

کارخانه‌های اسیدسولفوریک

طراحی و عملیات واحد

مهندس اسداله رضانی فیروزآبادی
(به اهتمام شرکت نیپک)



انتشارات نگارنده دانش

سرشناسه	رمضانی فیروزآبادی، اسداله
عنوان و نام پدیدآور	کارخانه‌های اسید سولفوریک: طراحی و عملیات واحد / اسداله رمضانی فیروزآبادی؛ به اهتمام شرکت نیپک.
مشخصات نشر	تهران: نگارنده دانش، ۱۳۹۰
مشخصات ظاهری	۵۱۲ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۱۹۰-۱۳-۶
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	اسید سولفوریک — صنعت و تجارت
موضوع	اسید سولفوریک — فرایند تماسی
رده بندی کنگره	۱۳۹۰ ۵۸ الف / HD۹۶۶۰
رده بندی دیویی	۳۳۸/۴۷۶۶۱۲۲
شماره کتابشناسی ملی	۲۵۱۷۶۳۹

کارخانه‌های اسید سولفوریک: طراحی و عملیات واحد

مهندس اسداله رمضانی فیروزآبادی	نوشته
واحد تولید نشر نگارنده دانش	حروفچینی
ترامسنج	لیتوگرافی
فرشیوه	چاپ
روشنک	صحافی
۱۳۹۰	چاپ اول
۵۱۲، وزیري	تعداد صفحات، قطع
۱۰۰۰ نسخه	تعداد
۱۷۰۰۰ تومان	بها

انتشارات نگارنده دانش

تهران، میدان انقلاب، خیابان جمالزاده جنوبی، کوچه دانشور، شماره ۹، واحد ۳

تلفن: ۶۶۴۲۵۵۹۵، تلفکس: ۶۶۹۰۷۵۰۰

صندوق پستی ۹۱۶-۱۳۱۴۵

Negarandedanesh.com

حق چاپ برای شرکت نیپک محفوظ است.

سروآغاز

آنچه افراد، شرکت‌ها، صنایع، کانون‌های علمی و بنگاه‌های اقتصادی را از یکدیگر متمایز می‌سازد، بی‌شک نوع نگرش و تفکر استراتژیک آنهاست. تحول بنیادین و تغییر در هر سازمانی، محصول همین نگاه و تفکر استراتژیک خواهد بود. در این راستا، آموختن و نشر آموزه‌ها، می‌تواند در پیاده‌سازی این تفکر، نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند و به یقین از همین روی است که سازمان‌های پیشرو و برتر آینده را به آنهایی نسبت می‌دهند که در تقویت روحیه آموختن و افزایش ظرفیت یادگیری در کارکنان موفق‌تر عمل نموده و بدین ترتیب با ترغیب و تشویق کارکنان به آموختن و مهم‌تر از آن آموزاندن، پیروان را به رهبران جدید تبدیل می‌کنند. تغییر و تحول در این‌گونه سازمان‌ها نهادینه شده و به‌عنوان "فرهنگ" تعریف می‌گردد. دیرزمانی است که متخصصین "شرکت مهندسی نیپک" علم خویش را به تجربه صنعت درهم آمیخته‌اند و نام این شرکت را در کشور، به‌ویژه در عرصه فرآیندهای متالورژیکی پرآوازه نموده‌اند و اینک زمان آن فرا رسیده است که با ارائه تجارب پربار علمی و عملی خود به دانش‌پژوهان و جامعه صنعتی کشور، فرهنگ خود را با دیگر غنا بخشند. کتابی که پیش روی شماست، در زمره محدود کتب فارسی در خصوص "کارخانه‌های اسید سولفوریک" محسوب می‌گردد که با بیانی شیوا، بخشی از دانش شرکت نیپک را در اختیار دوست‌داران این فرآیند قرار می‌دهد. امید آن داریم که با این اقدام، گامی هرچند کوچک در اعتلاء بخشیدن به گسترش علم در ایران زمین، برداشته باشیم. همچنین، جا دارد از تلاش‌های جناب آقای مهندس اسداله رضائی در نگارش این کتاب و کلیه همکاران گران‌قدر خود در شرکت نیپک سپاسگزاری کنم.

