شرکت ملی گاز ایران

مدیریت پژوهش و فناوری

عنوان طرح:

امکان سنجی استفاده از تکنولوژی های جدید انبارداری گوگرد

عنوان پروژه:

استفاده از گوگرد و کاربردهای مختلف و مدیریت مصرف آن

تهیه کنندگان:

احمد روزبهانی ، ابراهیم علایی ، فروزان وکیلی ، طیبه بیابانی ، ابوالفضل ستاری

واحد نظارت:

انجمن مهندسی گاز ایران

مردادماه 1390

شناسنامه گزارش

عنوان پروژه: امکان سنجی استفاده از تکنولوژی های جدید انبارداری گوگرد

واحد پژوهشی: پژوهشگاه صنعت نفت

مجری: احمد روزبهانی

نام و نام خانوادگی همکاران مجری: ابراهیم علایی – فروزان وکیلی – طیبه بیابانی – ابوالفضل ستاری – کیوان خورسند – رضا بندریان – رضا بهرادی یکتا – فاطمه عدل بند – فرزانه محمدی فرد

نام و نام خانوادگی ناظر: انجمن مهندسی گاز ایران – داوود مهرآوند – منصور دفتریان

انجمن مهندسی گاز ایران – پژوهشگاه صنعت نفت – پژوهشکده شیمی و پتروشیمی– واحد پژوهش کودهای شیمیایی و مواد معدنی

۸۹/۰۳/۰۱

تاریخ اتمام: ۸۹/۱۲/۲۵

مدت اجرا: ۱۰ ماه

نوع گزارش: نهایی اصلاح شده

تاریخ تهیه: مردادماه ۱۳۹۰

چکیده

امروزه نیاز روبه رشد مصرف انرژی در جهان همسو با افزایش تقاضا در زمینه سوخت های مختلف فسیلی بویژه نفت و گاز همراه بوده است. این مهم در کنار عوامل دیگر نظیر ترش تر شدن منابع هیدروکربوری جهان به دلیل برداشت های مستمر از آنها از یک سو و اعمال محدودیت ها و قوانین زیست محیطی سخت گیرانه در کاهش میزان گوگرد فرآورده های مختلف نفتی و گازی از سوی دیگر، سبب شده است تا روند تولید سالیانه گوگرد در جهان با یک سیر صعودی و تصاعدی همراه باشد. به تبع موارد فوق، چالشی که گریبانگیر کشورهای تولید کننده گوگرد، به روش عنصری از منابع نفت و گاز شده است حجم بالای تولید و مازاد عرضه این محصول است.

روند عرضه و تقاضای گوگرد حاکی از آن است که در بخش هایی از جهان مثل آمریکای شمالی و خاورمیانه میزان تولید گوگرد بسیار فراتر از مصرف است. لذا کشورهای عمده تولید کننده منطقه در تلاش هستند تا با بکارگیری شیوه های مناسب انبارش گوگرد و ایجاد روابط تجاری مناسب با بازارهای مصرف، ذخیره سازی و صادرات گوگرد تولیدی خود را مدیریت نمایند.

بررسی داده های مربوط به شیوه های مختلف انبارش گوگرد در منابع اطلاع رسانی موجود و مقایسه آنها با روش های کنونی موجود در پالایشگاهای تولید گوگرد در کشور حاکی از وجود نقاط ضعفی برای انبارش های درازمدت گوگرد است. بر همین اساس تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده نشان می دهد که با انتخاب استراتژی مناسب می توان با اتخاذ شیوه های مناسب انبارش گوگرد نه تنها از معضلات زیست محیطی جلوگیری کرد بلکه با مدیریت فروش آن می توان بهره های اقتصادی لازم را برد.

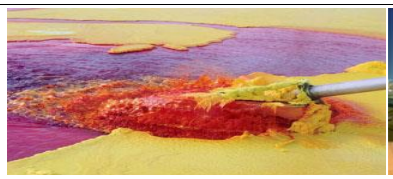
انجمن مهندسی گاز ایران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: گوگرد مازاد و ضرورت مدیریت انبارش آن	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- عرضه گوگرد در جهان	۴
۱-۳- تقاضای گوگرد در جهان	۶
۱-۴- عدم توازن عرضه و تقاضای گوگرد	۸
۱-۵- تولید گوگرد در ایران	۹
۱-۶- ضرورت انبارش گوگرد	۱۲
فصل دوم: مروری بر روش های انبارش گوگرد	۱۷
۲-۱- معرفی انواع روش های انبارش	۱۸
۲-۲- انبارش خارجی	۱۹
۲-۲- ۱- روش بلوک کردن	۲۰
۲-۲- ۲- انبارش خارجی گوگرد دانه بندی	۲۱
۲-۲- ۳- روش بلوک های تقویت شده ساختاری	۲۲
۲-۳- انبارش داخلی	۲۴
۲-۳- ۱- انبارهای مسقف	۲۵
۲-۳-۲- انبارش زیر سطح زمین	۲۶
۲-۳-۳- انبارش زیر زمین (اعماق بسیار زیاد)	۲۸
۲-۳-۴- بلوک های روکش دار	۳۰
۲-۳-۵- مخازن پلیمری	۳۲
فصل سوم: انبارش و حمل گوگرد از نگاه ایمنی	۳۵
۳-۱- مشکلات حمل و نقل و انبارداری گوگرد	۳۶
۳-۲- کاهش H_2S جهت حمل ایمن گوگرد مذاب	۳۹
۳-۳- روشهای ایمن مقابله با H_2S آزاد شده	۴۰
۳-۴- میزان سولفید هیدروژن قابل حل در گوگرد	۴۹

۵-۳- خطرات آتش سوزی گوگرد	۵۱
۱-۵-۳- انفجارات اولیه و ثانویه ناشی از بخارهای گوگردی	۵۲
۲-۵-۳- شرایط محل انبارداری	۵۳
۳-۵-۳- منابع احتراق	۵۳
۴-۵-۳- وسعت انفجار	۵۳
۵-۵-۳- شرایط تهویه ایمن	۵۴
۶-۵-۳- ردیابی انفجار و فرونشانی آن	۵۴
۶-۳- خطرات H_2S و SO_2	۵۴
۷-۳- تخلیه استاتیکی	۵۶
۸-۳- گوگرد مرطوب و اثرات خوردگی آن	۵۶
۹-۳- اسیدی شدن باکتریایی محموله های گوگردی	۵۷
۱۰-۳- مقابله با اسیدی شدن خاک در محیط انبارداری گوگرد	۵۹
۱۱-۳- نحوه مقابله با خطرات ناشی از گوگرد مذاب	۶۰
۱۲-۳- خطرات ناشی از پراکنده شدن غبار گوگردی	۶۱
۱۳-۳- خطرات بارگیری و حمل گوگرد مذاب با تانکر	۶۲
فصل چهارم: حمل و انبارش گوگرد به شکل مذاب	۶۴
۱-۴- سیستم های جابجایی گوگرد مذاب	۶۵
۱-۱-۴- جابجایی گوگرد توسط خط لوله	۶۵
۲-۱-۴- روش های حرارت دهی گوگرد مذاب داخل لوله	۶۶
۲-۴- جابجایی گوگرد مذاب با تانکر	۷۳
۳-۴- جابجایی گوگرد مذاب با واگن	۷۴
۴-۴- جابجایی گوگرد مذاب با کشتی	۷۵
۵-۴- پمپ های گوگرد مذاب	۷۶
۶-۴- قوانین بین المللی جهت حمل و نقل گوگرد مذاب	۷۸
۱-۶-۴- مقررات ایمنی	۷۸
۲-۶-۴- علائم ایمنی	۷۹

۳-۶-۴- دوره های آموزشی	۸۰
۴-۷- تانکرهای استاندارد حمل گوگرد مذاب	۸۱
۴-۸- انبارش گوگرد مذاب	۸۱
۴-۹- پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب	۸۳
فصل پنجم: راهبردهای انبارش گوگرد در پالایشگاههای گاز ایران	۸۵
۵-۱- انبارش گوگرد در پالایشگاه گاز خانگیران	۸۶
۵-۱- ۱- مشکلات برداشت گوگرد از بلوک های گوگردی در خانگیران	۸۹
۵-۱-۲- رفع مشکلات برداشت از بلوک‌های گوگردی	۹۰
۵-۲- انبارش گوگرد در پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی	۹۸
۵-۲- ۱- مشکلات انبارش گوگرد در پالایشگاههای گاز پارس جنوبی	۹۹
۵-۲- ۲- رفع مشکلات انبارش گوگرد در پارس جنوبی	۱۰۰
۵-۲- ۳- توصیف تاسیسات فعلی انبارش گوگرد در عسلویه	۱۰۰
۵-۲- ۴- ملاحظات اقتصادی انبارش گوگرد در انبار مسقف	۱۰۲
۵-۳- امکان سنجی و ارایه مدلی برای انبارش زیرزمینی گوگرد در خانگیران و پارس جنوبی	۱۱۱
۵-۳-۱- برآورد مقدار گوگرد قابل انبارش در زیر سطح زمین	۱۱۳
۵-۳-۲- نکات در نظر گرفته شده در اساس طراحی مدل	۱۱۶
۵-۳-۳- توصیف مدل پیشنهادی	۱۱۷
۵-۴- نتیجه‌گیری	۱۲۰
۵-۴-۱- راهبردهای بهبود انبارش گوگرد در خانگیران	۱۲۰
۵-۴-۲- راهبردهای بهبود انبارش گوگرد در پارس جنوبی	۱۲۳
مراجع	۱۲۶



سرحد مي دار
ايران

مديريت پژوهش و
فناوري

پژوهشگاه صنعت نفت

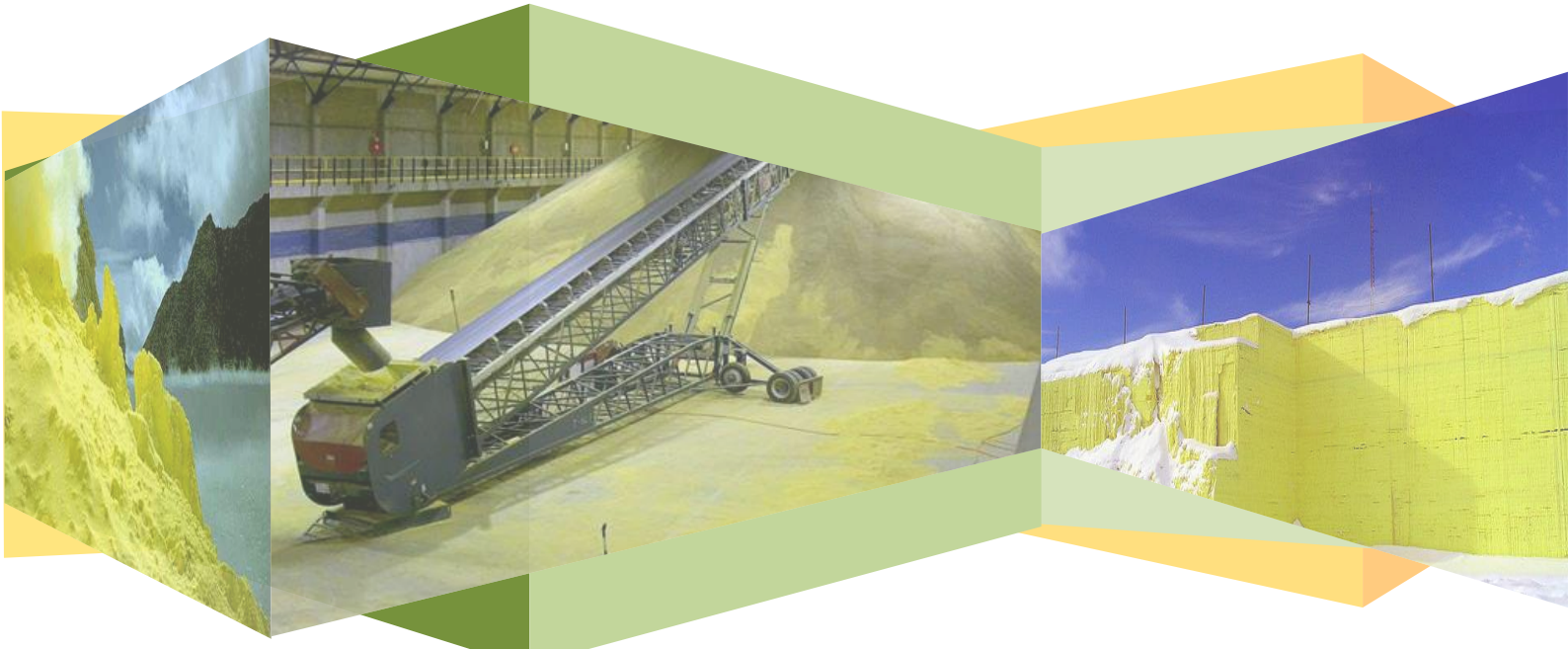
پژوهشكده شيمي و
پتروشيمي

پژوهشکده شیمی و پتروشیمی

امکان سنجی

استفاده از تکنولوژی های جدید انبارداری گوگرد

انجمن مهندسی گاز ایران



فصل اول

۱-۱- مقدمه

طی چند دهه گذشته تغییرات وسیعی در تولید و عرضه گوگرد در جهان بوجود آمده است. در حال حاضر حدود ۹۹ درصد گوگرد عنصری تولیدی جهان از منابع نفت و گاز بدست می‌آید. از سوی دیگر میزان مجاز گوگرد در فرآورده های پالایشی نفت و گاز با وضع قوانین زیست محیطی سخت‌گیرانه به طور مستمر محدود می‌گردد. از اینرو فرآیند گوگرد زادیی در آینده به صورت جدی تری مورد توجه قرار خواهد گرفت و گوگرد حاصل از تصفیه نفت و گاز به شدت افزایش خواهد یافت. در بحث میادین گازی نیز، مخازن گاز شیرین در دنیا بسیار محدود بوده و عمده گاز تولیدی جهان از منابع گاز ترش می‌باشد. همچنین روند حرکت منابع گاز طبیعی جهان به سمت ترش تر شدن می باشد. بسیاری از کشورها نیز دارای مخازن گازی بسیار ترش می‌باشند که برداشت گاز از آن میادین توجیه اقتصادی ندارد. اما شرایط اقتصاد جهانی و نوسانات بازار جهانی انرژی، آنها را مجبور به برنامه‌ریزی برای توسعه این میادین و تولید گاز از آنها نموده است. به هر حال نظر به اینکه گوگرد حاصله از فرآیند پالایش نفت و گاز یک فرآورده فرعی بوده که می‌بایست از نفت خام و گازهای ترش جدا گردد، در سالهای اخیر با توجه به تشدید ملاحظات ایمنی، بهداشت و محیط زیست تولید آن افزایش پیدا کرده است. بدین ترتیب تحولات عرضه و تقاضای انرژی، اثراتی تعیین کننده بر توازن عرضه و تقاضا و در نتیجه قیمت گوگرد در حال و آینده خواهد داشت.

بررسی های انجام شده حاکی از آن است که تولید جهانی گوگرد به شدت در حال افزایش است بطوریکه تولید از مصرف فراتر رفته و مازاد عرضه در بازار وجود دارد. پیش بینی‌ها حکایت از آن دارد که اگر روند فعلی ادامه یابد در سال‌های آتی به شدت میزان عرضه گوگرد از تقاضای آن فزونی خواهد یافت و عرضه‌کنندگان را با حجم انبوهی از موجودی گوگرد و مشکلات خاص نگهداری آن مواجه می‌کند. در این رابطه آمارهای موجود نشان می دهد که تا سال ۲۰۱۵ سالانه ۲-۴ میلیون تن گوگرد مازاد در جهان وجود داشته باشد. این شرایط وضعیت رقابت در بازار را برای عرضه‌کنندگان گوگرد افزایش و از سوی دیگر افزایش قدرت چانه‌زنی خریداران را به همراه دارد.

بطور کلی تولیدکنندگان گوگرد در عرصهٔ تجارت و کسب و کار با چالش هایی به شرح ذیل روبرو هستند:

- تولید بیش از مصرف جهانی گوگرد
- وجود مازاد عرضه گوگرد در بازار جهانی
- مشکل عرضه کنندگان گوگرد در نگهداری و انبارش آن
- آلودگی محیط زیست و ایمنی نگهداری گوگرد
- مدل کسب و کار در بازار گوگرد
- الگوی خاص مصرف و تقاضای گوگرد در جهان

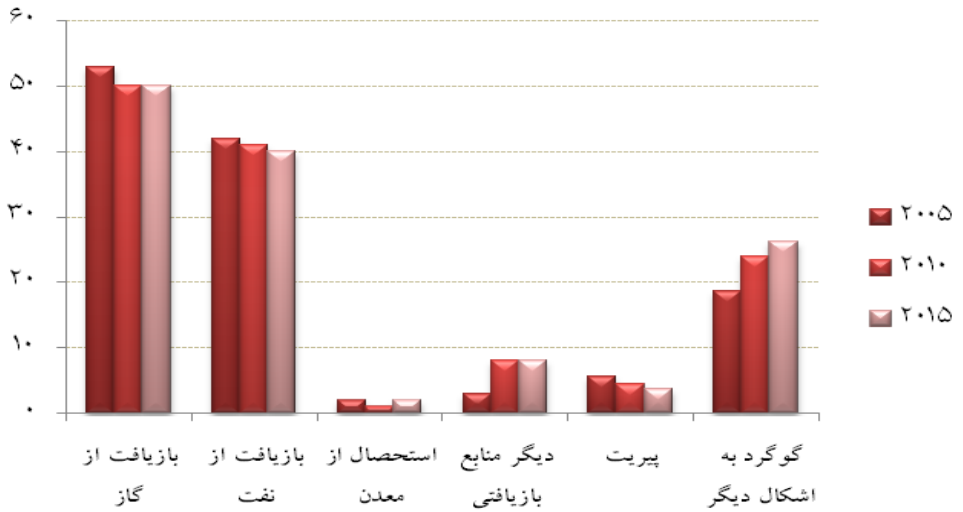
شایان ذکر است که لازمه موفقیت آنها در این بازار تصمیم گیری درست و به موقع برای عرضه گوگرد به بازار است. در این میان انبارش دراز مدت گوگرد از جایگاه ویژه ای برخوردار است. این موضوع موجب گردیده تا تولیدکنندگان عمده گوگرد چون کانادا بجای دانه بندی گوگرد آن را به شکل بلوک های بزرگ در فضای باز انبار کنند و در مواقع لازم به بازارهای هدف عرضه کنند. اگر چه از این روش انبارداری در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد نیز استفاده می گردد ولی عدم وجود استانداردهای لازم و کافی انبارش به این شیوه باعث شده است که مشکلات عمده ای به لحاظ بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی در منطقه ایجاد شود. از اینرو لازم است که در قدم اول با اصلاح شیوه کنونی انبارش گوگرد در منطقه خانگیران علاوه بر حفظ و توسعه اکوسیستم از زیان های اقتصادی که به کشور و بخصوص مجتمع پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد وارد می شود جلوگیری کرد. از سوی دیگر کنکاش در شیوه های جدید انبارش گوگرد نشان می دهد که با یک مدیریت صحیح و متمرکز می توان برنامه‌های راهبردی به منظور انبارش دراز مدت گوگرد ارایه کرد.

بررسی وضعیت تولید و انبارش گوگرد در منطقه پارس جنوبی نیز نشان می دهد که شیوه نگهداری گوگرد برای دراز مدت نمی باشد و تقریبا تمامی گوگرد تولیدی پس از دانه بندی آماده عرضه به بازارهای جهانی می گردد. در این رابطه انبارهای مسقفی در مجاورت اسکله ساخته شده است که در

در حال حاضر به دلیل کافی نبودن فضای آنها بخشی از گوگرد تولیدی فازهای پارس جنوبی در فضای باز انبار می شود.

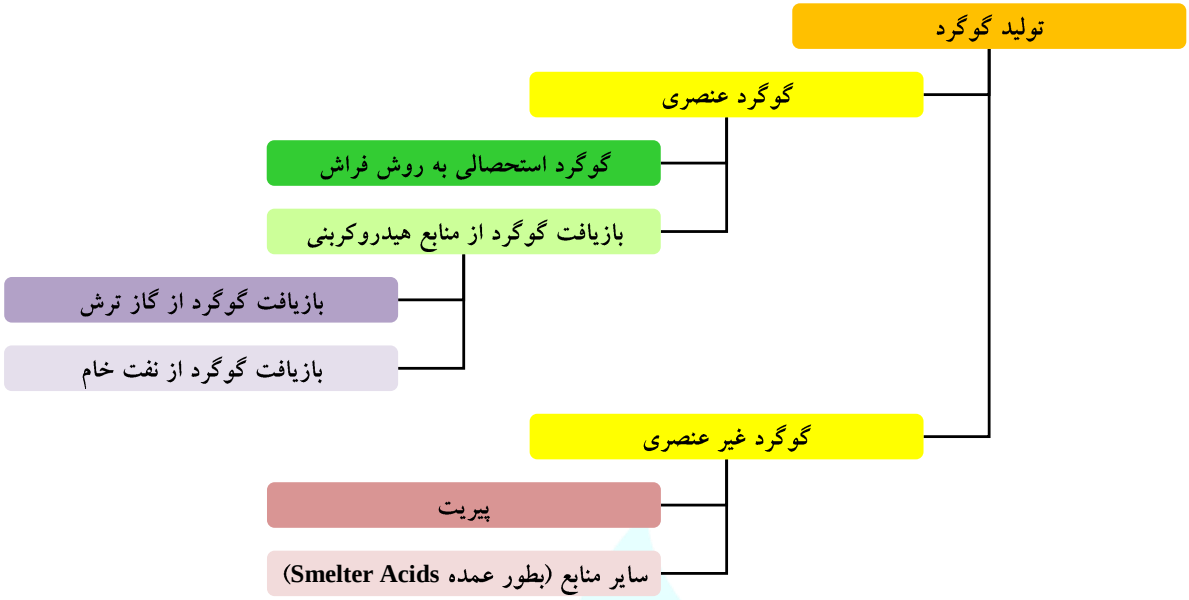
۲-۱- عرضه گوگرد در جهان

در طی سه دهه گذشته تغییرات وسیعی در تولید و عرضه گوگرد در جهان بوجود آمده است. تا اوائل دهه هفتاد گوگرد معدنی بیش از ۶۵ درصد مجموع گوگرد تولیدی جهان را تشکیل می‌داد، ولی بتدریج از اهمیت گوگرد معدنی کاسته شده و به همان نسبت مقدار گوگرد بازیافتی از نفت و گاز افزایش یافته بطوریکه در حال حاضر حدود ۷۰ درصد کل گوگرد تولیدی جهان بصورت محصول بازیافتی از نفت خام و گازهای ترش بدست می‌آید (نمودار شکل ۱-۱).



شکل(۱-۱) نمودار کمی منابع تولید گوگرد در جهان

بطور کلی گوگرد به دو شکل عنصری و غیرعنصری بدست می آید. گوگرد عنصری از منابع معدنی و یا منابع نفت و گاز بدست می آید در صورتیکه گوگرد غیر عنصری از پیریت و دیگر ترکیبات گوگردی ایجاد می شود (نمودار شکل ۱-۲).



شکل (۲-۱) نمودار انواع گوگرد تولیدی

آمارهای موجود نشان می دهد که در سال ۲۰۰۹ حدود ۹۹ درصد گوگرد عنصری از منابع هیدروکربنی (نفت و گاز) تولید شده است. بعبارت دیگر منابع نفت و گاز نقش عمده ای در تولید گوگرد جهان دارد. از اینرو انتظار می رود میزان تولید گوگرد در آینده ارتباط مستقیمی با تقاضای نفت و گاز در جهان داشته باشد. آنالیزهای آماری مشابه نشان می دهد که در سال ۲۰۱۵ کل گوگرد عنصری تولید شده در جهان به ۶۷/۰۹ میلیون تن در سال می رسد که این رقم نسبت به سال ۲۰۰۵ به میزان ۱۹/۲۳ میلیون تن افزایش خواهد یافت (جدول ۱-۱).

جدول(۱-۱) منابع تولید گوگرد عنصری در جهان

منبع تولید گوگرد	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	تغییر روند تولید ۲۰۱۰ – ۲۰۰۵	تغییر روند تولید ۲۰۱۵ – ۲۰۱۰
بازیافت از گاز	۲۵/۱۸	۳۰/۰۰	۳۳/۸۲	+ ۴/۸۲	+۳/۸۲
بازیافت از نفت	۲۰/۱۷	۲۴/۵۸	۲۷/۰۶	+۴/۴۱	+۲/۴۸
استحصال از معدن	۰/۸۲	۰/۵۶	۱/۰۱	-۰/۲۶	+۰/۴۵
دیگر منابع بازیافتی	۱/۶۹	۴/۴۴	۶/۰۱	+۲/۷۵	+۱/۵۷
کل گوگرد عنصری	**۴۷/۸۶**	**۵۹/۵۸**	**۶۷/۰۹**	**+۱۱/۷۲**	**+۷/۵۱**

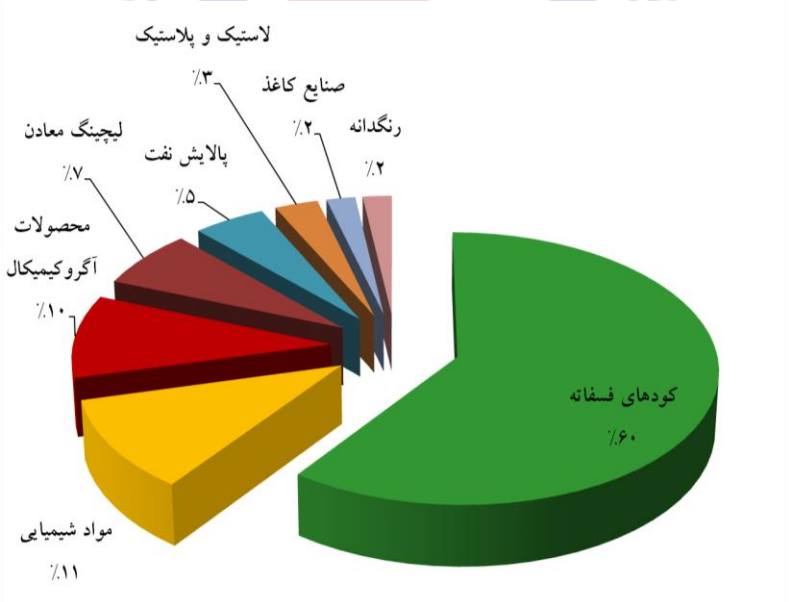
با نگاهی به ارقام تولید گوگرد کل در جهان مشاهده می شود که بر اساس پیش بینی های انجام شده تولید جهانی این محصول فرعی در سال ۲۰۱۵ بالغ بر ۹۷ میلیون تن خواهد شد (جدول ۲-۱).

جدول(۲-۱) منابع تولید گوگرد در جهان

منبع تولید گوگرد	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	تغییر روند تولید ۲۰۱۰ – ۲۰۰۵	تغییر روند تولید ۲۰۱۵ – ۲۰۱۰
گوگرد عنصری	۴۷/۸۶	۵۹/۵۸	۶۷/۰۹	+۱۱/۷۲	+۷/۵۱
گوگرد غیرعنصری	۲۴/۱۹	۲۸/۲۹	۳۰/۰۴	+۴/۱	+۱/۷۵
کل عنصری	۷۲/۰۵	۸۷/۸۷	۹۷/۱۳	+۱۵/۸۲	+۹/۲۶

۳-۱- تقاضای گوگرد در جهان

عمده ترین مورد مصرف گوگرد عنصری در تولید اسید سولفوریک است که بطور متوسط ۹۰-۸۵ درصد تولید گوگرد جهان جهت تولید این اسید مصرف می‌شود. نمودار شکل (۳-۱) بصورت گرافیکی سهم مصارف عمده گوگرد عنصری را نشان می دهد.



شکل (۳-۱) نمودار سهم تقاضای مصرف گوگرد عنصری

گوگرد بصورت خام و پردازش نشده عمدتا در صنایع تولید پاک‌کننده‌ها، چرمسازی، عکاسی، حشره‌کش‌ها و در کشاورزی بعنوان افزودنی به خاکهای قلیایی یا سدیمی کاربرد دارد. میزان کاربرد مشتقات گوگردی در صنایع مختلف، در مناطق عمده مصرف متفاوت می‌باشد. در ایالات متحده به طور متوسط بیش از ۷۰ درصد از اسید سولفوریک مصرفی در تولید کودهای شیمیایی بکار می‌رود در حالی که در کشورهای در حال توسعه ۹۰ درصد آن صرف تولید کودهای شیمیایی می‌گردد. در استرالیا نیز مصرف گوگرد ارتباط مستقیم با میزان تولید و مصرف کود شیمیایی دارد. در کشورهای اروپایی وارد کننده گوگرد و هچنین در کشورهای در حال توسعه نظیر تونس، مراکش، هلند و برزیل که بخش اعظم گوگرد مصرفی آنها از بازار جهانی خریداری می‌گردد، مصرف ماده مزبور تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد، مهمترین این عوامل عبارتند از: قیمت گوگرد و سایر جایگزین ها در مصارف نهایی، هزینه حمل گوگرد، سیاست کشورهای صادرکننده گوگرد و مشتقات آن، میزان کاربرد کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی و عایدات ارزی بابت صدور اسید فسفریک. در کشورهای تولید کننده کودهای شیمیایی فسفاته در شمال آفریقا که بخش اعظم گوگرد بکار گرفته شده را پس از طی فرآیندهایی بصورت اسید فسفریک و یا کودهای فسفاته صادر می‌نمایند، تقاضای وارداتی این اقلام شدیدا بر روی میزان مصرف گوگرد تاثیر می‌گذارد.

عموما مصرف گوگرد بصورت خام و پردازش نشده نسبت به کل مصارف گوگرد خیلی کم بوده و عمدتا در کشاورزی، تصفیه نفت و رنگسازی استفاده می‌گردد. در حالی که سهم تقاضای بخش‌های مصرف کننده گوگرد به صورت اسید سولفوریک خیلی بیشتر می‌باشد.

