهره‌برداری توزیع‌کننده محدود می‌شود که آن نیز معمولاً محدود به ناپیوسته بودن یا نیمه پیوسته بودن فرآیند می‌باشد.

جهت جلوگیری از احتمال جریان برگشتی محلول خنثی‌ساز به داخل منبع کلر تمهیداتی باید اندیشیده شود. این کار را می‌توان با پایه‌های بارومتریک (وابسته به سنجش فشار هوا)، شیرهای اتوماتیک یا عبور دادن حباب گاز یا استفاده از مخازن میانی انجام داد. استفاده از شیرهای یکطرفه معمولاً بی‌فایده هستند مگر اینکه از آنها همراه با دستگاه‌های دیگر جلوگیری از جریان برگشتی استفاده کنیم.

### ۴-۲-۲ جاذب‌های با پایه فوم (کف)

یک مورد ویژه از تجهیزات با خنثی‌ساز از نوع کف نشان داده شده است که به عنوان مثال در روسیه استفاده می‌شود؛ در آن محلول جاذب به سیستمی فرستاده می‌شود که این سیستم از شبکه‌ای انباشته و سوراخ‌دار تشکیل شده که به مایع (معمولاً محلول کربنات سدیم) و گاز حاوی کلر امکان می‌دهد که تولید کف (سطح تماس زیاد) کند.

این جاذب بالای مخزن ذخیره محلول کربنات نصب می‌شود و در بخش جذب دوباره می‌چرخد.



۱: حفره‌های انباشته

۲: اسپری کردن محلول

۳: برگشت محلول به مخزن از پایین

۴: تله مایع



**نکته:** اسپری کردن محلول جاذب را می‌توان با یک سیستم پاششی جایگزین نمود.

### ۴-۲-۳ برج‌های اسپری

این دستگاه معمولاً برای بهره‌برداری از جریان معکوس طراحی شده و دارای لایه‌های متعدد از نازل‌های اسپری است که با هم همپوشانی دارند. طراحی ساده آن‌ها بدین مفهوم است که آن‌ها از مواد مقاومی ساخته شده‌اند که نسبتاً ارزان است. افت فشار فاز گازی کم است و وجود مسیرهای گاز نامحدود این امکان را به برج‌های اسپری می‌دهد تا مقادیر نسبتاً زیاد جامدات در محلول‌های خنثی‌ساز را با انتخاب نازل مناسب و انتخاب و طراحی صحیح لوله‌کشی، پمپ‌ها و شیرها و ... کنترل کند.

معایب برج‌های اسپری، تعداد محدود مراحل تماس با استفاده از یک منبع چرخاننده (سیرکوله) واحد و مشکل پیشگویی عملکردی است که با استفاده از تجربه یا انجام آزمایشات در تصفیه‌خانه انتظار داریم. به علاوه برج‌های اسپری نیاز به یک سیستم گردش سیال خنثی‌ساز دارند که می‌تواند مستعد گرفته شدن نازل‌ها باشد.

### ۴-۲-۴ برج‌های سینی و انباشته

برج‌های خنثی‌ساز یا به صورت انباشته ساخته می‌شوند یا از سینی‌هایی ساخته شده‌اند که در این صورت برج‌هایی هستند که انتقال جرم خوبی برای جذب کلر دارند. جریان‌ها معمولاً مخالف هم هستند؛ گاز از پایین برج وارد می‌شود و سیال خنثی‌ساز از بالای برج، این مساله باعث ایجاد تماس چند مرحله‌ای می‌شود. عملکرد سیستم به آسانی قابل پیش‌بینی است. برج‌های انباشته معمولاً رایج‌تر از برج‌های با سینی هستند زیرا ارزان‌تر بوده و افت فشار کمتری دارند. در برج‌های انباشته لازم است توزیع خوب مایع به بالای برج انجام شود تا مرطوب‌سازی کامل مواد پرکننده تضمین شود که این موضوع برای عملکرد صحیح برج لازم است.

از معایب برج‌های سینی و برج‌های انباشته؛ مستعد بودن آن‌ها به گرفتگی، افت فشار متوسط تا زیاد و هزینه‌های بالای آن‌ها می‌توان نام برد.

### ۴-۲-۵ خنثی‌سازهایی از نوع مکنده

این دستگاه از یک جریان مایع با فشار بالا جهت ایجاد خلا استفاده می‌کند. این خلا جریان خروجی کلر را به داخل مکنده می‌کشد که در آنجا تماس نزدیک با سیال خنثی‌ساز اتفاق می‌افتد. این موضوع اغلب نیاز به استفاده از یک حرکت‌دهنده گاز را حذف می‌کند. جهت ایجاد مقاومت در برابر خوردگی عموماً پلاستیک و تیتانیوم جهت ساختن این دستگاه‌ها استفاده می‌شوند.

انتقال جرم محدود به مرحله اول در هر واحد (یونیت) است؛ دستگاه‌ها اغلب سری‌های چندمرحله‌ای هستند تا حذف مناسب و کافی کلر را فراهم نمایند.