با احترام

حمید دهقان نیری

مدیر عامل

پیشگفتار

قدیمی‌ترین مدرک موجود در مورد تهیه‌ی اسید سولفوریک به قرن هشتم میلادی برمی‌گردد که در آن جابر بن حیان طوسی در مورد تقطیر شوره همراه با زاج سبز سخن می‌گوید، اما کشف آن به زکریای رازی دیگر دانشمند ایرانی قرن ۱۰ میلادی نسبت داده می‌شود. او اسید سولفوریک را از طریق تقطیر خشک کانی‌هایی که شامل سولفات آهن که زاج سبز نامیده می‌شوند و سولفات مس که کات کبود نامیده می‌شوند به‌دست آورد. حرارت هر یک از این ترکیبات باعث تجزیه‌ی آنها و ایجاد اکسید آهن II، اکسید مس II و آب می‌گردد. ترکیب آب و تری اکسید گوگرد حاصل شده، محلول رقیق اسید سولفوریک را ایجاد می‌کند. این روش با ترجمه‌ی متون علمی و کتاب‌های دانشمندان مسلمان ایرانی توسط شیمیدان‌های اروپایی در قرون وسطی مانند آلبرت ماگنوس در اروپا شناخته شد و به این دلیل اسید سولفوریک را شیمیدان‌های قرون وسطی، به‌نام جوهر گوگرد شناختند. از آن تاریخ به بعد، مدارک زیادی در مورد اسید سولفوریک موجود می‌باشد ولی تنها در قرن ۱۶ میلادی بود که محققان در مورد خواص و روش‌های گوناگون تولید اسید سولفوریک شروع به تحقیق نمودند.

در قرن ۱۸ میلادی تولید صنعتی اسید سولفوریک از روش سوزاندن گوگرد در حضور نیتريت پتاسیم (KNO_3) و آب در کشور انگلستان آغاز گردید. در این روش گوگرد و نیتريت پتاسیم به نسبت ۸ به ۱ مخلوط و در زیر یک فلاسک شیشه‌ای محتوی بخار آب سوزانده می‌شدند که در نتیجه‌ی آن اسید سولفوریک تشکیل شده و پس از کندانس شدن روی سطح شیشه جمع‌آوری می‌گردید. روش‌های اولیه‌ی تولید صنعتی اسید سولفوریک بازده خیلی کمی داشتند و نمی‌توانستند به بیش از ۵۰ درصد برسند. ولی حتی با وجود این بازده کم مقدار تولید اسید سولفوریک همچنان سیر صعودی خود را طی می‌کرد.

با رشد تقاضای اسید سولفوریک و افزایش مصرف آن روش‌های دیگری برای افزایش سرعت و مقدار تولید آن به کار گرفته شد و محفظه‌های سربی جایگزین فلاسک شیشه‌ای برای انجام واکنش بین گوگرد و نیتريت پتاسیم شدند.

با این همه، صنایع رنگرزی و سایر صنایع شیمیایی خواهان اسید سولفوریک با غلظت بالاتر بودند. این امر با روش تقطیر خشک کانی‌ها، شبیه همان روش اولیه‌ی رازی ممکن شد. در این روش، سولفید آهن در اثر حرارت در هوا تولید سولفات آهن II می‌کند و فراورده‌ی حاصل با گرماده‌ی بیشتر اکسید شده و تولید سولفات آهن III می‌کند که آن هم در اثر حرارت در ۴۸۰ درجه‌ی سانتیگراد تجزیه شده و اکسید آهن و تری اکسید گوگرد ایجاد می‌کند. عبور دادن آرام‌تر اکسید گوگرد از میان آب، اسید سولفوریک با غلظت بالا ایجاد می‌کند.