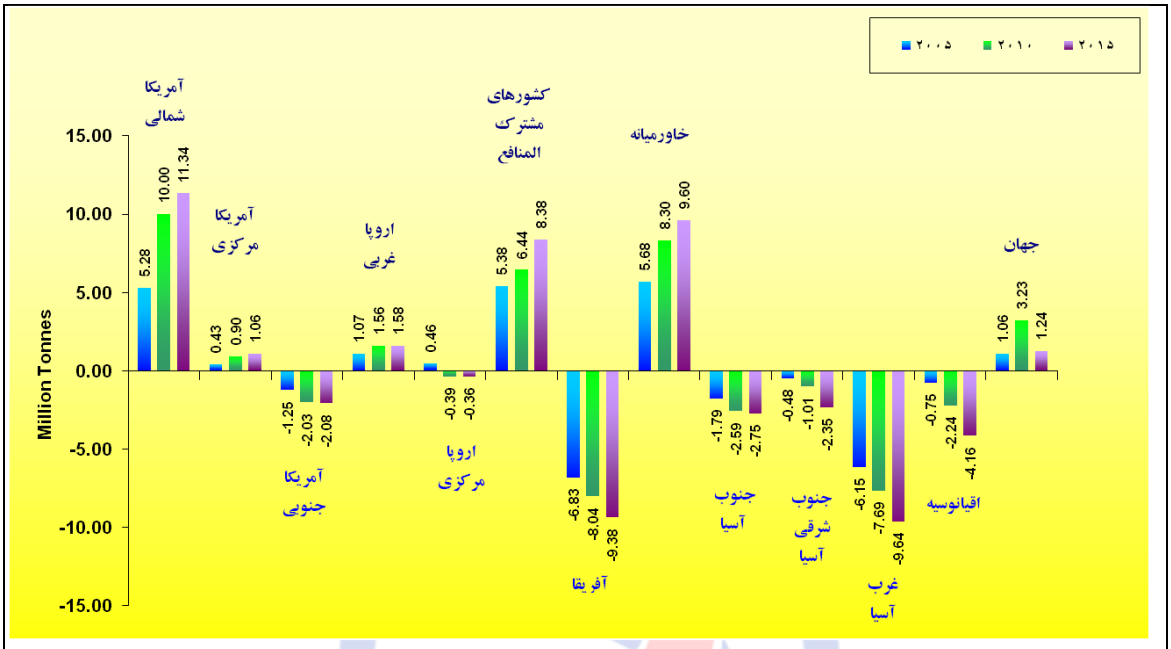
مزیتهای کاربرد اسید سولفوریک به عنوان ماده خام ارزان قیمت، مزایای عالی آن در خشک کردن، کاتالیزور موثر در بسیاری از سنتزهای شیمیایی، برخورداری از مزیت استفاده مجدد در مراحل چندگانه پردازش، سهولت حمل، انبارداری، ذخیره سازی و بازار رسانی، توسعه تکنولوژی‌های کاربردی و پایین بودن هزینه‌های پردازش در کارخانجات، آن را در مقایسه با سایر اسیدهای معدنی از مطلوبیت خاصی برخوردار گردانیده است. از مصارف در حال توسعه گوگرد می‌توان از کاربرد

ترکیبات گوگردی جهت تقویت، دوام و مقاومت حلالها در آسفالت نام برد. با توجه به گستردگی بخشهای استفاده کننده گوگرد می‌توان گفت که مصرف آن تحت تاثیر پارامترهای متعددی قرار می‌گیرد. به طور غیر مستقیم از عوامل موثر در مصرف گوگرد را می‌توان قوانین مرتبط با محیط زیست نام برد. این قوانین در ارتباط با صنعت گوگرد دو گانه عمل می‌کنند. از یک سو، این قوانین صنایع ذوب فلزات غیر آهنی و پالایشگاههای نفت و گاز را ملزم به ایجاد واحدهای تولید گوگرد جهت جلوگیری از انتشار گاز دی اکسید گوگرد می‌نمایند و از سویی دیگر موجبات محدودیت مصرف گوگرد در صنایع مختلف را فراهم می‌سازند. بعنوان مثال در ایالات متحده جایگزینی فرآیند کلراید برای تولید دی اکسید تیتانیوم (Tio_2) و عدم جایگزینی این فرآیند در جامعه اقتصادی اروپا که کماکان از سولفاتها استفاده می‌کنند باعث شده که اگر جامعه اقتصادی بخواهد خود را با معیار میزان مصرف دی اکسید تیتانیوم محتوی کلراید ۸۱ درصد منطبق سازد می‌باید موجبات کاهش مصرف یک میلیون تن اسید سولفوریک در صنایع رنگسازی خود را فراهم سازد. مصرف گوگرد در صنایع کاغذ سازی نیز بین ۸۵–۱۵ کیلو در هر تن است که این میزان به خلوص گوگرد و نحوه عملیات ساخت کاغذ بستگی دارد. رشد مصرف اسید سولفوریک در صنایع کاغذسازی به تداوم مصرف دی اکسید کلرین (سفیدکننده) بستگی دارد. فشارهای زیست محیطی سبب افزایش تعداد کارخانجات که از فرآیندهای بدون کلرین استفاده می‌کنند شده است که تداوم مصرف صدها هزار تن گوگرد مصرفی در صنایع کاغذی سازی را زیر سوال برده است.

۴–۱– عدم توازن عرضه و تقاضای گوگرد

تجزیه و تحلیل آمارهای تولید و مصرف آن در مناطق مختلف جهان نشان می دهد که در سه منطقه عمده آمریکای شمالی، جمهوری های شوروی سابق و خاورمیانه میزان عرضه گوگرد بیش از تقاضای منطقه ای بوده به نحوی که در سال ۲۰۱۵ به ترتیب ۱۱/۳۴، ۸/۳۸ و ۹/۶۰ میلیون تن گوگرد مازاد بر مصرف در هر منطقه تولید می شود (شکل ۱–۴). از سوی دیگر بررسی های مشابه نشان می

دهد که در مناطقی چون آمریکای جنوبی، آفریقا، جنوب آسیا، جنوب شرقی آسیا، غرب آسیا و اوقیانوسیه میزان تقاضا بیشتر از تولید است.



شکل (۴-۱) نمودار عدم توازن گوگرد عنصری در جهان

۵-۱- تولید گوگرد در ایران

هم اکنون با تکمیل و بهره برداری از فازهای ۱۰-۱ پروژه میدان گازی پارس جنوبی که یکی از بزرگترین حوزه های گازی جهان است، روزانه ۱۴۰۰ تن گوگرد از تصفیه گاز طبیعی تهیه می‌شود.

مشخص شده است که در اواخر ژوئن ۲۰۱۱ با تکمیل پروژه های در دست ساخت (فازهای ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸) در منطقه پارس جنوبی میزان گوگرد تولیدی منطقه ۸۰۰ تن در روز افزایش و به سقف ۲۲۰۰ تن در روز برسد. از سوی دیگر پیش بینی می شود که با تحقق کامل پروژه های در دست مطالعه و پروژه های تولید LNG در منطقه پارس جنوبی به ترتیب مقادیر ۲۲۰۰ و۶۰۰ تن در روز به میزان تولید فعلی گوگرد اضافه گردد. شایان ذکر است که فاز ۱۹ در مراحل اولیه مناقصه می

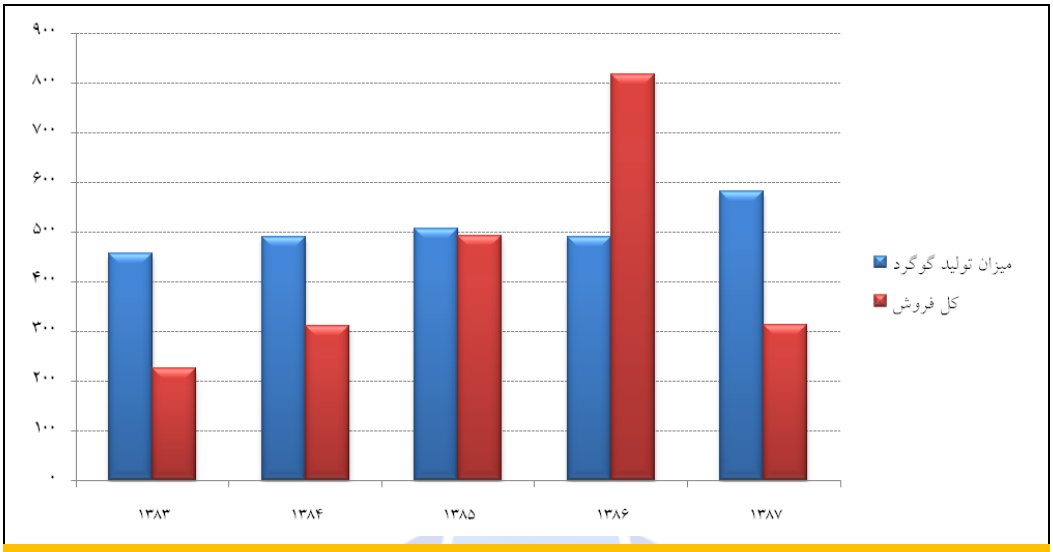
باشد. در صورتیکه قرارداد فازهای ۲۰ و ۲۱ واگذار شده و راه اندازی این پروژه ها ۵۲ ماه پس از تنفیذ قرارداد صورت خواهد گرفت. در همین خصوص طرح توسعه فازهای ۲۲، ۲۳ و ۲۴ با ظرفیت تولید ۳۰۰ تن گوگرد در روز در مرحله مذاکره با پیمانکار بیع متقابل می باشد.

متولی طرح توسعه فاز ۱۱ که قرار است روزانه ۲۰۰۰ میلیون فوت مکعب گاز ترش جهت خوراک واحدهای LNG از میادین پارس جنوبی تامین نماید، شرکت ملی صادرات گاز می باشد. از اهداف مهم این طرح استحصال ۷۰ هزار بشکه میعانات سنگین گازی است که متعاقب آن تولید ۶۶۰ تن گوگرد را دربر خواهد داشت.

بر اساس اطلاعات کسب شده بهره برداری از طرح توسعه فاز ۱۲ که در آوریل ۲۰۱۳ راه اندازی می شود، منجر به تولید ۶۰۰ تن گوگرد در روز خواهد شد. طرح توسعه فازهای ۱۳ و ۱۴ نیز جهت تولید LNG برنامه ریزی شده است. متولی این طرح شرکت ملی صادرات گاز بوده و گفته می شود که پس از بهره برداری از این طرح مقدار ۹۴۸ تن گوگرد در روز تولید شود. بنابراین انتظار می رود که با بهره برداری کامل از پروژه های طرح های توسعه فازهای مختلف در منطقه پارس جنوبی توان تولید گوگرد در منطقه تا حدود ۴۶۰۰ تن در روز افزایش یابد.

شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران) نیز یکی دیگر از مراکز عمده تولید گوگرد در کشور است که در حال حاضر با بکارگیری ۴ واحد بازیافت گوگرد با ظرفیت تولید روزانه ۶۵۰ تن گوگرد در مجموع توان تولید ۲۶۰۰ تن گوگرد در روز را دارد. در حال حاضر این پالایشگاه با تولید قریب به ۲۰۰۰ تن گوگرد در روز مشغول بکار است. آمارهای موجود نشان می دهد که اگر چه روند فروش داخلی و خارجی گوگرد طی دو سال ۸۶-۱۳۸۵ صعودی بوده ولی شواهد موجود حاکی از آن است که در سال ۱۳۸۷ این شرکت با تولید حدود ۶۰۰ هزار تن گوگرد توانسته است تنها ۵۴ درصد گوگرد تولیدی خود را در بازارهای داخلی و خارجی به فروش برساند (شکل ۱-۵). بعبارت دیگر بخش زیادی از گوگرد تولیدی این پالایشگاه بصورت مازاد انبار می شود.

ارقام: بر حسب هزار تن



شکل (۵-۱) نمودار توازن تولید و فروش گوگرد پالایشگاه شهید هاشمی نژاد

همانطور که نمودار شکل (۵-۱) نشان می دهد از سال ۱۳۸۵ فروش گوگرد رشد چشمگیری داشته است و تقریبا ۹۷ درصد گوگرد تولیدی به فروش رفته است. همچنین در سال ۱۳۸۶ میزان فروش گوگرد ۱/۶۶ برابر گوگرد تولیدی بوده است. در واقع افزایش تقاضای گوگرد در این ۲ سال باعث شد که نه تنها قیمت گوگرد بطور غیر قابل تصوری بالا رود بلکه مقادیر زیادی از گوگرد انبار شده از سالهای قبل نیز روانه بازارهای مصرف شد.

در شرکت پالایش گاز ایلام دو واحد شیرین سازی هر کدام به ظرفیت ۳/۴ میلیون متر مکعب در روز در فاز اول و یک واحد به ظرفیت ۳/۴ میلیون متر مکعب در روز در فاز دوم احداث و یا در حال تکمیل می باشند. هیدروژن سولفید جداسازی شده از جریانات گازی در دو واحد استحصال گوگرد هر کدام به ظرفیت ۱۷۳ تن در روز در فاز اول و یک واحد به ظرفیت ۱۷۳ تن در روز در فاز دوم به گوگرد عنصری تبدیل می شود. بنابراین انتظار می رود که سالانه از فاز اول این پالایشگاه ۱۲۳ هزار تن و از فاز دوم قریب به ۶۲ هزار تن گوگرد استحصال گردد. در مراکز پتروشیمی و پالایشگاههای نفت کشور نیز مقادیری گوگرد تولید می شود (جدول ۱-۳).

جدول(۲۶-۱) وضعیت تولید گوگرد در ایران

محل تولید		ظرفیت تولید (تن در روز)	
		در حال حاضر	پیش بینی تولید
میدان گازی پارس جنوبی	پروژه های در حال بهره برداری	۱۴۰۰	-
	پروژه های در حال ساخت	-	۸۰۰
	پروژه های در دست مطالعه	-	۲۲۰۰
	پروژه های تولید LNG	-	**۲۲۰۸**
پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران)		۲۰۰۰	۲۶۰۰
پالایشگاه گاز ایلام		۳۴۶	۱۷۳
پتروشیمی رازی		۱۶۰۰	۲۰۶۹
پتروشیمی خارگ		۵۰۰	۵۵۰
شرکت پالایش نفت	آبادان	-	۱۰۰
	اراک	۶۰	۷۰۰
	اصفهان	۱۰۰	۷۰۰
	تبریز	۸۲	-
	تهران	۱۰۲	۲۱۲
	بندرعباس	۱۳۰	۱۰۰
	شیراز	۱۰	-
جمع گوگرد تولیدی		**۶۳۳۰**	**۱۲۴۱۲**

۶-۱- ضرورت انبارش گوگرد

نتایج بررسی های آمارهای موجود نشان می دهد که در حال حاضر ظرفیت تولید گوگرد در کشور حدود ۱/۹ میلیون تن است که با بهره برداری از طرح های توسعه صنایع نفت و گاز به بیش از ۴ میلیون نیز خواهد رسید. همانطور که در بحث عرضه و تقاضای جهانی مطرح شد، تا سال ۲۰۱۵ سالانه ۲-۴ میلیون تن گوگرد مازاد در جهان تولید می شود. لذا به نظر می رسد که کشورهای عمده

تولید کننده گوگرد در دنیا باید بدنبال راهبردهایی مناسب برای مدیریت انبارداری دراز مدت گوگرد باشند. در همین رابطه کشور ما نیز با توجه به حجم بالای گوگرد تولیدی بخصوص در پالایشگاه های شهید هاشمی نژاد و پارس جنوبی نیازمند برنامه ریزی های دقیق تری برای دستیابی به دانش و فناوری های جدید انبارش گوگرد دارد.

لزوم در نظر گرفتن مکانی مناسب برای ذخیره سازی گوگرد بدان سبب است که اولا محیط از آلودگی دور مانده و ثانیا مواد تولید شده از آلودگی محفوظ بمانند. سومین انگیزه ساخت چنین انبارهایی وجود مکانی ثابت و محفوظ از خسارت عوامل طبیعی نظیر باد، باران و شرایط تحت الارضی است. مجموعه عوامل یاد شده ایجاب می نماید که از ذخیره نمودن گوگرد در زمین های ناهموار و غیر مسقف پرهیز نموده و آنرا در انبارهای مناسب و مخصوص نگهداری نمائیم.

بنابراین در فضای کسب و کار گوگرد، نگهداری آن برای کوتاه مدت و بلند مدت یک الزام است و باید موضوع موجودی و انبارداری گوگرد از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا تصمیماتی که در این زمینه اتخاذ می‌شود مبتنی بر نظر کارشناسی باشد. لذا تولید کنندگان به دلایل مختلفی و به منظور دستیابی به اهداف سازمانی اقدام به نگهداری گوگرد می‌نمایند.

برخی از دلایل نگهداری گوگرد عبارت است از:

- مساعد نبودن قیمت گوگرد در بازارهای جهانی
- عدم توازن تولید و عرضه گوگرد
- فاصله زیاد از پایانه های صادراتی

اگرچه نگهداری گوگرد در انبارهای مسقف هزینه سنگینی را به شرکتها تحمیل می‌کند ولی مدیریت نگهداری گوگرد به منظور حداقل سازی هزینه های آن مورد توجه می‌باشد. در واقع یک هدف قابل قبول حداقل کردن هزینه های مترتب بر نگهداری موجودی است.

در فضای کسب و کار جهانی گوگرد به علت فزونی عرضه بر تقاضا، سالیانه حجم کثیری گوگرد به صورت مازاد یا موجودی بازار در نزد عرضه‌کنندگان آن باقی می‌ماند. در نتیجه در این بازار اغلب میزان نگهداری موجودی زیادتر و مدت آن نیز طولانی‌تر می‌باشد. براین اساس مدیریت نگهداری موجودی گوگرد از بُعد هزینه بسیار اهمیت دارد. همچنین باتوجه به ویژگی‌های شیمیایی گوگرد، نگهداری موجودی آن به گونه‌ای ایمن که خطرات زیست محیطی نداشته باشد و ماندگاری بلند مدت آن را فراهم نماید مورد توجه می باشد.

براین اساس الگوی رفتاری موجودی در یک انبار گوگرد برای کشورهای تولیدکننده و فروشنده آن متفاوت از الگوهای کلاسیک نگهداری موجودی خواهد بود.

بطور معمول برای ذخیره گوگرد، چهار نوع انبار می‌توان در نظر گرفت:

انبار روباز با کف خاکی: این نوع انبار اگر چه کم هزینه ترین انبار می‌باشد ولی در برابر عواملی چون بارندگی های شدید، بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی و یا توفان مقاومت چندانی ندارد. بعبارت دیگر نفوذ آلاینده های گوگردی به خاک و آب می تواند آسیب های جدی به تاسیسات و محیط زیست تحمیل نماید.

انبار روباز با کف بتنی: این نوع انبارداری ویژگیهای بهتری نسبت به انبار با کف خاکی دارد. از سوی دیگر این نوع انبار مانع از آلوده شدن محصول گوگردی می شود. هزینه ساخت چنین انبارهایی به مراتب بیشتر از هزینه ساخت انبار با کف خاکی است. اما کار کردن با این انبارها آسانتر بوده و همچنین عمر طولانی تری دارند.

انبارهای مسقف: انبارهای مسقف نیز می‌توانند با کف خاکی و یا بتونی ساخته شوند. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا نباشد، انبار مسقف با کف خاکی می‌تواند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر از انبار روباز با کف بتونی باشد. بویژه آنکه حصار مطمئنی برای انبار مسقف تعبیه شده باشد تا کف از آسیب باد و یا آبهای جاری محفوظ بماند. در انبارهای مسقف علاوه بر آنکه کف انبار از آسیب عوامل طبیعی محفوظ می‌ماند، محصولات تولید شده نیز از هر گونه شرایط نامساعد جوی محفوظ می مانند.

انبارهای مخصوص گوگرد مذاب: تحویل گوگرد بصورت مذاب به مصرف کننده، روشی است که برای مقابله با انواع آلودگیهایی که مکانهای تولید یا مصرف گوگرد را تهدید می نماید مطرح شده است. در این روش مخازن فولادی مجهز به کویل های بخار در مجاورت اسکله های بارگیری ساخته می شوند. کشتی ها و قطارهایی که گوگرد را به شکل مذاب دریافت می کنند نیز دارای این مخازن هستند. هزینه ساخت مخازن مزبور از انبارهای مسقف بیشتر است. با این حال در صورت وجود زیرساخت های لازم برای تجارت گوگرد مذاب در کشور استفاده از چنین مخازنی در سواحل جنوبی خلیج فارس بویژه پارس جنوبی می تواند ارزش افزوده فراوانی برای صادرات گوگرد کشور داشته باشد. علت این مهم آن است که قیمت گوگرد مذاب بیشتر از قیمت گوگرد جامد بوده و کمتر دچار نوسانات قیمت بازار قرار می‌گیرد.

شواهد موجود حاکی از آن است که برای انبارش موقت گوگرد مذاب می توان از پیت های گوگردی و یا مخازن فلزی استفاده کرد. پیت‌های گوگردی در واقع سازه‌های سیمانی هستند که در داخل زمین قرار دارند و مجهز به سیستم‌های گرمایشی بخار هستند. روی این پیت‌ها با ورقه ای از جنس کربن استیل مسقف شده تا از ورود آلودگی به آن جلوگیری شود.

با اصلاح جزئی در ساخت پیت ها می‌توان از بخشی از آن برای ذوب گوگرد جامد استفاده کرد. برای این منظور توسط دیواره ای این بخش جدا می‌شود به نحوی که گوگرد ذوب شده از بالای دیواره به سمت بخش ذخیره سازی جریان پیدا می‌کند و گوگرد جامد ذوب نشده در ته آن نشت می‌کند و اجازه ورود به بخش را نخواهد داشت. در صورت ورود گوگرد جامد به بخش نگهداری ممکن است راه پمپ نشده و مزاحمت ایجاد نماید.

اندازه و حجم این پیت‌ها بر اساس میزان تولید گوگرد واحد، میزان بارگیری کشتی، کیفیت و ظرفیت واحد دانه بندی بستگی دارد. البته عمق این پیت‌ها باید به گونه ای باشد که عملکرد پمپ‌ها دچار مشکل نشود. روی پیت‌ها معمولا از یک سیستم استفاده می‌شود تا به تناوب سطح گوگرد مذاب در داخل آن اندازه گیری شود. البته بر روی سقف آن نیز محل مناسبی برای عمق سنجی دستی می‌تواند وجود داشته باشد. پمپ‌ها معمولا بر روی پایه‌های مناسب و روی سقف پیت‌ها قرار دارد. از هیترهای بخار نیز برای نگهداری گوگرد به شکل مذاب استفاده می‌شود.

تانک‌های ذخیره عموما استوانه‌های عمودی از جنس کربن استیل هستند که بالای زمین قرار می‌گیرند و توسط عایق خاص ایزوله می‌شوند. به منظور گرم نگه داشتن گوگرد در این تانک‌ها از کویل‌های بخار استفاده می‌شود.

طراحی و اندازه تانک ذخیره توسط فاکتورهای زیر مشخص می‌شود:

ـ ظرفیت تولید واحد بازیافت گوگرد

ـ ظرفیت کشتی (Shipment Size) یا ظرفیت بارگیری به کشتی

ـ کیفیت گوگرد

ـ شکلی که گوگرد به سایت تحویل داده می‌شود.

معمولا برای جلوگیری از اتلاف انرژی در تانک، جداره خارجی آن را با عایقی به ضخامت ۵۰mm (۲ اینچ) عایقبندی می‌کنند. برای منظور از عایق پشم شیشه برای عایق بندی جداره‌ها و از عایق کلسیم سیلیکات برای عایق بندی سقف استفاده می‌کنند.

سایر تجهیزات مورد نیاز تانک عبارتند از:

ـ دستگاه اندازه گیری سطح مذاب

ـ خروجی روی سقف تانک برای خارج ساختن H_2S جمع شده روی تانک با هوا (دودکش خروجی) باید به نوعی گرم شود تا گوگرد در آن راسب نشود.

ـ وجود یک خروجی برای اطمینان از مرحله پر کردن تانک (چنانچه به هنگام پر کردن تانک مقادیر زیادی گوگرد مذاب وارد شود اضافی آن از محل Over flow به پیت بر می‌گردد. البته می‌توان به مکان‌های دیگر نیز منتقل شود و سپس گوگرد جامد را به سیستم بر می‌گردانند)

همانطور که قبلا گفته شد پمپ‌ها در بالای سقف تانک قرار می‌گیرد. ولیکن جهت تخلیه پمپ می‌تواند در پایین تانک نیز باشد.

یکی از ملزومات عرضه گوگرد به شکل مذاب، فراهم آوردن مخازن مناسب جهت دریافت، نگهداری و فروش تدریجی آن به مشتریان می‌باشد. در محل مصرف بهترین شکل نگهداری گوگرد مایع، مخازن سیمانی با ورقه ای از آستر آلومینیومی و یا فولاد ضد زنگ می باشد.

پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب نیازمند امکانات و تجهیزات ویژه‌ای می‌باشند. در شکل (۶-۱) نمایی از پایانه بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب که دارای مخازن مناسب جهت دریافت و نگهداری گوگرد مایع می‌باشد به تصویر کشیده شده است.

شکل (۶-۱) نمایی از پایانه بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب

فصل دوم

مروری

بر روش های انبارش گوگرد

انجمن مهندسی گاز ایران

۱-۲- معرفی انواع روش‌های انبارش

بطور معمول گاز و نفت خام استخراجی از چاه‌های مختلف دارای مقادیری H_2S (در حدود ۱ تا ۴٪) و ترکیبات گوگردی دیگر (مرکاپتان‌ها) است. اگر این گوگرد قبل از عملیات پالایش جداسازی نگردد، مشکلات خوردگی و زیست محیطی شدیدی را به دنبال خواهد داشت. گوگرد بصورت عنصری در واحدهای بازیافت گوگرد (SRU[1]) از خوراک پالایشگاه‌ها جداسازی و استحصال می‌گردد. امروزه با توجه به قوانین زیست محیطی، تقریباً تمامی پالایشگاه‌ها مجهز به واحدهای SRU بوده و در نتیجه تولید محصول جانبی گوگرد دارند. گوگرد تولیدی واحدهای SRU به شکل مایع بوده و برای استفاده‌های بعدی در فاصل زمانی یا مکانی کوتاه می‌تواند با استفاده از تجهیزات گرمایشی مناسب به همین شکل نگهداری شود. ولی عمدتاً گوگرد تولیدی در محل تولید مصرف نداشته و میزان تولید، بسیار بیشتر از فروش است. لذا گوگرد مایع تولیدی به شکل جامد آن تبدیل شده و به این شکل انبارش و حمل و نقل می‌گردد تا در محل مصرف و در صورت نیاز دوباره ذوب شده و استفاده گردد. گوگرد می‌تواند به روش‌ها و شکل‌های متفاوتی که در جدول (۱-۲) ارائه شده است به حالت جامد تبدیل شده و انبار گردد.

[1] Sulfur Recovery Unit

جدول (۱-۲) اشکال مختلف گوگرد جامد

نام	مشخصه	دانسیته بالک (Kg/m^3)	میزان رطوبت (wt%)	میزان غبار (wt%)
بلوک	طول: ۴۰۰-۱۰۰ متر عرض: ۲۰۰-۵۰ متر ارتفاع: ۳۰-۵ متر بصورت پله‌ای ریخته و انبارش می‌شود	۲/۰۷	وابسته به میزان رطوبت و بارش‌های جوی	به هنگام شکستن و حمل و نقل ۳۵-۲۰
ورقه‌ای (لایه‌ای)	با ضخامت ۵-۳ میلی‌متر	-	-	۷-۴
پریل مرطوب	اکثراً کروی به قطر ۶-۲ میلی‌متر	بالک: ۱۲۲۰ بسته‌بندی: ۱۳۷۰	۱/۲-۷/۵	۰/۲
پریل خشک	اکثراً کروی به قطر ۶-۲ میلی‌متر	بالک: ۱۲۲۰ بسته‌بندی: ۱۳۷۰	۱/۲-۷/۵	۰/۲
گرانول	کروی به قطر ۶-۲ میلی‌متر	بالک: ۱۱۵۳ بسته‌بندی: ۱۳۲۰	۰/۵	۰/۵
پاستیل	نیم‌کره به قطر ۴-۲ میلی‌متر	بالک: ۱۱۵۰ بسته‌بندی: ۱۳۲۰	۰/۵	۰/۱

بطور کلی انبارش گوگرد می‌تواند در فضای آزاد و تماس دائم با اتمسفر و یا در فضای بسته و دور از محیط بیرون صورت پذیرد که بصورت مشروح در بخش‌های بعدی توضیح داده شده‌اند.

۲-۲- انبارش خارجی

عموماً به روش‌های انبارشی که در آنها گوگرد بصورت آزاد و دایم در معرض تغییرات جوی قرار می‌گیرد، روش‌های انبارش خارجی اطلاق می‌شود. این نوع انبارش، ابتدایی‌ترین نوع انبارداری بوده

[2] Block
[3] Slate
[4] Wet Prill
[5] Air Prill
[6] Granule
[7] Pastille
[8] Outdoor

و ارزان‌ترین آن‌ها به شمار می‌رود. در این روش‌ها، ابتدا محدوده مکانی خاصی مشخص شده و به سادگی گوگرد در آن محل و در فضای باز انبار می‌شود. این روش‌ها هم برای انبارش گوگرد بصورت بلوک و هم گوگرد دانه‌بندی شده کاربرد دارند.