### ۶-۲-۴ خنثی‌سازهای سیلیکونی

این سیستم‌ها برای زمانی که کلری که می‌خواهد خنثی‌سازی شود حاوی ذراتی است که باید از جریان گازی حذف شود بسیار مفید می‌باشد. این سیستم‌ها اغلب به صورت سری با مکنده‌ها یا سیستم‌های ونتوری استفاده می‌شوند و اقتصادی بوده و می‌توانند جایگزینی برای انواع دیگر خنثی‌سازها باشند.

### ۲-۵ حرکت‌دهنده‌های کلر

انتخاب یک دستگاه مناسب برای انتقال کلر به خنثی‌ساز کلر وابستگی زیاد به یک سیستم ویژه دارد. طراحی به فشار سیستم فرآیند، افت فشار در سیستم خنثی‌ساز، جریان‌های خروجی و اینکه آیا کلر مرطوب است یا خشک، بستگی دارد.

### ۱-۳-۴ فشار فرآیند

کلر با استفاده از فشار بخار خودش می‌تواند از تجهیزات فرآیند به سیستم خنثی‌ساز منتقل شود. باید توجه داشته باشیم که وقتی فشار افت می‌کند به دلیل کاهش دمایی که اتفاق می‌افتد امکان آسیب دیدن تجهیزات وجود دارد لذا باید از این موضوع جلوگیری نماییم.

### ۲-۳-۴ مکنده (اجکتور یا خنثی‌سازهای ونتوری)

مکنده یک وسیله مکانیکی ساده است که هیچ بخش متحرکی ندارد. مکنده از سیال خنثی‌ساز جهت حرکت دادن و وارد کردن کلر استفاده می‌کند.

در بخش کلر مکنده باید از موادی ساخته شود که برای بخش کلر مرطوب مناسب باشد و در برابر خوردگی مقاوم باشد.

### ۳-۳-۴ کمپرسورها

وقتی محتوای آب در کلر همیشه بالای ۲۰۰۰ ppm است کمپرسورهای با حلقه مایع تیتانیوم استفاده می‌شود (با استفاده از آب به عنوان سیال نشت‌بند). تخصص در طراحی خاص مورد نیاز است.

### ۴-۳-۴ دمنده‌ها

عبارت "دمنده" یک عبارت رایج صنعتی است که به کمپرسورهای سانتریفوژ تک مرحله‌ای اشاره دارد. معمولاً یک دمنده حجم‌های زیادی را در فشارهای پایین تخلیه آزاد می‌کند. دمنده‌های FRP یا تیتانیوم برای بخش‌های کلر مرطوب استفاده می‌شود. دمنده‌های استیل یا آلیاژ ۲۰ می‌توانند در بخش کلر خشک استفاده شود.

## ۴-۴ حرکت دهنده‌های محلول خنثی‌ساز

محلول‌های خنثی‌ساز معمولاً با استفاده از یک پمپ سانتریفوژ منتقل می‌شوند اما جاذبه یا تغذیه از مخازن تحت فشار نیز می‌تواند در نظر گرفته شود. مشخصات پمپ، طراحی مخزن نگهداری سیال و نیاز به نشت‌بند پمپ باید برای هر کاربردی طراحی و ساخته شود. موارد زیر توضیحاتی در خصوص پمپ کردن سود و هیپوکلریت است:

### • پمپ‌های سانتریفوژ

در پمپ کردن محلول‌های مختلف هیپوکلریت، مواد سازنده پمپ بستگی به دما و غلظت محلول دارد. بعضی از مواد غیرفلزی مقاوم به خوردگی در شرایط محدود به خوبی کار می‌کنند. تیتانیوم ممکن است در هر دمایی استفاده شود. وقتی از تیتانیوم استفاده می‌کنیم مهم است مرطوب‌سازی کامل حفظ شود.

در پمپ کردن محلول هیدروکسید سدیم (هیپوکلریت آزاد) به سیستم‌های خنثی‌کننده، عموماً ساختار تمام آهنی مناسب است؛ هر چند پمپ‌های نیکلی و آلیاژ نیکلی طول عمر طولانی‌تری دارند. بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد پمپ‌های نیکلی و آلیاژ نیکلی باید استفاده شود.

### • اختلاف فشار

سود می‌تواند از مخازن هوایی یا از مخازن تغذیه تحت فشار وارد خنثی‌ساز شود. این سیستم‌ها به ویژه در طول شرایط ناپایدار جهت اطمینان از تامین خوراک مفید خواهند بود (به عنوان مثال در طول زمان مورد نیاز برای در مدار قراردادن منبع تغذیه پشتیبان یا کمکی)

## ۴-۵ مبدل‌های حرارتی

به دلایل مختلف مطلوب است گرمای واکنش و گرمای محلول سود را حذف نماییم (به عنوان مثال کاهش تشکیل کلرات، محدودیت‌های طراحی دما در تجهیزات و غیره). رایج‌ترین ماده مورد استفاده در سطوح انتقال حرارت تیتانیوم است.

## ۴-۶ ذخیره‌سازی و تجزیه

مخازن ذخیره محلول‌های خنثی‌کننده و/ یا مخازن تجزیه محلول‌های خنثی‌کننده‌ی مصرف شده ممکن است با توجه به استفاده‌ی نهایی تغییر کند (یعنی فروش و یا تجزیه محصول جانبی هیپوکلریت). اگر محلول فروخته شود، سیال معمولاً در طول فرآیند خنثی‌کنندگی سرد می‌شود و به صورت یک محلول هیپوکلریت سرد در مخازن با روکش استیل یا مخازن پلی اتیلینی و مخازن پلاستیکی تقویت شده فایبر گلاس وینیل استری ذخیره می‌شود. روکش‌هایی که ممکن است اقتصادی

باشند حاوی کلروبووتیل، لاستیک‌های پروپیلن اتیلن و پلی وینیل کلراید است که بسته به دما انواع مختلفی از این روکش‌ها ممکن است استفاده شوند.

