



ایمنی در فرآیند سولفوناسیون جهت تولید سورفکتانتها

سعید ایرانپور (کارشناس ارشد، پژوهشگر جهاد دانشگاهی، دانشکده فنی دانشگاه تهران)

Email: iranpour110@gmail.com

رضا ثقفی، سروش برادران، فرحناز ایرانپور

Email: {zamen8}, {soroush.baradaran}, {iranpour121}@gmail.com

چکیده:

سولفوناسیون یکی از فرآیندهای باارزش در تهیه مواد مختلف از جمله ترکیبات فعال سطحی به شمار میرود. در فرایند سولفوناسیون با ایجاد گروه سولفونه در ساختار ترکیب حلالیت مواد در آب افزایش می یابد. براین اساس قرار دادن گروه سولفونه بر روی ترکیبات مختلف میتوان دامنه وسیعی از ترکیبات با خصلت آبدوستی و آب گریزی را تهیه نمود. از آنجا که اساس فعالیت مواد فعال سطحی بر مبنای خصلت آبگریزی-آبدوستی است ترکیبات سولفونه شده به عنوان ماده فعال سطح عمل مینماید و در دسته آنیونی طبقه بندی میشوند. در این مقاله پی از بررسی روشهای مختلف سولفوناسیون نظیر استفاده از گاز SO_3 ، اسید سولفوریک، اولئوم، سدیم بی سولفیت و... و ارائه مثالهای کاربردی از سنتز سورفکتانتهای مختلف با هریک از روشهای ذکر شده به نکات و ملاحظات ایمنی در فرایندهای سولفوناسیون میپردازیم. از آنجا که استفاده از گاز SO_3 به عنوان مهمترین فرآیند سولفوناسیون در تهیه مواد فعال سطحی به شما میرود، با بررسی این فرایند به ملاحظات ایمنی و ریسکهای خطر در این فریند میپردازیم

کلمات کلیدی

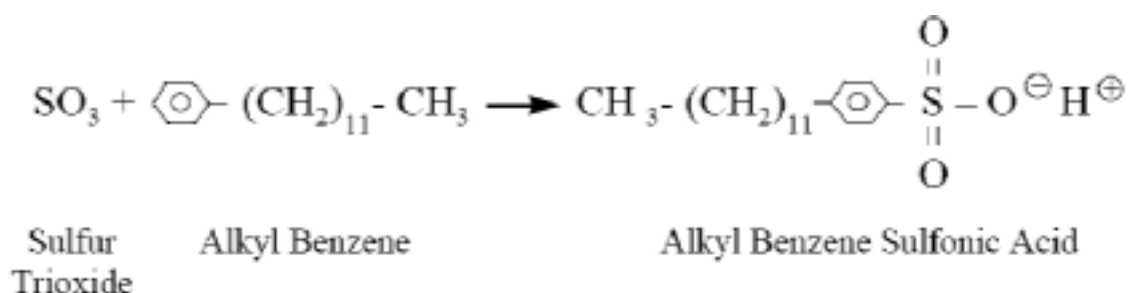
سولفوناسیون، ایمنی، سورفکتانت، مواد فعال سطحی



مقدمه

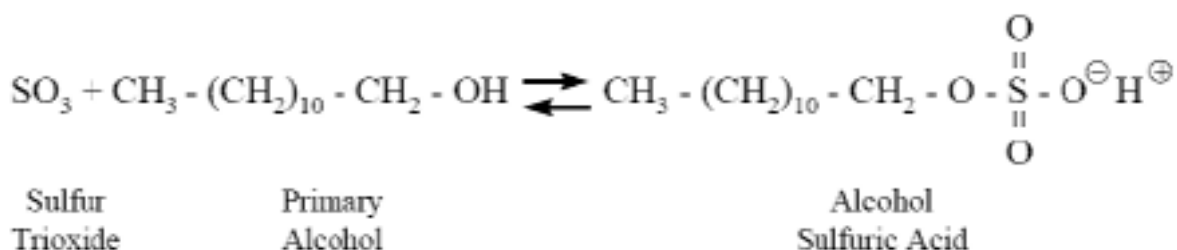
مواد حاصل از فرآیند سولفوناسیون در شوینده های تجاری و صنعتی، فرآورده های غذایی، رنگها، مواد بهداشتی و روغنهای روان کننده به کار می روند. اخیراً سولفوناته های محلول در روغن کاربردهایی جدیدی در سیستمهای ازدیاد برداشت نفت پیدا کرده اند. هرچند سولفوناتها و سولفاتها از لحاظ ساختاری یکسان هستند اما یک اختلاف اساسی بین این دو دسته ترکیبات وجود دارد. شکل (۱) یک واکنش جهت تولید سولفونات را نشان می دهد.

تری اکسید گوگرد (SO_3) با یک ملکول آلی (LAB) واکنش داده تا پیوند گوگرد کربن ایجاد گردد. یکی از خواص این فرآیند این است که آلکیل بنزن سولفونیک اسید حاصل یک ترکیب پایدار است. [۱]، [۲] و [۳]



شکل (۱) - واکنش تهیه آلکیل بنزن سولفونیک اسید

سولفاسیون واکنشی است که در آن پیوند کربن - اکسیژن - گوگرد ایجاد می گردد. شکل زیر واکنش یک الکل نوع اول با تری اکسید گوگرد را نشان می دهد. الکل سولفوریک اسید حاصل در برابر هیدرولیز ناپایدار است جهت پایداری این ترکیب محصول حاصل به صورت خنثی شده در آورده می شود. [۱]، [۲]