زیرسازی لازم برای انبارش خارجی: در روش‌های سنتی انبارش، زیرسازی خاصی در منطقه انبارش انجام نشده و انبارش گوگرد، مستقیماً بر روی خاک انجام می‌شد. ولی امروزه مشخص شده است که در طول مدت زمان و قرار گرفتن گوگرد در معرض حرارت، رطوبت و باکتری‌های موجود در خاک (مانند تیوباسیلوس)، این گوگرد به سولفات و سپس اسید سولفوریک اکسید می‌شود. در صورت عدم بکارگیری زیرسازی مناسب، این اسید علاوه بر مشکلات زیست محیطی به واحدهای مجاور نفوذ نموده و باعث خوردگی و خرابی‌های شدیدی می‌شود. لذا امروزه، اگر هم این روش انبارش مد نظر باشد، زیرسازی و عایق‌کاری جهت جلوگیری از نفوذ اسید، کانال‌ها و مخازن جمع-آوری آب‌های آلوده و سطحی و ارسال آن‌ها به واحد تصفیه و خنثی‌سازی و حتی اعمال راه‌کارهایی برای کاهش و یا توقف فعالیت‌های میکروبی اتخاذ می‌گردد. با توجه به اطلاعات استخراج شده از شرکت سینکرود کانادا، یکی از زیرسازی[9]های مناسب برای انبارش خارجی متشکل از یک لایه شن، یک لایه ۶۰ میلی‌متری پلی‌اتیلن دانسیته بالا (HDPE)، یک لایه ۲۰ متری و یا بیشتر از جنس رس فشرده (با نفوذپذیری کمتر از 1×10^{-8} m/s) و لایه نهایی از جنس آسفالت است که کانال‌ها و مخزن مناسب برای جمع‌آوری و ارسال آب‌های سطحی و اسیدی برای تصفیه و یا خنثی‌سازی در این ساختار پیش‌بینی شده است.

۱-۲-۲- روش بلوک کردن

در روش بلوک کردن، گوگرد مذاب به صورت لایه نازکی در مکان مشخص شده ریخته شده و سپس به آن‌ها اجازه داده می‌شود تا جامد گردد. سپس لایه‌های دیگر نیز به ترتیب و به همین منوال اضافه می‌شوند تا به حجم انبارش دلخواه و از پیش تعیین شده برسد. بلوک‌های مذکور می‌توانند

[9] Syncrude Canada Ltd (SCL)

طول حدود ۴۰۰-۱۰۰ متر، عرض ۲۰۰-۵۰ متر و ارتفاعی تا ۳۰ متر داشته باشند و میلیون‌ها تن گوگرد را در خود جای دهند. روش بلوک کردن روشی است که برای انبارش گوگرد از مدت زمان-های متوسط تا طولانی کاربرد دارد (شکل ۲-۱).

شکل (۱-۲) نمایی از انبارش گوگرد به شکل بلوک

۲-۲-۲- انبارش خارجی گوگرد دانه‌بندی

می‌توان گوگرد دانه‌بندی شده را نیز در فضای آزاد انبار نمود که این عمل به سادگی و با استفاده از تسمه نقاله‌های مخصوص، قابل انجام است. در اغلب موارد برای جلوگیری از قرار گرفتن توده دانه-های انبار شده در معرض مستقیم باد، دور محدوده انبارش تا ارتفاع مناسبی دیوار بتونی، پلیمری و یا فلزی قرار داده می‌شود (اشکال ۲-۲ و ۲-۳).

شکل (۲-۲) نمایی از انبارش موقت گوگرد دانه‌بندی

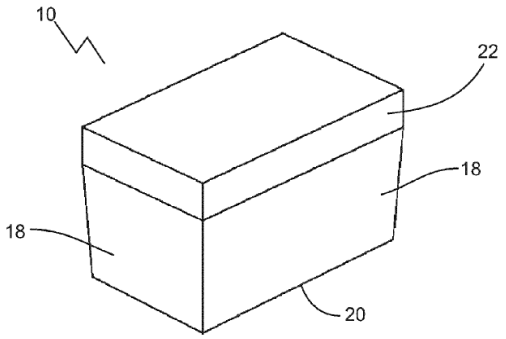
شکل (۳-۲) انبارش گوگرد به شکل دانه‌بندی با دیواره محافظ اطراف

۳-۲-۲- روش بلوک‌های تقویت شده ساختاری

با توجه به مشکلات عمده موجود هنگام برداشت گوگرد از بلوک‌های انبار شده، اخیراً روش‌های نوین و مبتکرانه‌ای برای حل چنین مشکلاتی ارائه شده است. آقای میرزسکی[1] و همکار ایشان در سال ۲۰۱۰ در ثبت اختراع بین‌المللی شماره ۰۲۲۴۹۹A1 روش نوینی برای انبارش گوگرد به شکل بلوک ارائه نموده‌اند که مشکلات انتقال و تولید غبار بسیار کمی به همراه دارد.

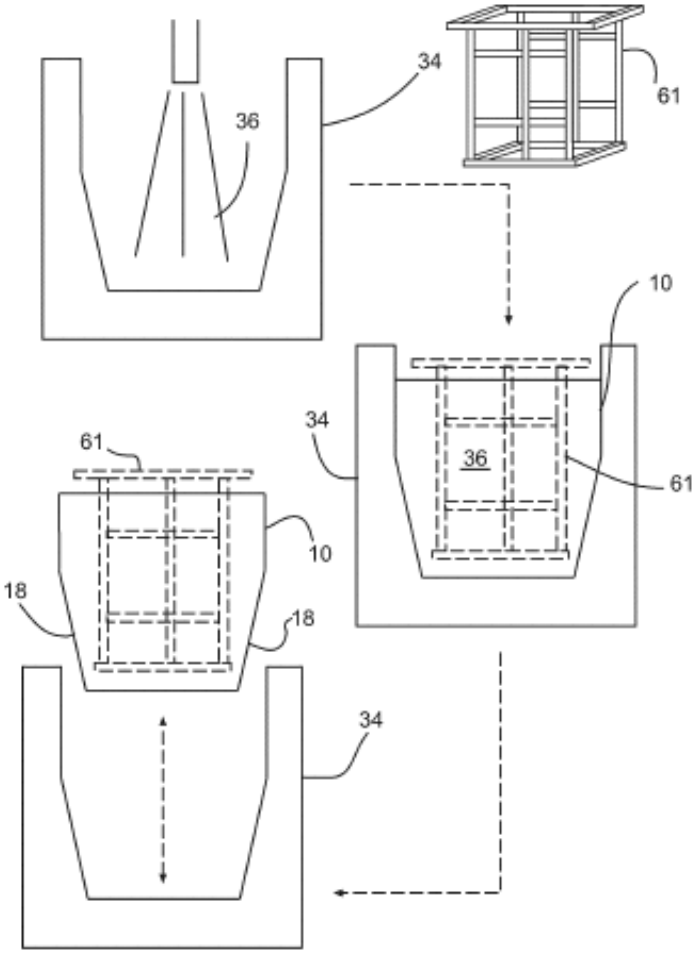
[1] Mirzewski, Edward 0

در این روش بلوک‌های تقویت شده در اندازه‌های قابل حمل و نقل ساخته شده و سپس از طریق چیدن آن‌ها بر روی هم انبار می‌شوند. اساساً چنین بلوک‌هایی برای حمل و نقل با استفاده از کانتینر پیش‌بینی شده‌اند و مسأله اساسی و مهم در تعیین ابعاد بلوک‌های تولیدی، ابعاد کانتینرهای استاندارد مورد استفاده و نیز ابزار جابجایی (لیفت‌تراک، بالابرهای چنگالی و ...) در دسترس است. ابعاد موردی این قالب‌ها می‌تواند ۹۲cm (طول) در ۱۵۳cm (عرض) در ۱۲۲cm (ارتفاع) باشد. در حدود ۳۱cm از قسمت ارتفاع به عنوان کناره صاف بالایی بلوک در نظر گرفته می‌شود که هنگام چیدن بلوک‌ها بر روی هم کاربرد دارد و در حدود ۹۱cm از قسمت پایینی بلوک به منظور تسهیل عملیات جداسازی از قالب، بصورت گوه مانند طراحی شده است. این قسمت اجازه می‌دهد که به هنگام خارج نمودن بلوک از قالب، این عمل به سهولت انجام پذیرد. در شکل (۴-۲) نمایی از بلوک پیشنهادی ارائه شده است.



شکل (۴-۲) نمای شماتیک بلوک تقویت شده ساختاری

محدوده وزن بلوک‌های تولیدی بطور معمول بین ۱۱۲۵-۹۰۰ کیلوگرم بوده ولی می‌تواند در محدوده ۵-۴/۹۰۰۰ کیلوگرم باشد. به منظور تقویت ساختاری بلوک‌های تولیدی از یک بخش مسلح درونی (که می‌تواند از میله‌های شبکه‌ای تشکیل شده باشد) و یا یک محافظ ساختاری خارجی مانند جعبه چوبی استفاده می‌شود. در شکل (۵-۲) مراحل تهیه این نوع بلوک‌ها بصورت شماتیک ارائه شده است.



شکل (۵-۲) مراحل تهیه بلوک تقویت شده ساختاری

می‌توان بر روی بلوک‌های تولیدی جای شاخک‌های لیفت‌تراک را نیز تعبیه نمود تا حمل و نقل آن تسهیل گردد. به منظور محافظت فیزیکی بیشتر از بلوک، می‌توان لایه محافظی از جنس پلاستیک، لاستیک، بتون، آلیاژ گوگرد، چوب، فلز و یا لایه‌های ضخیم واکس بر روی لایه خارجی آن، استفاده نمود.

۳-۲- انبارش داخلی

[1] Indoor

بطور کلی تمامی روش‌های انبارشی که در آنها گوگرد بصورت مستقیم و دایم در معرض شرایط آب و هوایی جوی قرار نمی‌گیرد در این زمره قرار می‌گیرند.

۱-۳-۲- انبارهای مسقف

در این روش سوله‌های بزرگی (شکل ۲-۶) برای انبار نمودن گوگرد مازاد طراحی و ساخته می‌شود. با استفاده از این نوع انبارش، گوگرد تحت تأثیر عوامل جوی مانند باد و باران قرار نگرفته و حتی میزان رطوبت آن می‌تواند به دقت کنترل شود. علاوه بر این در این روش از تماس گوگرد با باکتری-ها جلوگیری شده و میزان تولید اسید تقریباً به صفر کاهش پیدا می‌کند. بایستی توجه داشت که این انبارها مجهز به تجهیزات خاصی بوده و هزینه‌های ساخت و نگهداری بالایی را می‌طلبند. علاوه بر این فضای مورد نیاز برای ساخت این انبارها زیاد بوده و در مقایسه با روش‌هایی مانند بلوک نمودن فضای بسیار زیادی اشغال می‌کنند.

مهمترین مشکل این روش انبارش، احتمال انفجار به دلیل گازهای آزاد شده و یا افزایش غلظت غبار (انفجار الکترواستاتیک) است ولی امروزه با استفاده از فناوری‌های نوینی مانند دانه‌بندی گوگرد و سیستم‌های تهویه هوشمند این موانع از سر راه برداشته شده است. بنابراین چنین انبارهایی عموماً برای انبارش گوگرد دانه‌بندی شده (پاستیل، گرانول و ...) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انجمن مهندسی گاز ایران

شکل(۶-۲) نمای بیرونی انبار مسقف گوگرد دانه‌بندی

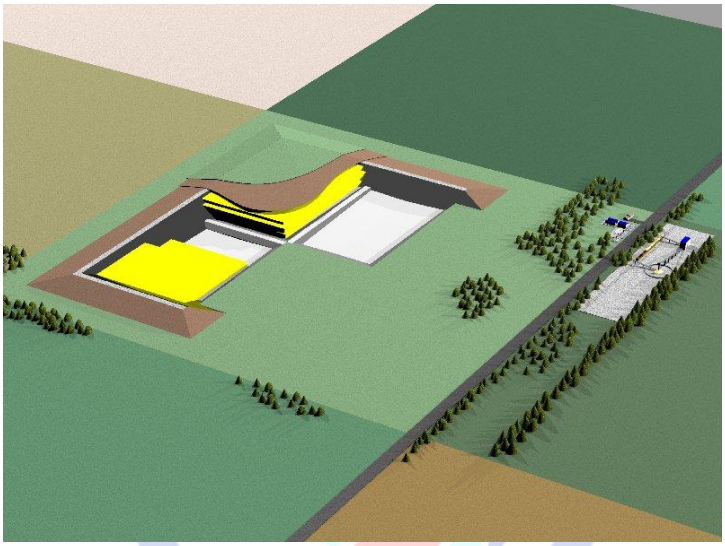
شکل (۷-۲) نمای داخلی یک نوع انبار مسقف گوگرد دانه‌بندی

انجمن مهندسی گاز ایران

۲-۳-۲- انبارش زیر سطح زمین

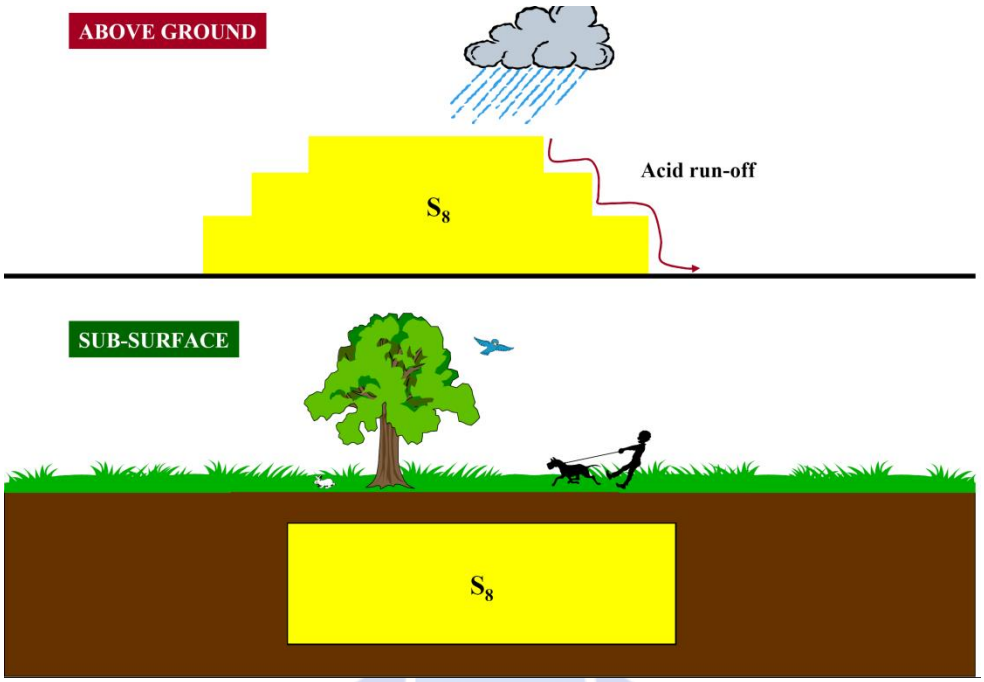
در این روش زمین مناسبی انتخاب گشته و تا عمق مورد نظر خاک‌برداری می‌شود. سپس کف و دیواره‌های قسمت خاک‌برداری شده آماده‌سازی شده و تا حد قابل قبولی عایق‌کاری (آماده‌سازی با بتون و حتی در مواردی با استفاده از پلیمرهایی مانند پلی‌اتیلن دانسیته بالا (HDPE) یا پلی‌استایرن (PS)) می‌شود. در مرحله بعد گوگرد مذاب بصورت یک لایه در کف ریخته شده و زمان لازم به آن داده می‌شود تا جامد گردد. سپس لایه مذاب بعدی اضافه می‌شود و این کار تا جایی تکرار می‌شود تا گوگرد جامد به ارتفاع مورد نظر برسد. پس از آن روی سطح گوگرد با یک نمک معدنی مانند

Na_2SO_4, KCl, KNO_3و یا NaCl پوشانیده می‌شود. این نمک‌ها خاصیت بازدارندگی باکتری‌های و میکروب‌های اکسید کننده گوگرد به اسید سولفوریک دارند. در این مرحله روی گوگرد با یک لایه خاک با ضخامت مناسب پوشانیده می‌شود تا در تماس مستقیم با شرایط جوی نباشد. در مواردی بسته به نوع شرایط جوی روی این خاک، بتون، آسفالت و یا حتی علف‌کاری می‌شود تا بارش‌های جوی به لایه‌های زیرین نفوذ نکنند.



شکل (۸-۲) نمای شماتیک انبارش گوگرد در زیر سطح زمین

همانطور که در بالا نیز اشاره گردید با بکارگیری روش انبارش زیر سطح زمین، دیگر گوگرد در تماس مستقیم با اتمسفر و شرایط جوی نبوده و احتمال فرسایش و نیز تولید اسید و انتشار آن به محیط اطراف و افزایش آلودگی، کاهش می‌یابد. علاوه بر این سطح زمین، آزاد و در دسترس بوده و می‌توان از آن به عنوان فضای سبز یا برخی کاربردهای دیگر، استفاده نمود. بنابراین، روش حاضر برای انبارش‌های بسیار طولانی مدت (۵ سال به بالا) بسیار مناسب و مؤثر می‌باشد. در شکل (۲-۹) مقایسه‌ای تصویری و شماتیک میان انبارش خارجی در فضای آزاد و انبارش در زیر سطح زمین ارایه شده است.



شکل(۹-۲) مقایسه شماتیک روش‌های انبارش خارجی و انبارش زیر سطح زمین

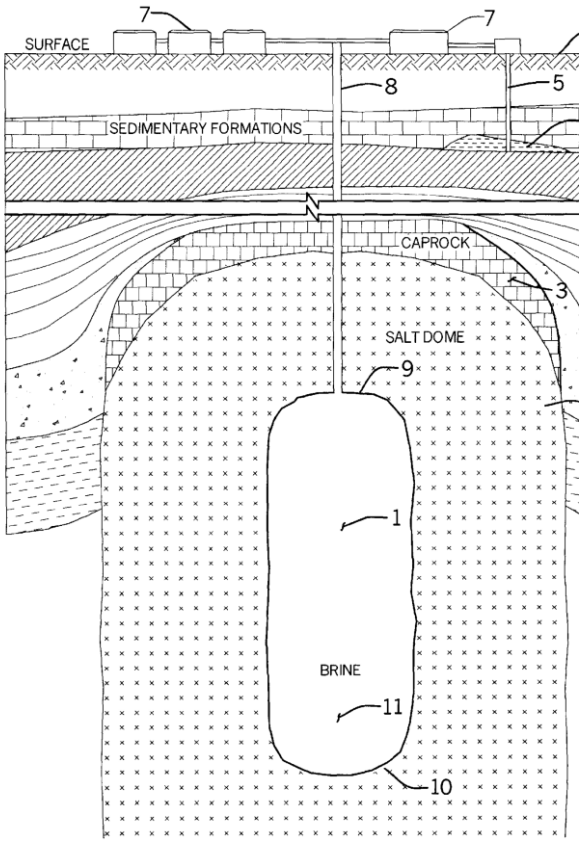
۳-۳-۲- انبارش زیر زمین (اعماق بسیار زیاد)

در اعماق زمین منابع بزرگ نمک‌هایی مانند NaCl، KCl، Na_2CO_3 و دیگر نمک‌های محلول در آب یافت می‌شوند که اصطلاحاً به گنبدهای نمکی مشهورند. به طور معمول این گنبدهای نمکی در اعماق مناسب و زیر سفره‌های آب زیرزمینی قرار داشته و توسط لایه‌های مناسبی از سنگ و خاک احاطه شده‌اند و به نوعی عایقی طبیعی در اطراف آن‌ها قرار دارد. در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۶۵۸۲۰۲۵B2 در سال ۲۰۰۳، آقای پیکرن[1] به امکان‌پذیری انبارش گوگرد در این گنبدهای نمکی[2] اشاره می‌کند. این گنبدهای بطور معمول در ۱۰۰۰-۲۰۰ متر در زیر سطح زمین قرار دارند. عرض آن‌ها در محدوده ۳۰۰-۳۰ متر و ارتفاعی در حدود ۳۰۰ متر دارند. با استفاده از آب داغ و پمپاژ آن به درون این گنبدهای نمکی، محتوای آن‌ها تخلیه شده و گوگرد به درون آن‌ها انتقال داده می‌شود. گوگرد هم بصورت مذاب و هم بصورت دانه‌بندی می‌تواند در این انبارهای زیرزمینی انبارش گردد. اگر گوگرد بصورت مذاب به درون گنبد انتقال داده شود، پس از مدتی به حالت جامد تبدیل شده و

[1] Roy Anthony Pickren [2]

به هنگام تخلیه با استفاده از بخار ذوب شده و با پمپ‌های مناسب به سطح زمین انتقال داده می‌شود. اگر گوگرد به صورت دانه‌بندی به درون گنبدهای زیرزمینی انتقال داده شده باشد، با استفاده از پمپاژ آب و روش‌های شناورسازی می‌تواند تخلیه گردد. این روش نسبتاً هزینه‌های بالایی را می‌طلبد و برای انبارش گوگرد در مدت زمان‌های بسیار طولانی مانند ۵ و ۱۰ سال و یا حتی بیشتر مناسب است. ولی مسلماً این روش مزایای زیست محیطی بسیار زیاد و آشکاری را به همراه دارد.

لازم به ذکر است که متأسفانه کشورمان در مناطق تولید کننده گوگرد، فاقد چنین گنبدهای نمکی‌ای بوده و به نظر می‌رسد روش حاضر، کاربردی برای ایران ندارد.



شکل (۱۰-۲) نمای شماتیک از انبارش گوگرد در اعماق زمین

۴-۳-۲- بلوک‌های روکش‌دار

به دلیل عدم تماس دایم این بلوک‌ها با محیط و شرایط جوی، این نوع بلوک‌ها در زمره انبارش داخلی قرار داده شده‌اند. در این روش، همانند روش بلوک کردن معمولی، بلوک‌های گوگرد ایجاد شده و سپس روی آن‌ها با مواد مختلفی پوشانیده می‌شود تا از شرایط جوی و فرسایش جلوگیری گردد. البته در تمامی این روش‌ها می‌توان به منظور کاهش فعالیت میکروبی باکتری‌ها از یک یا چندین لایه نمک بهره جست. در بخش‌های زیر تعدادی از انواع بلوک‌های روکش‌دار و روش تهیه آن‌ها ارائه شده است.

بلوک اشباع: در این نوع بلوک، از یک پوشش آبی برای حداقل نمودن نفوذ مولکول‌های اکسیژن به سطح بلوک استفاده می‌شود.

بلوک عایق: پوشش این نوع بلوک متشکل از ۵ متر شن به همراه یک لایه نازک سنگریزه می‌باشد که علاوه بر کاهش فرسایش محیطی، دمای گوگرد زیرین را در کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگاه می‌دارد و بدین ترتیب اکسیداسیون بیولوژیکی و تولید اسید سولفوریک کاهش پیدا می‌کند.

بلوک سبز[۳]: این نوع بلوک یکی از رایج‌ترین و زیست‌سازگارترین انواع بلوک‌های روکش‌دار به شمار می‌رود که متشکل از ۰٫۳ متر ماسه، ۰/۸ متر Pg secondary[۱] و در نهایت ۰/۲ متر کود گیاهی است. به منظور تسهیل[۵] جمع‌آوری و اندازه‌گیری[۵] آب‌های سطحی، دیواره‌های جانبی بلوک‌ها تا ۲٪ شیب داده می‌شوند. لایه بالایی با علف‌ها و بوته‌های محلی کاشته می‌شود. با استفاده از این روش، علاوه بر اینکه گوگرد انبار شده دیگر در معرض مستقیم تغییرات جوی نمی‌باشد، از مرطوب شدن گوگرد جلوگیری شده و آب بصورت تبخیر و تعرق گیاهان از سیستم خارج می‌شود.

---

[1] Reclamation Block [3]
[1] Pleistocence deposits with relatively high clay content [4]
[1] Peat [5]

بلوک کلتانچ : در این نوع بلوک از یک نوع ژئو غشای قیری بهره گرفته می‌شود که نفوذپذیری و هدایت آب آن پایین بوده و در عین حالی که تا حد زیادی از نفوذ بارش‌های جوی به درون گوگرد انبار شده جلوگیری می‌کند به گوگرد زیرین اجازه می‌دهد که تنفس نموده و خشک شود. ژئو غشای مذکور متشکل از پلی‌استر بدون بافت و قیر اکسید شده است[4] که در میان یک لایه ۰/۳ متری شنی که در تماس با سطح گوگرد است و یک لایه بالایی با ۰/۳ متر شن، ۰/۲ متر خاک کشاورزی و ۰/۱۵ متر کود گیاهی، ساندویچ شده است.

اگر خواسته شود که در نهایت میزان کارایی انواع بلوک‌ها با هم مقایسه شده و بدین منظور میزان اسیدیته که خود نمایانگر میزان فعالیت میکروبی است به عنوان مبنا قرار داده شود، می‌توان ترتیب زیر را ارائه نمود:

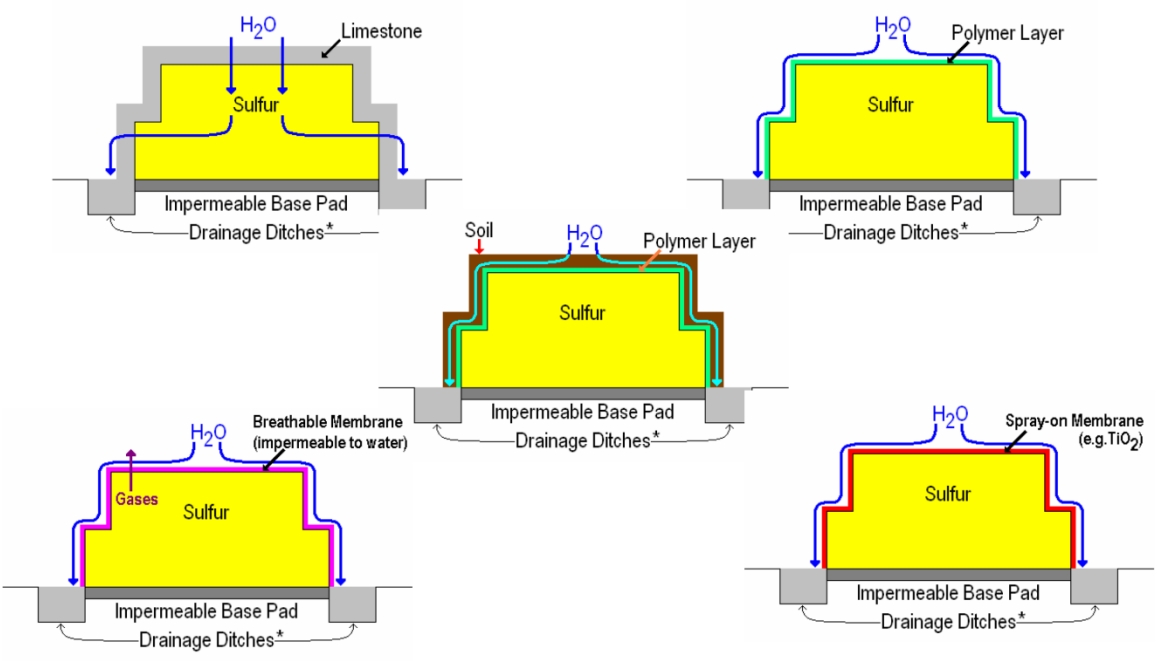
میزان اسیدیته در آب‌های خروجی:

بلوک روباز > بلوک عایق > بلوک سبز > بلوک کلتانچ

علاوه بر روش‌های روکش نمودن مذکور، روش‌های دیگر و یا روش‌های ترکیبی نیز وجود دارند که بر حسب شرایط اقتصادی، زیست محیطی، جوی می‌توان از آن‌ها بهره گرفت. در شکل (۲-۱۱) نمایی شماتیک از چندین روش روکش نمودن بلوک‌ها ارایه شده است.

انجمن مهندسی گاز ایران

[1] Coletanche Block
[1] Non-woven polyester
[1] Till
[6]
[7]
[8]



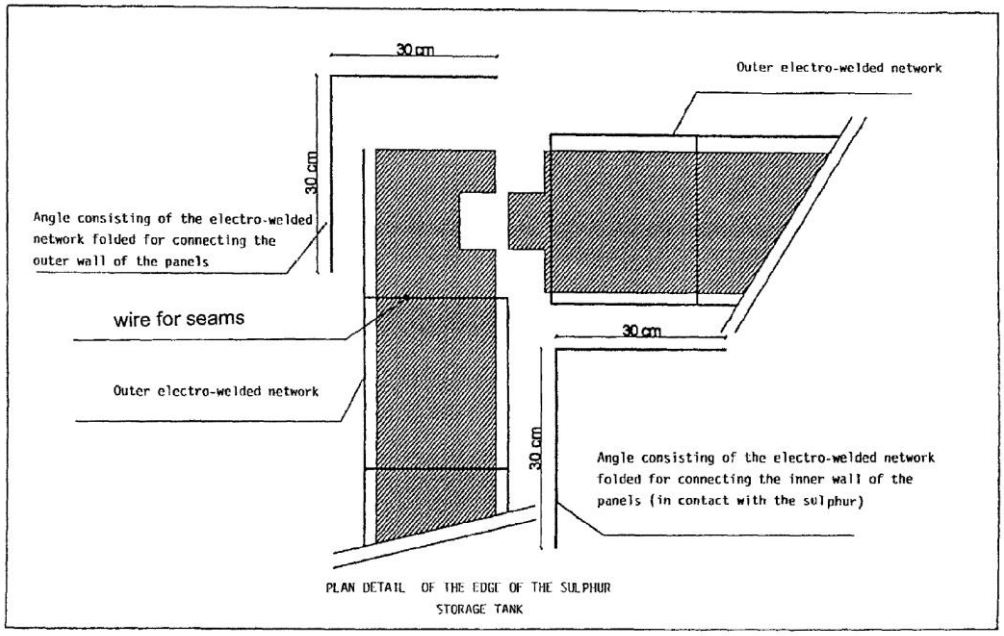
شکل (۱۱-۲) نمای شماتیک از چندین روش روکش نمودن بلوک‌های گوگرد

۵-۳-۲- مخازن پلیمری

این روش انبارش بسیار نوین و بصورت ثبت اختراع بوده و از مزایای عمده‌ای همچون کاهش احتمال فرسایش، کاهش احتمال تولید اسید و سهولت اجرا برخوردار است. آقای زان و همکار وی[1] در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۷۷۱۲۴۸۹B2 روشی برای تهیه مخزن ذخیره گوگرد بر روی سطح زمین و با استفاده از صفحات پلیمری ارائه می‌دهند که صفحات مذبور در اطراف مخزن ذخیره باقی-مانده و از فرسایش و تماس مستقیم گوگرد با هوای آزاد جلوگیری می‌کنند. مخزن ذخیره مذبور دارای یک، دو و یا چندین سطح بوده و دارای یک کف نفوذناپذیر است و اساساً از EPS (Expanded Polyestyrene) ساخته شده است. کف مخزن مورد نظر، مجهز به شبکه‌ها و مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی و باران است. صفحات EPS مورد استفاده از نوع تقویت شده بوده که شبکه‌های گالوانیزه یا استیل ضد زنگ، درون آن‌ها قرار داده شده است.