مخازن تجزیه معمولاً با محلول‌هایی با دمای بالا سروکار دارند؛ بنابراین این مخازن در بخش‌های شدیداً تهاجمی هستند. در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از تیتانیوم، استیل با روکش آجری و در بعضی موارد استیل با روکش پلاستیکی به عنوان مواد سازنده این مخازن انتخاب می‌شوند.

## ۴-۷ کنترل‌ها

نوع و تعداد تجهیزات ابزار دقیق مورد نیاز با توجه به نوع سیستم خنثی‌کننده انتخاب شده، شرایط دستگاه و میزان اتوماتیک بودن مورد نیاز تعیین می‌شود.

به طور کلی کلید کنترل موفق، دسترسی به اطلاعاتی در خصوص شرایط بهره‌برداری است. حداقل تجهیزات ابزار دقیق که توصیه می‌شود شامل موارد زیر است:

- دتکتورهای گاز کلر در خروجی دودکش ونت خنثی‌ساز
- پایش دمای محلول‌های خنثی‌سازی
- آلارمی برای اعلام جریان کم سیال خنثی‌ساز

همچنین طراح باید نیاز به تجهیزات ابزار دقیق را در محدوده‌های زیر ارزیابی نماید:

- دتکتورهای گاز کلر در محدوده فرآیند خنثی‌سازی جهت پایش محیط پیرامون
- فشار (محلول‌های پمپ شونده، فرآیند کلر و خروجی شیر اطمینان)
- دما (مایعات خنثی‌کننده)
- شاخص نقطه نهایی مایع خنثی‌کننده (پتانسیل اکسایش-کاهش)
- سطح (مخازن ذخیره و واکنش)؛ و
- اندازه‌گیری جریان (مایعات خنثی‌کننده)

### نکته:

- pH شاخص دقیقی برای تعیین پیشرفت واکنش نیست.
- اگرچه پتانسیل اکسایش/کاهش به تنهایی شاخص مفیدی برای پیشرفت واکنش و نقطه پایانی واکنش است با این وجود باید با یک واحد آنالیز ثانویه و یا آنالیز آنالیز دوره‌ای سیال خنثی‌کننده پشتیبانی شود.

- آلامی باید در نظر گرفته شود که به پرسنل احتمال بروز مشکل در کارکرد یا کارکرد غیرعادی واقعی را هشدار دهد.
- منبع تغذیه الکتریکی رزرو باید در نظر گرفته شود.
- برای تضمین بازده نصب تاسیسات، باید شرایط خوب را حفظ کرده و از کالیبراسیون دوره‌ای ابزارهای اصلی و حیاتی اطمینان حاصل کنیم.
- خاموش یا روشن کردن می‌تواند دستی یا اتوماتیک باشد، نیازها و طراحی موقعیت این موضوع را مشخص می‌کند.
- محل تجهیزات ابزار دقیق باید مطابق با استاندارد NEMA 4X باشد این استاندارد حداقل‌ها را جهت حفاظت از خوردگی تضمین می‌کند. تمامی قوانین بومی را مرور نمایید.

## ۴-۸ آنالیز

جهت کسب اطمینان از اینکه محلول قدرت کافی (قلیابیت) داشته و می‌تواند از عهده مقدار آزادسازی کلری را که در آن سیستم طراحی شده است برآید، آنالیز دوره‌ای محلول خنثی‌کننده پیشنهاد می‌شود. به طور معمول آنالیز قدرت محلول با تیتراسیون تعیین می‌شود. باید توجه داشته باشیم که قلیابیت کربناتی با قلیابیت سود تفاوت دارد. تواتر انجام آزمون باید طوری تنظیم شود که از عملکرد صحیح فرآیند جذب در هر زمان اطمینان حاصل کنیم.

## ۴-۹ قابلیت اطمینان

صرف‌نظر از نوع طراحی یا پیکربندی (موقعیت و وضعیت) خنثی‌ساز، قابلیت اطمینان به سیستم یک جزء ضروری است تا به‌طور موفقیت‌آمیزی نشت گاز را تصفیه نماید. همانطور که قبلاً گفتیم نوع تجهیزات ابزار دقیق می‌تواند بسته به نوع خنثی‌ساز تغییر کند اما در اینجا سوالاتی باید در نظر گرفته شود:

- وقتی کلر وارد آن می‌شود سیستم خنثی‌ساز چطور آن را تشخیص خواهد داد.
- پاسخ به تشخیص کلری که وارد آن شده است چه خواهد بود
  - کنترل اتوماتیک
  - اقدامات دستی اپراتور
- اگر سیستم خنثی‌ساز نتواند کلر ورودی را تشخیص دهد و یا کنترل‌های اتوماتیک عمل نکنند نتیجه چه خواهد بود؟ آیا مداخله دستی جهت کاهش حادثه صحیح است؟ وگرنه بعضی از جنبه‌های زیر باید در نظر گرفته شود:
  - استفاده از تجهیزات ابزار دقیق اضافی (رزرو). این موضوع می‌تواند شامل دستگاه اضافی جهت تشخیص کلر ورودی به خنثی‌ساز و نیز سیستم‌های کنترل کمکی‌ای باشد که سیال خنثی‌کننده را تامین کند.