در سال ۱۸۲۷ با معرفی برج‌های سربی برای بازیافت اکسیدهای نیتروژن توسط "گیلوساک" قدم مهمی در تولید اسید سولفوریک برداشته شد و نخستین بهینه‌سازی انجام یافته بر روی آن مبتنی بر افزودن هوای محیط به سیستم به‌منظور پیشرفت بیشتر واکنش بود. همچنین به جای استفاده از سیستم ناپیوسته (Batch) از سیستم پیوسته‌ی سوزاندن گوگرد در آن استفاده گردید. ۳۲ سال بعد "جان گلاور" اولین برج حذف نیتروژن و افزایش غلظت اسید سولفوریک را معرفی نمود. برج‌های گیلوساک و گلاور بخش‌های اصلی سیستمی را که ما امروزه به نام "فرایند تولید اسید سولفوریک اتاق سربی" می‌شناسیم، تشکیل می‌دهند.

سیستم یاد شده تا معرفی سیستم Contact همچنان به عنوان روش اصلی تولید صنعتی اسید سولفوریک باقی ماند.

کارهای ابتدایی روی فرایند Contact توسط "فیلیس" در سال ۱۸۳۱ انجام گردید. در آن زمان، تحقیقات روی انجام واکنش بین دی اکسید گوگرد و اکسیژن با نسبت‌های استوکیومتری متمرکز بود. در سال ۱۹۰۱ با گشوده شدن رموز پارامترهای فرایندی واکنش اکسیداسیون کاتالیکی دی اکسید گوگرد توسط شرکت BASF، فرایند مدرن Contact متولد شد و نخستین کارخانه‌ی تولید اسید سولفوریک به روش Contact توسط آن شرکت در خاک آمریکا ساخته شد. اکنون، حدود یک قرن از زمان معرفی فرایند Contact گذشته است و اگر چه مبانی مورد استفاده‌ی آن در کارخانه‌های اسید سولفوریک ثابت باقی مانده ولی واحدها بزرگ‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند و با اینکه صنعت تولید اسید سولفوریک یک صنعت قدیمی محسوب می‌شود، ولی توسعه‌ی پیوسته‌ی آن برای ساخت واحدهای بهینه‌تر ادامه دارد. در واحدهای مدرن اسید سولفوریک اهداف بر روی کاهش آلودگی‌ها، بهبود بازده و ایمنی، کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری متمرکز است.

اسید سولفوریک جزء مواد شیمیایی پر استفاده می‌باشد. این ماده در واکنش‌های شیمیایی و فرایندهای تولید سایر مواد و ترکیبات، کاربرد فراوانی دارد. عمده‌ترین استفاده‌ی آن در کارخانه‌های تولید کود شیمیایی، استخراج فلزات، سنتزهای شیمیایی، تصفیه‌ی بماب‌ها و پالایشگاههای نفت می‌باشد.

اسید سولفوریک در اثر واکنش با اسید نیتریک، یون نیترونیوم تولید می‌کند که در فرایند نیترودار کردن ترکیبات استفاده می‌شود. فرایند نیترودار کردن در صنایع تولید مواد منفجره مانند تولید تری‌نیتروتولون (TNT)، نیترو گلیسرین و ... استفاده می‌شود. اسید سولفوریک در انبارهای سرب (باتری‌های سربی) به عنوان محلول الکترولیت استفاده می‌شود. این ماده، یک عامل آب‌گیر بسیار قوی است. در اکثر واکنش‌ها به عنوان عامل هیدراتاسیون استفاده می‌شود و در تولید میوه‌های خشک هم به میزان کم، از اسید سولفوریک برای جذب آب استفاده می‌کنند.