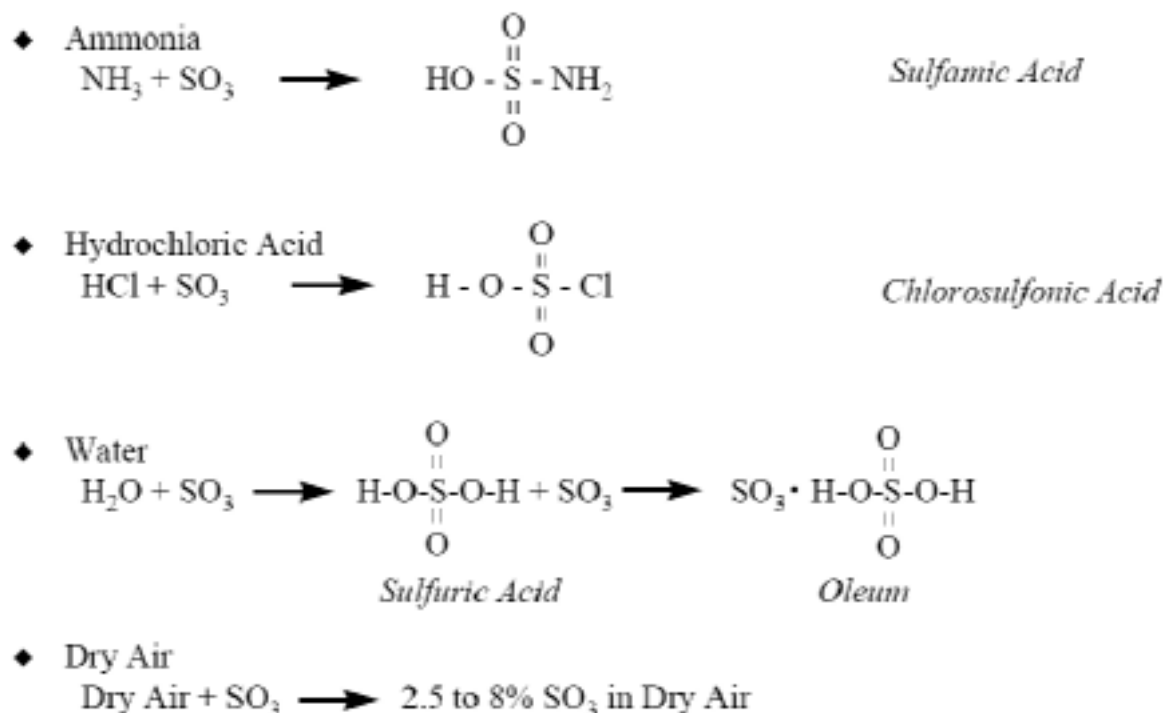
شکل (۲) - واکنش سولفاسیون الکل چرب

۱- روشهای مختلف سولفوناسیون

سولفوناسیون ترکیبات آروماتیک از اهمیت بالایی برخوردار است و اغلب ترکیبات آروماتیک سولفونه میشوند. [۴]، [۵] روشهای مشترکی جهت تهیه سولفونیک اسید نظیر اکسیداسیون تیول یا یک تیو اتر با اتر [۶]، سولفوناسیون واکنشگر گرینیارد و لیتیم [۷]، جایگزینی نوکلئوفیلی آروماتیک با سدیم بی سولفیت [۸]، سولفوناسیون ترکیبات آروماتیک با اسید سولفوریک غلیظ [۹]، سولفوناسیون با ترکیب تری اکسید گوگرد- دی اکسان [۱۰]، تری فلورو سولفوریک اسید- سولفوریک اسید [۱۱]، سولفور تری اکسید در دی کلرومتان [۱۲] گزارش شده است.

امروزه استفاده از گاز SO_3 در فرآیند سولفوناسیون یکی از روشهای اصلی سولفوناسیون در صنعت به شمار میرود. SO_3 یک واکنشگر الکتروفیل است که به سرعت با هر ترکیب آلی شامل گروه دهنده الکترون واکنش می دهد. این واکنش گرممازاست و اغلب ترکیب در تماس با SO_3 سریعاً واکنش داده و تشکیل یک ذغال سیاه همراه می دهد.

سرد کردن واکنش از ضروریات این فرآیند است زیرا گرمای حاصل از واکنش می تواند باعث ایجاد واکنشهای جانبی گردد. از لحاظ تاریخی واکنش پذیری شدید گاز SO_3 با رقیق کردن و ایجاد کمپلکس SO_3 با یک ترکیب تعدیل کننده حل گردید. از لحاظ تجاری ترکیبات رقیق کننده و یا کمپلکس دهنده در شکل (۳) آورده شده اند که عبارت از آمونیاک (سولفامیک اسید)، هیدروکلریک اسید (کلروسولفوریک اسید)، آب یا سولفوریک اسید (سولفوریک اسید یا اولئوم) و هوای خشک (هوا / SO_3 سولفوناسیون لایه نازک) [۱] و [۲].

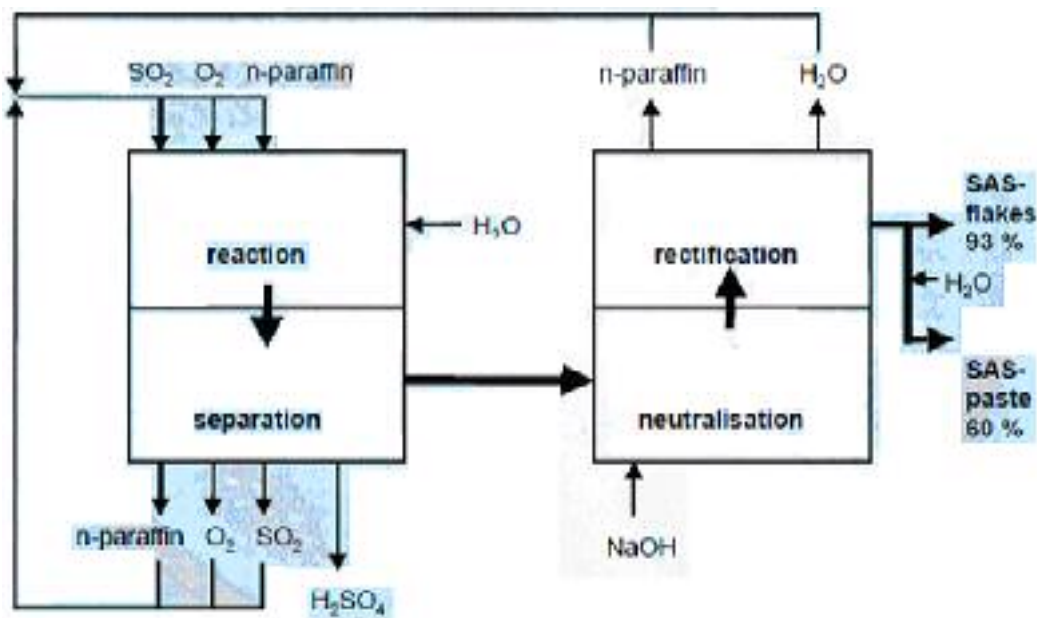


شکل (۳) - عوامل کاهش دهنده فعالیت SO_3

۲- بررسی روشهای مرسوم سولفوناسیون جهت تولید مواد فعال سطحی

۲-۱- پارافین سولفوناتها

پارافین سولفوناتها از مواد فعال سطحی آنیونی هستند که در فرمولاسیون مواد شوینده مانند مایعات ظرفشویی و دیگر شوینده های مایع به کار می رود. طول زنجیر کربنی فرآورده های استاندارد ۱۳ تا ۱۶ کربن است. فرآیند سولفوآکسیداسیون نسبت به فرآیند سولفوکلراسیون از اهمیت بیشتری برخوردار است.