- تامین/تحويل مطمئن سیال خنثی کننده. سیستم‌های رزرو و/ یا منبع تغذیه الکتریکی رزرو باید در نظر گرفته شود. احتمالاً حتی منابع کمکی تامین سیال خنثی کننده.

- آنالیز دوره‌ای محلول خنثی کننده انجام شود تا اطمینان حاصل کنیم سیال خنثی کننده قدرت کافی برای فائق آمدن بر حادثه را دارد.

تشخیص و واکنش مناسب المان‌هایی از سیستم هستند که باید قابل اعتماد باشند. در زیر اقداماتی که می‌تواند جهت بهبود قابلیت اعتماد به سیستم‌های خنثی‌ساز در نظر گرفته شود آمده است:

- از دستگاه‌هایی که کلر ورودی به خنثی‌ساز را تشخیص می‌دهند مثل آنالایزرها، فرستنده‌های فشار جریان‌سنج‌ها، ORP مترها و غیره اطمینان حاصل کنیم که برای این کار باید موارد زیر در نظر گرفته شود:
  - کالیبره کردن یا چک کردن در یک فرکانس از قبل تنظیم شده
  - اگر آن‌ها کمکی در نظر گرفته شده باشند، سیستم نمونه مشابه یا خط تجهیزات ابزار دقیق محقق نمی‌شود.
  - کل سیستم به صورت دوره‌ای مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد تا از عملکرد خوب آن اطمینان حاصل کنیم.
- درحالی که جزئیات دقیق پیشگیری از اشباع شدن از کلر ممکن است تغییر کند مهم است که چندین محدوده طراحی جهت بهبود قابلیت اطمینان به سیستم عنوان شود:
  - هرچند سیستم خنثی‌ساز بکار گرفته می‌شود باید همیشه سود کافی برای خنثی‌سازی کلر موجود باشد. براساس زمان مورد نیاز جهت متوقف کردن امن جریان کلر به خنثی‌ساز در شرایط غیرمنتظره، باید همیشه حداقل مقدار سود موجود باشد.
  - در همه‌ی سیستم‌های خنثی‌ساز کلر و سیستم‌های ساخت بلیچ حداقل یک دستگاه اندازه‌گیری آنلاین (آنالیز کلر در گاز خروجی، فشار تامین سود برای برج اسپری یا مکنده، دمای سود، غلظت سود و غیره) باید دائماً موثر بودن/توانایی سیستم برای خنثی کردن/مصرف کلر را پایش کند. اگر مشکلی شناسایی شود جریان کلر باید قطع شود و یا سود اضافی باید به سیستم فرستاده شود.
  - در همه سیستم‌های خنثی‌ساز کلر به سبک مخزن پاششی یا سیستم‌های ساخت بلیچ باید مانع از آزادسازی کلر به جو شویم. با وجود داشتن این سیستم (سیستم‌های خنثی‌ساز کلر به سبک مخزن پاششی یا سیستم‌های ساخت بلیچ) لایه‌های صحیح حفاظتی باید در محل باشد (براساس آنالیز ریسک) تا مانع از اشباع شدن از کلر و آزادسازی کلر به اتمسفر شویم. ملاحظات ویژه‌ای جهت مسیریابی ونت خروجی از دستگاه‌هایی که به طور منظم در مقادیر کم سود در سیستم خنثی‌ساز کار می‌کنند باید در نظر گرفته شود.

## ۵ - ملاحظات ایمنی سیستم

سیستم‌های خنثی‌ساز کلر همیشه باید در دسترس باشد و اقداماتی باید انجام شود تا تضمین کند که وقتی مورد نیاز است به درستی کار می‌کند.

تعریف اقدامات ایمنی برای سیستم‌های خنثی‌ساز کلر با مطالعات آنالیز ریسک بدست می‌آید؛ اگرچه می‌توان جنبه‌های زیر را در نظر گرفت.

برای سیستم‌هایی که برای فشار منفی طراحی شده‌اند، این شرط باید تضمین شود، مثلاً یک فن در مدار بهره‌برداری باشد و یک فن رزرو نیز نصب گردد (که در صورتی که فن در مدار دچار نقص گردید به طور اتوماتیک فن رزرو شروع به کار کند) به علاوه یک فن کامل (یا حداقل بخش‌های اصلی یک فن) باید در انبار نگهداری شود.

باید از سیرکوله شدن دائمی نیز باید اطمینان پیدا کنیم، مثلاً در کنار پمپ در مدار بهره‌برداری یک پمپ رزرو نیز نصب شود؛ به علاوه یک پمپ یدکی (یا حداقل بخش‌های مهم یک پمپ) در انبار نگهداری شود. همچنین باید مقدار مناسبی سود وجود داشته باشد تا برای استفاده در سیستم آماده باشد.