در اهمیت اسید سولفوریک لازم است بدانیم که کمتر محصول ساخت دست بشر است و در تولید آن اسید سولفوریک به طور مستقیم یا غیرمستقیم دخالت نداشته باشد. زمانی معیار توسعه یافتگی کشورها میزان مصرف انرژی توسط آنها بود، اما این شاخص با ظهور کشورهای پرمصرف و توسعه نیافته مانند هند و ایران به مصرف اسید سولفوریک تغییر یافت. بر این اساس، هر کشوری که اسید سولفوریک بیشتری مصرف کند، توسعه یافته‌تر محسوب می‌شود.

کتاب حاضر حاصل تحقیقی در مورد گازهای خروجی از کارخانجات ذوب مس با تمرکز بر طراحی فرایندی تجهیزات اصلی به کار گرفته شد، در کارخانجات مدرن اسید سولفوریک می‌باشد. در پایان، ضمن آرزوی آبادانی و پیشرفت ایران عزیز در همه‌ی زمینه‌ها از کلیه‌ی همکاران و افرادی که از همکاری و کمک آنها در تهیه‌ی این کتاب بهره برده‌ام به ویژه، جناب آقای مهندس دهقان نیری مدیر محترم عامل شرکت نیپک و جناب آقای مهندس فیروز شاهی معاونت محترم پروژه‌های شرکت نیپک که با فراهم آوردن شرایط لازم امکان تهیه‌ی این کتاب را فراهم آوردند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

اسد... رضانی فیروزآبادی

کارشناس فرایند

ایران، تهران

تیر ماه ۱۳۹۰

فصل اول

۳	صنایع مس و آلودگی هوا.....
۳	پیشگیری از آلودگی هوا و بیماری‌های آن.....
۴	بزرگ‌ترین شرکت‌های تولید کننده مس و مقدار انتشار مواد آلاینده توسط آنها.....
۶	دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد حاصل از کوره‌های ذوب مس.....
۸	تکنولوژی‌های مورد استفاده برای جذب گوگرد از گازهای خروجی از کارخانه‌های ذوب مس.....
۹	کیفیت استاندارد هوای محیط.....
۱۲	دارندگان اصلی تکنولوژی تولید اسید سولفوریک.....
۱۲	شرکت MECS.....
۱۳	شرکت Aker Solution.....
۱۳	شرکت Outotec.....
۱۳	شرکت Noram.....
۱۴	کارخانه‌های اسید سولفوریک متالورژیکی.....
۱۴	بخش تمیزسازی گاز (Gas Cleaning).....
۱۵	بخش Contact.....

فصل دوم

۱۹	تمیزسازی گازهای متالورژیکی.....
۱۹	روش‌های تمیزسازی گاز.....
۲۰	مکانیسم‌های جداسازی.....
۲۰	بخش تمیزسازی گاز یک کارخانه اسید سولفوریک.....
۲۴	انواع سیستم‌های تمیزسازی گاز.....
۲۴	برج فرونشاندن حرارت.....
۲۷	زمان ماند گاز.....
۲۷	سیستم گردش مایع.....
۲۷	سیستم آب اضطراری.....
۲۸	طراحی Quench Tower.....
۳۲	شوینده‌های ونتوری (Venturi Scrubber).....
۳۳	پنج عامل به وجود آورنده افت فشار در Venturi Scrubber.....
۳۴	ونتورهای مجهز به گلویی قابل تنظیم.....
۳۵	مساله خوردگی در ونتوری‌ها.....
۳۶	مزایای استفاده از Venturi Scrubber در مقایسه با سایر تجهیزات غبارگیر.....
۳۶	مبانی تئوری تعاریف و اصول طراحی Venturi Scrubber.....
۳۹	روش‌های طراحی و انتخاب دستگاه‌های غبارگیر.....
۴۵	انرژی لازم برای رسیدن به بازده مناسب در تجهیزات شوینده (Scrubbers).....
۴۶	برج‌های خنک کننده گاز پروسس (Scrubber Cooling Towers).....
۴۶	خنک سازی گاز پروسس.....
۴۷	برج‌های خنک کننده "تماس مستقیم".....
۵۱	برج‌های خنک کننده "تماس غیرمستقیم".....
۵۴	موازنه آب در کارخانه اسید سولفوریک.....
۵۶	فیلترهای الکترواستاتیک (Electrostatic Precipitators).....