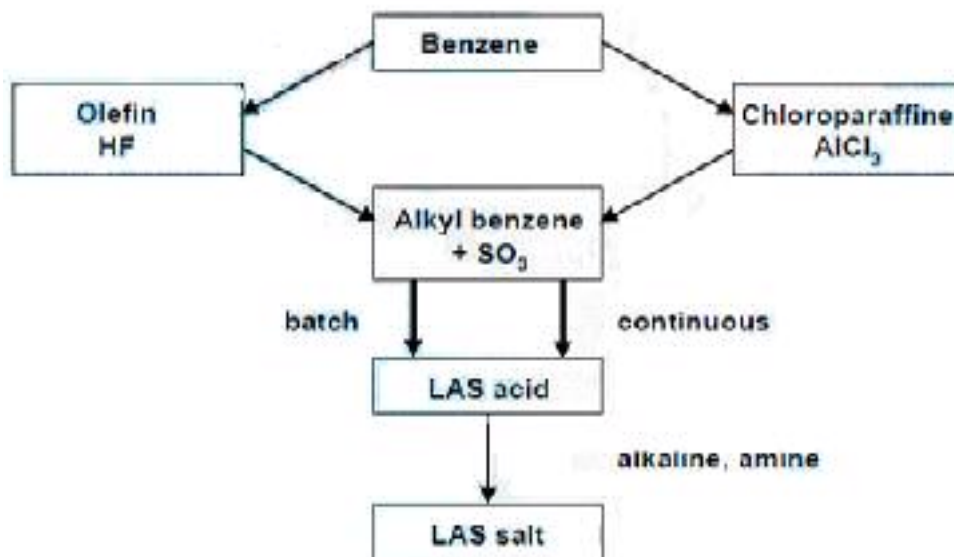


شکل (۴) - فرآیند سولفو اکسیداسیون

۲- آلکیل بنزن سولفوناتها

آلکیل بنزن سولفوناتها یکی از مهمترین مواد فعال سطحی آنیونی است. در اکثر فرمولاسیونهای مواد شوینده از ماده اولیه آلکیل بنزن سولفوناتها (LAS) استفاده میشود. آلکیل بنزن اولیه بوسیله فرآیند آلکیلایسیون از واکنش بنزن با اولفین با HF و یا کلروپارافین و تری کلرید آلومنیوم تهیه میشود. [۳]

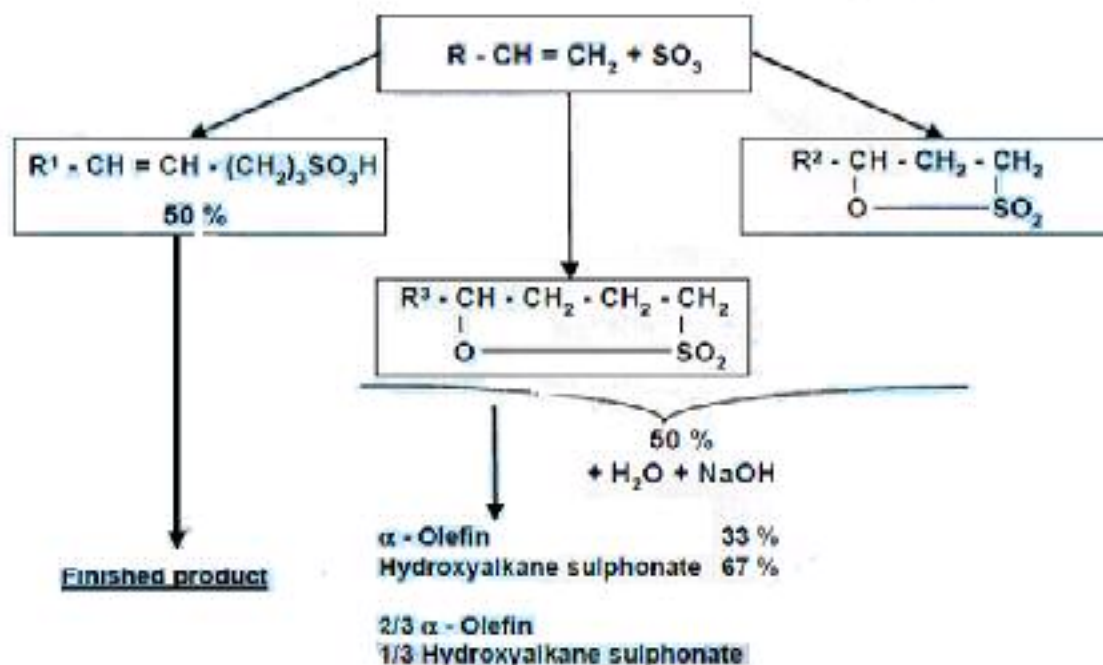
آلکیل بنزن را میتوان بوسیله اولئوم (در فرایند غیر پیوسته) و یا با گاز SO_3 در راکتور لایه نازک به صورت پیوسته سولفونه کرد. ترکیب سولفونه شده سولفونیک اسید به صورت نمک در صنایع شوینده مورد مصرف قرار میگیرد. [۱۳] و [۱۴]



شکل (۵) - فرآیند تولید آلکیل بنزن سولفونات

۲-۳-آلفا اولفین سولفوناتها

آلفا اولفین سولفوناتها برزای اولین بار در آمریکا و ژاپن توسعه یافت. این ترکیبات از واکنش بین آلفا-ولفینهای ۱۴ تا ۱۸ کربن با گاز SO_3 تهیه میشوند. شکل (۶) فرآیند تولید این دسته مواد را نشان میدهد. ماده حد واسط سولتان (Sultones) بوسیله سود و آب تبدیل به مخلوط آلفا الفین سولفونات و هیدروکسی آلکان سولفونات میشود. [۱۳] و [۱۴]