[1] Leonardo Zan and Francesco Crescenzi

محیط قسمت مورد نظر برای ذخیره، به عمق ۵۰cm و عرض ۳۰cm کنده شده و پانل‌های EPS مجهز به نری و مادگی برای اتصالات، در قسمت کنده شده قرار داده می‌شوند. این پانل‌ها نقش دیواره‌های بیرونی مخزن را ایفا نموده و ارتفاع آن‌ها معمولاً برابر با ارتفاع مخزن انتخاب می‌گردد. در صورت نیاز، ارتفاع اضافی لازم با استفاده از صفحات EPS اضافی، اتصلات نری و مادگی و گیره-های فلزی تأمین می‌شود. دیواره‌های درونی و بیرونی تانک ذخیره و پانل‌های EPS، با استفاده از بتون یا رزین‌های اپوکسی به ضخامت ۱cm اندوده می‌شود. کف مخزن ذخیره با استفاده از بتون مقوم در برابر خوردگی و حملات سولفاتی با کد (Exposure group XA2 or XA3 according to regulation UNI-EN206) پوشانیده می‌شود که باعث چسبیدن کف مخزن به دیواره‌ها نیز می‌شود. در طول خشک شدن بتون، اولین ۳۰cm گوگرد مذاب به مخزن وارد می‌شود. پس از رسیدن به ارتفاع مناسب و تکمیل تانک، گوگرد مذاب در ارتفاع‌های ۳۰ سانتی بصورت مرتب ریخته می‌شود تا سطح گوگرد به سطح مخزن برسد. به منظور جلوگیری از تماس مستقیم سطح افقی گوگرد انبار شده با اتمسفر، روی آن را می‌توان با استفاده از پلی‌استایرن تقویت شده و یا صفحات پلی‌اتیلنی پوشانید. روش دیگر، پوشانیدن سطح با نمک‌های معدنی کلرید یا سولفات (ترجیحاً NaCl) محلول با غلظتی از ۰/۴N تا غلظت‌های اشباع و سپس استفاده از یک لایه محافظ برای جلوگیری از شسته شدن نمک است. به منظور جلوگیری از رشد میکروبی، غلظت نمک مورد استفاده، بایستی همواره در مقدار مناسب نگهداری شود. بدین منظور نیاز به پوششی است که از شسته شدن آن جلوگیری نموده و در عین حال از خروج گازهای تولیدی جلوگیری ننماید. موارد پیشنهادی مناسب برای پوشش مذبور، عبارتند از: شن، سنگ‌ریزه، پوزولان و در نهایت آهک و سیمان به عنوان عامل چسباننده.



شکل (۱۲-۲) نحوه اتصال صفحات پلیمری برای ساخت مخازن انبارش گوگرد

انجمن مهندسی گاز ایران

فصل سوم

انجمن مهندسی گاز ایران

۱-۳- مشکلات حمل و نقل و انبارداری گوگرد

انتشار غبار گوگرد و اسیدی شدن باکتریایی از معضلات بزرگ در مناطق تولید و صادرات گوگرد محسوب می شود . میزان گرد و غباری که در هنگام حمل و نقل گوگرد ایجاد می شود به فرم گوگرد (فلسی ـ پریل ـ پاستیل)، میزان رطوبت آن، روش حمل و نقل و ابزارهای به کارگرفته شده بستگی دارد. جهت جلوگیری از خطرات ایجاد شده در جهت عدم جلوگیری از ایجاد گرد و غبار در حمل و نقل گوگرد جامد می توان از اسپری آب جهت افزایش رطوبت استفاده نمود. اسپری آب در سیستمهای حمل و نقل و جابجایی گوگرد در بخشهایی از سیستم مانند انتهای تسمه نقاله و یا خروجی قیفها قرار می گیرد. نکته قابل تامل میزان آب مصرفی است که باید به دقت تحت کنترل قرار گیرد زیرا که مصرف بیش از حد آب می تواند سبب به هم چسبیدن ذرات و بسته شدن مسیرهای خروجی گوگرد در سیستم می شود. بنابراین میزان رطوبت گوگرد موجود باید مابین ۰/۵ الی ۱/۵ درصد نگهداری شود. میزانهای رطوبت اضافی در بخش ذوب نمودن ترکیب تبخیر می شود که مستلزم صرف هزینه اضافی می باشد.

علاوه بر این برای جلوگیری از به وجود آمدن ذرات معلق و گرد و غبار گوگردی می توان از یکسری ترکیبات خاصی استفاده نمود که این ترکیبات بر روی سطح گوگرد جذب شده و در حین فرایند خشک شدن به صورت ویسکوز درآمده و از ایجاد غبار گوگردی جلوگیری می کند. این افزودنیها همچنین شامل ترکیباتی دیگری نیز می باشند که خاصیت خورندگی حاصل از گوگرد را نیز کاهش می دهند. این افزودنیها معمولا در فرمهای کنسانتره در بازار موجود بوده که به هنگام مصرف به میزان ۸۰ الی ۱۰۰ برابر رقیق می شوند.

یک راه حل موثر به منظور تولید گوگرد تجارتی با شکنندگی کمتر حفظ محتوای گوگرد پلیمری در فرآورده است . همچنین برای ارائه یک محصول استاندارد باید از تشکیل اسید در محموله های گوگرد جلوگیری شود . این عمل با بکارگیری عوامل ضد باکتریایی و نمکهای معدنی که از فعالیت باکتریهای اکسید کننده جلوگیری می کنند قابل انجام است.

گوگرد بعنوان یکی از ارزانترین مواد خام جهان شناخته شده است. چرا که تولید افزاینده نفت و گاز به افزایش تولید گوگرد نیز منجر می شود. گوگرد نقش محوری دربسیاری ازصنایع به ویژه تولیدکودهای شیمیایی واسید سولفوریک بازی می کند. امروزه بدون کودهای شیمیایی طیف وسیعی از جمعیت جهان گرسنه خواهند ماند و بدون اسید سولفوریک بخشهای مهم اقتصادی دچار رکود می شوند. گوگرد بر خلاف ظاهر زیبایش مانند اغلب مواد شیمیایی می تواند خطرناک باشد . پخش غبار

گوگرد، انتشار H_2S، اسیدی شدن محیط و ایجاد خوردگی از جمله معضلات اساسی گوگرد به شمار می روند.

غبار گوگرد هم سلامت انسان وهم محیط زیست را به خطر می اندازد وبه خصوص در درازمدت می تواند اثرات سوء بر موجودات زنده داشته باشد.

گوگرد مذاب در حال حاضر نقش مهمی را در صنایع مختلف ایفا می کند، گذشته از منابع معمول در تهیه گوگرد مذاب مانند پالایشگاه ها و پلنتهای گاز طبیعی و استفاده کننده های متعارف آن مانند کارخانه های تولید اسیدسولفوریک و کودهای شیمیایی، امروزه این ترکیب در صنایع دیگری مانند صنایع لاستیک سازی، پلی مر و حتی صنایع غذایی از اهمیت به سزایی برخوردار است. احتمال بالای حضور هیدروژن سولفید در این ترکیب (به علت اینکه منبع اصلی آن سولفورزدایی از نفت خام و گاز طبیعی می باشد). پیچیدگیهای خاصی را جابجایی، نگهداری و حمل و نقل آن ایجاد می نماید. بنابراین انتقال و نگهداری گوگرد مذاب شامل تخلیه H_2S در تانکها، تانکرها و ظروف نگهداری و جایگزینی هوا جهت کاهش خطرات احتمالی می باشد. هیدروژن سولفید علاوه بر اینکه قابل اشتعال بوده و بدین لحاظ مراقبتهای خاصی را در برخورد با آن ایجاب می نماید، بدلیل ماهیت سمی آن و خطرات ناشی از مسمومیت حاصل از آن، نیازمند توجه خاصی در کار کردن با آن در محیط می باشد.

نظر به افزایش دامنه تقاضا جهت انرژی، ارزش بالای آن در قرن حاضر، قوانین زیست محیطی برای کنترل آلودگی و نیاز صنایع به بکارگیری سوختهای با مقادیر کم گوگرد، تولید این ترکیب در حال افزایش چشمگیری می باشد. از سوی دیگر به کار گیری این ترکیب در صنایع جدیدی که قبلا کاربرد گسترده ای در آنها نداشت باعث ایجاد نگرش جدیدی در جمل و نقل و مقابله با خطرات ناشی از آن شده است.

خوشبختانه جهت حمل و نقل و انبارداری ایمن گوگرد و خروج H_2S از آن راههای گسترده ای وجود دارد که با به کارگیری آنها می توان خطرات ناشی از این ترکیب را به حداقل رساند.

یکی از مواردی که نقش مهمی را در انتقال و ذخیره سازی گوگرد مذاب ایفا می کند خارج سازی H_2S موجود در محیط و جایگزینی آن توسط گاز معینی می باشد، از این دیدگاه فاکتورهای زیادی قابل بررسی بوده و با توجه به شرایط گوناگون و محیط های متفاوت می توان از گازهایی نظیر هوا و یا نیتروژن استفاده نمود. در این میان هوا به دلیل قیمت پایین آن، در دسترس بودن آن و در نهایت

ایمن بودن آن نسبت به نیتروژن از ارجحیت بالاتری برخوردار بوده و از کاربرد گسترده ای در حمل و نقل و نگهداری گوگرد مذاب برخوردار می باشد.

در حال حاضر از ترکیبات متفاوتی جهت ساخت تانکرهای حمل گوگرد مذاب و مخازن نگهداری آن استفاده می شود و در این راستا تحقیقات ویژه ای صورت گرفته تا اینکه خطرات احتمالی ناشی از گوگرد مذاب و H_2S همراه آن را تا حد قابل کنترلی پایین نگهدارند در این راستا یکی از مواردی که برخورد با گوگرد مذاب را چه در زمینه انبارشی و چه در زمینه حمل و نقل مشکل می سازد ترکیب شدن و واکنش دادن ظروف و محفظه های نگهداری آن با گاز هیدروژن سولفید می باشد، این مهم علاوه بر خسارتهای ناشی از خوردگی باعث ایجاد ترکیبی به نام سولفید آهن (FeS) می باشد. معمولا این ترکیب در سطوح بالایی گوگرد مذاب که بیشترین تلاطم را با محیط خود دارد تشکیل می شود. نکته قابل توجه در مورد این ترکیب این می باشد که این ترکیب فقط در محیطهای فاقد اکسیژن (مثلا مواقعی که محفظه حمل گوگرد مذاب توسط گاز ازت پر شده است) تشکیل شده و اگر در محیط بی هوازی (فاقد اکسیژن) قرار بگیرد نه تنها دارای ریسک نبوده بلکه گاها می تواند مانند سدی از خوردگی سطوح کربن استیل جلوگیری نماید.

سولفید آهن در حضور اکسیژن منبع حرارتی زیادی ایجاد می کند که می تواند باعث آتش سوزی گوگرد مذاب گردد که در صورت عدم توجه کافی در حمل و نقل و نگهداری آن فجایع بزرگی بوجود خواهد آمد..

بنابراین تشکیل سولفید آهن یکی از مهمترین دلایلی است که باعث به کارگیری هوا جهت جایگزینی با H_2S در محفظه های نگهداری و ظروف و تانکهای حمل گوگرد مذاب شده است. همانگونه که قبلاً نیز بیان شد H_2S گازی قابل احتراق می باشد و در محفظه های نگهداری گوگرد مذاب می تواند در مقادیر بالاتر از حد مجاز H_2S تجمع پیدا کند که در نهایت باعث تشکیل مخلوطی از گاز قابل احتراق شود. بنابر دلایل ایمنی همیشه مقادیر H_2S در مخلوط هوای موجود در محفظه باید پایین تر از ۲۵ درصد میزان منییم حد قابل انفجار باشد. گاها تا ۵۰ درصد میزان LEL نیز قابل قبول خواهد بود به شرط اینکه سیستم مجهز به علائم هشدار دهنده کنترل کننده ایمنی باشد. بنابراین همیشه باید مقادیری هوا به داخل سیستم تزریق شده تا میزان H_2S به اندازه کافی پایین نگهداشته شود. صرفنظر از اینکه هوا ماده ای ارزانقیمت و در دسترس می باشد استفاده از آن در سیستمهای بزرگ نگهداری گوگرد مذاب نیازمند به کارگیری دستگاههای ویژه و موتورهای خاصی جهت تولید و هدایت آن به

مخزن می باشد. در نهایت مسئله مهم دیگر هدایت درست گازهای داغ حاصل در مخزن می باشد تا از ایجاد آسیبهای ناخواسته در محیط و آب و هوای اطراف جلوگیری شود.

در اکثر موارد، ایده خروج H_2S از گوگرد مذاب بیش از جداسازی بخارات هیدروژن سولفید بوده و در موارد زیادی نیاز است که بتوان این ترکیب خطرناک را حتیاز داخل مایع محتوی آن (گوگرد مذاب) جداسازی نمود که برای دستیابی به این هدف راههای زیادی پیشنهاد شده است. یکی از ساده ترین روشهایی که بدین منظور ارائه شده است حباب زدن گازی مانند نیتروژن و یا هوا داخل مایع می باشد که جزئیات آن متعاقبا توضیح داده خواهد شد. به عنوان نمونه هوا از طریق خطوط خاصی به ته مخزن حاوی نمونه هدایت و در آنجا شروع به حباب زدن می نماید که این مستلزم به کارگیری مخازن خاصی که مقاومت بالایی در برابر فشار داشته و همچنین دستگاه های مورد نیاز جهت هدایت هوا می باشد.

با وجود معایب ذکر شده برای نیتروژن، این ترکیب اغلب به عنوان گاز خنثی در ظروف انتقال و نگهداری گوگرد مذاب به کار گرفته می شود که اغلب در مواردی که میزان H_2S در نمونه از مقادیر بالایی برخوردار بوده و یا اینکه نیاز به خروج مقادیر خیلی کم گاز از سیستم می باشد. از دلایل دیگر استفاده از نیتروژن، کاهش میزان اکسیژن در گاز خروجی از سیستم می باشد. در مجموع در مواقعی از نیتروژن به عنوان گاز پرژی کننده استفاده می شد که مزایای آن بر معایبی همچون تشکیل سولفید آهن به دلیل به کارگیری گاز است برتری دارد.

۲-۳- کاهش H_2S جهت حمل ایمن گوگرد مذاب

به منظور جلوگیری از بروز حوادث ناخوشایند لازم است قبل از انتقال و یا نگهداری گوگرد مذاب، اقداماتی جهت جداسازی H_2S صورت گیرد که این امر به سه روش ذیل امکان پذیر است.

۱) به کارگیری فاز مایع در جداسازی H_2S

۲) حباب زدن گاز داخل مایع

۳) به کارگیری روشی مرکب از دو روش فوق

به کارگیری فاز مایع در جداسازی H_2S

یکی از روشهای جداسازی H_2S از داخل مایع گوگرد مذاب به کارگیری افزودنیهای مایع می باشد که گاها از طریق واکنش با H_2S باعث تخلیص نمونه شده و یا اینکه با عملکرد خاص خود باعث تسهیل در خروج هیدروژن سولفید از داخل گوگرد مذاب می شوند. در این راستا محصولات زیادی

جهت دستیابی به این مهم در بازار ارائه شده اند که از طریق شناورسازی آنها در مایع و یا به کارگیری آنها به همراه به هم زدن شدید نمونه می توانند باعث تخلیص گوگرد مذاب گردند. محصولات حاصل گاها قابلیت انحلال در گوگرد مذاب را نداشته و می توان آنها را از طریق جمع آوری آنها در سطح و یا ته نمونه جمع آوری شود. هنگامی که از ارتقا دهنده های خاص جهت تسریع شدن خروج H_2S استفاده می شود و یا انکه کاتالیتهای خاصی بدین منظور به کارگرفته می شوند محصولات حاصل پس از جداسازی قابلیت احیا به کارگیری مجدد در جداسازی H_2S را دارا می باشند، اما در مواردی که از ترکیبات واکنشگر بدین منظور استفاده می شود محصولات حاصل به ندرت قابلیت به کارگیری مجدد را داشته و یا اینکه نیازمند فراوری و عملیات ویژه ای جهت بازیابی می باشند.

حباب زدن هوا داخل گوگرد مذاب به منظور تخلیص آن: همانگونه که قبلا نیز بیان شد به کارگیری هوا جهت جداسازی H_2S در مخازن و تانکرهای انتقال گوگرد باعث دستیابی به دو هدف عمده می شود: الف) خروج هیدروژن سولفید از گوگرد مذاب و ب) رقیق سازی H_2S در سیستم هواکش مخزن. در روشهای متعاذف به کارگیری هوا جهت دستیابی به این مهم، نیازمند استفاده از مقادیر زیاد هوا به خصوص در مواردی که مخازن گوگرد کم عمق و ترکیب از سطح بالایی برخوردار است می باشد که در این راستا به کارگیری حجمهای بالا از هوا باعث صرف هزینه و نیروی بالایی می باشد.

روش ترکیبی: گاها جهت دستیابی به جداسازی کامل و سریع H_2S از روشی ترکیبی مشتمل بر به کارگیری حباب سازها وافزودنیهای خاص استفاده می شود این تجهیزات از ابزارهای خاصی برای برقراری تمامی بهینه بین هوا و گوگرد مذاب استفاده نموده و گاها دارای بخشهای ویژه ای جهت بازیابی مواد افزودنی و محصولات حاصل پساز واکنش با H_2S می باشد.

۳-۳- روشهای ایمن مقابله با H_2S آزاد شده

همانطور که در بخش فوق نیز اشاره شد، روشهای متفاوت عملکرد بر روی H_2S موجود در سیستم مانند رقیق کردن گاز موجود، نیازمند اداره و هدایت صحیح و ایمن گاز حاصل در سیستم است. بدین منظور روشهای متفاوتی اشاره شده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) تبدیل و یا تجزیه H_2S موجود در سیستم

۲) بازیابی هیدروژن سولفید

۳) دفع هیدروژن سولفید

تبدیل و یا تجزیه H_2S موجود در سیستم: این بخش شامل تجزیه کاتالیتی و یا گرمایی هیدروژن سولفید موجود در سیستم خروجی و یا تبدیل H_2S به یک ترکیب گوگردی ایمن تر می باشد که این عمل شامل هدایت گاز خروجی به کوره و یا راکتور مورد نظر و یا استفاده از آن به عنوان هوای مشتعل در سیستم خروجی می باشد به طوری که تمامی موارد فوق باعث ایجاد ونشر ترکیباتی مانند SO_2 به هوای محیط شده که از این لحاظ باعث ایجاد محدودیت هایی از طرف سازمانهای دولتی حافظ محیط زیست شده است.

در چنین سیستمهایی علاوه بر مشکلات زیست محیطی حاصل، خوزدگس ناشی از H_2S و یا گاز دی اکسید گوگرد در سیستمهای مرطوب صدمات زیادی را بر روی سیستمهای موجود ایجاد می کند. با وجود مشکلات ذکر شده بهتر است در چنین سیستمهایی جهت رقیق سازی H_2S موجود از هوا استفاده شود تا در مرحله تجزیه حرارتی H_2S ، نیازمند هوای اضافی جهت انجام چنین کاری نباشد.

بازیابی گاز هیدروژن سولفید: در مواردی که واحدهای کلاوس و یا واحدهای بزرگ دیگر بازیافت گوگرد (SRU) در نزدیک سیستم موجود باشند، H_2S موجود در سیستم می تواند به راحتی به بخش انتهایی واحد هدایت شود. از معایب این روش این است که بازیابی H_2S توان واحدهای SRU را جهت عملکرد بر روی H_2S ورودی در سیستم کاهش می دهد با این وجود این روش محاسن زیادی نیز دارد که از آن جمله می توان به این مورد اشاره کرد که با استفاده از روش فوق در بازیابی H_2S سیستم نیازمند ابزار و تجهیزات اضافی نبودهو به راحتی می توان از تجهیزات موجود در واحدهای SRU استفاده نمود.

دفع هیدروژن سولفید: دفع H_2S موجود در سیستم به روشهای متفاوتی می تواند صورت گیرد که انتخاب این روشها تا حد زیادی بستگی به حجم H_2S موجود در سیستم دارد. مهمترین روشهای دفع گاز H_2S عبارتند از:

۱) تبدیل H_2S به محصولات غیر قابل بازیافت (Scavengers)

۲) تبدیل H_2S به محصولات قابل بازیافت

۱) تبدیل H_2S به محصولات غیر قابل بازیافت

در مواردی که تولید روزانه H_2S کمتر از ۲۰۰-۱۰۰ پوند باشد روش فوق روشی مناسب جهت دفع هیدروژن سولفید می باشد. چنین سیستمهایی از واکنشگرهایی جامد و با مایع جهت دفع H_2S و تبدیل آن به فرآور دمای گوگردی متفاوت استفاده می کنند. این ترکیبات بعدا به روشهای متفاوتی از ترکیب جداسازی می شوند. استفاده از چنین سیستمهایی در دفع H_2S مزایایی دارد که از آن جمله

می توان به سادگی و تجهیزات کم مورد نیاز در این روش اشاره نمود در مقابل ترکیبات شیمیایی که در این روش مورد استفاده قرار می گیرند بین ۱۰ الی ۲۰ برابر گرانبهاتر از موارد مورد استفاده در روشهای قابل بازیافت می باشند. این معذل در مواردی که حجم ترکیبات افزوده می شود بسیار چشمگیرتر می باشد بنابه دلایل ارایه شده چنین روشی محدود به مواردی می باشد که میزان تولید روزانه H_2S حداکثر ۱۰۰ الی ۲۰۰ پوند بوده مگر در شرایط خاصی که در حجمهای بالاتر نیز استفاده از آن مقرون به صرفه می باشد. با توجه به توضیحات ارایه شده دو نوع از واکنشگرهای جامد و یا مایع در این روش کاربرد دارند.

واکنشگرهای مایع خود شامل موارد زیر می باشند.

۱) Caustic treating

۲) استفاده از ترکیبات آمینی

۳) استفاده از ترکیبات نیتراته

۴) استفاده از اکسیدانها

در تمامی موارد فوق از روشهای متفاوتی برای افزایش سطح تمامی گاز و مایع و افزایش میزان جذب آن H_2S بر روی مایع استفاده می شود تا اینکه هیدروژن سولفید به ترکیب گوگردی دیگری در فاز مایع تبدیل می شود. اصولا این ترکیبات قابل انحلال در فاز آبی بوده و این بدان معنا است که این واکنشگرها باید قادر به واکنش در دمای زیر نقطه جوش آب باشند.

این ترکیبات اغلب ترکیباتی گرانبها بوده به طوری که بهای تمام شده به ازای دفع یک پوند از H_2S معادل ۵ الی ۱۰ دلار می باشد که این روشها را به مواردی که تولید روزانه H_2S بین ۵۰ الی ۱۰۰ پوند باشد محدود می کند. این موارد صرفنظر از هزینه های ناشی از دورریز مایعات موجود در سیستم می باشد که می تواند هزینه های کلی را تا حد ۲ برابر افزایش دهد.

واکنشگرهای جامد اغلب شامل ترکیباتی است که به عنوان جاذب و یا واکنشگر بر روی هیدروژن سولفید عمل می کند.

از میان واکنشگرهای جامد مورد استفاده در صنعت می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱) کربن اکتیو

۲) اسفنجهای آهن

۳) ترکیباتی که شامل اکسید آهن می باشد

۴) ترکیباتی که شامل اکسید روی می باشد

۵) اکسیدانتهای جامد

از میان ترکیبات فوق کربن اکتیو نقش متمایزی را ایفا نموده به طوری که این ترکیب می تواند H_2S را بدون هیچگونه تبدیلی دفع نماید. این ترکیب به واسطه خلل و فرج و منافذ زیادی که دارد دارای سطح بسیار بالایی بوده و قادر به جذب H_2S در منافذ خود می باشد. جهت افزایش کارآیی می توان سطح آن را با ترکیبات دیگری مانند اکسیدانتها پوشش داد. اما در این میان کربن اکتیو ترکیب مناسبی جهت دفع H_2S از گوگرد مذاب نمی باشد زیرا دمای بالای H_2S در این ترکیب به همراه سایر عوامی می تواند باعث ایجاد آتش سوزی در محل گردد.

سایر موارد نیز شامل استفاده از واکنشگرهایی است که عموما بر روی سطوح بی اثری پوشش داده شده و باعث جذب هیدروژن سولفید بر روی سطح خود می شوند.

استفاده از جاذبهای آهنی یکی از قدیمی ترین تکنیکهای مورد استفاده در دفع H_2S می باشد و در واقع به آن لقب پدربزرگ سایر تکنیهای جامد در دفع H_2S را داده اند. این ترکیبات شامل استفاده از تراشه های چوبی که به وسیله ذرات آهن پوشانده شده اند می باشد هزینه استفاده از چنین مواردی معمولا ۱۰-۵ برابر بیش از مواردی است که از روشهای قابل بازیافت استفاده می شود ولی در میان روشهای جامد در دفع H_2S از همه ارزان تر می باشد که دلیل آن نیز قیمت پایین بستر استفاده شده در این روش (از جنس چوب) ناشی از ایجاد سولفید آهن (ترکیبی آتشگیر که قبلا به آن اشاره شد) اشاره کرد. این ترکیب جهت دفع H_2S موجود بایستی همواره مرطوب نگهداشته شده و pH آن باید به دقت کنترل گردد، بنابراین این روش نسبت به سایر تکنیکهای جدید دارای دشواریهای زیادی در به کارگیری می باشد هر چند که این روش هنوز از جمله روشهای دفع H_2S در صنعت می باشد ولی در مورد دفع H_2S از گوگرد مذاب بنابه دلایل ذکر شده در مورد کربن اکتیو کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

با توجه به نقاط ضعف اشاره شده در مورد کربن اکتی و اسفنجهای آهن امروزه نسل جدیدی از ترکیبات جامد جهت دفع ایمن و کم خطر H_2S در گوگرد مذاب استفاده می کنند.

یکی از این ترکیبات اکسید آهن می باشد که امروزه با نامهای متفاوتی مانند GTPs sulfur-Rite و Sulfa Treat در بازار ارایه می شوند که معمولا شامل اکسید آهن پوشش داده شده بر روی سطوح بی اثری مانند کلی ها می باشند. این ترکیبات پس از واکنش با گوگرد باعث تولید Fe_2S_3 که نسبت به سولفید آهن (FeS) ترکیبی بی خطر بوده و خطرات ناشی از آتشگیر بودن FeS را نیز دارا نمی باشد و در شرایط گوناگون قابلیت به کارگیری را دارا می باشد. این ترکیب همچنین به راحتی قابل

جابجایی بوده و ترکیبی مضر محسوب نمی شود، بنابراین به کارگیری و گاها دفع آن به راحتی صورت می گیرد. این ترکیبات معمولاً جهت کارکرد موثر نیاز به بکارگیری آب به همراه گاز ورودی بوده ولی در بحث مربوط به گوگرد مذاب که گاز H_2S توسط هوا رقیق شده، این ترکیبات قابلیت واکنش با گاز داغ ورودی که توسط هوا رقیق شده است را نیز دارا می باشند.

اکسید روی و سایر اکسیدانتهایی که در بحث دفع H_2S به کار گرفته می شوند نیز مکانیسمی مشابه را دارا بوده و پس از جذب H_2S موجود در سیستم با آن واکنش داده و به ترکیبات ایمن و کم خطری تبدیل می شود که پس از واکنش جاذب جداسازی و جایگزین می شود. هزینه به کارگیری این ترکیبات حدود ۲-۴ دلار به ازای هر پوند از H_2S دفع شده می باشد که حدود ۲ برابر نسبت به جاذبهای مایع و ۱۰ برابر نسبت به سیستمهای قابل بازیافت ارزانتر می باشد ولی اشکال کار آنها مانند اسفنجای آهن وقت گیر بودن و حجم زیادی از ترکیباتی است که بعد از هر بار واکنش باید دور ریخته شوند.

در سالهای اخیر استفاده از چنین ترکیباتی در دفع H_2S مورد توجه خاصی قرار گرفته است که عموماً شامل موارد زیر می باشد:

۱) فرایندهای استفاده از مایعات ردوکسی

۲) اکسیداسیون مستقیم

۳) استفاده از مایعات غیرآبی

در تمامی این موارد، از روشهای متفاوتی جهت دفع H_2S و تبدیل آن به محصولات پایدار استفاده می شود که در این موارد واکنشگرهای اولیه معمولاً قابل بازیافت و بازگشت به چرخه دفع H_2S می باشند. در این بین مایعات ردوکی به عنوان یکی از قدیمیترین روشهای دفع H_2S بوده که از کاتالیتهای قابل حل در آب استفاده می نماید که عموما شامل فلزات فعالی می باشد که توسط گردانه های کی لیت ساز احاطه شده اند. دراین فرایند گوگرد جامد به عنوان محصول جانبی تولید می شود که به آسانی قابل فیلتر شدن و جداشدن از نمونه، بوده و می تواند در واحدهای ساخت کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. در فرایندهای قدیمی تر از فلز وانادیم به عنوان کاتالیتی جهت حذف H_2S استفاده می شد که به علت مشکلاتی که در به کارگیری و جداسازی داشت امروزه از کاتالیت آهن بدین منظور استفاده می شود. این پروسه به راحتی در مواردی که تولید روزانه H_2S بیش از ۲۰۰ پوند می باشد قابل به کارگیری می باشد. محصول ایجاد شده در این روش شامل ۳۰

الی ۶۰ درصد گوگرد می باشد که می تواند به داخل گوگرد مذاب هدایت شده و یا انیکه به طرف واحدهای ساخت کودهای شیمیایی هدایت شوند.