۵۶	تاریخچه.....
۵۶	مبانی غبارزدایی در فیلترهای الکترواستاتیک.....
۶۳	انواع ESP ها.....
۶۳	بخش های اصلی یک فیلتر الکترواستاتیک.....
۶۸	سرعت و توزیع گاز در WESP.....
۶۸	WESP های سریبی.....
۶۹	WESP های پلاستیکی.....
۷۰	WESP های آلیاژی.....
۷۰	عملیات بهره برداری.....
۷۴	مبانی طراحی فیلترهای الکترواستاتیک.....
۷۴	Procedure طراحی فیلترهای الکترواستاتیک.....
۸۷	سیستم Dynawave.....
۸۹	تئوری فرایند.....
۸۹	شرح فرایند.....
۹۳	زدایش آرسنیک و فلوئوراید از گاز.....
۹۳	زدایش آرسنیک از گاز.....
۹۷	زدایش فلوئوراید از گاز.....
۱۰۰	سیستم لوله کشی اسید ضعیف.....
۱۰۰	لوله های فولادی با پوشش پلاستیکی.....
۱۰۱	پلاستیک های فایبر گلاس (FRP).....
۱۰۲	ترموپلاستیک ها.....
۱۰۳	لوله های دولایه ای (Dual Laminate).....

فصل سوم

۱۰۷	بخش Contact.....
۱۰۷	واکنش پایه بخش Contact.....
۱۱۰	عوامل مؤثر بر واکنش تبدیل.....
۱۱۲	سیستم تک جذبی (Single Absorption).....
۱۱۳	سیستم جذب دوگانه (Double Absorption).....
۱۱۳	خنک سازی گاز بین هر بستر (Inter – bed Cooling).....
۱۱۴	کاتالیست.....
۱۱۷	شکل کاتالیست.....
۱۱۸	فعالیت کاتالیست (Catalyst Activity).....
۱۱۸	طول عمر کاتالیست.....
۱۱۸	مقاومت مکانیکی کاتالیست.....
۱۱۸	افت فشار.....
۱۱۹	رنگ.....
۱۱۹	ضعیف شدن کاتالیست.....
۱۲۰	کاتالیست های تولیدی شرکت BASF.....
۱۲۲	کاتالیست های تولیدی شرکت Haldor Topsoe.....
۱۲۳	کاتالیست های تولیدی شرکت Monsanto Enviro-Chem.....
۱۲۴	نمونه براری از کاتالیست ها.....
۱۲۴	کنورتور (Converter).....