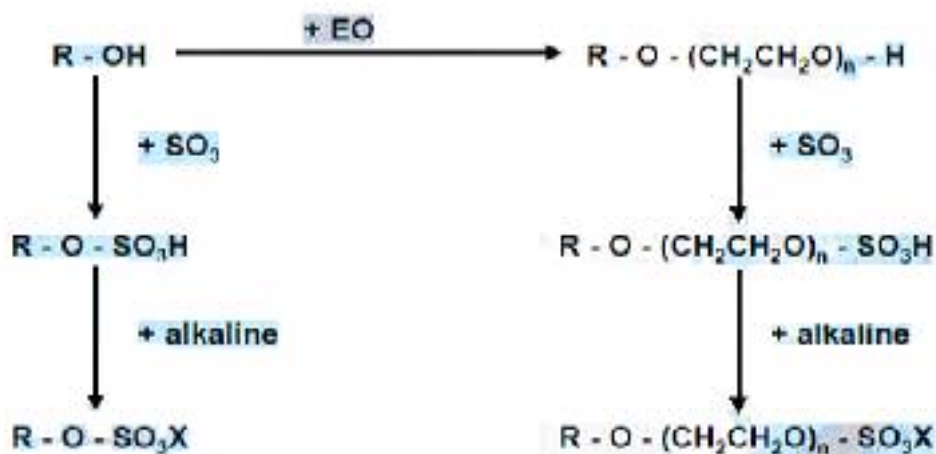
شکل (۶)- فرآیند تولید آلفا اولفین سولفونات

۲-۴- آلکیل سولفات‌ها

آلکیل سولفات‌ها یکی دیگر از مواد فعال سطحی آنیونی پرمصرف در صنایع شوینده به شمار می‌روند. این ترکیبات اولین بار به عنوان شوینده پارچه مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند تولید این ترکیبات واکنش بین الکل چرب و گاز تری اکسید گوگرد رقیق شده در راکتورهای خاص صورت می‌گیرد. مخلوط واکنش بوسطه یک باز و ترجیحا سود خنثی می‌شود. [۱۳] و [۱۴]

۲-۵- آلکیل اتر سولفات‌ها

الکهای اتوکسیله با تعداد ۲ تا ۳ مول اتیلن اکساید با گاز تری اکسید گوگرد رقیق شده واکنش داده و اسید حاصل بوسیله سود، آمونیاک و یا یک آمین خنثی می‌شود. برخلاف سولفونات‌ها، آلکیل سولفات و آلکیل اتر سولفات نسبت به pH حساسند و در pH پائین تر از ۴ واکنش خود کاتالیزتی باعث شکست پیوند استری می‌گردد. [۱۳] و [۱۴]



شکل (۷) - فرآیند تولید آلکیل سولفات و آلکیل اتر سولفات

از روش سولفوناسیون با سولفامیک اسید ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$) نیز میتوان جهت الکلهای سولفات و الکلهای اتوکسیله جهت تشکیل یک نمک خنثی آمونیوم استفاده نمود.

۲-۶- متیل استر فنی اسید سولفونات

متیل استر سولفونات (MES) یک سورفکتانت آنیونی است که از منابع تجدید پذیر مانند روغنهای گیاهی، روغن و چربی تهیه میشود. فرآیند تولید این ماده براساس استریفیکاسیون و سولفوناسیون با گاز تری اکسید گوگرد صورت میگیرد. این ماده فعال سطحی به عنوان ماده جایگزین با قابلیت زیست تخریب پذیری مناسب نسبت به آلکیل بنزن سولفونات مطرح است. این ترکیب از حلالیت مناسب، خواص شویندگی مناسب، قابلیت امولسیون شدن و عدم ایجاد حساسیت مناسبی برخوردار است. علاوه بر روشهای ذکر شده استفاده از اسید سولفوریک، اولئوم، سدیم بی سولفیت، جهت سولفونه نمودن ترکیبات و تهیه مواد فعال سطحی به کار میروند. به عنوان مثال مواد فعال سطحی همچون سولفو ساکسیناتها بوسیله سولفوناسیون با سدیم بی سولفیت تهیه میشوند. [۱۴] و [۱۵]

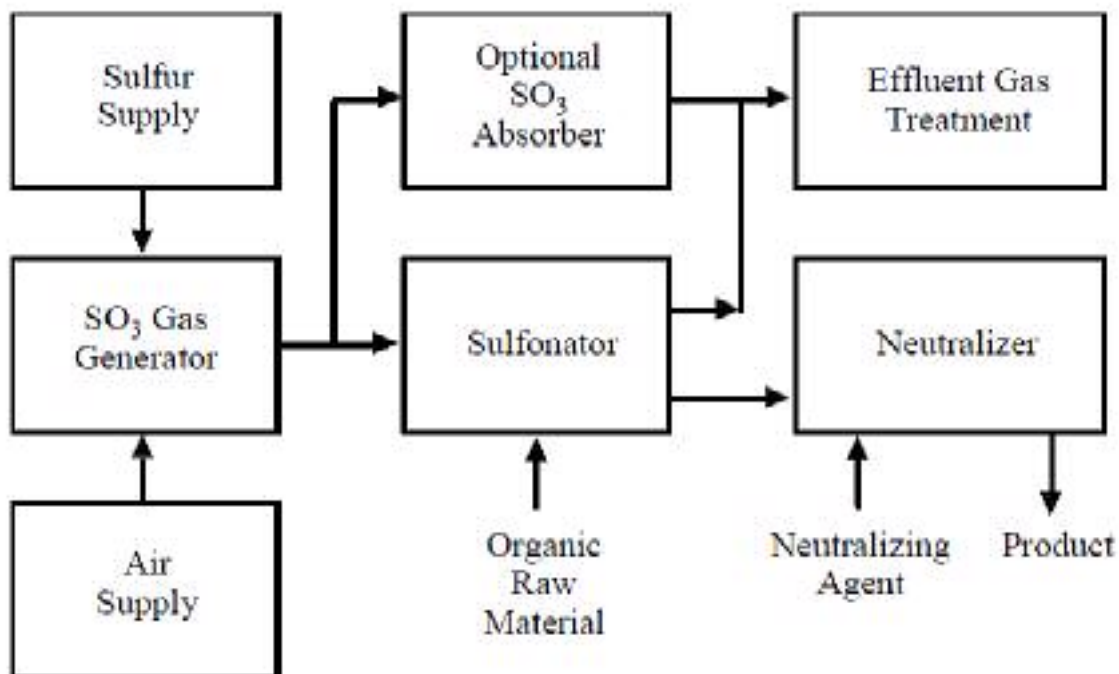
۳- سولفوناسیون falling film جهت تهیه سورفکتانتها

آلکیل بنزن سولفونیک اسید به عنوان یکی از مواد فعال سطحی پرمصرف آنیونی بطور وسیع تولید میگردد.