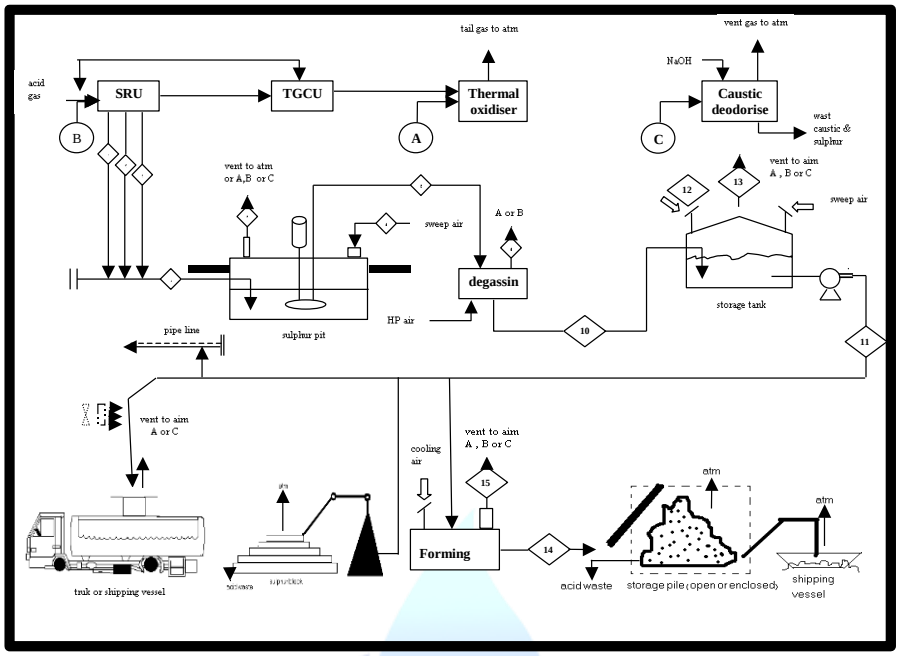
فرایندهای رودکی مایع به خاطر هزینه های سرمایه گذاری بالاتر و پیچیدگی آن (نسبت به موارد قبلی) به میزان کمتری در سیستمهای خروجی تانکهای عمل گوگرد به کار گرفته می شوند ولی به خاطر هزینه عملیاتی پایین آن (حدود ۰/۱۵ الی ۰/۳ دلار به ازای هر پوند H_2S دفع شده) برای مواردی که میزان H_2S موجود در سیستم زیاد بوده و بدین ترتیب هزینه سرمایه گذاری توسط هزینه کم به عملیاتی جبران می شود مقرون به صرفه می باشد.

بطور معمول گوگرد بازیافتی از فرایند کلاوس شامل ۱۰ درصد H_2S، ۵ درصد SO_2 و گازهای دیگری چون COS، CS_2 و گازهای بی اثر است. در واقع وجود H_2S از همه مهمتر به نظر می رسد چون در واکنش با ملکول های S نوعی پلیمرهای گوگردی (H_2S_x) تولید می کند.

$$H_2S + S_8 \rightleftharpoons H_2S_X$$

این واکنش به دما و فشار وابسته است. نسبت غلظت H_2S به H_2S_X، حدود ۱۰ و ۱ در ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سانتی گراد است. افزایش فشار تعادل را به سمت تشکیل بیشتر H_2S_X پیش می برد. بنابراین تعادل در دما و فشارهای پایینتر باعث آزاد شدن سولفید هیدروژن می شود. شکل (۱-۳) فلو دیاگرام یک نمونه فرآیند سیستم بازیابی گوگرد، نگهداری و حمل و نقل آن را نشان می دهد.

انجمن مهندسی گاز ایران



مطابق شکل (۱-۳) گوگرد تولید شده در فرایند کلاوس (جریان ۳-۱) شامل H_2S محلول، H_2S_X و مقادیر کمی SO_2، COS و CS_2 است. درحقیقت واکنش بالا با افزایش دما به سمت راست هدایت می شود. و علت اینکه H_2S آزاد شده در کندانسور شماره ۱ بیشتر از بقیه کندانسورها است، را توجیه می کند.

گاز دی اکسید گوگرد از جمله اجزایی است که همانند سولفید هیدروژن بسیار سمی است و در بخش های مختلف فرآیند گوگردزدایی در غلظت هایی حتی بیشتر از H_2S می تواند وجود داشته باشد. اگر چه واکنش شیمیایی بین SO_2 و گوگرد انجام نمی گیرد ولی قابلیت انحلال SO_2 در گوگرد بیشتر از H_2S است. میزان دی اکسید گوگرد محلول با افزایش دما کاهش می یابد، بنابراین انتظار می رود همانطورکه دمای گوگرد خام تولید شده از فرآیند SRU در مسیر انتقال و ذخیره سازی کاهش می یابد تمایل SO_2 به ماندن در گوگرد مایع بیشتر گردد. با استفاده از یک سیستم گاززدایی مناسب انتظار می رود که غلظت SO_2 در خروجی واحد SRU در حدود ۲۰ ppmw و در خروجی از پیت گوگردی حدود ۱۰ ppmw باشد.

گوگرد حاصل از فرایند کلاوس به واسطه نیروی گرانش به پیت گوگردی، با قابلیت پذیرش یک تا دو روز تولید گوگرد، جریان می یابد (جریان ۴). گوگرد جمع آوری شده از تمامی کندانسورهای واحد SRU محتوی حدود ۳۰۰-۲۰۰ ppmw سولفید های هیدروژن و حدود ۳۰-۲۰ ppmw دی اکسید گوگرد می باشد. همانطور که قبلا اشاره شد با کاهش دمای گوگرد، پلی سولفید های

موجود به H_2S تجزیه می شوند که در اثر واجذبی فیزیکی می تواند از فاز مایع خارج و به فاز گازی بالای گوگرد مذاب وارد شود. به این ترتیب غلظت آن در فضای بالای پیت گوگردی زیاد می شود. این عمل در واقع به دلیل اختلاف دمای بسیار زیاد گوگرد تولید شده (۱۳۰۰ درجه سانتیگراد) و گوگرد مذاب موجود در پیت گوگردی (۱۳۰-۱۵۰ درجه سانتیگراد) تشدید شده و یکباره تجمع غلظت H_2S و SO_2 افزایش می یابد به نحوی که ریسک خطر در این مکان بسیار بالا می رود. برای این منظور با هدایت جریان هوای خارجی (جریان ۶) به داخل پیت و به کمک یک سیستم اجکتور، گازهای خطرناک از بالای پیت خارج و در محل دیگری اکسید می شوند. از سوی دیگر با بکار بردن مواد شیمیایی مناسب می توان سرعت و میزان تجزیه H_2S_X را تشدید کرد تا در نهایت مذابی با کمتر از ppm ۱۰ سولفید هیدروژن حاصل شود. سپس مذاب حاصل به تانک ذخیره فرستاده می شود تا از آنجا بر اساس یکی از استراتژی های زیر مورد استفاده شود.

۱- انتقال به واحد دانه بندی جهت تولید محصول قابل عرضه به بازار

۲- انتقال مستقیم گوگرد مذاب به کشتی های باربری با استفاده از خطوط لوله مخصوص

۳- انتقال مستقیم گوگرد مذاب به کشتی های باربری با استفاده از تانکرهای مخصوص حمل گوگرد مذاب

۴- انتقال گوگرد مذاب با استفاده از تانکرهای مخصوص حمل گوگرد مذاب جهت مصارف بومی

۵- انتقال گوگرد مذاب با استفاده از تانکرهای مخصوص به مخازن ذخیره ۱۵۰۰۰ تنی نزدیک اسکله

۶- انتقال گوگرد مذاب به محوطه های انباشت دراز مدت گوگرد (در زمان های اظطراری)

همانطور که گفته شد گوگرد مایع تولید شده در واحد بازیابی کلاوس محتوی میانگین ppmw ۲۰۰-۳۰۰ هیدروژن سولفید است. بهنگام حمل و نقل و نگهداری در اثر تلاطم و کاهش دما، هیدروژن سولفید آن می تواند آزاد شود به نحوی که اگر در محیط های بسته تهویه انجام نشود خطر انفجار وجود خواهد داشت. از سوی دیگر وجود سولفید آهن که از واکنش H_2S با کربن استیل حاصل می شود می تواند ریسک آتش سوزی را بالا ببرد.

تجمع گاز سولفید هیدروژن در بالای سطح مذاب در مواقع حمل و نقل گوگرد مایع می تواند باعث بروز انفجار و آتش سوزی گردد.. یکی از این اتفاق ها، در سال ۱۹۶۳ افتاد که به نام بلای sulphur Queen معروف است. به همین منظور شرکتهای تولید کننده گوگرد تصمیم گرفتند تا به این موضوع رسیدگی کنند. در همین رابطه چندین سری تست انتقال گوگرد با کامیون و تانکرهای

ریلی انجام شد تا میزان غلظت H_2S در فاز گازی بالای سطح گوگرد مایع ارزیابی شود. نتایج تستها نشان می دهد که خروج H_2S ازگوگرد مایع به دو طریق انجام میشود :

۱- کاهش دما

۲- تحریک یا به هم خوردن فیزیکی گوگرد مایع

آزمایش های انجام شده نشان می دهد که کاهش دما می تواند بطور قابل ملاحضه ای در خارج شدن H_2S از مذاب موثر باشد. بعنوان مثال چنانچه یک ماشین ریلی با گوگرد مایعی که فقط ppm ۵-۱۰ گاز H_2S دارد بارگیری شود غلظت H_2S موجود درفضای بخار بالای آن حدود ppm ۱۷۲ خواهد بود که اگر تا دمای ۲۹ درجه سانتی گراد سرد گردد، به ppm ۷۹۹ افزایش می یابد.

در آزمایش دیگری نشان داده شده است که یک ماشین ریلی با سرعت پایین و دمای ثابت حاوی گوگرد مذاب شروع به حرکت کند به سبب تلاطم ایجاد شده محتوای H_2S آن در فضای بالای مایع از ppm ۷۹۹ به ppm ۲۸۰۰ می رسد در صورتیکه H_2S گوگرد مایع، از ppm ۸ به ppm ۴ کاهش می یابد .

یکی از نتایج بدست آمده از این تستها این بود که به هم خوردن گوگرد مایع در طی حمل و نقل نسبت به کاهش دمای آن اثر زیادی روی آزاد شدن H_2S از گوگرد مایع دارد .

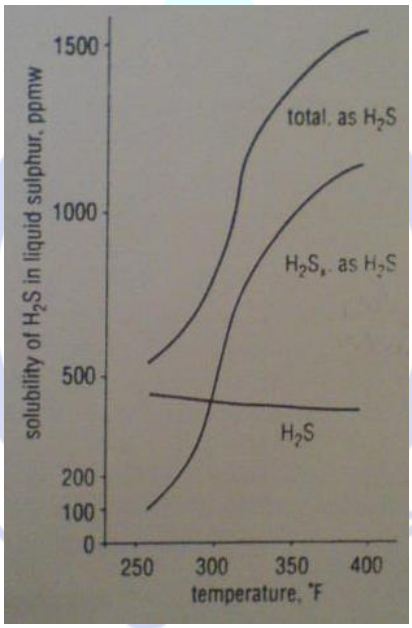
تستهای مکمل دیگر نشان می دهند که بهنگام جابجایی گوگرد مایع حاوی H_2S ppm۱۰۰، فورا غلظت H_2S در فضای بالای مایع به بالاتر از حد انفجار می رسد. به این ترتیب جابجایی چنیین گوگرد مذابی از ریسک بالایی برخوردار است. همچنین مشخص شده است که تنها پس از گذشت ۲ ساعت غلظت H_2S در فضای بالای محموله گوگرد مایع محتوی H_2S ppm۱۵ به ۳ درصد می رسد. قابل توجه اینکه در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد، حد انفجار H_2S در هوا ۳/۵ درصد حجمی است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که H_2S ppmw۱۵ محدوده بالایی برای حمل و نقل گوگرد مایع است و غلظت H_2S ppmw۱۰ ماکسیمم مقدار قابل قبول به این منظور است.

از سوی دیگر معلوم شده است که حضور H_2S در گوگرد مایع اثر نامطلوبی روی استحکام گوگرد جامد دارد. بعبارت دیگر اگر گوگرد مایع قبل از جامد شدن گاززدایی نشده باشد، قابلیت ترک خوردن گوگرد جامد افزایش می یابد.

۴-۳- میزان سولفید هیدروژن قابل حل در گوگرد

همانطور که قبلا یادوری شد محتوای H_2S در گوگرد مایع با افزایش دما کاهش می یابد. این پدیده به عنوان یک موضوع غیر عادی عنوان شده است. زیرا H_2S قابل حل در گوگرد با قانون طبیعی جذب فیزیکی مطابقت ندارد. تحقیقات و مطالعات زیادی نشان داده اند که حالت غیر طبیعی میزان انحلال H_2S در گوگرد مایع می تواند به علت تشکیل پلی سولفیدهای هیدروژن (H_2S_x) باشد .

واکنش تشکیل این پلی سولفیدها یک واکنش تعادلی است که افزایش دما آن را به سمت تولید بیشتر H_2S_x هدایت می کند و متعاقب آن قابلیت انحلال H_2S در گوگرد مایع افزایش می یابد (شکل ۳-۲).



شکل (۲-۳) قابلیت انحلال H_2S در گوگرد مایع

هیدروژن پلی سولفیدها ترکیباتی با پیوند ضعیف H_2S و گوگرد عنصری هستند. آنها معمولا بهنگام حمل ونقل و نگهداری، به سبب کاهش دما و تالطم کم کم تفکیک می شوند وگاز H_2S آزاد می کنند. H_2S آزاد شده می تواند مشکلاتی به شرح زیر بوجود آورد:

۱- غلظت H_2S در محل عملیاتی می تواند به حد سمی برسد. حتی در غلظت های پایین منجر به مرگ می شود.

۲- H_2S ممکن است در فضای بالای وسایل نگهداری جمع و به حد انفجار برسد.

۳- اگر گوگرد به طور مناسب قبل از بارگیری به کشتی، گاززدایی نشده باشد مقدار H_2S در هوا به حد انفجار می رسد.

بنابراین حضور بیشتر از ۱۵ppm H_2S در گوگرد مایع خطرناک است. البته غلظت حدود ۱۰ppm سولفید هیدروژن به عنوان قرار داد برای فروش گوگرد پذیرفته شده است.

در قالب یک قرارداد جهانی، H_2S موجود در گوگرد مایع تولید شده باید کمتر از ۱۰ppmw باشد. حتی در این غلظتهای پایین نیز باید نکات ایمنی لحاظ گردد تا تجمع غلظت در بالای مذاب بوجود نیاید. فرض کنید گوگرد مذابی با مقادیر معلومی H_2S به مخزن نگهداری با مقدار کمی فضای بخار بارگیری شود . حجم فضای بخار آنقدر کوچک است که H_2S آزاد شده از گوگرد مذاب قابل مقایسه با مقدار H_2S باقی مانده در گوگرد مذاب نیست. لذا گوگرد و هوا اجازه پیدا می کنند تا در دمای معین و فشار اتمسفر به حال تعادل برسند (جدول۳-۱).

جدول (۱-۳) غلظت تعادلی سولفید هیدروژن در فضای بخار

درصد حجمی H_2S در فضای بخار	درجه حرارت تعادل °F / °C	غلظت H_2S در گوگرد مذاب(ppmw)
29.7	300/149	300
40.5	280/138	300
14.0	300/149	150
20.4	280/138	150
4.3	300/149	50
6.9	280/138	50
0.7	300/149	10
1.4	280/138	10

برای مثال نمونه ای گوگرد مذاب محتوی ۳۰۰ppmw H_2S بارگیری شده به تانک کامیون، بعد از مدتی که تا دمای ۱۳۸ درجه سانتی گراد سرد می شود و به تعادل می رسد فضای بخار آن ۴۰/۵ درصد حجمی H_2S خواهد داشت. لذا چنانچه ۳۰ تن گوگرد مذاب با ۵ درصد فضای بخار استفاده می شود ، مقدار H_2S در فضای بخار تانک کامیون در پایان مدت زمان، ۴۰/۵ درصد حجمی است که در گستره قابل اشتعال قرار دارد. محتوای H_2S در گوگرد بعد از مدت زمان گفته شده از از ۲۰ppmw به از ۲۸۰ppmw می رسد. بنابراین از جدول بالا می توان نتیجه گرفت که برای

حمل ایمن گوگرد مذاب لازم است آنقدر گاززدایی شود تا غلظت H_2S در مذاب بین ۵۰ppmw و ۱۰ ppmw کاهش یابد. در این حالت فضای بخار بالای مذاب غیر قابل اشتعال است.

۵-۳- خطرات آتش سوزی گوگرد

آتش های گوگرد در عملیاتهای صنعتی یک پدیده معمولی نیستند . آنها بیشتر در طی شروع ، پایان یا در زمان نگهداری رخ می دهند. گوگرد در دماهای بالا حدود (۱۶۸ درجه سانتی گراد) و در شرایط مساعد جرقه می زند و آتش های گوگرد ایجاد می شوند. در بعضی دستگاه ها دیده شده است که قطره های گوگردی که در معرض این گونه عناصر(آهن و...) قرار می گیرند موجب آتش سوزی و آسیب به تجهیزات مکانیکی می شوند . یک نکته مهم که در آتش های گوگرد مورد توجه قرار می گیرد این است که مقادیر زیادی گاز SO_2 تولید می شود. دی اکسید گوگرد باعث سوزش تنفس می شود و در غلظتهای بالا می تواند مرگ آور باشد . آتش های گوگرد عموما به شدت آتش هیدروکربنها نیستند، اما با گرمای زیادی که ایجاد می کنند می توانند به وسایل مکانیکی و تجهیزات صنعتی آسیب برسانند .

علت اینکه بعضی مواقع آلومینیوم برای وسایل انتقال ترکیبات گوگرد استفاده می شود این است که آن می تواند ازخوردگی و تشکیل سولفید آهن آتش زا که باعث ایجاد آتش ها و انفجارها می شود، جلوگیری کند . اگرچه آلومینیوم در دمای شعله سوختن گوگرد ذوب می شود و در شرایطی با گوگرد و اکسیژن به طور قابل احتراق واکنش می دهد . ولی آلومینیوم به شکل محدود شده استفاده می شود تا امنیت بیشتری را ایجاد کند.

۱-۵-۳- انفجارات اولیه و ثانویه ناشی از بخارهای گوگردی

معمولا آتش سوزی و انفجارهای اولیه در بخشهایی از سیستم مانند ماشین آلات کار با گوگرد رخ می دهد و می تواند نیروی موثر و بالقوه ای جهت تخریب کل پلنت ایجاد نماید. در صورتی که موج ایجاد شده در اثر انفجار اولیه به محیط اطراف منتشر شود می تواند تمامی لایه های غبار گوگردی را مشتعل نموده و غبار گوگردی ثانویه ای ایجاد می نماید که می تواند انفجارهای ثانویه عظیمی را ایجاد نماید.

جهت ایجاد انفجارهای ناشی از غبارهای گوگردی یکسری شرایط اولیه ای لازم است که به منظور آشنایی و اقدامات لازم جهت پیشگیری از ایجاد چنین شرایطی به برخی از آنها اشاره می کنیم:

الف) غبارها باید قابلیت اشتعال را دارا باشند.

ب) غبارهای گوگردی باید غلظت لازم در جهت ایجاد انفجار را دارا باشند.

ج) بایستی اکسیژن لازم جهت اشتعال گوگرد در محیط موجود باشد.

د) منبع شروع اشتعال بایستی در محیط موجود باشد.

هـ) غبارهای گوگردی باید به اندازه کافی کوچک باشند تا بتوانند مشتعل شوند.

از سوی دیگر فاکتورهایی متعددی در انفجارات گوگردی نقش عمده ای ایفا می کنندکه مهمترین آنه به شرح ذیل می باشند:

۱) اندازه ذرات: توضیحات مربوط به اندازه ذرات و نقش آن در ایجاد آتشسوزی در بخشهای قبل ارایه شد.

۲) میزان رطوبت: یکی از عواملی که می تواند از وقوع انفجارات گوگردی جلوگیری نماید میزان رطوبت موجود در آن می باشد. به نحوی که افزایش رطوبت باعث افزایش به هم چسبیدن ذرات و کاهش احتمال آتش سوزی می شود. با این حال مطالعات نشان داده که برای بسیاری از انواع غبارهای گوگردی میزان حداقل درصد رطوبت لازم در جهت جلوگیری از آتش سوزی ۳۰ درصد می باشد.

۳) رقیق نمودن هوای محیط: یکی از عواملی که می تواند به نحو موثری باعث کاهش احتمال آتش سوزی شود رقیق نمودن هوای محل ذخیره سازی گوگرد جهت کاهش میزان اکسیژن موجود در محیط می باشد. تحقیقات نشان داده است که در صورتی که از گازهایی مانند نیتروژن، کربن دی اکسید و یا بخار آب جهت رقیق نمودن هوای محیط به نحوی که در نهایت شامل حداکثر ۸ درصد اکسیژن باشد استفاده شود احتمال آتش سوزی به میزان خیلی زیادی کاهی می یابد.

۲-۵-۳- شرایط محل انبارداری

بطور کلی برای جلوگیری از حوادث ناشی از آتش سوزی غبارهای گوگردی، استفاده از محیط های ایمن برای انبارداری گوگرد است. برخی از خصوصیاتی که محلهای ذخیره سازی و نگهداری گوگرد بایستی دارا باشند عبارتند از:

- محلهای نگهداری گوگرد باید از مواد ساختمانی ضد آتش ساخته شده باشند.

- آلومینیم یکی از بهترین موادی است که می تواند در ساخت ظروف نگهداری گوگرد به کار رود علت آن این است که این ترکیب دارای خواص ضد جرقه و ضد خوردگی می باشد.
- در مورد ساختمانهای ذخیره سازی گوگرد به کارگیری چارچوبهای از جنس استیل و ساخت پشت بامهای سبک با زاویه 60^{o} می تواند مناسب باشد (جهت جلوگیری از انباشت گوگرد بر روی بام)
- محل های ذخیره سازی گوگرد باید خنک بوده و دارای سیستم تهویه طبیعی و مکانیکی مناسبی باشد.

۳-۵-۳- منابع احتراق

استفاده و به کارگیری عوامل و یا اعمال زیر در محلهای ذخیره سازی و نگهداری گوگرد ممنوع می باشد:

۱) سیگار کشیدن

۲) استفاده از شعله و یا آتش مستقیم

۳) به کارگیری و یا در معرض گذاشتن سطوح داغ

۴) الکتریسیته ساکن

۵) اتصالات و یا جرقه های ناشی از سیستم الکتریکی موجود

۶) اصطلاک و یا جرقه ناشی از مالش سطوح به همدیگر

۷) در معرض قرار گرفتن گوگرد با ترکیبات ناسازگار مانند کلراتها، نیتراتها و یا سایر معرفهای اکسنده

۴-۵-۳- وسعت انفجار

اندازه انفجار ناشی از احتراق گوگرد به عوامل زیر بستگی دارد:

- میزان فشار آزاد شده ناشی از ترکیبات آتش گیر
- مقاومت محفظه نگهداری گوگرد
- حجم محفظه نگهداری
- فشار خروج بخارات

۵-۵-۳- شرایط تهویه ایمن

یکی از عوامل مهم در جلوگیری از انفجارات گوگردی فراهم نمودن محیط ایمن جهت تهویه بخارات در محیط می باشد بر این اساس محیط ایمن جهت نگهداری گوگرد دارای شرایط زیر می باشد:

۱) ایده آل ترین شرایط برای نگهداری گوگرد نگهداری آن در یک محیط باز و یا تحت یک پوشش سبک ضد آب به نحوی که شعله ها، گازهای داغ و یا بخارات مشتعل بتوانند به راحتی خارج شوند.

۲) جهت هدایت بخارها و یا احیانا احتراق ناشی از غبارهای گوگردی می توان از کانالهای کوتاه و مقاوم استفاده نمود.

۳) جهت هدایت سریع غبارهای گوگردی مشتعل شده طول کانالهای هادی نباید بیش از ۶ متر باشد در این شرایط بخش کانالها باید به گونه ای باشد که تحمل فشارهای ازاد شده را داشته باشد.

۶-۵-۲- ردیابی انفجار و فرونشانی آن

در مواردی که احتمال هدایت احتراق به محیط ایمن وجود نداشته باشد باید موارد و نکات ایمنی در جهت ردیابی و فرونشانی آن به کار گرفته شود.

اصولا شروع احتراق توسط ردیابهای آتش و از طریق دریافت اطلاعات مربوط به افزایش یا فشار محیط گزارش می شود این اطلاعات در مرحله بعد به سیستم کنترل و ایمنی ارسال و اقدامات ایمنی در جهت فرونشانی احتراق انجام می شود. اصولا برای اطفا حریف می توان از حلالهای فراری مانند هیدروکربنهای هالوژنه استفاده نمود. در این شرایط به دلیل افزایش فشار موجود در پلنت، محفظه نگهداری و ذخیره گوگرد باید توانایی تحمل فشارهای تا حد ۲۰Kpa را داشته باشد.

۶-۳- خطرات H_2S و SO_2

سولفید هیدروژن خیلی سمی است وحتی در غلظتهای پایین می تواند کشنده باشد. پراکندگی یا تراوش مقادیر خیلی کم آن بوی آزار دهنده ای ایجاد می کند که به همین دلیل از آزاد شدن آن باید جلوگیری کرد. سولفید هیدروژن بسیار اشتعال پذیر است و می تواند مخلوط های انفجاری در هوا ایجاد کند. با افزایش درجه حرارت، اشتعال پذیری بالا می رود به نحوی که می توان گستره قابل اشتعال را با استفاده از روابط زیر به دست آورد.

$$LFL(T) = LFL(25\ ^0C) \times \{1-[0.75 \times (T-25)]/DHc\}$$
$$UFL(T) = UFL(25\ ^0C) \times \{1+[0.75 \times (T-25)]/DHc\}$$

بطور کلی برای بهبود ایمنی در صنعت گوگرد مذاب، نیتروژن یا هوا در فضای مملو از بخار سولفید هیدروژن دمیده می شود تا مقدار H2S آن به کمتر از مینیمم سطح قابل اشتعال(LFL) برسد. (در دمای ۱۶۶ درجه سانتی گراد این سطح ۳/۴ درصد حجمی می باشد).

حال سؤال این است که چرا در صنعت گوگرد مذاب از هوای خالص استفاده می کند در صورتیکه گوگرد و H_2S هردوقابل اشتعالند؟

حضور اکسیژن یا یک اتمسفر اکسیدکننده بالای گوگرد مذاب از تشکیل سولفید آهن قابل اشتعال روی سطح کربن استیل که ممکن است تحت شرایطی مشتعل شود، جلوگیری می کند. مشخص شده است که خلاء ناچیز ایجاد شده بالای گوگرد مذاب اجازه نمی دهد که بخار سولفید هیدروژن سمی از سوراخ های احتمالی ایجاد شده در پوشش (سقف) خارج شود.

از سوی دیگر هوا به خاطر ارزانی و اینکه به آسانی در دسترس است برای گاززدایی از گوگرد مذاب در طی نگهداری ، انتقال، شکل دهی و عملیات بارگیری مورد استفاده قرار می گیرد.

برای واحد هایی که از هوا به عنوان گاز خالص کننده استفاده می کنند، فضای بخار بالای گوگرد مایع باید بازنگری شود تا از انفجار و آتش سوزی جلوگیری شود. برای این منظور معمولا دستگاه آنالیزگر H_2S نصب می شود تا غلظت سولفید هیدروژن در فضای بخار بالای مذاب اندازه گیری شود. بنابراین چنانچه میزان این گاز بیشتر از ۲- ۱/۵ درصد مولی برسد پمپ های گردشی روشن شده و جریان هوا باعث رقیق شدن می گردد.

اگرچه SO_2 قابل اشتعال نیست ولی خیلی سمی است ودر مخازن گرم نگهداری گوگرد مذاب تشکیل می شود . این گاز در حضور آب به اسید سولفورو خورنده تبدیل می شود که در بالاتر از نقطه شبنم آب، تغلیظ و باعث خوردگی های جدی تری خواهد شد.

دی اکسید گوگرد به طور فیزیکی در گوگرد مایع حل می شود. شواهد موجود نشان می دهد که علاوه بر SO_2 اولیه موجود در گوگرد مذاب گاززدایی شده این گاز می تواند از واکنش اکسیژن با گوگرد مذاب نیز تشکیل شود. به همین خاطر غلظت SO_2 می تواند برابر یا حتی بیشتر از H_2S موجود باشد. بنابراین برای کاهش تشکیل SO_2 لازم است جریان گردابی در مخازن نگهداری و

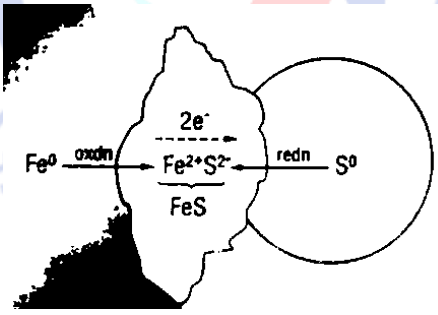
مخزن کشتی وجود داشته باشد. بعبارت دیگر در غیاب چنین جریان گردابی، بیشتر SO_2 فقط در سطح لایه مایع جمع می شود.

۳-۷- تخلیه استاتیکی

گوگرد مذاب عایق بسیار خوبی است. به همین دلیل در مکانهایی که گوگرد مذاب سقوط آزاد می کند، تخلیه استاتیکی اتفاق می افتد. در این رابطه چندین حادثه گزارش شده است که منشاء آتش سوزی و انفجار گوگرد بوده است. به این منظور پیشگیری از این مشکل با بکار بردن لوله های مناسب جریان های گوگرد مذاب را به زیر سطح مذاب در پیت ها و تانکهای نگهداری هدایت می کنند.

۳-۸- گوگرد مرطوب و اثرات خوردگی آن

شرط لازم برای ایجاد خوردگی توسط گوگرد مرطوب، تماس مستقیم سطح استیل و گوگرد در حضور یک فیلم نازک آب میان آنها است که به وسیله انتقال الکترون از آهن به گوگرد رخ می دهد (شکل ۲-۳).