۱۲۴	کنورتورهای Carbon Steel
۱۲۶	کنورتورهای Stainless Steel
۱۲۷	نکات مهم در طراحی کنورتور
۱۲۷	سایورت‌ها، کاتالیزورها و لایه‌های نگهدارنده
۱۲۸	محاسبات فرآیندی بخش Contact
۱۳۴	مبدل‌های گاز - گاز (Gas - Gas Heat Exchangers)
۱۳۷	مبدل‌های دارای جریان شعاعی (Radial Flow Heat Exchanger)
۱۳۸	مبدل‌های صفحه‌ای (Plate Type Heat Exchanger)
۱۴۰	مبدل‌های حرارتی داغ (Hot Heat Exchangers)
۱۴۰	مبدل‌های حرارتی سرد (Cold Heat Exchangers)
۱۴۳	مبدل‌های حرارتی داغ میانی (Hot Interpass Heat Exchangers)
۱۴۳	مبدل‌های حرارتی سرد میانی (Cold Interpass Heat Exchangers)
۱۴۳	کولرهای گاز SO_3 (SO ₃ Gas Coolers)
۱۴۶	فشار طراحی مبدل‌های پوسته و لوله
۱۴۶	ملاحظات طراحی مبدل‌های پوسته و لوله
۱۴۸	محاسبه بار حرارتی مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله
۱۵۳	دمنده‌ها (Blowers)
۱۵۳	مفاهیم بنیادی
۱۵۷	مکان نصب دمنده
۱۵۸	کنترل جریان گاز پروسس
۱۵۹	مشخصات اصلی دمنده اصلی
۱۶۱	نصب دمنده اصلی
۱۶۲	محاسبه توان موتور دمنده
۱۶۳	سیستم‌های پیش گرم‌سازی (Preheat Systems)
۱۶۵	سیستم‌های پیش گرم‌کن
۱۶۷	نکات طراحی کوره
۱۶۸	مبدل‌های حرارتی تجهیز پیش گرم‌کن
۱۶۸	کنترل‌ها و ابزار دقیق
۱۷۰	پارامترهای طراحی
۱۷۰	محاسبه مقدار اسید سولفوریک لازم برای راه‌اندازی یک واحد اسید سولفوریک
۱۷۲	دودکش (Stack)
۱۷۲	انواع دودکش‌ها
۱۷۳	ناشفایی (Opacity)
۱۷۴	نقاط نمونه‌گیری
۱۷۴	تمیزکاری دودکش
۱۷۴	محل‌های تخلیه کندانس‌های اسیدی دودکش (Stack Drains)
۱۷۴	خروج رطوبت از دودکش (Stack Spitting)
۱۷۵	جنس دودکش
۱۷۶	بهره‌برداری
۱۷۷	ملاحظات پایه در طراحی دودکش‌ها

فصل چهارم

۱۸۷	بخش اسید قوی
-----	--------------

۱۸۷	موازنه آب.....
۱۸۸	پدیده انتقال دی اکسید گوگرد (SO_2 Transfer).....
۱۸۸	سیستم‌های گردش اسید (Acid Circulating System).....
۱۹۲	جریان‌های جانبی اسید.....
۱۹۲	سیستم اسید سولفوریک محصول.....
۱۹۳	سیستم‌های کنترل.....
۱۹۵	برج‌های اسید (Acid Towers).....
۱۹۵	برج‌های خشک‌کن.....
۱۹۵	برج‌های جذب.....
۱۹۶	برج‌های Stripping.....
۱۹۶	مبانی عملکرد برج‌های اسید.....
۱۹۸	برج‌های جذب و نتوری.....
۲۰۰	نکات مهم در طراحی برج‌های اسید.....
۲۰۵	طراحی فرآیندی برج‌های خشک‌کن و جذب.....
۲۰۵	محاسبه قطر داخلی برج.....
۲۰۹	ضریب انتقال جرم ($K_G a$).....
۲۰۹	محاسبه حجم بستر پر شده مورد نیاز و ارتفاع آن در برج‌های اسید.....
۲۱۳	محاسبه افزایش دمای اسید خروجی از برج‌های خشک‌کن و جذب.....
۲۱۶	محاسبه ظرفیت گرمایی ویژه گازها (CP).....
۲۲۰	برج‌های Stripper.....
۲۲۰	انواع برج‌های Stripper.....
۲۲۲	مقایسه برج‌های Stripper.....
۲۲۳	مشخصات برج‌های Stripper پر شده.....
۲۲۳	مشخصات برج‌های Stripper سینی‌دار.....
۲۲۴	روش‌های طراحی.....
۲۲۵	ملاحظات انتخاب پکینگ در برج‌های اسید.....
۲۳۸	تاریخچه استفاده از پکینگ.....
۲۳۸	فاکتورهای فیزیکی پکینگ.....
۲۴۱	پیش‌بینی افت فشار بستر پر شده.....
۲۴۲	هزینه‌های اقتصادی افت فشار.....
۲۴۳	ملاحظات طراحی برج‌های پر شده.....
۲۴۴	توزیع‌کننده‌های اسید (Acid Distributors).....
۲۴۴	توزیع‌کننده‌های لوله‌ای.....
۲۴۷	توزیع‌کننده‌های ناودانی (Trough Distributor).....
۲۴۹	فیلترهای رطوبت‌گیر (Mist Eliminators).....
۲۴۹	انواع قطرات مایع موجود در گاز.....
۲۴۹	Mist (اسیدی).....
۲۵۱	مکانیسم‌های جذب رطوبت.....
۲۵۲	حرکت براونی.....
۲۵۳	انواع فیلترهای رطوبت‌گیر.....
۲۷۱	مقایسه Candle‌های ایستاده و آویخته.....
۲۷۲	پمپ تانک‌ها (Pump Tank).....
۲۷۳	انواع پمپ تانک‌ها.....
۲۷۶	تعیین ساینز پمپ تانک.....