بطور کلی روش عمومی تولید آلکیل بنزنسولفونیک اسید خطی، سولفو ناسیون آلکیل بنزن با گاز تری اکسید گوگرد است. در صنعت از راکتورهای چند لوله ای (multitube falling film reactors) برای سولفوناسیون با گاز SO_3 استفاده میشود. در این راکتور گاز رقیق شده SO_3 در هوای خشک در تماس با آلکیل بنزن مایع قرار میگیرد. این واکنش به شدت گرمازا است و کیفیت محصول به خارج کردن حرارت از راکتور و زمان تماس بستگی دارد. سولفات الکلهای چرب و همچنین اتر سولفات الکلهای چرب نیز با استفاده از گاز تری اکسید گوگرد تهیه میشوند.

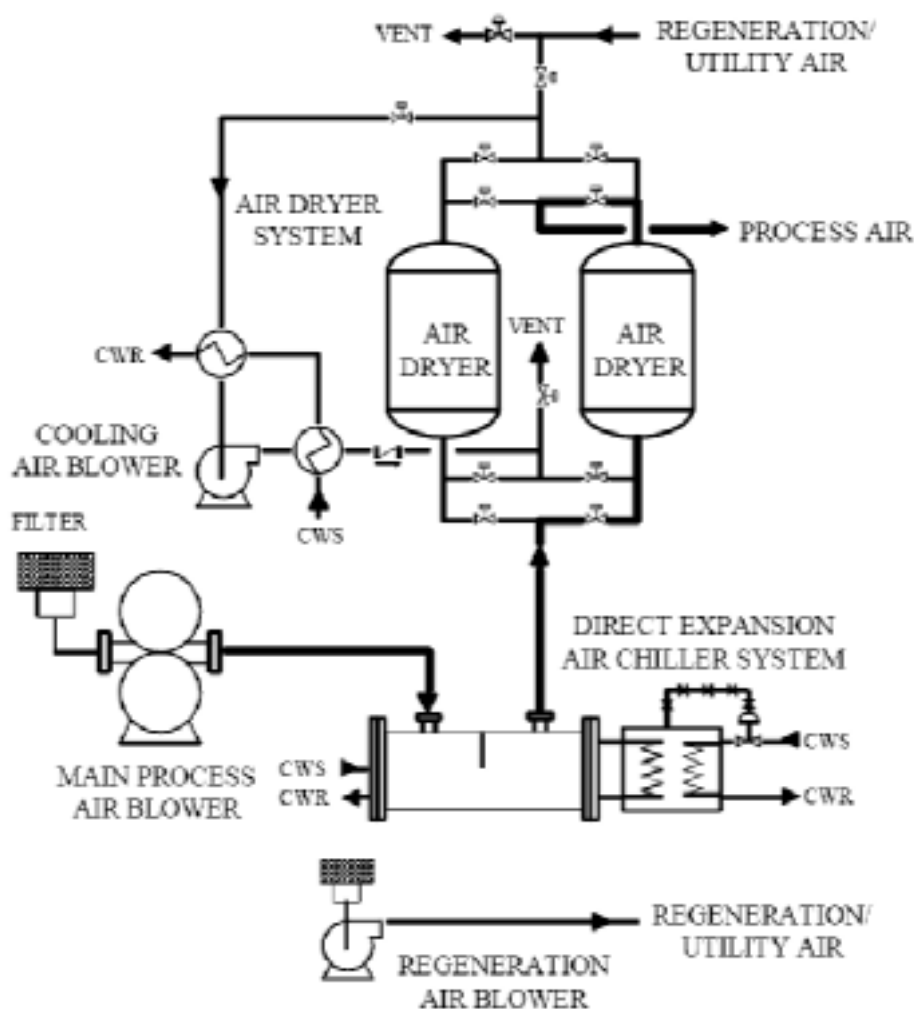
سولفات الکلی چرب یا اترسولفات الکلی چرب از دیگر مواد فعال سطحی آنیونی پر مصرف هستند. آخرین تکنولوژی تولید سولفات الکلی چرب یا اترسولفات الکلی چرب استفاده مستقیم از گاز SO_3 به عنوان عامل سولفات کردن می باشد. این فرآیند نه تنها محصولی با خلوص بالا تولید می کند، بلکه بسیار اقتصادی بوده و ضایعات کمی تولید می کند. قلب این فرآیند راکتور آن می باشد. راکتورها می توانند به شکل بچ، آبشاری (Cascade) و یا فیلم در حال ریزش (Falling-Film) باشند. در صنعت روش فیلم در حال ریزش (Falling-Film) را به خاطر قابلیت بیشتر کنترل و بازدهی بالاتر ترجیح می دهند. در این روش راکتورها می توانند به اشکال چند لوله ای، تک لوله ای و یا حلقوی باشند. تولید سولفات الکلی چرب و یا اتر سولفات آن را می توان به پنج مرحله تقسیم کرد. آماده سازی هوای فرآیند، تولید SO_3 ، سولفوناسیون، خنثی سازی و خارج سازی گاز. [۱] [۲] [۱۴] و [۲۱-۱۶]



شکل- (۸)-فرآیند پیوسته سولفوناسیون بوسیله مخلوط گاز SO_3 و هوا

۳-۱- مرحله اول: آماده سازی هوا

در این مرحله هوای فشرده را توسط چیلرهای خاص به دمای ۷ درجه سانتیگراد رسانده، هوای سرد پس از خشک شدن به دمای ۸۰ درجه سانتیگراد زیر صفر میرسد. برای کیفیت تولید یکنواختی هوای ایجاد شده ضروری است. شکل (۹) سیستم تهیه هوا جهت سولفوناسیون را نشان میدهد. [۱] و [۲]