شکل (۳-۲) مکانیسم خوردگی با گوگرد

نکته جالب در این نوع خوردگی آن است که محصول خوردگی، FeS، با عمل کردن به عنوان یک واسطه انتقال الکترون سرعت خوردگی را افزایش می دهد. فرآیند خوردگی آهن-گوگرد تا وقتی که آهن یا گوگرد تمام نشده اند ادامه می یابد. بعنوان مثالی از این نوع خوردگی می توان به اتفاقی اشاره کرد که به طور معمول در اثر کاهش حلالیت گوگرد در گاز طبیعی بوجود می آید. بعبارت دیگر گوگرد عنصری بر دیواره لوله ها یا خط های انتقال (سطح خطوط) به میزانی که گاز از مخزن خارج

می شود رسوب می کند. اگر گوگرد جامد در محل باقی بماند طی فرآیند خوردگی باعث از بین رفتن ضخامت دیواره ها شده و باعث کاهش بهره برداری از منابع گازی می شود. شایان ذکر است که حضور آب محتوی نمک های محلول، خوردگی را افزایش می دهد.

محصولات اکسایشی گوگرد و آهن، سولفیدهای آهن، مواد ژلاتینی سیاهرنگی هستند که در معرض هوا به سرعت اکسید می شوند و با آزاد کردن گرما می توانند منبع احتراقی برای هر ماده قابل اشتعال چون گوگرد عمل نمایند. در این فرآیند سولفید آهن سیاه به اکسید آهن قرمز رنگ تبدیل می شود. به همین منظور احتمال آتش گیری و انفجار محوله های گوگرد حاوی این ناخالصی ها بسیار بالا می رود.

$$2FeS + 5/2\ O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + SO2 \quad HEAT$$

اندازه ذرات گوگرد عامل موثری در سرعت فرآیند خوردگی است، چرا که سرعت تبدیل آن به اسید سولفوریک بیشتر می شود. بعنوان مثال مشاهده شده است که همراه کردن ۵۰ درصد وزنی گوگرد پودری همراه با گوگرد دانه بندی شده نسبت به نمونه ای که فقط گوگرد دانه بندی است میزان خوردگی بیشتر می شود .

محققان به این نتیجه رسیده اند که دانه بندی گوگرد باید از نظر اندازه دارای مشخصات ویژه ای باشد چرا که دانه ها باید از یک حد مینیمم بزرگتر باشند و آنقدر هم بزرگ نباشند که به هنگام حمل و نقل خرد شوند و تشکیل اسید تشدید گردد.

۹-۳- اسیدی شدن باکتریایی محموله های گوگردی

معلوم شده است که باکتری های موجود درطبیعت، اکسیدانهای تیو باسیلوس، که بخشی از چرخه گوگرد در طبیعت را تشکیل می دهند با حمله به گوگرد انبار شده و با ایجاد اسید سولفوریک باعث اسیدی شدن محیط می شوند. این باکتریها در سراسر دنیا پراکنده اند. (بخصوص در مناطق انبار داری و حمل آن) همواره باید شاهد تبدیل گوگرد به اسید باشیم. در صورت مساعد بودن شرایط ، هر جا که گوگرد عنصری وجود داشته باشد تکثیر و تجمع پیدا می کنند. این باکتریهای هوازی در ۲۰ تا ۳۵

درجه سلسیوس رشد می کنند و اگر جلوی رشد آنها گرفته نشود گوگرد را بحدی اسیدی می کنند که ذوب مجدد و استفاده از آن دچار مشکلاتی می شود.

بهره گیری از یک بیوسايد هم در یک انبار و هم در طی حمل و نقل با حذف باکتریها می تواند از گسترش اسیدیته در توده گوگرد جلوگیری کند. بیوسایدی که کارایی و اثرش در کاربرد های تجارتی به اثبات رسیده است سدیم لوریل سولفات (SLS) است. این ترکیب با حمله به غشای سلولی، ارگانیزم تیوباسیلوس را می کشد. از سال ۱۹۹۷ میلادی با اسپری کردن SLS روی محموله گوگردی در حال انتقال به کشتی در تاسیسات بارگیری ونکور کانادا معضل اسیدی شدن در محموله های گوگرد حذف شده است . البته با وجود به کار گیری موفق سدیم لوریل سولفات، رعایت برخی احتیاط ها لازم ضروری است. هنگامیکه محموله گوگردی اصلاح شده با SLS بصورت فله در فضای باز انبار می شود، تحت تاثیر بارندگی سدیم لوریل سولفات آن به سادگی از روی سطح گوگرد شسته شده و محموله مستعد حمله باکتریها می شود. از طرف دیگر در زمان بارگیری محموله، بعضی از دانه ها گوگردی شکسته شده و سطوح گوگردی خالص جهت افزایش جمعیت باکتریها بوجود می آید. لذا گاهی اوقات نیاز است که از SLS مجدد استفاده شود. در واقع بهنگام بارگیری گوگرد به کشتی یا هنگام تخلیه گوگرد در بندر مقصد، خرد شدن مقادیر کمی از گرانول های گوگرد اجتناب نا پذیر است که این امر موجب افزایش سطح و آنگاه گسترش حملات باکتریها می گردد. افزودن مجدد SLS به گوگردی که تا اندازه ای دچار خراش شده باشد مفید است. در صورتیکه تجهیزات بندر هدف از هجوم باکتری های تیوباسیلوس در امان نباشد (سناریوی بسیار نا مطلوبی که سالهاست چنین مناطقی با آن دست به گریبان هستند) ازدحام باکتریها روی سطوح تازه دوباره اتفاق خواهد افتاد و در نتیجه اسیدی شدن گوگرد رخ می دهد. در صورتی که مشتری مراقب این امر نباشد که احتمال حمله مجدد باکتریها روی سطوح بی حفاظ ذرات گوگردی که حالا خیلی ریز هستند وجود دارد، تمام احتیاط های اعمال شده در محل تولید گوگرد و بندر مقصد جایی که محموله تخلیه می شود از آنجایی که میزان کربن موجود در محموله های صادراتی نباید از حد ۲۵۰ ppmw بیشتر باشد، افزودن پی در پی SLS در مراحل مختلف (که حاوی تقریبا ۸۰ درصد کربن است) باعث افزایش محتوای کربن خواهدشد. خوشبختانه SLS موجب تشکیل ترکیبات نامحلول گوگرد –کربن (کارسول) در طی ذوب مجدد نمیشود (حداقل تا سطح ۲۵۰ppmw) بنابراین کاربرد بیشتر SLS در بندر مقصد محدود نیست.

۱۰-۳- مقابله با اسیدی شدن خاک در محیط انبارداری گوگرد

باکتری تیو باسیلوس می تواند در بسیاری از شرایط متنوع طبیعی مانند خاک پیرامون آبها، حوضچه های اسیدی و حوزه های آتشفشانی گوگرد را اکسید کند. اما باید توجه داشت که این باکتری نسبت به محیط هایی که علاوه بر اسیدی بودن قدرت یونی بالایی نیز دارند حساس است و چون این شرایط در طبیعت مهیا نیست همواره شاهد فعالیت بلا مانع باکتری تیوباسیلوس در طبیعت هستیم. اثرات ممانعت کننده محیط های شور بر فعالیت باکتری های مورد نظر مورد آزمایش قرار گرفته اند. بر اساس این روش نمکهای معدنی روی سطح گوگرد انباری قرار می گیرند تا قدرت یونی بالا رود. این عمل به توقف رشد متمرکز باکتری منجر می شود. شبیه سازی- های آزمایشگاهی نشان داده اند که در محیط های با قدرت یونی بالا اجتماع تیو- باسیلها، محلولهای حاوی گوگرد وگوگرد جامد ذخیره شده زیر آب را نیز اسیدی نمی کنند.

حفاظت گوگرد در مقابل اسیدی شدن بیولوژیکی از طریق پوشاندن آن در زیر زمین نیز انجام می شود. به نظر می رسد که این روش ذخیره سازی در نواحی سرد از جذابیت خاصی بر خوردار باشد ، چرا که رشد تیو باسیلی در دماهای نزدیک به انجماد متوقف می شود. آزمایشها نشان میدهد که در مناطق منجمد چنانچه گوگرد تاجای ممکن در زیر زمین دفن شود از اسیدی شدن آن جدا پیشگیری خواهد شد .

بطور کلی چنانچه میزان اسیدیته گوگرد جامد بیشتر از حد معمول ۰/۰۱ درصد باشد لازم است به هنگام ذوب گوگرد مقداری ($Ca(OH)_2$) جامد به آن اضافه شود تا اسید ایجاد شده خنثی گردد. در واقع این عمل باعث بوجود آمدن ناخالصی جامد $Ca\ SO_4$ می گردد که حتما باید از گوگرد مذاب خارج شود. برای این منظور گوگرد مذاب فیلتر می شود. از آنجا که خنثی سازی و فیلتراسیون علاوه بر افزایش هزینه زمان بر نیز است لذا حتی الامکان از تشکیل اسید در محموله های اسیدی باید جلوگیری شود.

از سوی دیگر بهنگام حمل ونقل، اسید ایجاد شده می تواند با ناخالصی های FeS واکنش داده و تولید H_2S نماید.

$$FeS + H_2SO_4 \rightleftharpoons FeSO_4 + H_2S$$

این واکنش می تواند منجر به ایجاد مقادیر بسیار زیادی H_2S در ته کشتی های حمل گوگرد گردد. چرا که این گاز سنگین تر از هوا است و در پایین می ماند. در ته کشتی ها مقادیر نسبتا زیادی FeS می تواند وجود داشته باشد، بطوریکه در بعضی اوقات این لایه ناخالصی می تواند به ضخامت ۰/۵متر هم برسد. خطرات این سناریو تا زمانیکه بار کشتی تخلیه نشود مشخص نخواهد بود. هنگامیکه گوگرد کشتی تخلیه می شود به یکباره می توان شاهد ازاد شدن مقادیر زیادی گاز کشنده H_2S بود.

۱۱-۳- نحوه مقابله با خطرات ناشی از گوگرد مذاب

همانگونه که قبلا نیز بیان شد گوگرد مذاب کاربرد گسترده ای در ساخت کودهای شیمیایی و اسید سولفوریک دارد. در مکان هایی که گوگرد مذاب بعنوان ماده اولیه مورد نیاز است، به طور متعارف آن را از طریق حرارت دادن گوگرد کلوخه ای و یا جامد در راکتورهای خاصی تولید و پس تصفیه، در تانکهای مناسبی که معمولا از جنس آلومینیوم یا آهن پوشش دار هستند نگهداری می شود. نظر به کاربرد گسترده آن و لزوم آشنایی با نحوه مقابله با خطرات آن دانستن مطالب زیر ضروری می باشد:

۱) جهت جلوگیری از خطرات ناشی از تجمع بخارات گوگردی از افزایش دمای گوگرد مذاب به بیش از ۱۵۴^oC جلوگیری شود. در این راستا از کاهش دمای گوگرد ماب به زیر ۱۱۴^oC جلوگیری شود چرا که این کار می تواند باعث تبدیل آن به فرم جامد و ته نشینی آن در ته تانک می شود که در این شرایط حضور رطوبت می تواند باعث خوردگی تانکر شود.

۲) گوگرد جامد همانگونه که قبلا نیز بیان شد عموما به همراه ناخالصی هایی همچون H_2S مقادیر کم از حلالهای آبی می باشد که در هنگام تبدیل آن به فرم مذاب می تواند باعث رها شدن بخارات قابل انفجار در محیط گردد.

۳) تانکرهای حمل و ذخیره گوگرد مذاب بایستی دارای سیستم تهویه جهت جلوگیری از افزایش فشار ناشی از تجمع H_2S در محیط باشند.

۴) غلظت گازهای قابل اشتعال که در بالای سطح گوگرد مذاب و در داخل محفظه تجمع پیدا می کند در هیچ شرایطی از ۰/۳۵ میزان حد پایین لازم برای انفجار تجاوز نکند.

۵) از آنجا که گوگرد مذاب قادر به تولید بارهای الکتریکی در داخل خود می باشد سیستمهای انتقال گوگرد مذاب ملزم به نصب سیستمهای تخلیه بار الکتریکی می باشند این مهم در مواردی که این ترکیب با سرعت زیاد در حال پمپ شدن است از اهمیت به سزایی برخوردار است.

(در مواردی که سرعت انتقال آن تا ۲m/s کاهش می یابد این کار اهمیت زیادی ندارد)

۶) تمامی بخشهای مربوط به لوله آلات، بخشهای فلزی تانکرها و قسمتهای ساختمانی حمل و ذخیره گوگرد مذاب می بایستی طبق مقررات AS 1020 به یکدیگر متصل و یا دارای بخش انتقال به زمین باشند.

کنترل آتش سوزی ناشی از گوگرد مذاب: گوگرد مذاب ترکیبی است که قابلیت مشتعل شدن در شرایط خاص را دارد ولی این ترکیب منفجر نمی شود. گاز دی اکسید گوگرد ناشی از اشتعال آن ترکیبی خطرناک است که حتی مقادیر کم آن نیز قادر به مسموم کردن اشخاص می باشد.

در شرایطی که آتش سوزی در تانکرهای سربسته صورت می گیرد می توان آتش سوزی را از طریق بستن کلیه مسیرهای تهویه کنترل و خاموش نموده توجه داشته باشید که تمامی جریان آب با گوگردی که دارای دمای بالا بوده و در یک محیط سربسته (تانکر) نگهداری می شود می تواند انفجارزا باشد. در چنین محیط هایی وجود حداقل ۲ مجموعه کامل از ماسکهای تنفسی با متعلقات همراه جهت مواقع اضطراری ضروری می باشد این تجهیزات باید طبق استاندارد و مقررات AS1715 نگهداری و به کار گرفته شوند.

سوختگی ها و کمکهای اولیه: در اثر ریزش یا تمامی گوگرد مذاب با بدن سوختگی نوع اول ایجاد می شود. گوگرد مذاب به راحتی تبدیل به فرم جامدی شود و دراین شرایط تلاش در جهت دفع کردن آن صورت ندهید بلکه محل مورد اصابت را در آب سرد قرار داده اورا برای مراقبتهای بعدی آماده سازید. در مواردی که شخص در معرض مقادیر خیلی بیشتری از گوگرد مذاب قرار می گیرد مانند مواقعی که چکمه وی مملو از گوگرد شده باشد سوختگی های عمیق نوع سوم ایجاد می شود در این شرایط بخش سوخته را برای مدت حداقل ۲۰ دقیقه در آب سرد قرار داده و تلاشی در جهت خارج کردن لباسهای آلوده صورت ندهید. در این شرایط حتما بیمار را به بیمارستان منتقل نمایید.

۱۲-۳- خطرات ناشی از پراکنده شدن غبار گوگردی

همانگونه که پیش از این نیز بیان شد یکی از عوامل آتش سوزی در حمل و نقل گوگرد جامد بی توجهی به گرد و غبار ناشی از گوگرد و گاها ایجاد جرقه های ناخواسته می باشد.

عموما آتش سوزی ناشی از غبار گوگردی مواقعی پیش می آید که غبار گوگردی در هوا پراکنده شده و بر اثر شرایط ناخواسته مشتعل می شود در این موارد مقادیر زیادی از گازهای گوگردی در محیط منتشر می شود که در اثر آن فشار هوای محیط افزایش یافته و متعاقبل آن امکان آتش سوزی کل مجموعه انبار یا پلنت افزایش یافته و می تواند فجایع غیر قابل جبرانی را به بار آورد.

به طور معمول بیان شده که آتش سوزی ناشی از غبار گوگردی می تواند بر اثر ذرات کوچکتر از ۵۰۰ میکرون ایجاد شود ولی وقتی آتش سوزی شروع شد حتی ذات در حد ۱۴۰۰ میکرون نیز می توانند در آتش سوزی شرکت کرده و انفجارهای مهیبی را ایجاد نمایند.

جدول (۲-۳) استاندارد لازم برای اندازه ذرات محموله های گوگردی بیان شده است.

جدول (۲-۳) اندازه ذرات استاندارد گوگرد

درصد	ماکزیمم اندازه ذرات (میکرون)	شماره الک
۹۱/۹	۱۶۷۴	۱۰
۶۴/۴	۸۲۲	۱۸
۴۲/۰	۵۰۰	۳۰
۲۰/۰	۲۵۱	۶۰
۸/۳	۱۵۳	۱۰۰

لازم به ذکر است که در مجموع نباید بیش از ۲۵ درصد تولید هر سری، ذرات زیر ۲۵۱ میکرون داشته موجود باشد.

۱۳-۳- خطرات بارگیری و حمل گوگرد مذاب با تانکر

بارگیری گوگرد مایع در مخازن تریلی خطرات متعددی ممکن است به همراه داشته باشد که اهم آنها عبارتند از: تکان ها و لرزش های ناشی از انتقال گوگرد از مخزن بارگیری به مخزن تریلی می تواند مقادیری از گاز سولفید هیدروژن محبوس شده در گوگرد مایع را آزاد نماید. این گاز بی نهایت سمی و آتشزا می باشد. تنفس آن باعث مرگ می شود و تماس آن با دستگاه تنفسی و چشم ها فوق العاده درد آور و زیانبار است و درحد ۴/۱ درصد مخلوط با هوا شدیداً قابل انفجار است. نظر به اینکه گاز سولفید هیدروژن از هوا سنگیتر است از دریچه روی تانکر تدریجاً به پائین سرازیر می‌شود و به روی

زمین انباشته می گردد. این گاز از ماسک های معمولی ضد گاز عبور می‌کند و علیهذا برای ایمنی باید از ماسک های ویژه ای استفاده شود.

به منظور مقابله با خطرات نشت گاز سولفید هیدروژن بعضی از شرکت های تولید کننده گوگرد مایع از اشغال سوزهای متحرکی که برای همین منظور ساخته شده اند استفاده می‌کنند. یک لوله آلومینیومی به قطر۸۰ میلیمتر که در داخل آن پنکه کوچکی برای ایجاد جریان هوا تعبیه شده است گازهای متصاعد را از دریچه بالای مخزن تریلی به داخل کوره اشغال سوز هدایت می کند.

یکی دیگر از خطرات بارگیری گوگرد مایع ایجاد و انباشته شدن الکتریسیته ساکن در داخل مخزن تریلی است. بنابراین در طول زمان بارگیری می بایست دستگاه بارگیری و مخزن کامیون هر دو توسط تسمه فلزی و با زنجیر به زمین متصل شوند تا بدینوسیله از تراکم الکتریسیته ساکن در داخل مخزن حاوی گوگرد جلوگیری شود و از امکان بروز جرقه در حین بارگیری و حمل ممانعت به عمل آید.

انجمن مهندسی گاز ایران

فصل چهارم

حمل و انبارش گوگرد به شکل مذاب

۱-۴- سیستم های جابجایی گوگرد مذاب

در کشورهای مختلف حمل گوگرد مایع توسط کامیون و واگن های راه آهن و کشتی هائی که برای همین منظور طراحی شده اند انجام می گیرد.

اگر چه جابجایی، نگهداری، و حمل و نقل گوگرد به شکل مذاب کار مشکلی است ولی شناخت بهتر گوگرد مذاب طی سالیان متوالی باعث شده است که راه حل های مناسبی برای مقابله با این مشکلات اریه شود. امروزه بخوبی مشخص شده است که حفظ درجه حرارت در گستره دمایی ۱۳۸–۱۵۴ °C (۲۸۰–۳۱۰ °F) بسیار حائز اهمیت است. پایین تر از دمای ۱۳۸°C، گاز سولفید هیدروژن از مذاب خارج می گردد و چنانچه فضای کافی وجود داشته باشد تجمع مقادیر زیاد H_2S پتانسیل ایجاد خطر بالایی را ایجاد خواهد نمود. از طرف دیگر بالاتر از ۱۵۹°C ویسکوزیته مذاب بطور ناگهانی افزایش می یابد، بطوریکه پمپاژ گوگرد با مشکل مواجه خواهد شد. از اینرو تغییرات درجه حرارت گوگرد مذاب می تواند سبب توقف یک واحد گوگرد و یا اختلال در ترمینال های بارگیری و یا تخلیه گوگرد مذاب شود. این مشکلات در حضور ناخالصی ها می تواند تشدید گردد. بر این اساس از تجهیزات کنترلی دقیقی جهت نگهداری دمای مخازن نگهداری گوگرد مذاب، خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب، پمپ ها، شیرها و دیگر اجزای در تماس با گوگرد مذاب استفاده می شود.

بطور کلی برای انتقال گوگرد مذاب بین مکان های مختلف از چهار روش ذیل استفاده می شود:

۱- انتقال گوگرد مذاب توسط خطوط لوله گرم

۲- انتقال با تانکر های مخصوص

۳- انتقال با واگن های مخصوص

۳- انتقال با کشتی

۱-۱-۴- جابجایی گوگرد توسط خط لوله

طی سالهای گذشته انتقال گوگرد مایع از طریق خط لوله های گرم در واحد تولید گوگرد و یا در پالایشگاهها بطور موفقیت آمیزی انجام شده است. یک خط لوله ۱۴/۵ کیلومتری درخلیج مکزیک و یک خط لوله ۷ کیلومتری (گرم شونده با جریان برق) در آلمان از آن جمله آنها می‌باشند. امروزه تعداد کمی خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب در مسافت های بیشتر از ۴۰Km نیز وجود دارند. البته خطوط لوله بزرگ تری نیز وجود دارد که گوگرد مذاب را از واحد تصفیه گاز در کارولین آلبرتا (Shells Caroline) جهت دانه بندی به محل دیگری (Shantz) منتقل می کند. یکی دیگر از این

خطوط لوله، گوگرد مذاب را به مسافت ۲۰ کیلومتر از Aramcos Berri عربستان صعودی به ترمینال دریایی Jubail (غربی ترین استان عربستان) منتقل می کند.

در رابطه با انتقال گوگرد مذاب از طریق خط لوله های طولانی دو مشکل عمده وجود دارد:

۱) گستره دمایی نسبتا اندک که گوگرد می تواند به شکل مذاب منتقل شود (۱۵۰-۱۲۰°C)

۲) هدایت گرمایی خیلی کم گوگرد جامد که ذوب مجدد آن را در لوله ها مشکل می کند

علاوه بر اینها، گوگرد ویژگی های غیر معمولی از خود نشان می دهد. به عنوان مثال چنانچه دمای مذاب فراتر از ۱۶۰°C برود مذاب، ویسکوز می شود و لذا پمپ کردن آن مشکل خواهد شد.

بر همگان مشخص است که جامد شدن گوگرد در لوله های انتقال گوگرد مذاب (بخصوص موقعی که گوگرد به صورت نقطه ی در بخش های مختلف لوله راسب می شود) چه زیان های جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. تبدیل گوگرد از حالت مذاب به جامد با تغییر دانسیته همراه است (دانسیته گوگرد جامد بیشتر از گوگرد مذاب است)، لذا بهنگام جامد شدن چروک می شود و چنانچه در زمان ذوب مجدد تدابیر لازم به کار نرود ممکن است سبب ترک خوردگی خط لوله و نشتی گوگرد مذاب به بیرون شود. برای جلوگیری از بروز این مشکلات از سیستم های گرمایشی پشتیبان الکتریکی، بخار و آب داغ نیز استفاده می شود.

اگرچه ویسکوزیته گوگرد مذاب تقریبا ۱۰ برابر آب است ولی انرژی مورد نیاز برای پمپ کردن آن ۱/۸ برابر همان مقدار آب می باشد که معادل چگالی ویژه گوگرد مایع است.

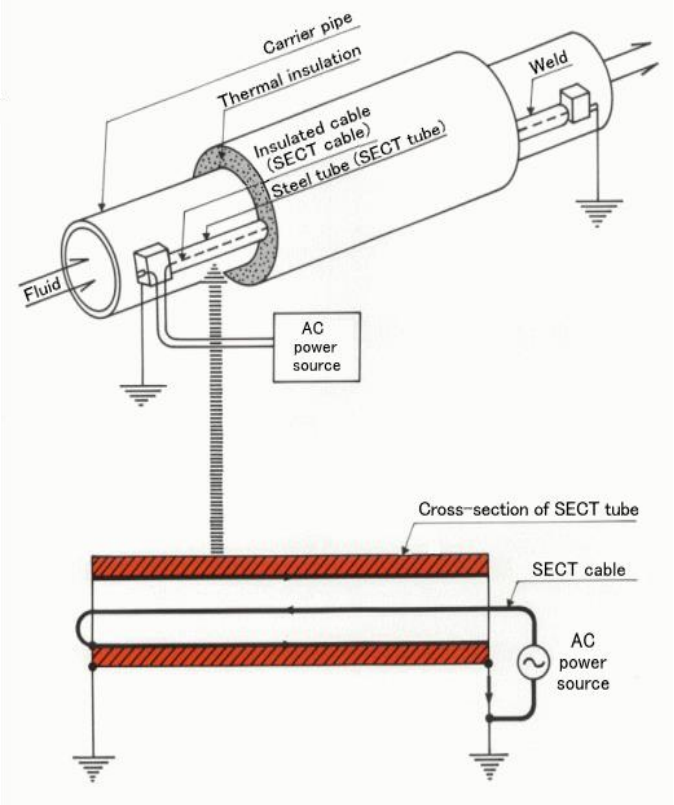
۲-۱-۴- روش های حرارت دهی گوگرد مذاب داخل لوله

۱) سیستم های ژاکت دار معمولی (Traditional Jacketed System): در این سیستم ها یک منبع حرارتی خارجی برای سیال ژاکت وجود دارد و حرارت به سبب اختلاف درجه حرارت محلی بین سیال خارجی و گوگرد مذاب به داخل لوله منتقل می شود. چنین سیستم هایی به وجود نقاط سرد محلی حساس بوده و مقادیر انرژی بالایی را به دلیل وجود ناهمگنی در گرمادهی مصرف می کنند.

۲) سیستم حرارتی الکتریکی: در این سیستم ها، به واسطه وجود مقاومت های الکتریکی انرژی حرارتی ایجاد و به خط لوله منتقل می شود. اگرچه وجود المنت های الکتریکی، حرارت یکنواختی روی خطوط لوله ایجاد می کند ولی چنانچه خوب روی آنها عایق بندی نشود، یکنواختی حرارت در بخش های مختلف از بین می رود.

۳) (SECT) Skin Electric Current Tracing : این سیستم حرارت دهی توسط شرکت مهندسی Chisso در ژاپن ابداع و توسعه داده شد که مشکلات مطرح شده در بالا را پوشش می دهد.

تکنولوژی SECT برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ برای خط لوله حامل Fuel oil به طول ۲/۳ کیلومتر در اداره Minamata شرکت Chisso به کار برده شد. امروزه از این تکنولوژی برای خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب به طول ۲۰Km استفاده می شود. شکل (۴-۱) نمایی از این سیستم حرارت دهی را نشان می دهد.



شکل(۱-۴) نمایی از سیستم حرارتی SECT

در سال ۱۹۹۲ شرکت جنرال پترلیوم قطر (QGPC) از سیستم SECT برای گرم کردن خط لوله انتقال گوگرد مذاب با دمای ۱۴۰°C به طول ۲/۲Km و قطر ۳ اینچ استفاده کرده است. جدول (۳-۱) کاربردهای این تکنولوژی را در بخش های مختلف صنعت برای انتقال گوگرد مذاب نشان می دهد. قابل توجه اینکه برای ایزوله کردن این خطوط انتقال گوگرد مذاب از یک عایق به ضخامت ۸۰mm از جنس سیلیکات کلسیم استفاده شده است که روی آن با ورقه های آلومینیم پوشیده شده است.

۴) Hot water heat tracing : واحد گوگردزدایی شل کارولین واقع در دامنه کوههای راکی ایالت آلبرتای کانادا، گوگرد خود را از طریق یک خط لوله ۴۱ کیلومتری به شکل مذاب به راه آهن Shantz ارسال می کند.

این خط لوله به مدت سه سال بدون هیچگونه مشکلی به طور مستمر کار خود را انجام می دهد. خط لوله فوق الذکر از دو خط لوله هم محور ساخته شده است. از لوله داخلی گوگرد مذاب و از جداره خارجی آب داغ تحت فشار عبور می کند. قطر لوله داخلی ۲۲۰mm و قطر لوله خارجی ۳۲۴mm است که با ۸۰mm فوم پلی اورتان سنگین عایق بندی شده و سپس روی آن پوششی از ژاکت پلی اتیلن وجود دارد. همچنین یک خط لوله برگشت اب داغ به قطر تقریبی ۱۶۸mm و عایق بندی به ضخامت ۵۰mm نیز وجود دارد تا بتواند آب داغ را در کل مسیر به گردش در آورد.

در این سیستم دو هیتر برای گرم کردن آب در دو انتهای مسیر خط لوله نیز تعبیه شده است. چنین سیستمی می تواند مقدار ۵۱۰۰ تن گوگرد مذاب را در روز حمل کند که البته با اضافه کردن پمپ های اضافی در طول مسیر می تواند تا ۸۰۰۰ تن نیز افزایش یابد.

۵) ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on : با ژاکت ها ی Bolt-on Jackets می توان دمای گوگرد مذاب را در گستره ۱۳۸°C-۱۵۴ کنترل کرد. این ژاکت ها بالغ بر ۳۰ سال در صنعت گوگرد استفاده می شوند و در این رابطه موفقیت چشمگیری داشته اند. بعنوان مثال در یک ترمینال انتقال گوگرد مذاب (شکل ۳-۳) با خط لوله ای به طول ۳۵۰۰ فوت (۱۰۶۷ متر) و قطر ۱۸ اینچ (۴۶cm) از ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on شش المنتی برای کنترل درجه حرارت استفاده شده است. استفاده از چنین تجهیزاتی در مقایسه با ژاکت های که کل سیستم خط لوله را می پوشانند باعث صرفه جویی معادل ۱۰۰۰۰۰ دلار در هزینه ها می شود و ۲۵ درصد صرفه جویی می شود. بطور کلی چنین خط لوله ای علاوه بر کاهش ۲۵ درصدی هزینه ها، به مدت ۲ سال بدون هیچ مشکل خاصی در امر انتقال گوگرد مذاب عمل می کند.