۲۸۴	روش‌های رقیق‌سازی اسید.....
۲۸۶	مکان نصب پمپ‌ها.....
۲۸۶	تخلیه گاز از پمپ تانک (Pump Tank Venting).....
۲۸۶	اسید کولرها (Acid Coolers).....
۲۸۷	اسید کولرهای چدنی.....
۲۸۸	اسید کولرهای پوسته و لوله با حفاظت آندیک.....
۲۸۸	اسید کولرهای هوایی (Acid Air Coolers).....
۲۸۹	اسید کولرهای صفحه‌ای (Plate Heat Exchangers).....
۲۸۹	مدل‌های جدید اسید کولرها.....
۲۹۰	طراحی اسید کولرهای صفحه‌ای.....
۲۹۵	پمپ‌های اسید (Acid Pump).....
۲۹۵	پمپ‌های سانتریفیوژ عمودی.....
۲۹۹	پمپ‌های سانتریفیوژ عمودی غیر غوطه‌ور.....
۳۰۱	پمپ‌های سانتریفیوژ افقی.....
۳۰۱	چیدمان آب‌بندی شفت (Shaft Sealing Arrangements).....
۳۰۳	چیدمان لوله‌کشی پمپ‌ها.....
۳۰۴	مشخصات لازم برای خرید پمپ (Pump Specifications).....
۳۰۵	سیستم لوله‌کشی اسید قوی.....
۳۰۵	سرب (Lead).....
۳۰۵	چدن (Cast Iron).....
۳۰۶	Mondi.....
۳۰۷	Meehanite.....
۳۰۷	کربن استیل.....
۳۰۸	استنلس استیل.....
۳۱۰	SARAMET.....
۳۱۱	Zecor.....
۳۱۱	Sandvik SX.....
۳۱۲	(UNS N08020) Alloy 20.....
۳۱۲	لوله‌های پوشش‌دار با PTFE.....
۳۱۲	سایر ترموپلاستیک‌ها.....
۳۱۳	سایر جنس‌های سیستم لوله‌کشی اسید قوی.....
۳۱۳	پوشش‌های محافظ فلنج‌ها.....
۳۱۴	پوشش‌های ضد اسید (Acid Resistant Linings).....
۳۱۴	روش‌های پوشش تجهیزات.....

فصل پنجم

۳۲۱	گوگرد.....
۳۲۱	منابع تهیه گوگرد.....
۳۲۱	کیفیت گوگرد.....
۳۲۲	روش‌های حمل و نقل و انبارداری گوگرد.....
۳۲۲	ذوب گوگرد.....
۳۲۸	فیلتر کردن گوگرد مذاب.....
۳۳۰	پمپ‌های گوگرد.....