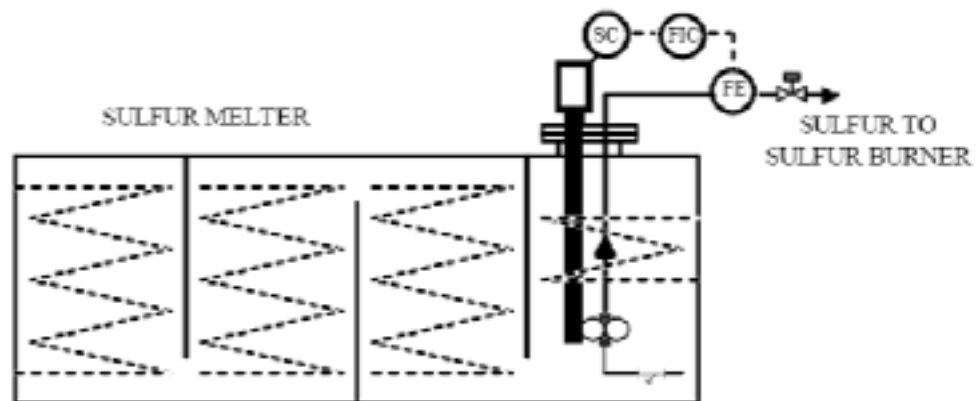


شکل- (۹) - سیستم تهیه هوا

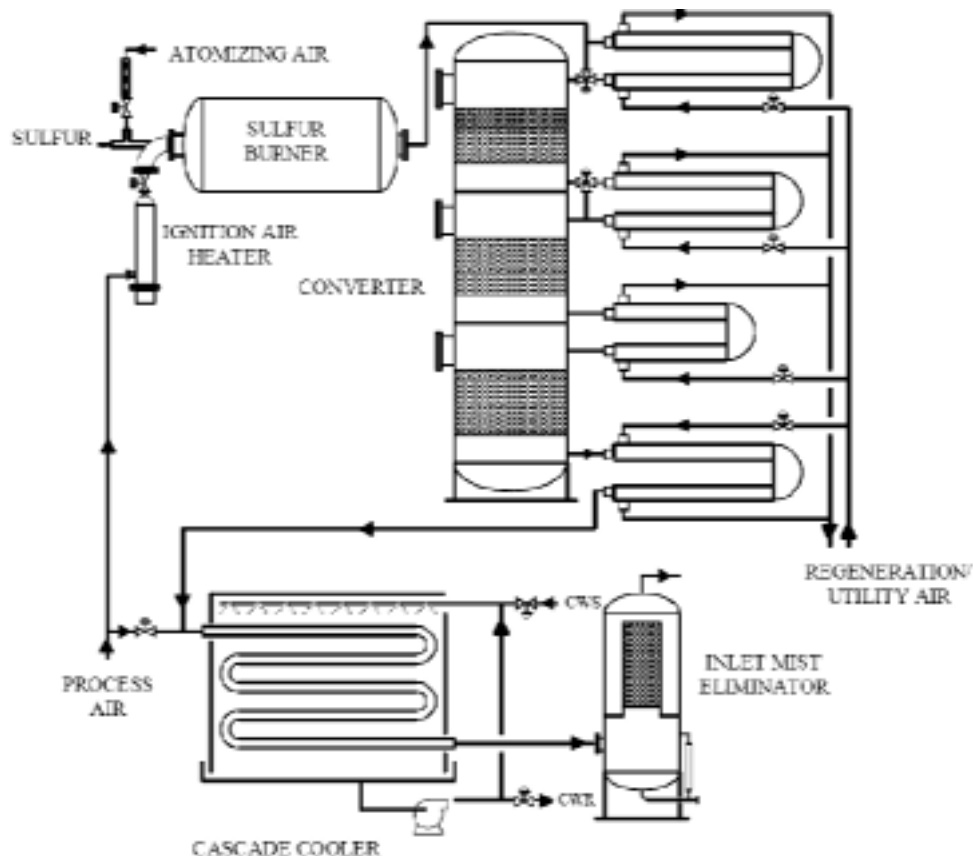
۳-۲- مرحله دوم: تولید SO_3

برای تولید تری اکسید سولفور، گوگرد با خلوص بالا (99/5%) را در مخزن ذوب می کنیم و دمای آن را برای پایین و ثابت ماندن ویسکوزیته در حدود $150-140^{\circ}C$ حفظ می کنیم. گوگرد ذوب شده را توسط یک پمپ به کوره انتقال داده و در هوای خشک می سوزانیم تا گاز SO_2 تولید شود. گاز رقیق SO_2 (6-7%) با دمای حدود $650^{\circ}C$ کوره را ترک می کند و قبل از تزریق به کنورتور تا $430^{\circ}C$ خنک می شود. مبدل کاتالیزوری با 2-4 بستر پنت اکسید وانادیوم، با ضریب SO_2 98% را به SO_3 تبدیل می کند. گاز

حاصله را تا کم تر 60°C خنک کرده و تا 4% حجمی رقیق می کنیم و از یک دستگاه حذف کننده غبار عبور داده تا ذرات اولئوم تولید شده را قبل از تزریق به رآکتور حذف نماید. شکل ۹ یک نمونه از سیستم تولید گاز را نشان می دهد. [۱] و [۲]



شکل (۱۰) - سیستم خوراک گوگرد

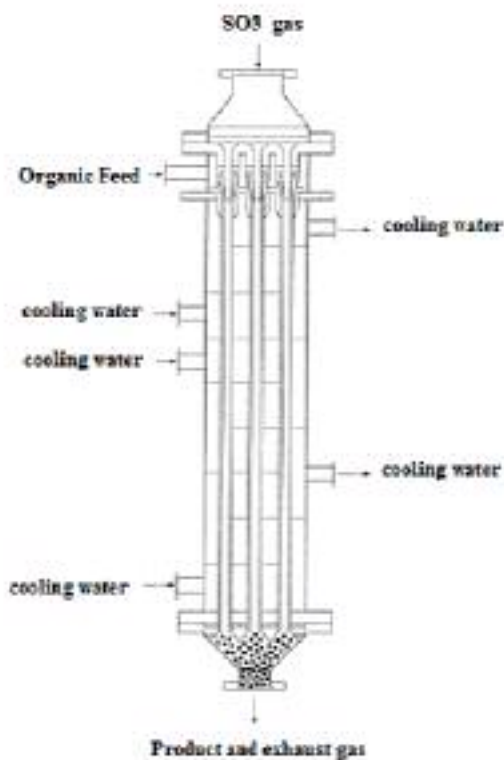


شکل (۱۱)- تولید کننده گاز SO_3

۳-۳- مرحله سوم سولفوناسیون

سولفوناسیون در یک رآکتور Multitude Film صورت می گیرد که به طور خاص برای کنترل نسبت های مولی گاز SO_3 و ورودی مواد آلی در هر لوله طراحی شده است. مواد از بالا وارد شده و به صورت هم مسیر و در لوله از بالا به پایین جریان میابند. از

آنجایی که واکنش تقریباً آبی و گرم‌زاست، آب خنک‌کننده به صورت کنترل شده در پوسته جریان می‌یابد تا دمای $40-50^{\circ}\text{C}$ حفظ شود. در این حالت خلوص 97% به راحتی قابل دسترس می‌باشد. [۱] و [۲]