شکل (۲-۴) خط لوله مجهز به ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on در ترمینال انتقال گوگرد مذاب

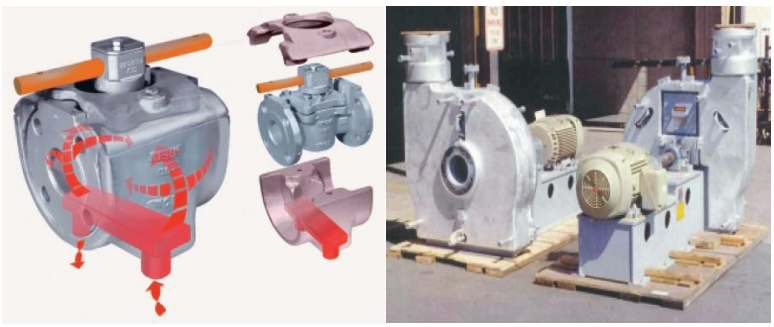
همچنین کشتی شرکت M/V Sulphur Enterprise مخصوص حمل گوگرد مذاب با ظرفیت ۲۴۰۰۰ تن مجهز به این ژاکت های حرارتی هستند، بطوریکه ۳۶۵ متر (۱۳۰۰ فوت) خط لوله موجود در کشتی توسط ۱۹۲۰ متر (۶۳۰۰ فوت) سیستم حرارتی Contro Trace گرم می شود (شکلهای ۳-۴ و ۳-۵). این کشتی هر هفته ۲۴۰۰۰ تن گوگرد مذاب را از تگزاس و لوسیانا به فلوریدا حمل می کند. گوگرد مذاب از گالوستون (Galveston)، تگزاس و یا ترمینال لوسیانا بارگیری شده و توسط کشتی به تامپا (Tampa) در فلوریدا حمل می شود و در مقصد با سرعت جریان ۲۳۰۰ تن در ساعت تخلیه می شود. قابل توجه اینکه دمای محیط در بعضی اوقات تا $-7^{\circ}C$ کاهش می یابد.

شکل (۴-۴) کشتی M/V Sulphur Enterprise مربوط به حمل گوگرد مذاب

شکل (۴-۴) خط لوله عایق بندی شده انتقال گوگرد مذاب در کشتی Sulphur Enterprise مجهز به سیستم Contro Trace bolt-on

در این کشتی جهت نگهداری دمای گوگرد مذاب در ۱۳۷°C از روغن داغ با ماکزیمم دمای ۱۶۰°C و سرعت جریان ۸۷ گالن در دقیقه استفاده می شود. همچنین برای ایزوله کردن لوله های انتقال گوگرد مذاب، عایق هایی از جنس Cal-Sil و به ضخامت ۲ اینچ (۵cm) استفاده می شود. لازم به ذکر است که به هنگام طراحی کشتی Sulphur Enterprise از ژاکت های کامل برای نگهداری درجه حرارت گوگرد مذاب استفاده می شد که به دلیل قیمت بالای آنها (۲۵ درصد بیشتر نسبت به Contro Trace bolt-on) و اشکالات فنی بوجود آمده بعدا جایگزین شدند.

ژاکت های حرارتی bolt-on برای پمپ ها، شیرها و دیگر اجزا نیز طراحی شده و به خوبی روی این قطعات قرار می گیرند. این ژاکت ها از جنس آلومینیم هستند که در قالب های متناسب با اجزای مربوطه ساخته شده اند (شکل ۴-۵).



شکل (۴-۵) قالب های ژاکت های حرارتی bolt-on از جنس آلومینیم برای پمپ و شیر های مخصوص گوگرد مذاب

در واقع این ژاکت ها به عنوان یک مانع از اتلاف حرارت عمل می کنند. بعنوان مثال به هنگام ایجاد نقص در منبع حرارتی و یا خاموش شدن سیستم، سطح لازم برای مذاب نگه داشتن گوگرد وجود داشته و در هنگام بازگشت به حالت عادی، گوگرد به شکل مذاب وجود خواهد داشت. به طور کلی از این ژاکت های حرارتی در ۵۰۰۰۰ کاربرد مختلف در سراسر جهان استفاده می شود.

شرکت گاز مارتین بعنوان بزرگترین توزیع کننده گوگرد در آمریکا دارای سه ترمینال گوگرد مذاب می باشد که از طریق لنگرگاه مناسب (Dock) به تانک های ذخیره متصل می باشند. ترمینال Neches River نزدیک بیومونت تگزاس در آگوست سال ۱۹۹۲ به بهره برداری رسید. ترمینال Tampa فلوریدا در ژانویه ۱۹۹۶ شروع به کار کرد و سومین ترمینال (Stanolind Cut) که در نزدیکی بیومونت تگزاس است در سال ۱۹۹۹ شروع به کار کرد.

در هر سه تای این ترمینال ها، گوگرد مذاب از طریق خط لوله های مخصوص به کشتی و یا از کشتی به تانک های ذخیره منتقل می شود. از این رو نگهداری دمای گوگرد مذاب در گستره خاصی مهم است. یادآوری می شود که چنانچه دمای گوگرد مذاب فراتر از ۱۵۹°C برود، ویسکوزیته آنقدر زیاد می شود که انتقال آن را از خط لوله مشکل می کند. بر این اساس به منظور حفظ جریان گوگرد مذاب داخل لوله ها باید از عایق های حرارتی مناسب استفاده شود.

ترمینال Neches River توانایی ذخیره ۲۷۰۰۰ تن گوگرد را در سه تانک ذخیره مجهز به سیستم گرمایشی مناسب را دارد. گوگرد مذاب از طریق خط لوله ای به طول ۳۰۵ متر (۱۰۰۰ فوت) و قطر ۱۰ اینچ (۲۵/۴ سانتیمتر) به مخازن منتقل می شود. برای بارگیری گوگرد مذاب از تانک های ذخیره به کامیون، لوله هایی به طول ۱۵۲ متر (۵۰۰ فوت) و قطر ۱۵-۱۰ سانتیمتر (۴-۶ اینچ) استفاده می شود. تمام خط لوله بکار برده شده با استفاده از سیستم های محافظ گرمایی Contro trace thermal پوشیده شده و دمای گوگرد مذاب را ثابت نگه می دارند.

۶) سیستم های Gut-traced pipe: معمولا تهیه و نصب لوله های Gut-traced راحت است. برای این منظور لوله ای به قطر ۲ اینچ (5cm) حاوی بخار داغ از داخل لوله دیگری به قطر ۱۰ اینچ که گوگرد مذاب در آن جریان دارد عبور می کند. فشار و دمای بخار مصرفی طوری تنظیم می گردد تا علاوه بر ایجاد دمای مورد نیاز، انتقال گوگرد مذاب از داخل لوله به سهولت انجام گیرد.

یکی از عیب های چنین خطوط لوله ای هنگامی رخ می دهد که لوله ۲ اینچ مخصوص بخار سوراخ شود. در این حالت بخار آب و همچنین مواد حاصل از زنگ زدگی لوله ها به داخل گوگرد نفوذ کرده و موجب آلودگی آن می شود. از سوی دیگر چنانچه فشار داخل لوله محتوی گوگرد مذاب

بیشتر از فشار درون لوله بخار باشد، گوگرد مذاب به داخل لوله مرکزی نفوذ کرده و زمینه خوردگی بیشتر آن را فراهم می نماید.

وجود بخار در خط لوله انتقال گوگرد مذاب علاوه بر ایجاد خوردگی می تواند منبع ایجاد گازهای خطرناک نیز باشد. علاوه بر این، وجود آب می تواند باعث سرد شدن گوگرد و در نهایت با ایجاد پلاک هایی به طول ۵-۴ فوت باعث مسدود شدن خطوط انتقال گوگرد مذاب شود. علاوه بر این ورود ذرات گوگردی در بخار می تواند موجب مسدود شدن تراپ های بخار گردد.

بر همین اساس خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب در ترمینال Neches River، یکی دو بار در سال مسدود می شد که باز کردن آنها توسط سیستم های گرمایشی الکتریکی مستلزم صرف ساعت ها تا یک هفته زمان بود. علاوه بر این عایق کردن شیرهای مسیر گوگرد مذاب با این تکنولوژی کاری سخت و پر هزینه است. با توجه به مشکلات مطرح شده در بالا مشخص شد که استفاده از ژاکت های bolt-on می تواند علاوه بر جلوگیری از آلوده شدن بخار با گوگرد و بالعکس کاهش هزینه نیز دربر داشته باشد. در واقع بخاطر آنکه چنین سیستم گرمایشی بجای بخار از روغن داغ به عنوان منبع گرمایی و انتقال حرارت استفاده می کند مسئله آلودگی گوگرد مذاب منتفی می گردد. بر همین اساس در سال ۱۹۹۴ شرکت گاز مارتین تجهیزات ترمینال بیومونت تگزاس را با Contro Trace Pipe Elements برای خطوط لوله و Contro Heat Valve Jackets برای شیرها تعویض کرد و از مشکلات به وجود آمده به سبب مسدود شدن لوله ها و آغشته شدن گوگرد به بخار جلوگیری کرد.

ترمینال گوگرد مذاب در تامپا (Tampa) شامل دو تانک ذخیره ۱۵۰۰۰ تنی می باشد که توسط لوله هایی به قطر ۱۲ اینچ (۳۰ سانتیمتر) به لنگرگاه متصل می شوند. تمام طول ۶۶۰ فوتی (۲۰۱ متری) این خط لوله با Steam-heated Contro Trace Panels پوشیده شده است. در هر ۴۰ فوت (۱۲ سانتیمتر) طول پانل از دو المنت گرمایی ساخته شده که ورودی بخار به انتهای یکی وارد و از انتهای دیگری خارجی می شود. پوشش های حرارتی Contro Trace Panels به کار برده شده برای لوله های انتقال گوگرد مذاب، تنها بخش کوچکی از سطح لوله را می پوشاند که البته همین مقدار جهت مذاب نگه داشتن گوگرد کافی است. به عبارت دیگر دو پانل bolt-on به کار برده شده فقط ۸ اینچ (۲۰cm) از طول فاصله های ۴۰ اینچی (۱۰۲cm) می پوشاند. قابل توجه است که سیستم های طراحی و مدل سازی برای ارزیابی میزان پوشش دهی سطح با سیستم های حرارتی فوق وجود دارد.

شایان ذکر است که علاوه بر مزایای عمده سیستم های گرمایشی Contro Trace نسبت به سیستم Jacketed Pipe ، نگهداری و تعویض آنها به سهولت انجام می گردد.

با توجه به عملکرد خوب سیستم های گرمایشی bolt-on ترمینال جدید Stanolind Cut در سال ۱۹۹۹ با این روش ساخته شده است. این ترمینال نیز دارای دو تانک ذخیره ۱۵۰۰۰ تنی است که توسط خط لوله ۱۲ اینچی به طول ۱۴۰۰۰ فوت به لنگرگاه متصل می شود. خط لوله دیگری به طول ۴۰۰ فوت و قطر ۶ اینچ برای اتصال تانک به کامیون (Trucks) در نظر گرفته شده است. این تجهیزات دارای ۲۵ شیر و چندین پمپ می باشند.

۲-۴- جابجایی گوگرد مذاب با تانکر

گوگرد مذاب را می‌توان با کامیون از نقاط دور افتاده تا ترمینالهای راه آهن حمل کرد. کامیون های تانکر حمل گوگرد مایع دارای ظرفیت ۲۲ تن با یک تریلی و ۳۵ تن شامل دو تریلی می باشد (شکل ۶-۴).

شکل (۶-۴) نمونه ای از تانکرهای حمل گوگرد مذاب، راست) تک تریلر – چپ) دو تریلر

استفاده از کامیون‌های تانکر با یک یا دو تریلی بستگی به محدودیت های محلی و شرایط جاده‌ها دارد. در صورت امکان حتی کامیونهای با ظرفیت ۸۷ تن نیز برای این منظور ساخته شده اند.

برای مسافت های طولانی تر تانکرها حتماً می بایست توسط پشم شیشه از لحاظ تبادل حرارت ایزوله شده باشند و باکویل بخار مجهز گردد. شیرهای تخلیه معمولاً مجهیز به پوشش بخار می باشد.

مخزن تریلی ها معمولاً ازورقه های چدنی، آلومینیومی و یا فولاد ضد زنگ ساخته می شوند. مخازن چدنی بعلت ارزانتر بودن جنس و سهولت ساخت و تعبیه، متداول شده اند ولی مشکل اصلی آنها وزن سنگین و آسیب پذیری در مقابل خورندگی و زنگ زدگی است.

مخازن آلومینیومی به علت مقاوم بودن در مقابل خوردندگی و زنگ زدگی از محبوبیت خاصی برخوردارند ولی به علت پیچ و تاب متحمله در حین حرکت به ویژه در جاده های کوهستانی بعد از مدتی ترک برداشته و گوگرد مایع از داخل آنها به خارج نشست می کند.

مخازن ساخته شده از فولاد ضد زنگ علیرغم گرانی آن به علت دوام بیشتر اخیراً متداول شده اند و در اغلب موارد بویژه در راه های طولانی تر از آنها استفاده می شود.

۳-۴- جابجایی گوگرد مذاب با واگن

بارگیری و حمل و نقل گوگرد مایع توسط واگن مشابه با کامیون و تریلی است. گنجایش هر واگن ۴۰-۷۰ تن گوگرد می‌باشد و تا حد ۹۰ تن نیز می‌رسد. واگن ها از لحاظ تبادل حرارتی کاملاً ایزوله و به کویل و پوشش بخار مجهزند.

این واگن‌ها گوگرد را در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد به صورت مذاب برای ۱۴-۱۰ روز حتی در آب و هوای سرد نگه می‌دارند.

معمولی ترین روش حمل و نقل گوگرد مایع راه آهن است که می‌توان در ترمینال بارگیری، گوگرد مذاب را با سرعت ۹۰۰۰ لیتر در دقیقه بارگیری کرد. به این طریق یک واگن معمولی در مدت ده دقیقه پر می‌شود. علاوه بر این استفاده از تانکرهایی با یک دریچه بارگیری سبب کاهش در مقدار گوگرد تلف شده و نیز کنترل بیشتر برای سولفید هیدروژن آزاد شده می‌شود. شکل (۷-۴) نمونهای از این واگن ها را نشان می دهد.

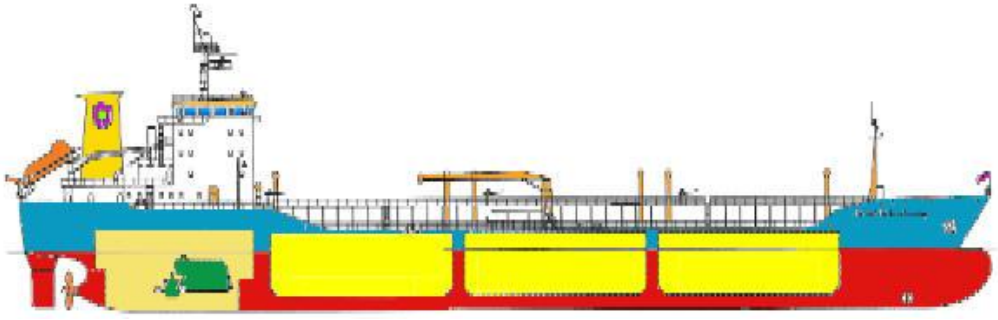
شکل (۷-۴) واگن مخصوص حمل گوگرد مذاب

۴-۴- جابجایی گوگرد مذاب با کشتی

در کشورهائی که رودخانه های قابل کشتیرانی و راههای آبی وجود دارند گوگرد مایع توسط شناورهای ساخته شده ویژه که برای حمل و نقل این محصول طراحی و ساخته شده اند انجام می‌گیرد. در کشوری مثل آمریکا که راههای آبی رودخانه ای در دسترس است برای حمل و نقل گوگرد مایع از شناورهای ۲۵۰۰ تنی با مخازن چند جداره مجهز به کویلهای بخار برای گرم نگه داشتن گوگرد استفاده می شود. این شناورها دارای مخازن متعددی می باشند که مجموع ظرفیت آنها معمولاً بین ۲ تا ۳ هزار تن است. همچنین آنها مجهز به دستگاه های تولید بخار می باشند که معمولاً ۲۴ ساعت قبل از تخلیه گوگرد به مخازن بندری بکار انداخته می شوند. عبور بخار با فشار مناسب از درون کویل‌های احداث شده در داخل مخازن سبب بالا رفتن حرارت گوگرد تا حد ۱۴۵ درجه سانتیگراد می شود. این شناورها باید مجهز به لوله ها و شیلنگ های ویژه ای باشند که قادر به بارگیری و تخلیه گوگرد تحت شرایط و تکان های ناشی از تلاطم آب و تغییرات وزن محموله هنگام بارگیری و تخلیه گردند.

حمل و نقل گوگرد به این روش از سال ۱۹۴۵ شروع شده و هم اکنون در دو مسیر رودخانه‌ای می سی سی پی و راین در جریان می‌باشد. سرعت بارگیری آنها ۱۱۲۰ تن در ساعت است (سرعت بارگیری در کشتی با استفاده از دو پمپ ۶۵ اسب بخاری ۱۲۰۰ تن در ساعت می‌باشد و سرعت بارگیری در کشتی بدون استفاده از پمپ با بهره‌گیری از گرانروی گوگرد مذاب ۸۰۰ تن در ساعت می‌باشد). مدت زمان مورد نیاز برای بارگیری و تخلیه گوگرد مایع در مورد شناورهای به ظرفیت ۲۵۰۰ تن حدود ۶ ساعت است.

همچنین حمل و نقل گوگرد مایع با کشتی های ۲۰ هزار تنی تا ۳۰ هزار تنی با مخازن چند جداره[۱] انجام می‌گیرد که این مخازن نیز با بخار آب گرم می‌شوند. این کشتی ها دارای ساختار پیچیده‌ای بوده و جزء کشتی‌های خاص و تک کاربرده می باشند. شکل (۸-۴) نقشه یک کشتی طراحی شده برای حمل گوگرد مذاب را نشان می‌دهد.



شکل (۸-۴) نقشه کشتی حمل گوگرد مذاب

شکل (۹-۴) نمایی از این مخازن در حال بارگیری به کشتی را نشان می دهد.

شکل (۹-۴) تصویر مخزن کشتی حمل گوگرد مذاب

۵-۴- پمپ های گوگرد مذاب

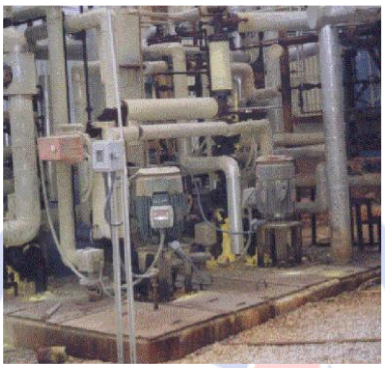
اصولا هر جا که گوگرد مذاب جابجا می شود، حضور حداقل یک پمپ ضروری است. عمده ترین فاکتور در پمپ کردن گوگرد مذاب، درجه حرارت می باشد. در واقع وابستگی ویسکوزیته مذاب به درجه حرارت باعث شده است که به هنگام انتقال گوگرد مذاب درجه حرارت بطور دقیق کنترل شود. در درجه حرارت های نزدیک ۱۶۰°C ویسکوزیته گوگرد به واسطه تغییرات ساختاری به طور شدیدی افزایش می یابد که اصطلاحا به این حالت Caramelisation می گویند.

لویس (Lewis) دمای ۱۳۸°C، معادل ۲/۵Kg/cm^2 بخار اشباع خشک را توصیه می کند. این سفارش بر اساس این واقعیت است که به هنگام عبور گوگرد مذاب از پمپ و به سبب وجود

اصطکاک درجه حرارت حدود ۱۵°C افزایش می یابد. اغلب پالایشگاهها امروزه بخار با جریان ۳/۵Kg/cm^2 در اختیار داشته و لذا به راحتی می توانند درجه حرارت فوق را محیا کنند.

گوگرد مذاب در دمای ۱۳۸°C ویسکوزیته ای معادل ۸cp دارد و با صرف نظر از ضریب تصحیح ویسکوزیته برای پمپ های سانتریفیوژی، جریان گوگرد مذاب داخل لوله ها مشابه جریان آب خواهد بود.

گفته شده است که از پمپ های سانتریفیوژی عمودی (Vertical Single Stage Centrifugal) دارای یک لوله تخلیه مجزا برای پمپ کردن گوگرد مذاب مناسب است. شکل (۱۰-۴) نمایی از چنین پمپ هایی را نشان می دهد.



شکل (۱۰-۴) نمایی از پمپ مخصوص گوگرد مذاب

از نظر مکانیکی، این پمپ طوری طراحی شده تا گوگرد مذاب با چگالی ویژه ۱/۸ به راحتی پمپ شود. بطور کلی همه پمپ های لویس برای گوگرد مذاب با این چگالی ویژه طراحی شده و دارای مشخصه های زیر هستند:

- طول پمپ: تا ۲۱۵۰ میلیمتر
- سرعت جریان: ۳۴۰ m^3/h
- هد پمپ : ۹۰ متر
- ماکزیمم سرعت موتور: ۱۷۷۵ rpm
- جنس استاندارد پمپ : کربن استیل (از جنس استنلس استیل ۳۱۶L نیز استفاده می شود)

۶-۴- قوانین بین المللی جهت حمل و نقل گوگرد مذاب

۱-۶-۴- مقررات ایمنی

نظر به خطرات احتمالی در هنگام حمل و نقل گوگرد مذاب، یکی از وظایف افرادی که در مراحل حمل و نقل، ذخیره سازی و خریداری این ترکیب درگیر هستند آشنایی با قوانین و مقررات بین المللی موجود در حمل و نقل و نگهداری آن می باشد.

مرکز اطلاعات و هماهنگی های حمل و نقل آلبرتا یکی از مراکزی است که می تواند داده ها و اطلاعات لازم و دقیق در این زمینه را طی ۲۴ ساعت شبانه روز فراهم نماید.

قبل از پرداختن به جزئیات، دانستن مطالب زیر برای افرادی که در بخش دریانوردی، حمل و نقل و فروش و خریداری گوگرد مذاب فعالیت دارند لازم می باشد.

- حمل و نقل و نگهداری گوگرد مذاب در وسائل حمل و نقل عمومی مانند اتوبوس، قطار و ... ممنوع می باشد.
- آماده سازی اسناد و مدارک لازم در هنگام حمل و نقل توسط فرستنده گوگرد مذاب (بارنامه هایی که در این موارد جهت کشتی ها لازم است همانند بارنامه های معمولی است با این تفاوت که در این موارد ذکر خطرات احتمالی در بارنامه ضروری می باشد. حضور این مدارک در سرتاسر سفر به همراه حمل کننده کالا ضروری می باشد در این گونه موارد نگه داشتن یک کپی از مدارک و اسناد مربوطه توسط ارسال کننده و هر مسئول حمل و نقلی به مدت ۲ سال ضروری می باشد)

نمونه ای از حداقل اسنادی که حتما بایستی در مدارک حمل و نقل گوگرد مذاب ذکر شود به شرح ذیل می باشد:

۱) تاریخ

۲) نام و آدرس فرستنده کالا

۳) توصیف کالای خطرناک (گوگرد مذاب) همانند بخش زیر:

الف) نام محموله کشتی (در اینجا گوگرد مذاب)

ب) رده بندی اولیه: ۴/۱ (primary classification)

ج) شماره استاندارد UN (UN2448)

د) گروه بسته بندی (Packing Group):III

ه) مقدار محموله بر حسب سیستم واحد اندازه گیری SI

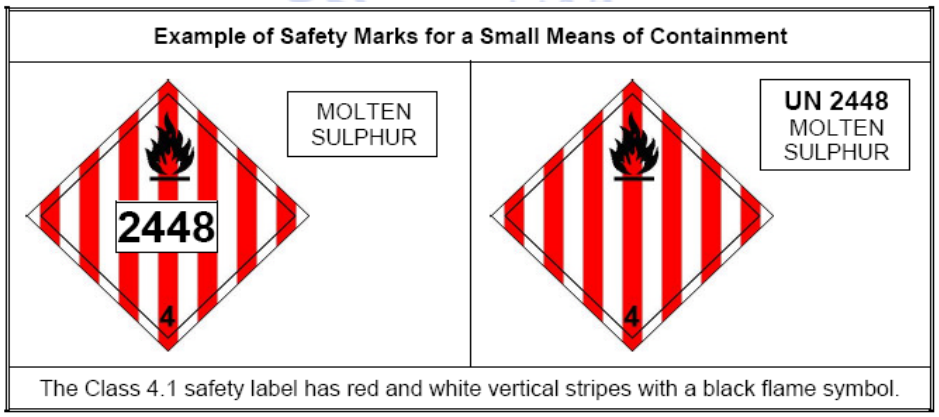
و) تعداد کانتینرهای موجود در کشتی

ی) حتما یک شماره تلفن ۲۴ ساعته از ارسال کننده کالا در زیر قسمت مخصوص درج شماره تلفنها ذکر شود.

۲-۶-۴- علائم ایمنی

این علامتها، شامل نشانه ها، پلاکاردها، اعداد UN و علائم بسته بندی هستند که بر روی کالا نصب می شوند. توضیحات و اطلاعات لازم در این زمینه در بخش ۴ قوانین و مقررات حمل و نقل کالاهای خطرناک (TDG) موجود می باشد. ارسال کننده کالا موظف است بر روی تمامی کانتینرها و بسته ها این علائم را الصاق نماید. از دیگر وظایف ارسال کننده کالا تغییر دادن علائم ایمنی در صورت تغییر مقررات بین المللی در حین انتقال گوگرد مذاب می باشد.

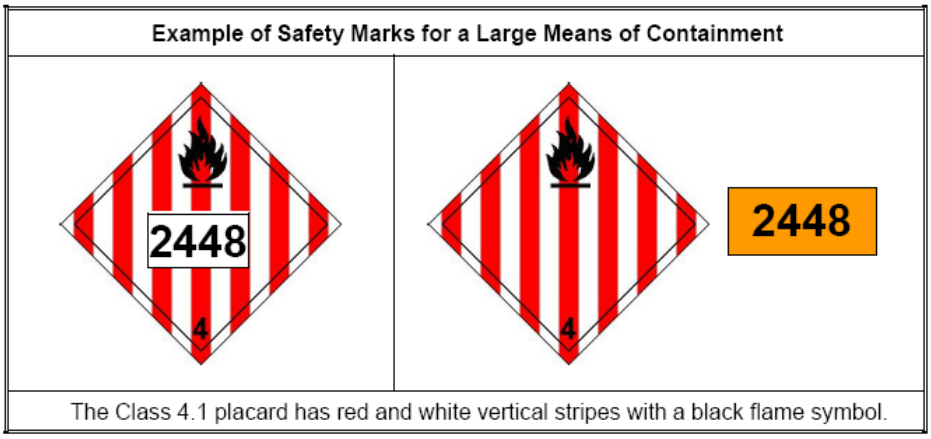
محموله های کوچک: د محموله های کوچک به محموله های گفته می شود که ظرفیت آن معادل ۴۵۰ لیتر یا کمتر باشد. در این موارد بر روی این کالاها برچسب های کوچکی نصب می شود که ذکر اطلاعاتی مانند عدد UN و نام محموله کشتی (shipping name) الزامی می باشد. این برچسبها معمولا در ابعاد۱۰ × ۱۰ سانتی متر تهیه می شوند. در مواردی که محموله کانتینر خیلی کوچک باشد یا اینکه محموله شکل منظمی نداشته باشد، گاها اندازه این برچسبها تا ۳ سانتی متر نیز کاهش می یابد. در اینگونه موارد اطلاعات مربوط به عدد UN و نام محموله بر روی برچسب ضمیمه شده بر روی کالا نیز می تواند نصب گردد. در شکل (۱۱-۴) دو نوع فرمت متفاوت برای اینگونه موارد ذکر شده است.



شکل (۱۱-۴) نمونه ای از علائم ایمنی قابل قبول برای حمل محموله های کوچک گوگرد مذاب

محموله های بزرگ: محموله هایی که ظرفیت بالاتر از ۴۵۰ لیتر را داشته باشند در قالب محموله های بزرگ قرار می گیرند. پلاکاردهایی که در اینگونه موارد نصب می شوند دارای ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی متری می باشند. در مورد گوگرد مذاب معمولا اینگونه برچسب ها در مواردی نصب می شوند که وزن ناخالصی محموله بیش از ۵۰۰ کیلوگرم باشد. این برچسب ها بایستی در چهار سمت محموله نصب شوند. گاها اینگونه برچسب ها می توانند در قسمت جلوی تریلر نصب شود.

عدد UN در اینگونه موارد می تواند در داخل پلاکارد و یا داخل مستطیل نارنجی رنگی سمت راست پلاکارد نصب شود. نمونه ای از اینگونه برچسب ها در شکل (۱۲-۴) نمایش داده شده است.



شکل (۱۲-۴) نمونه ای از علائم ایمنی قابل قبول برای حمل محموله های بزرگ گوگرد مذاب

۳-۶-۴- دوره های آموزشی

شرکت در دوره های آموزشی آشنایی با گوگرد مذاب، حمل و نقل و نگهداری آن و خطرات احتمالی ناشی از بی توجهی و سایر نکات ایمنی برای افرادی که به طور مداوم با حمل و نقل و ذخیره سازی گوگرد مذاب سروکار دارند الزامی است. در همین رابطه افرادی که در دوره های فوق شرکت نکرده اند بایستی مستقیما زیر نظر اشخاصی که دوره را با موفقیت پشت سر گذاشته اند شروع به کار نمایند. لازم به ذکر است که گواهینامه های آموزشی مربوطه فقط زمانی به شرکت کنندگان ارایه می شود که مدیران ذیصلاح از یادگیری و آموزش آنها اطمینان لازم را پیدا کرده و نیز نمره لازم را از آزمونهای برگزار شده کسب نموده باشند. در اینگونه موارد کارفرمایان باید نتایج

حاصل و کپی مدارک را نزد خود ثبت و نگهداری نمایند تا در مواقعی که بازرسان مربوطه مراجعه می نمایند جهت ارایه نمایش داده شوند.