براساس نتایج ارزیابی ریسک، در نظر گرفتن ظرفیت نصب، ممکن است به یک خنثی‌ساز اضافی به همراه خنثی‌سازی که در مدار است نیاز داشته باشیم تا از ایمنی سیستم اطمینان حاصل کنیم؛ این مورد زمانی که جریان گاز حاوی کلر به طور مداوم به واحد جذب در حال کار وارد می‌شود حائز اهمیت است.

اگر سیستم متکی بر منبع تغذیه الکتریکی است یک منبع تغذیه مستقل به عنوان پشتیبان باید نصب شود (به عنوان مثال یک دیزل ژنراتور یا باتری‌های DC با یک مبدل)؛ این منبع تغذیه پشتیبان باید تامین برق سیستم جمع‌آوری گاز، پمپ‌های سیرکوله سود، تجهیزات کلیدی فرآیند و روشنایی محل را فراهم کند؛ یک سویچ خودکار از شاخه‌های اصلی به منبع تغذیه اضطراری باید پیش‌بینی شود و تست‌های دوره‌ای باید روی منبع تغذیه اضطراری انجام شود، به‌علاوه سیستم سوئیچ باید قابلیت ثبت این تست‌ها را داشته باشد. در بعضی موارد بسته به نتیجه ارزیابی ریسک، یک سیستم پشتیبان دابل همراه با دو محلول مختلف توصیه می‌شود.

در صورت فقدان هواساز یا تجهیزات تامین برق (براساس مطالعه ریسک)، وضعیت امن شیرها باید به درستی طراحی شود (باز یا بسته).

اگر سیستم خاموش کردن اضطراری (ESD) تصفیه‌خانه در سیستم کنترل شبکه توزیع (DCS) دچار نقص شود سیستم جذب کلر باید در حال کار و حتی قابل کنترل نگهداشته شود.

بر حسب وقفه‌های احتمالی در منبع تامین، بعضی بخش‌های یدکی خاص (به عنوان مثال گیج آنالایزرها) باید در انبار موجود باشد.

به دلیل نقش کلیدی این تاسیسات در ایمنی، بازرسی منظم و نگهداری توسط پرسنل با صلاحیت براساس روش‌های نوشته شده بسیار مهم و حیاتی است.

## ۶ - مراجع

- <sup>۱</sup>-*Chlorine Manual*, ed. 6; Pamphlet 1; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **1997**.
- <sup>۲</sup>-*Piping Systems for Dry Chlorine*, ed. 15; Pamphlet 6; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2005**.
- <sup>۳</sup>-*Chlorine Pipelines*, ed. 6; Pamphlet 60; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2007**.
- <sup>۴</sup>-*Emergency Shut-Off Systems Bulk Transfer of Chlorine*, ed. 4; Pamphlet 57; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2003**.
- <sup>۵</sup>-*Recommended Practices for Handling Chlorine Tank Cars*, ed. 4; Pamphlet 66; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2007**.
- <sup>۶</sup>-*Recommendations to Chlor-Alkali Manufacturing Facilities for the Prevention of Chlorine Releases*, ed. 4; Pamphlet 86; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2001**.
- <sup>۷</sup>-*Explosive Properties of Gaseous Mixtures Containing Hydrogen and Chlorine*, ed. 2; Pamphlet 121; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **1992**.
- <sup>۸</sup>-*Sodium Hydroxide Solution and Potassium Hydroxide Solution (Caustic): Storage Equipment and Piping Systems*, ed. 3; Pamphlet 94; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2007**.
- <sup>۹</sup>-*Dry Chlorine: Definitions and Analytical Issues*, ed. 3; Pamphlet 100; The Chlorine Institute: Arlington, VA, **2002**. OTHER PUBLICATIONS
- <sup>۱۰</sup>-*Chlorine, Its Manufacture, Properties and Uses*, J. S. Sconce, published by Robert E. Krieger Publishing Company, **1962**
- <sup>۱۱</sup>-*Sodium Hypochlorite: Its Application and Stability in Bleaching*, Bommaraju, Tilak V., Water Qual. Res. Journal of Canada, Vol. 30, No. 2, 339-361, **1995**
- <sup>۱۲</sup>-GEST 76/52, Equipment for the Treatment of Gaseous Effluent Containing Chlorine
- <sup>۱۳</sup>-GEST 79/82 - Materials of Construction for Use in Contact with Chlorine
- <sup>۱۴</sup>-Safety Rules for the Safe Production, Storing, Transportation, and Use of Chlorine, approved by the Federal Committee for Mining and Industrial Supervision (Rostekhnadzor) with number PB 09-594-03 (available only in Russian)
- <sup>۱۵</sup>-Technical Data Book on Chlor-Alkali Industry, chap. 5



### روش محاسبه برای واحد جذب کلر

#### ۱. مقدمه

هدف از این پیوست توضیح مفصل اصول طراحی فصل ۴ است که برای واحدهای جاذب معمولی استفاده می‌شود. این پیوست با این فرض نوشته شده است که جاذب انتخاب شده یک محلول است و نه یک مخلوط نیمه مایع، (به طور مثال محلول هیدروکسید سدیم)؛ اگر جامد در جاذب وجود داشته باشد اصول طراحی ویژه دیگری باید در نظر گرفته شود.