شکل (۱۰) - راکتور چند لوله ای

۳-۴- خشی سازی

از آن جایی که ممکن است محصول هیدرولیز شده و اثر بدی بر فرآیند و کیفیت محصول نهایی داشته باشد محصول واسطه از راکتور بایستی بلافاصله خنثی شود. این کار توسط یک واحد خنثی سازی مداوم دو مرحله ای انجام می‌شود. یک میکسر چند تیغه ای، اختلاط یکنواختی را به وجود می‌آورد. بسیار مهم است که خمیر تولید شده کمی قلیایی باشد تا از ثبات محصول و فرآیند پذیری آن اطمینان حاصل شود. به طور متوسط غلظت 72% ماده فعال به آسانی قابل دسترس می‌باشد. غلظت های بالاتر



توصیه نمی شود زیرا ممکن است باعث ایجاد اشکال در فرآیند شود. اگر هدف تولید محصول خشک باشد، می توان خمیر را در یک تبخیر کننده (Wiped Film Evaporator) خشک کرد. شکل 24 یک خنثی کننده دو مرحله ای را نشان می دهد. [۱] و [۲].

۳-۵- مرحله پنجم عملیات روی گاز خروجی (Exhaust Gas Treatment)

کیفیت گاز متصاعد شده را باید طی عملیاتی منطبق با قوانین محیط زیست نمود. گاز خروجی از رآکتور حامل مقادیر کمی مواد آلی و گازهای واکنش نداده SO_2 و SO_3 می باشد. دو ناخالصی اول توسط رسوب دهنده های الکترواستاتیک جدا می شوند. SO_2 باقیمانده توسط واکنش با محلول سود که به صورت غیر هم سو در یک ستون جریان دارد جداسازی می شود. غلظت SO_2 موجود در گاز وارد شده به اتمسفر حداکثر ۵ PPM نگه داشته می شود که پایین تر از حد استاندارد می باشد. [۱] [۲]

۴- نکات اساسی پیرامون ایمنی در واحدهای شیمیایی

در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی افرادی که در صنایع فرایندی مشغول به کار بودند متوجه شدند که با توسعه کارخانه ها و صنایع که باعث افزایش مقدار انبارداری مواد سمی و خطرناک بود، روش آزمون و خطا و آموختن بر اساس یادگیری از اشتباهات اقدام در صورت نیاز (دیگر قابل پذیرش و مناسب نیست. در واقع روش سنتی ایمنی یک روش عکس العملی بود و مبتنی بر این مهم بود که ابتدا حادثه رخ دهد و سپس اقدام به یافتن مشکلات و رفع آنها صورت گیرد. با گذشت زمان روشهایی به منظور شناسایی و تشخیص خطرها و برای کمتی سازی پیامدهای ناشی از مخاطرات خرابیها ارائه شدند. این روشها به تدریج و برای کمک به تصمیم گیری در باره فرایند به هنگام توسعه و یا طراحی واحد، گسترش یافتند. لزوم تشخیص و کمتی سازی مخاطرات امری اجتناب ناپذیر و حیاتی به نظر میرسید. در واقع در نگرش مدرن در واحدهای فرایندی امکان پیشبینی مخاطرات توسط ارزیابی ایمنی فراهم گردید و این مهم باعث حرکت به سمت پیشگیری از مخاطرات و حتی جلوگیری از افزایش خسارات و پیامدهای حوادث در واحدهای فرایندی بسیاری شد.

به تدریج و به منظور ارزیابی مخاطرات و آنالیز سیستم های فرایندی روشهای مختلف و متنوعی ارائه شد که هر کدام از این تکنیکها قابلیتها و محدودیتهایی را در بردارند. از انواع روشهای معمول مورد استفاده برای آنالیز سیستم های فرایندی میتوان به What-If، Analysis، PHA، Check List، What if/ checklist، FMEA، FMECA، HAZAP اشاره کرد که هر یک از این روشها با رویکردهای خاص مزایا و معایب را دارا می باشند. نوع فرایند، محدودیتهای اقتصادی و زمانی، میزان دقت مورد انتظار و نیروی انسانی از جمله مواردی هستند که میتوانند در انتخاب تکنیک بهینه به منظور آنالیز سیستم اثرگذار باشند. [۲۲] و [۲۳]

اجزاء مشترک بین همه تکنیکهای ارزیابی مخاطرات عبارتند از:

-شناسایی مخاطرات فرایندی



-مرور حوادث قبلی در واحدهای مشابه

-ارزیابی پیامدهای خرابی سیستم های کنترلی

-وضعیت قرارگیری تجهیزات

-توجه به عوامل انسانی

-ارزیابی اثرات حادثه بر روی کارگران

۵-اطلاعات لازم به منظور ارزیابی مخاطرات فرایندی از طریق روش (Process Safety Management PSM)

در مبحث ارزیابی مخاطرات، شناخت سیستم و تکنیک مناسب برای تشخیص خطرهای و سناریوهایی که امکان پیشامد حادثه برای واحد فرایندی را دارا میباشند، امری مهم و ضروری است. میتوان صورت خلاصه مهمترین اطلاعات لازم مربوط به ایمنی فرایند سولفوناسیون در ارزیابی مخاطرات را اینگونه بیان کرد:

۵-۱-دستیابی به اطلاعات مواد شیمیایی خطرناک در فرایند سولفوناسیون

بدست آوردن اطلاعات پیرامون مواد شیمیایی به کار رفته در فرایند و مواد حد واسط بسیار مهم است. این اطلاعات باید شامل مواردی نظیر اطلاعات پیرامون سمی بودن مواد، محدودههای انفجاری، دادههای فیزیکی نظیر نقاط جوش، انجماد، دانسیته مایع و بخار، فشار بخار، حدود اشتعال زایی حداکثر و حداقل، میزان انحلالپذیری، بو و ... باشد. همچنین اطلاعات پیرامون خوردگی و اثرات مواد بر روی فلزها و مواد سازنده و نیز دادههای حرارتی نظیر گرمای واکنش و گرمای احتراق نیز مهم میباشد. در ایمنی فرآیند سولفوناسیون علاوه بر مواد اصلی ایمنی مواد حد واسط نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر آن مشخصات فیزیکی و بررسی ایمنی مواد در طی فرآیند نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. ملاحظات ایمنی موادی نظیر گوگرد، SO_2 ، SO که در فرآیند سولفوناسیون به کار میرود، در شرایط عملیاتی متفاوت است.