سیستم لوله کشی گوگرد.....	۳۳۲
سیستم های سوزانده گوگرد.....	۳۳۲
روش های سوزاندن گوگرد.....	۳۳۲
مشعل های گوگرد.....	۳۳۷

فصل ششم

بازتولید اسید سولفوریک.....	۳۴۵
انواع اسید سولفوریک آلوده.....	۳۴۵
طراحی کارخانه باز تولید اسید سولفوریک (SAR).....	۳۴۶
غنی سازی با اکسیژن.....	۳۴۸
نکات طراحی کوره بازتولید اسید سولفوریک.....	۳۴۹

فصل هفتم

بازیافت انرژی.....	۳۵۳
بازیافت انرژی گرمایی درجه بالا (High Grade Energy).....	۳۵۴
بازیافت انرژی گرمایی درجه پایین (Low Grade Energy).....	۳۵۵
بیشینه کردن بازیافت انرژی.....	۳۵۹

فصل هشتم

سیستم های بخار.....	۳۶۵
انتخاب فشار و دمای بخار.....	۳۶۵
موازنه بخار کارخانه.....	۳۶۷
سیستم کنترل بخار.....	۳۶۹
تعیین اندازه خط بخار.....	۳۷۲
اکونومایزرها (Economizers).....	۳۷۲
روش های کاهش ریسک کندانس اسید.....	۳۷۶
نکات مهم در طراحی اکونومایزر.....	۳۷۸
بویلرها (Boilers).....	۳۷۹
انواع بویلر.....	۳۷۹
نکات مهم در طراحی.....	۳۸۱
شیر خروجی بویلر.....	۳۸۵
عایق کاری.....	۳۸۶
جنس ساخت.....	۳۸۶

فصل نهم

تانک های ذخیره اسید سولفوریک.....	۳۸۹
خوردگی (Corrosion).....	۳۸۹
خوردگی خارجی (External Corrosion).....	۳۹۳
تاول هیدروژن (Hydrogen Blistering).....	۳۹۳
محوطه استقرار تانک های ذخیره (Tank farms).....	۳۹۳
نکات مهم در طراحی تانک های ذخیره.....	۳۹۴
تعیین اندازه تانک (Tank Sizing).....	۳۹۵

۳۹۵	حفاظت آندی (Anodic Protection)
۳۹۷	هواکش‌های مخازن ذخیره (Vent)
۳۹۹	تعیین اندازه (ناحیه محصور)
۳۹۹	عایق کاری (Lining)
۴۰۰	مثال: طراحی مخزن ذخیره یک واحد اسید سولفوریک

فصل دهم

۴۰۹	برج‌های خنک‌کننده
۴۱۰	انواع برج‌های خنک‌کننده
۴۱۳	نمودار رطوبت (Humidity Chart)
۴۱۵	دمای حباب مرطوب (Wet Bulb Temperature) و دمای حباب خشک (Dry Bulb Temperature)
۴۱۵	روش‌های اندازه‌گیری رطوبت
۴۱۶	تئوری برج‌های خنک‌کننده
۴۱۶	طراحی برج‌های خنک‌کننده
۴۲۹	محاسبات شبیه‌سازی

فصل یازدهم

۴۲۵	تکنولوژی‌های جدید
۴۲۵	تکنولوژی REGESOX
۴۲۶	تکنولوژی SULFACID
۴۲۷	تکنولوژی Wet Sulfuric Acid (WSA)
۴۴۰	تکنولوژی Petersen-Fattinger Process
۴۴۲	استفاده از گاز با غلظت بالای SO ₂
۴۴۶	تکنولوژی Pre-Converter
۴۴۸	مقایسه تکنولوژی‌ها

فصل دوازدهم

۴۵۱	تصفیه پساب و پسماند
۴۵۱	بازیافت کاتالیست‌های پنتا اکسید وانادیم و روش‌های دفن کاتالیست‌های دورریز
۴۵۴	تصفیه و خنثی‌سازی پساب اسیدی

۴۶۵	پیوست
۴۹۷	مراجع