#### ۲. مشخصات مورد نیاز واحد جذب

برای شروع طراحی واحد جذب لازم است که کمیت‌های زیر را مشخص کنیم:

- سرعت جریان ماکزیمم گاز و مقدار کل کلر
- کل دوره زمانی که در آن جریان اتفاق می‌افتد.
- ترکیب گاز
- دمای گاز
- ماکزیمم غلظت مجاز کلر در خروجی جاذب
- هر محدودیت افت فشار در جاذب

معمولاً فرض می‌شود که سیستم ونت خروجی طوری طراحی شود که اطمینان حاصل شود که هیچ کلر مایعی از منبع نشر به سیستم جاذب نخواهد رسید.

#### ۳. تعریف واحد (یونیت)

فرض می‌شود واحد جذب متشکل از برج انباشته-تصادفی باشد که گاز و جاذب در جریان مخالف یا معکوس هم باشند. موجودی جاذب، مناسب برای جذب کلر، در مخزن سیرکوله در زیر برج نگه داشته شده و جاذب متناوباً توسط یک پمپ و از طریق یک تبادله‌گر حرارتی که با آب خنک می‌شود به برج سیرکوله می‌شود. جریان گاز از انتهای ستون برج وارد می‌شود و هر ماده خنثی موجود در گاز از بالا به اتمسفر ونت می‌شود. بسته به فشار منبعی که فرض شده از آن گاز خارج می‌شود ممکن است لازم باشد یا نباشد که بعد از جاذب یک فن نصب شود تا هر ماده خنثی به اتمسفر ونت شود.

## ۴. اندازه تجهیزات

در هر تمرین طراحی، لازم است که اندازه تجهیزات و شرایط فرآیند را انتخاب کنیم که ضمناً تمامی الزامات گوناگون طراحی را برآورده نماید. این مساله تاکید می‌کند که ممکن است بیش از یک روش گام به گام احتمالی جهت محاسبه اندازه و شرایط مورد نیاز وجود داشته باشد. به علاوه تاکید می‌کند که برای هر روش گام به گام انتخاب شده ممکن است امکان رفتن به توالی طرح در یک مسیر منفرد وجود نداشته باشد، بررسی اینکه آیا مقادیر انتخاب شده یا محاسبه شده در هر مرحله تمامی الزامات طرح را رعایت می‌کند ضروری خواهد بود و اگر الزامات خاصی را رعایت نکرد امکان بازگشت به مرحله قبلی روش وجود داشته باشد.

بنابراین روش گام به گام جهت تعیین اندازه واحد جذب که در اینجا شرح داده شد ضرورتاً تنها روشی نیست که می‌توان استفاده کرد.

### مرحله اول- انتخاب پرکننده برج

این کار معمولاً بر اساس تجربیات قبلی انجام می‌شود. لازم است اطمینان حاصل کنیم که قطر مواد پرکننده انتخاب شده به عنوان جزئی از قطر داخلی برج خیلی بزرگ نباشد. وقتی قطر برج محاسبه می‌شود این شرط باید در مرحله بعدی محاسبه تایید شود.

### مرحله دوم- انتخاب قانون مرطوب‌سازی

مقدار انتخاب شده باید بزرگتر از بعضی از مینیمم‌ها باشد تا اطمینان حاصل کنیم که مواد پرکننده به طور کامل با جاذب مرطوب می‌شوند. همچنین این مقدار باید کافی باشد تا اطمینان حاصل کنیم که کل جریان جاذب در برج جهت جذب جریان کلر در گاز ورودی مناسب است بدون اینکه دما را در انتهای برج خیلی بالا ببرد که این موضوع در مرحله بعد باید محاسبه شود.<sup>۶</sup>

در عمل، در تعیین سرعت مرطوب‌سازی مواد پرکننده، نیاز به رعایت معیار دوم جریان جاذب به جریان ورودی کلر بدون داشتن قطر بزرگ برای برج که غیراقتصادی هم است؛ مهم‌تر است. در هر صورت ضروری است در تعیین سرعت‌های مرطوب‌سازی از مرطوب‌سازی کامل مواد پرکننده اطمینان حاصل کنیم.

---

<sup>6</sup> Kister, H.Z., Distillation Design, McGraw-Hill, page 514

## مرحله سوم - انتخاب درصد سرریز شدن<sup>۷</sup> که در آن سیستم کار خواهد کرد

مقدار انتخاب شده مجددا بر اساس تجربیات قبلی خواهد بود و لازم است که این مقدار کمتر از، به طور مثال ۶۰ درصد، باشد تا اطمینان حاصل کنیم درحین بهره‌برداری سرریز شدن اتفاق نمی‌افتد.

## مرحله چهارم - محاسبه قطر داخلی برج

سرعت ظاهری گاز که معادل شرایط سرریز شدن باشد می‌تواند از توابع همبستگی سرریز شدن برج انباشته<sup>۸</sup>، با استفاده از سرعت مرطوب‌سازی انتخاب شده و خواص فیزیکی گاز و مایع محاسبه شود. از این سرعت سرریز شدن و درصد سرریز شدن که در مرحله سوم انتخاب شد، ممکن است سرعت واقعی گاز محاسبه شود و از این رو، جریان کل گاز و قطر داخلی برج تعیین گردد.