۵-۲-اطلاعات پیرامون فناوری فرایند سولفوناسیون

در این قسمت لازم است تا اطلاعات آخرین نسخه از PFD و PID ها بدست بیاید. همچنین اطلاعات راجع به شیمی فرایند، محدودیت های فرایندی، تخمین کیفی پیامدهای انحراف های محتمل مورد نیاز میباشد. با وجود یکسان بودن اصول فرآیند سولفوناسیون در تکنولوژیهای مختلف، جهت بررسی ایمنی لازم است هر فرآیند بطور مستقل مورد بررسی قرار گیرد. صاحبان تکنولوژی سولفوناسیون در احداث واحدهای جدید با تغییراتی در فرآیند اصلی و شرایط عملیاتی درصدد بهبود محصول نهایی هستند بر این اساس لازم است در بررسی ایمنی سولفوناسیون هر فرایند بطور مستقل بررسی شود. به عنوان مثال شرکتهای صاحب تکنولوژی سولفوناسیون جهت کاهش میزان ماده سمی دی اکسان در محصول نهایی تغییراتی در فرآیند سولفوناسیون داده



اند که لازم است در بررسی ایمنی این تغییرات نسبت به واحدهای قبلی مورد توجه قرار گیرد. در حال حاضر فناوری های مختلف جهت تولید مواد فعال سطحی سولفونه شده عرضه شده است. شرکتهایی نظیر IIT, CHEMITON, Ballestra از صاحبان تکنولوژی سولفوناسیون هستند. جهت بررسی ایمنی این فرآیند مشخص بودن نقشه های PID, PFD لازم و ضروری است.

۵-۳- اطلاعات پیرامون تجهیزات فرآیند سولفوناسیون

اطلاعات مورد نیاز برای این منظور شامل جنس مواد سازنده واحد سولفوناسیون، PID ها، طبقه بندی الکتریکی، طراحی سیستم های کاهش فشار و آشنایی با طراحی پایه، طراحی سیستم تخلیه، استاندارد به کار گرفته شده، سیستم های ایمنی و نیز موازنه جرم و انرژی برای فرایند است. تعیین نقاط حادثه آفرین در فرآیند سولفوناسیون با استفاده از این اطلاعات امکان پذیر است. [۲۶-۲۲].

۶- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله روش کلی ایمنی در فرآیند سولفوناسیون ارائه شد. گروه پژوهشی فرآیند جهاد دانشگاهی با تجربه ایجاد واحد تولید مواد اولیه صنایع شیمیایی، لحاظ کردن ملاحظات ایمنی صنایع شیمیایی را در طراحی و ساخت واحدها مورد نظر قرار داده است. همچنین پروژه های جداگانه ای در زمینه ایمنی در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی اجرا نموده است. در نظر گرفتن خصوصیات و رفتار مواد سولفونه کننده در شرایط مختلف واکنش، ملاحظات ایمنی و سمیت مواد، تجهیزات انتقال دهنده، مخازن نگهداری و همچنین ملاحظات اساسی در انبارداری به همراه آگاهی از تجربیات و اتفاقات سایر واحدها در کشورهای مختلف این امکان را به ما خواهد داد تا امکان ایجاد خطرات ناشی از این فرآیند به حداقل کاهش یابد.

۷- منابع

1. Herman de Groot, Sulphonation Technology in the Detergent Industry, 1991.
2. Norman C. Foster, Sulfonation and Sulfation Process, CHEMITHON Corporation
۳. ایرانپور، سعید، همکاران، آلکیل بنزن خطی (LAB) در فرمولاسیون شوینده ها، اولین همایش ملی شناخت مواد فعال سطحی بر پایه آلکیل بنزن خطی، شرکت سرمایه گذاری صنایع شیمیایی ایران، اصفهان، آذر ۸۴.
4. R.N. Khelevin, j.org.chem.USSR, 23 (1987), p. 1709.
5. E.E. Gilbert, Sulfonation and Related Reactions, Wiley, 1965, p.62.



6. R.O.Robin jr., J.W.Clapp.j.org.chem., 61, 1996, p.1530.
7. K.Smith, H.Duanjie, j.org.chem.61, 1996, p.1530
8. T.Umemoto, G.Tomozwaza, j.org.chem.60, 1995, p.6563.
9. H.Cerfontain, H.J.A, j.chem.soc, Perkin trans.2, 1985, p.659
10. P.G.M. Wuts, Wilson synthesis, 1998, p.1593.
11. B.W.Corby, j.chem.res.synop. 7, 2002, p.326.
- 12.T.P. Bochkareva,j.org.chem.USSR (Eng.Transl.),25,1989,p.1349
13. Surfactants as Raw Materials, Clariant, 2001
- 14.John Texter, Reactions And Synthesis In Surfactant Systems (Surfactant Science ,CRC Press;,2001
15. Teruhisa Satsuki, Kenji Umehara, Yuji Yoneyama (1992). "Performance and Physicochemical Properties of α -Sulfo Fatty Acid Methyl Esters". Journal of American Oil Chemists' Society 69 (7): 675–677
- 16.(Falk, R. Taplin, U.S. Patent 2,923,728 (1960
- 17.(E. A. Knaggs, M. Nussbaum, U.S. Patent 3,169,142 (1965
- 18.(Van der May, U.S. Patent 3,501,276 (1970
- 19.(A. Lanteri, U.S. Patent 3,931,273 (1976 .
20. Aigner; Rudolf, U.S. Patent 20080306295 (2008)Method and Device for the Sulfonation or Sulfation of Sulfonatable or Sulfatable Organic Substances and for Performing Faster, Strongly Exothermic Gas/Liquid Reactions
- 21.F. Moretti, Canadian Patent 1,144,561 .
- Louis Ho Tan Tai,Formulating Detergents and Personal Care Products,A Guide to Product Development,AOCSS - PRESS,2000
22. DOE HANDBOOK CHEMICAL PROCESS HAZARDS ANALYSIS,U.S. Department of Energy,1996
- اسفند ۹۱-۹ HSE,۲۳.هرمزی.ف،کمبرانی.م،ایرانپور.س. ارزیابی ایمنی در واحدهای پایشناز،اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت ۱۳۸۴ دانشگاه صنعتی شریف.
24. Kletz, T., HAZOP and HAZAN, Identifying and assessing process industry hazards, ICE, 1992.
- 25.Component Reliability Data for Use in Probabilistic Safety Assessment ,IAEA,Tec.Doc.748,1986.
26. Francis Stoessel, Thermal Safety of Chemical Processes,2008.