حال می‌توان نسبت قطر برج به قطر مواد پرکننده را بررسی نماییم تا اطمینان حاصل کنیم که آن کمتر از بعضی مقادیر مینیمم نیست که زیر آن مقدار کانال‌زنی<sup>۹</sup> شدید مایع در دیواره‌های برج می‌تواند اتفاق بیفتد؛ که معمولاً حداقل نسبت ۸ در نظر گرفته می‌شود<sup>۱۰</sup>. اگر در این مرحله در محاسبه، معلوم شود که نسبت خیلی پایین است یک مقدار کوچکتر جدید برای قطر مواد پرکننده باید انتخاب شود و طراحی از مرحله ۱ مجدداً انجام شود.

## مرحله پنجم - بررسی جریان جاذب در برج

بررسی کنید که جریان جاذب مایع حداقل مساوی یا بزرگتر از مقدار استیوکیومتری مربوط به مقدار کلری باشد که جذب می‌شود.

## مرحله ششم - افزایش دمای جاذب در برج

به دلیل گرمای واکنش جذب، ممکن است افزایش دمای برج را محاسبه نماییم. این عدد باید طوری باشد که دمای ماده‌ای که از برج خارج می‌شود از دمایی که ممکن است به برج، مواد پرکننده یا تجهیزات جانبی آن آسیب برساند تجاوز نکند. اگر این عدد از آن مقدار تجاوز کرد، لازم است که با انتخاب یک مقدار جدید برای سرعت مرطوب‌سازی مواد پرکننده یا انتخاب مقدار جدیدی از درصد سرریز شدن، جریان جاذب را در برج افزایش دهیم و محاسبات را مجدداً تکرار کنیم.

<sup>7</sup> flooding

<sup>8</sup> Perry, R.H. & Green, D.W., Chemical Engineers', Handbook 6th, 1984, McGraw-Hill, page 18-22

<sup>9</sup> channeling

<sup>10</sup> Perry, R.H. & Green, D.W., Chemical Engineers', Handbook 6th, 1984, McGraw-Hill, page 18-28

## مرحله هفتم - انتخاب موجودی جاذب

موجودی جاذب‌ها که در واحد جذب در دسترس باشد باید برای جذب کل مقدار کلری که قبلاً تعریف شده کافی باشد. همچنین ضروریست اطمینان حاصل کنیم که در طول مراحل نهایی جذب، ظرفیت جذب کافی برای باقیمانده وجود دارد و بنابراین غلظت در بالا و پایین برج جذب در داخل ارتفاع مواد پرکننده (مرحله ۹ را ملاحظه فرمایید) مناسب است تا انتقال جرم لازم از گاز به مایع را انجام دهد. در مرحله کنونی ممکن است مناسب باشد که از یک مقدار جاذبی استفاده کنیم که برابر با معادل استیوکیومتری کل کلری باشد که جذب می‌شود به اضافه مقداری اضافی که براساس تجربیات پیشین بدست آمده است.

## مرحله هشتم - محاسبه غلظت جاذب در انتهای جذب

در حال حاضر می‌توان غلظت جاذب ورودی به برج جذب را در طول مراحل نهایی جذب، با استفاده از موجودی جاذب که در مرحله قبلی محاسبه تخمین زده شد و مقدار کل کلر در برج و سرعت جریان کلر محاسبه نمود. همچنین امکان محاسبه غلظت خروجی جاذب در همان نقطه در زمان را نیز داریم.

به‌علاوه باید در این مرحله جاذب‌هایی مثل محلول هیدروکسید سدیم در حضور دی‌اکسیدکربن در گاز بررسی شود که غلظت‌های جاذب در انتهای جذب از حلالیت مایع به طور مثال کربنات سدیم تجاوز نکند. اگر چنین حلالیتی تجاوز کرد، لازم است غلظت جاذب ضعیف‌تر در موجودی اولیه را در نظر بگیریم و متعاقباً محاسبه را مجدداً انجام دهیم.

## مرحله نهم - محاسبه ارتفاع مواد پرکننده

با استفاده از روابط انتقال جرم برای جاذب‌های انباشته-تصادفی<sup>11</sup> ارتفاع مواد پرکننده بدست آمده، غلظت کلر مورد نیاز در ونت خروجی از جاذب را می‌توان محاسبه نمود. چون نتیجه‌ی این محاسبه حداقل تا حدودی بستگی به موجودی جاذب دارد معمولاً تکرار محاسبه برای چندین مقدار مختلف از موجودی ارزشمند است تا ببینیم کدام ترکیب از موجودی فرضی و ارتفاع مواد پرکننده محاسبه شده حداقل هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برای هر واحد را می‌دهد. ممکن است بعضی بهینه‌سازی‌ها نیز بین ارتفاع مواد پرکننده و جریان مایع در برج مطلوب باشد، زیرا کمیت اخیر تا حدودی غلظت نهایی جاذب و از این رو نیروی محرکه‌ی انتقال جرم در انتهای برج را تعیین می‌کند. همانطور که در مرحله ۶ اشاره شد جریان مایع در برج ممکن است با انتخاب مقادیر جدید سرعت مرطوب‌سازی مایع مواد پرکننده یا درصد سرریز شدن تغییر کند و لذا محاسبه از نقطه مناسبی مجدداً انجام شود.

<sup>11</sup> Perry, R.H. & Green, D.W., Chemical Engineers', Handbook 7th, 1997, McGraw-Hill, page 14-18  
Semmelbauer, R., Chem. Eng. Sci., 1967, 22, page 1237-1255.  
Onda, K., Journal of Chem. Eng. Jap., 1 (1), 56, 19  
Onda, K., Mem. Fac. Eng. Nagoya University, 24 (2), 165, 1972

### محیط‌های خنثی‌کننده دیگر

مواد زیادی هستند که خواصی دارند که آنها را برای سیستم‌های خنثی‌کننده کلر در کاربردهای خاص مفید می‌سازد. در ادامه لیستی از بعضی از این مواد شیمیایی شناخته شده آورده شده است. مواد دیگری نیز ممکن است استفاده شود.

#### الف-قلیاهای

تفاوت اصلی آنها بخاطر گرمای واکنش، حلالیت اجزا و محصولات جانبی تشکیل شده است.

#### ب-عوامل اکسیدکننده

عوامل اکسندگی مثل سولفیت سدیم، تیوسولفیت سدیم و پراکسید هیدروژن معمولاً در کاربردهای خاص و کوچک استفاده می‌شوند.

#### ج-حلال‌ها

حلال‌هایی مثل تتراکلریدکربن، فرس کلرید، آب و ترکیباتی با پایه سولفور و حلال‌های آلی نیز در شرایط خاص استفاده می‌شوند. این سیالات ممکن است نیاز به طراحی قابل توجه داشته باشند و ملاحظات بهره‌برداری از قبیل اشتعال‌پذیری، سمیت، محدودیت‌های زیست محیطی و تغییرات در خواص فیزیکی و شیمیایی باید در نظر گرفته شود.

#### د-جاذب‌های جامد

انواع گوناگون جامدات پتانسیل واکنش/جذب چشم‌گیری برای کلر دارند. ملاحظات خاصی باید برای دفع یا تولید مجدد جامدات مصرفی در نظر گرفته شود.

### پیوست ۳

محدودیت‌ها	مواد نوعی	سرویس	مولفه
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	کربن استیل، دیگر فلزات پلاستیک	گاز کلر خشک	لوله کشی
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PTFE, PVDF, ABS, PVC, CPVC, PFA به تنهایی یا به عنوان روکش	گاز کلر مرطوب	
نیاز به یک عایق خوردگی داخلی ضخیم و یک رزین دارد که به‌ویژه توسط تولیدکننده رزین توصیه می‌شود که مناسب برای کلر باشد.	FRP		
آلیاژها جهت جلوگیری از ایجاد شکاف مناسبند و مشکلات خوردگی که به دلیل اثرات دما و pH ایجاد می‌شود.	تیتانیوم		
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	کربن استیل، استیل ضد زنگ، نیکل	محلول هیدروکسید سدیم	
آلیاژها جهت جلوگیری از ایجاد شکاف مناسبند و مشکلات خوردگی که به دلیل اثرات دما و pH ایجاد می‌شود.	PP, PP- با روکش استیل		
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	تیتانیوم		محلول هیپوکلریت
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	استیل روکش شده با PTFE, FEP, PFA و PPL		
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	CPVC		
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PVC- روکش شده با FRP		
نیاز به یک عایق خوردگی داخلی ضخیم و یک پوشش سنتزی و رزین دارد که به‌ویژه	FRP		

توسط تولیدکننده رزین توصیه می‌شود که مناسب برای محلول هیپوکلریت باشد.

محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PVC-روکش شده با FRP	محلول هیپوکلریت و کلر (خشک یا مرطوب)	ظرف واکنش
مشابه لوله کشی (فقط گاز مرطوب)-بخش ۴-۴ را ملاحظه فرمایید.	تیتانیوم		
برای محلول‌های با pH بالاتر از ۸ برای ماکزیمم دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد	Semag روکش شده لاستیک روکش شده با استیل FRP		
مشابه لوله کشی			

		محلول سود	مخازن ذخیره
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	لاستیک روکش شده با استیل	محلول هیپوکلریت	
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PVC روکش شده با استیل		
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PVC روکش شده با FRP		
برای pH بالاتر از ۸ نیاز به یک عایق خوردگی داخلی ضخیم و یک پوشش سنتزی و رزین دارد که به‌ویژه توسط تولیدکننده رزین توصیه می‌شود که مناسب برای هیپوکلریت سدیم باشد.	Semag روکش شده FRP		
مشابه لوله کشی	تیتانیوم		

تجهیزات مکانیکی			
محل فرآیند	تیتانیوم	محلول هیپوکلریت	مبادله‌گر حرارتی
محل فرآیند	نیکل استیل ضد زنگ	محلول سود	
	تیتانیوم، PTFE، روکش دار نیکل، آلیاژ ۲۰، کربن استیل	محلول هیپوکلریت محلول سود	پمپ‌ها

	FRP، تیتانیوم،	گاز کلر مرطوب	دمنده‌ها
	کربن استیل	گاز کلر خشک	
محدود به توصیه‌های سازنده در خصوص فشار و دما	PTFE, PFA، روکش‌های CPVC, PVC ,ECTFE,	محلول هیپوکلریت و گاز کلر مرطوب	دریچه‌ها
	کربن استیل و دیگر فلزات کربن استیل، آلیاژهای نیکل، استیل، روکش دار	گاز کلر خشک محلول سود	