۷-۴- تانکرهای استاندارد حمل گوگرد مذاب

تانکرها و ظروفی که جهت انتقال گوگرد مذاب به کار گرفته می شوند لازم است که یکسری استانداردهای لازم را دارا باشند که در بخش زیر به طور مختصر به برخی از آنها اشاره می کنیم:

۱) تانکرهای مناسب جهت حمل گوگرد مذاب از انواع TC 407، TC 412 و یا TC 331 می باشند که دارای قابلیت کارکرد در فشارهای حدود 276Kpa می باشند.

۲) اجازه نفوذ باران و یا رطوبت را به محتوی داخل تانکر ندهند.

۳) اجازه ورود گرد و غبار و سایر اجزا خارجی را به داخل نداده و شرایط مناسبی جهت حمل و نقل استاندارد گوگرد مذاب فراهم نمایند.

۴) اجزا سازنده تانکرها باید از ترکیباتی باشند که نفوذناپذیر بوده و مقاومت خوبی در برابر خوردگی از خود نشان دهند.

۵) به راحتی قابل نظافت و پاکیزه سازی پس از استفاده باشند

۶) تاب تحمل فشارهای داخلی ناشی از موارد را داشته باشند.

۷) مناسب برای حمل و نقل ترکیبات داغ باشند.

۸) به مرور بر اثر حمل گوگرد مذاب تخریب نشوند.

۸-۴- انبارش گوگرد مذاب

برای انبارش موقت گوگرد مذاب می توان از پیت های گوگردی و یا مخازن فلزی استفاده کرد. پیت‌های گوگردی در واقع سازه‌های سیمانی هستند که در داخل زمین قرار دارند و مجهز به سیستم‌های گرمایشی بخار هستند. روی این پیت‌ها با ورقه ای از جنس کربن استیل مسقف شده تا از ورود آلودگی به آن جلوگیری شود.

با اصلاح جزئی در ساخت پیت ها می‌توان از بخشی از آن برای ذوب گوگردجامد استفاده کرد. برای این منظور توسط دیواره ای این بخش جدا می‌شود به نحوی که گوگرد ذوب شده از بالای دیواره به سمت بخش ذخیره سازی جریان پیدا می‌کند و گوگرد جامد ذوب نشده در ته آن نشت

می‌کند و اجازه ورود به بخش را نخواهد داشت. در صورت ورود گوگرد جامد به بخش نگهداری ممکن است راه پمپ نشده و مزاحمت ایجاد نماید.

اندازه و حجم این پیت‌ها بر اساس میزان تولید گوگرد واحد، میزان بارگیری کشتی، کیفیت و ظرفیت واحد دانه بندی بستگی دارد. البته عمق این پیت‌ها باید به گونه ای باشد که عملکرد پمپ‌ها دچار مشکل نشود. روی پیت‌ها معمولا از یک سیستم استفاده می‌شود تا به تناوب سطح گوگرد مذاب در داخل آن اندازه گیری شود. البته بر روی سقف آن نیز محل مناسبی برای عمق سنجی دستی می‌تواند وجود داشته باشد. پمپ‌ها معمولا بر روی پایه‌های مناسب و روی سقف پیت‌ها قرار دارد. از هیترهای بخار نیز برای نگهداری گوگرد به شکل مذاب استفاده می‌شود.

تانک‌های ذخیره عموما استوانه‌های عمودی از جنس کربن استیل هستند که بالای زمین قرار می‌گیرند و توسط عایق خاص ایزوله می‌شوند. به منظور گرم نگه داشتن گوگرد در این تانک‌ها از کویل‌های بخار استفاده می‌شود.

طراحی و اندازه تانک ذخیره توسط فاکتورهای زیر مشخص می‌شود:

ـ ظرفیت تولید واحد بازیافت گوگرد

ـ ظرفیت کشتی (Shipment Size) یا ظرفیت بارگیری به کشتی

ـ کیفیت گوگرد

ـ شکلی که گوگرد به سایت تحویل داده می‌شود.

معمولا برای جلوگیری از اتلاف انرژی در تانک، جداره خارجی آن را با عایقی به ضخامت ۵۰mm (۲ اینچ) عایقبندی می‌کنند. برای منظور از عایق پشم شیشه برای عایق بندی جداره‌ها و از عایق کلسیم سیلیکات برای عایق بندی سقف استفاده می‌کنند.

سایر تجهیزات مورد نیاز تانک عبارتند از:

ـ دستگاه اندازه گیری سطح مذاب

ـ خروجی روی سقف تانک برای خارج ساختن H_2S جمع شده روی تانک با هوا (دودکش خروجی (Vent) باید به نوعی گرم شود تا گوگرد در آن رامب نشود)

ـ وجود یک خروجی برای اطمینان از مرحله پر کردن تانک (چنانچه به هنگام پر کردن تانک مقادیر زیادی گوگرد مذاب وارد شود اضافی آن از محل Over flow به پیت بر می‌گردد. البته می‌توان به مکان‌های دیگر نیز منتقل شود و سپس گوگرد جامد را به سیستم بر می‌گردانند)

همانطور که قبلا گفته شد پمپ‌ها در بالای سقف تانک قرار می‌گیرد. ولیکن جهت تخلیه پمپ می‌تواند در پایین تانک نیز باشد.

۹-۴- پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب

یکی از ملزومات عرضه گوگرد به شکل مذاب، فراهم آوردن مخازن مناسب جهت دریافت، نگهداری و فروش تدریجی آن به مشتریان می‌باشد. در محل مصرف بهترین شکل نگهداری گوگرد مایع، مخازن سیمانی با ورقه ای از آستر آلومینیومی و یا فولاد ضد زنگ می باشد.

پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب نیازمند امکانات و تجهیزات ویژه‌ای می‌باشند. در شکل (۱۳-۴) نمایی از دو پایانه بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب که دارای مخازن مناسب جهت دریافت و نگهداری گوگرد مایع می‌باشد به تصویر کشیده شده است.

شکل (۱۳-۴) نمایی از پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب

انجمن مهندسی گاز ایران

فصل پنجم

راهبردهای انبارش گوگرد در پالایشگاههای گاز ایران

انجمن مهندسی گاز ایران

۱-۵- انبارش گوگرد در پالایشگاه گاز خانگیران

خروجی واحدهای بازیافت گوگرد (SRU) این پالایشگاه با استفاده از خطوط لوله ژاکت‌دار که بخار کم فشار (LPS) از میان آن عبور داده می‌شود به محل بلوک‌سازی انتقال داده می‌شود. دمای گوگرد مذاب در این مرحله در حدود ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طول این خط لوله نسبتاً کم بوده و بلوک‌ها در کنار واحدهای SRU پیش‌بینی شده‌اند. برای بلوک ریزی، ابتدا محیط محل مورد نظر با طول و عرض مشخص، با استفاده از قالب‌های آلومینیومی با ارتفاع مشخص چیده شده و قالب‌ها تثبیت می‌شوند. گوگرد مذاب بصورت لایه‌هایی با ضخامت ۰/۰۲ تا ۰/۱۲ متر ریخته شده و یک روز به آن فرصت داده می‌شود تا جامد شود. فرآیند جامد شدن و تغییر حالت کریستالی گوگرد با ۷٪ کاهش حجم همراه است که باعث ایجاد شکاف‌ها و ترک‌های ناخواسته‌ای در بلوک می‌گردد. به نظر می‌رسد ترک‌های ناشی از تغییر حجم‌ها اجتناب‌ناپذیر باشند. پس از جامد شدن لایه اول، لایه‌های بعدی نیز به همین شیوه به آن افزوده می‌شوند تا گوگرد تا لبه قالب بالا بیاید. در این مرحله یک پله افقی به بلوک داده شده و بلوکی با ابعاد کوچک‌تر قالب‌بندی می‌شود. این عملیات می‌تواند در صورت وجود تاسیسات مناسب تا رسیدن ارتفاع کل بلوک به حدود ۳۰ متر ادامه داده شود. پله دادن، دسترسی پرسنل به طبقات بالا را تسهیل نموده و در صورت فرسایش‌های محیطی و خورد شدن لبه-های بلوک از ریختن مستقیم آن‌ها به پایین و صدمه دیدن پرسنل جلوگیری به عمل می‌آورد. علاوه بر این اگر تصمیم گرفته شود که روی بلوک‌ها با لایه‌ای از مواد خنثی کننده مانند آهک پوشانیده شود تا آب‌های سطحی و روان اسیدی را خنثی نماید، این پله‌ها فضای کافی برای انباشته شدن آهک را فراهم آورده و احتمال خنثی شدن کامل آب‌های اسیدی را افزایش می‌دهد. بلوک‌های ساخته شده محیط‌های متخلخلی هستند که متوسط تخلخل قابل دید آن‌ها در حدود ۲-۱ میلی‌متر و حداکثر تخلخل آن‌ها با قطری در حدود ۱۰ میلی‌متر است.

در حال حاضر بخش عمده ای از گوگرد تولیدی این پالایشگاه در دو بلوک بزرگ در فضای باز ذخیره می‌شود. بطوریکه هنگام برداشت از یک بلوک، بلوک دیگر در حال تهیه است. برداشت از بلوک‌ها با استفاده از روش سنتی شکستن با لدر و بارگیری در کامیون صورت می‌پذیرد. بطور معمول، قسمت اعظم این گوگرد به منظور صادرات روانه بندر عباس می‌شود. این مرحله حمل و نقل با استفاده از راه‌آهن و قطار مجهز به واگن‌های ویژه انجام می‌گیرد.

از سوی دیگر واقعیت ها حاکی از آن است که صادرات گوگرد به شکل کلوخه ای نسبت به گوگرد دانه بندی شده صرفه اقتصادی کمتری دارد. علاوه بر این تشدید ملاحظات و قوانین بهداشت، ایمنی

و محیط زیست باعث شده است که در سال های اخیر ورود گوگرد کلوخه ای به بخش های زیادی از بازار جهانی محدود و یا ممنوع گردد. به همین منظور طی سالهای اخیر یک واحد دانه‌بندی توسط شرکت لهستانی بی‌پروکواس[1] طراحی و در پالایشگاه نصب شده است که قابلیت دانه‌بندی گوگرد به شکل خالص و گوگرد بنتونیتی را دارد. اگر چه دانه‌بندی کردن گوگرد یکی از بهترین و پیشرفته‌ترین روش‌های حمل و نقل گوگرد محسوب می گردد ولی شایان ذکر است که نگهداری طولانی مدت گوگرد دانه بندی شده در فضای باز توصیه نمی شود. بعبارت دیگر در مکان هایی مثل پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد که از پایانه های صادراتی دور می باشند می توان گفت که در صورت عدم توازن میان تولید و مصرف بهتر است که گوگرد مازاد همیشه در بلوک هایی استاندارد ذخیره در شرایط مناسب پس از دانه بندی محصول روانه بازارهای هدف گردد. در این رابطه باید توجه داشت که بلوک سازی گوگرد و متعاقب آن دانه بندی مستلزم صرف هزینه های مربوط به ذوب مجدد گوگرد نیز خواهد بود. به این ترتیب هزینه های عملیاتی دانه بندی بیشتر خواهد شد. بهر حال بررسی ها نشان می دهد که هزینه های ذوب مجدد در مقایسه با ملاحظات زیست محیطی، ایمنی و بهداشت و سلامت کارکنان حائز اهمیت نمی باشد. از طرف دیگر چنانچه شرایط عرضه گوگرد تولیدی در مدت زمان نسبتا کوتاه فراهم باشد، دانه بندی مستقیم گوگرد مذاب بهترین شیوه برای ذخیره سازی و حمل و نقل خواهد بود.

همانطور که اشاره گردید، پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد گوگرد تولیدی خود را بصورت بلوک انبار می‌کند. با این وجود زیر ساخت های موجود برای این نوع انبارش کافی نبوده و دارای مشکلاتی به شرح ذیل است:

- گوگرد مذاب ورودی به بلوک ها حاوی مقادیر بسیار زیادی H_2S محلول می باشد که پس از قالب گیری و سرد شدن بلوک ها بطور تدریجی آزاد شده و نه تنها زمینه آلودگی محیط را فراهم می نماید بلکه به سبب اعمال فشارهای درونی باعث ایجاد ترک و در نهایت زمینه فرسایش بیشتر بلوک ها را فراهم می نماید. در واقع چنین فرسایشی باعث افزایش اسیدیته محموله های گوگردی و هچنین کاهش مقاومت مکانیکی کلوخه ها می گردد. در نتیجه وجود چنین مشکلاتی مشاهده می شود که بهنگام بهره برداری از بلوک ها غبار گوگردی بسیار زیادی ایجاد می گردد که حتی تحت وزش بادهای ملایم به محیط اطراف پالایشگاه

[1] BIPROKWAS Engineering Co

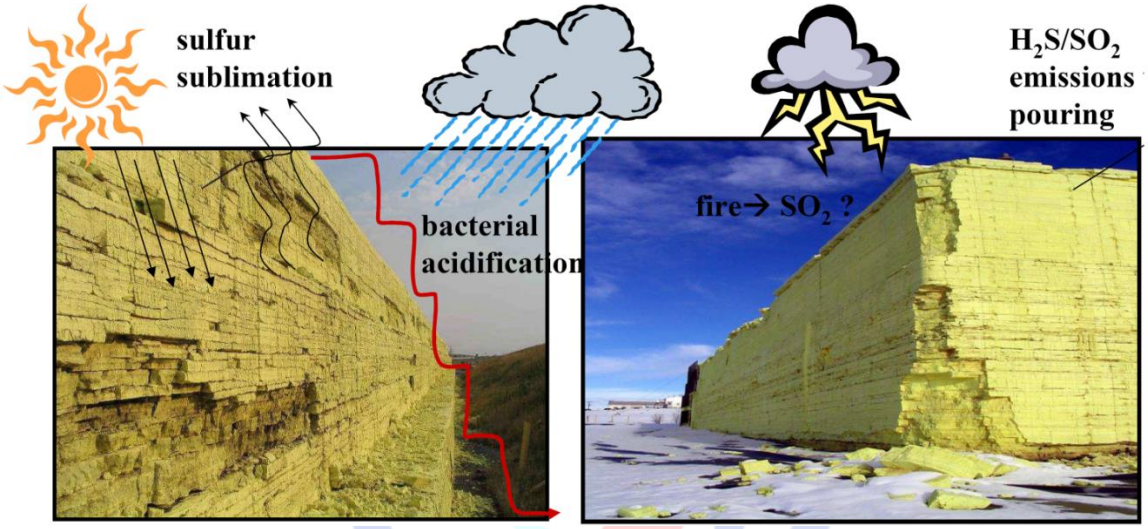
پخش می گردد. شکل (۱-۵) عکس ماهواره ای است که از بلوک های گوگرد خانگیران تهیه شده است.

شکل (۱-۵) انتشار ذرات گوگردی به اطراف بلوک های گوگرد در پالایشگاه گاز خانگیران

- در طول زمان و به دلیل مجاورت گوگرد با رطوبت، گرما و باکتری، اسید سولفوریک تولید می‌شود که به علت عدم پیش‌بینی زیر ساخت مناسب، این اسید در خاک نفوذ نموده و باعث آلودگی خاک اطراف می‌شود. حتی در طول زمان، این اسید تولیدی می‌تواند در زیر ساخت-های بتونی و فلزی دیگر تجیزات نفوذ کرده و باعث خوردگی و خسارت شدید شود. آب-های سطحی و باران نیز نیز گوگرد و اسید را با خود شسته و باعث مشکلات مذکور می-شوند. لذا علاوه بر استفاده از زیر ساخت مناسب، بایستی کانال‌های مناسب جمع‌آوری اسید و آب‌های سطحی پیش‌بینی و نصب شده و در نهایت این آب‌ها به یک قسمت تصفیه ارسال شوند.
- به علت تماس دائم با اتمسفر و آب و هوای پیرامون، بلوک‌های انبار شده در طول زمان فرسایش یافته و قسمت‌هایی از آن شکسته، خرد شده و پراکنده می‌شوند که مشکلات زیست محیطی و خسارات اقتصادی فراوانی را به دنبال دارد. پراکندگی ذرات و غبار گوگرد در محیط اطراف به قدری شدید است که حتی باعث مرگ تعداد زیادی دام در زمین‌ها و

مراتع دور از پالایشگاه شده و پالایشگاه هر ساله مبالغ زیادی برای جبران خسارت دامداران محلی هزینه می‌نماید.

- یکی دیگر از مشکلات انبارش گوگرد در خانگیران، احتمال بالای تصعید گوگرد در اثر تابش خورشید و نیز گرمای بالای محیط است. این فرآیند نیز به نوبه خود مقدار زیادی گوگرد عنصری وارد اتمسفر می‌نماید. شکل (۲-۵) تصویری از یک بلوک فرسایش یافته را نشان می دهد.



شکل(۲-۵) تصویری از فرسایش بلوک‌های گوگرد روباز

۱-۱-۵- مشکلات برداشت گوگرد از بلوک های گوگردی در خانگیران

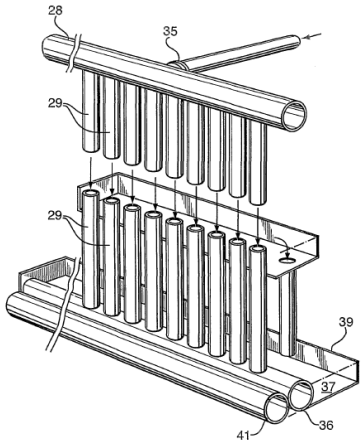
همانطور که اشاره گردید، در پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد برای برداشت گوگرد از بلوک‌ها و انتقال آن‌ها از روش سنتی شکستن و حمل با لدر استفاده می‌شود. این عمل بدون هیچ‌گونه استفاده‌ای از مواد غبار نشانی انجام شده و در نتیجه در حین عملیات برداشت علاوه بر خود ناحیه برداشت، ماشین‌آلات و کارگران، منطقه وسیعی تحت تأثیر ذرات و غبار گوگرد قرار می‌گیرد. این روش کار علاوه بر مشکل سلامتی کارکنان پالایشگاه، تهدیدی زیست محیطی بزرگی برای منطقه به شمار می‌رود. در شکل (۳-۵) تصویری از لدر در حال برداشت گوگرد از بلوک نشان داده شده است.

شکل (۲-۵) نحوه برداشت گوگرد از بلوک بصورت سنتی و با استفاده از لدر

۲-۱-۵- رفع مشکلات برداشت از بلوک‌های گوگردی

در ثبت اختراعات خارجی، روش‌های پیشنهادی بسیاری برای حل مشکلات برداشت از بلوک‌های گوگردی دیده می‌شوند. این ثبت اختراعات اساساً شامل روش‌هایی برای ذوب مجدد گوگرد در محل بلوک و یا برش دادن بلوک‌ها با کمترین تولید غبار و آلودگی ممکن می‌باشند. در این قسمت، برخی از ثبت اختراعات برجسته در این زمینه ارایه شده‌اند.

ذوب گوگرد در محل بلوک: در ثبت اختراع بین‌المللی به شماره ۰۷۶۳۴۷A1 آقای ریچارد الیتورف[۲] در سال ۲۰۰۴، روشی برای ذوب گوگرد با استفاده از بخار و سپس پمپاژ آن به محل جدید، ارایه نموده است. هر المنت ذوب از تعدادی لوله‌های بخار موازی تشکیل شده است که بخار با فشار و حرارت مناسب از درون آن‌ها عبور داده می‌شود. در شکل (۴-۵) نمایی شماتیک از المنت مذکور ارایه شده است.

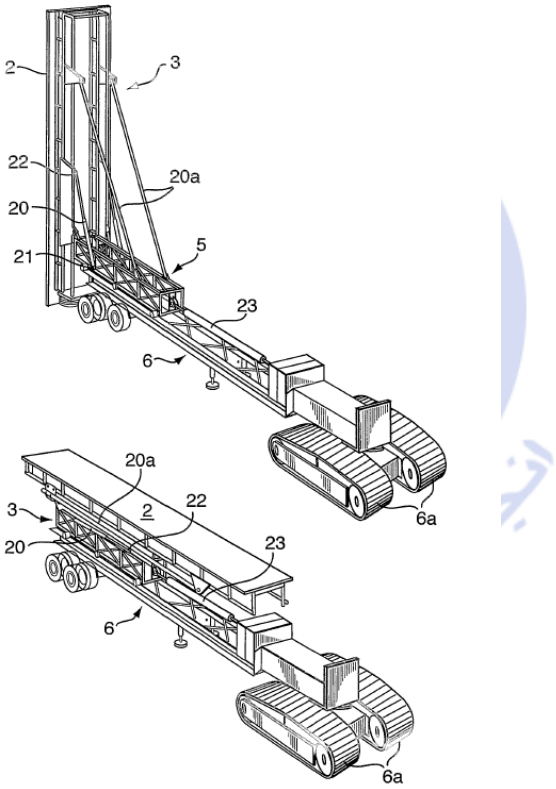


شکل (۳-۵) نمایی شماتیک از المنت ذوب پیشنهادی

[2] Richard Ellithorpe

با حرکت دادن این المنت‌ها با فشار و زمان‌بندی مناسب در طول بلوک‌ها، گوگرد ذوب شده و از کانال‌های تعبیه شده در پشت المنت، خارج می‌شود. ساخت المنت‌های ذوب در ابعاد استانداردی صورت گرفته و برای ذوب بلوک‌های گوگرد بزرگتر، تعداد المنت‌های بیشتری می‌توانند در کنار هم قرار داده شوند. لازم به ذکر است که ساخت المنت‌های مذبور هزینه‌های نسبتاً بالایی در پی دارد. یکی از نقاط ضعف طراحی این المنت‌ها، در نظر نگرفتن پایه‌های وسط و نگهدارنده است که به مرور زمان، خم شدن لوله‌های بخار را به دنبال دارد.

حرکت و نیروی رانش این واحد ذوب با استفاده از ماشین‌آلات خاصی که مجهز به جک‌های هیدرولیک برای بالا و پایین بردن واحد ذوب می‌باشد، تأمین می‌گردد. در شکل های (۵-۵) و (۵-۶) نمایی از این ماشین‌آلات مشاهده می‌شود.



شکل(۵-۵) نمایی شماتیک از ماشین‌آلات و جک‌های حرکت دهنده المنت‌های ذوب

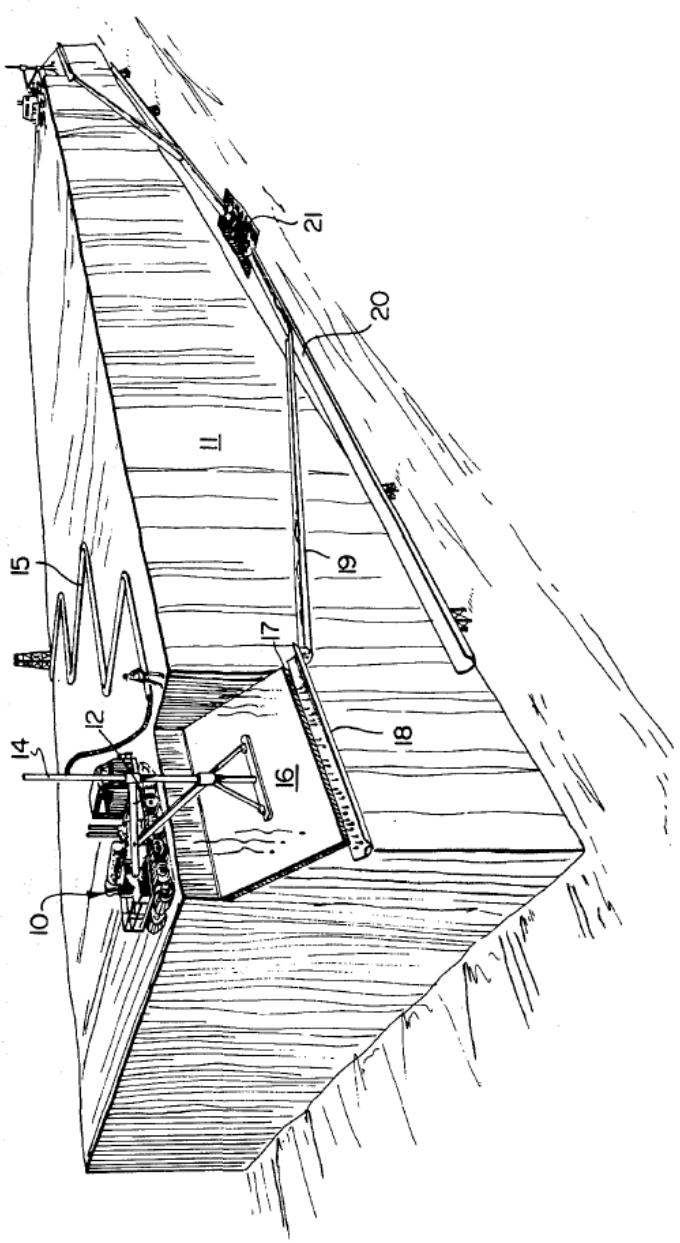
شکل (۶-۵) تصویری از ماشین‌آلات و جک‌های حرکت دهنده المنت‌های ذوب

البته چنین سیستمی نیاز به تعبیه چاهکی در کنار بلوک برای جمع‌آوری گوگرد ذوب شده دارد که خود ممکن است مشکلاتی در زمینه جمع‌آوری، تخلیه و تصفیه آب‌های سطحی ایجاد نماید. علاوه بر این در طول این عملیات، بخارات و بوهای گوگردی، به طور وسیعی در منطقه ذوب ایجاد می‌گردد. از طرف دیگر، به دلیل تفاوت موجود در ضخامت دیواره‌های بلوک گوگرد، ذوب بصورت یکنواخت انجام نشده و سرعت حرکت به درون بلوک برابر با سرعت حرکت کندترین المنت است. در این میان ممکن است برخی لوله‌های بخار در تماس با مقدار بسیار کمی گوگرد قرار گرفته و حرارت بیش از حد موجب ویسکوز شدن بخشی از گوگرد ذوب شده شود که خود مشکلات خاصی را در پی دارد. در سیستم اتصالات المنت‌های ذوب نیز، هیچ‌گونه تدبیری در مورد انبساط حرارتی لوله‌های بخار و کل واحد ذوب، اندیشیده نشده است.

روش و تجهیزات پیشنهادی جدید برای ذوب بلوک گوگرد: در سال ۱۹۷۷ آقای ارنست رالف الیتروف در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۴۰۵۰۷۴۰ ، روش و تجهیزات مناسبی برای ذوب بلوک گوگرد معرفی می‌نماید. تجهیزات ذوب پیشنهادی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱. المنت ذوب متشکل از لوله‌های بخار و جمع‌آوری کندانس که به منظور تأمین تماس کامل و مؤثری در زیر آن‌ها صفحه صافی قرار داده شده است.
۲. دستگاه نگهدارنده المنت ذوب که وظیفه انتقال، تنظیم ارتفاع و زاویه آن را بر عهده دارد.
۳. کانال‌های جمع‌آوری گوگرد مذاب که به یکی از گوشه‌های المنت ذوب و مخزن جمع‌آوری گوگرد مذاب متصل است و به منظور جلوگیری از جامد شدن گوگرد مذاب در طول مسیر، کانال‌های مذبور به ژاکت‌های بخار مجهزند.

در روش‌های سنتی و معمول، ذوب بصورت افقی انجام می‌گردد که در این حالت گوگرد مایع در زیر المنت ذوب انباشته شده و به دلیل ضریب انتقال حرارت پایین، نوعی عملکرد عایق مانند از خود بروز می‌دهد. علاوه بر این، گوگرد مذاب تحت فشار المنت ذوب از زیر آن به سمت شکاف‌های موجود بر سطح بلوک فرار نموده و اتلافات حرارتی فراوانی را به دنبال دارد. در روش پیشنهادی حاضر، ذوب گوگرد بصورت مایل و شیب‌دار انجام شده و گوگرد ذوب شده بصورت پیوسته به واسطه نیروی گرانش به سمت پایین و کانال‌های جمع‌آوری هدایت می‌شود و در نتیجه از عملکرد عایق مانند گوگرد مذاب جلوگیری می‌شود. در روش‌های سنتی و معمول، المنت ذوب بصورت عمودی قرار داده شده و عمل می‌نماید و پس از اتمام ذوب یک ناحیه از بلوک به قسمت کناری انتقال داده می‌شود. در نتیجه این انتقالات، به ناچار همیشه مقداری از بلوک بصورت دیواره‌های باریک ذوب نشده در مرزهای مناطق ذوب شده باقی می‌ماند که این مشکل نیز با استفاده از روش پیشنهادی حاضر، مرتفع می‌شود. در شکل (۷-۵) نمایی شماتیک از سیستم ذوب پیشنهادی در این ثبت اختراع ارایه نشان داده شده است.



شکل (۷-۵) نمایی شماتیک از سیستم ذوب گوگرد پیشنهادی در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۴۰۵۰۷۴۰

ذوب دوباره گوگرد از بلوک انبارش گوگرد: آقای راجر بلک وود[3]در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۴۴۹۷۶۳۵ در سال ۱۹۸۵، روشی برای ذوب دوباره گوگرد از بلوک ذخیره و انتقال آن پیشنهاد می-دهد. در این ثبت اختراع، ایشان مواردی از مشکلات و نقاط ضعف فرآیندهای ذوب مجدد معمول را بیان کرده‌اند که در زیر ارائه می‌گردد:

[3] Rodger Blackwood

۱. یکی از نقاط ضعف فرآیندهای ذوب مجدد با استفاده از تماس دادن یک ابزار داغ (به عنوان مثال المنت‌های حرارتی که بخار درون آن‌ها جریان دارد)، کند شدن و یا توقف عملیات ذوب هنگام برخورد به یک شیء خارجی جا مانده در بلوک (که گاهی هم بسیار بزرگ می‌باشد، مانند یک عدد بیل جا مانده هنگام عملیات تهیه بلوک) است.

۲. نقطه ضعف دیگر روش‌های مرسوم، عدم توانایی آن‌ها در ذوب گوگرد تا سطح زمین است. پس از عملیات ذوب با این روش‌ها، ضخامتی در حدود ۳۰ سانتی‌متر و یا بیشتر بر روی سطح زمین باقی می‌ماند که خود در برگیرنده میلیون‌ها تن گوگرد و تبعات اقتصادی و زیست محیطی خواهد بود.

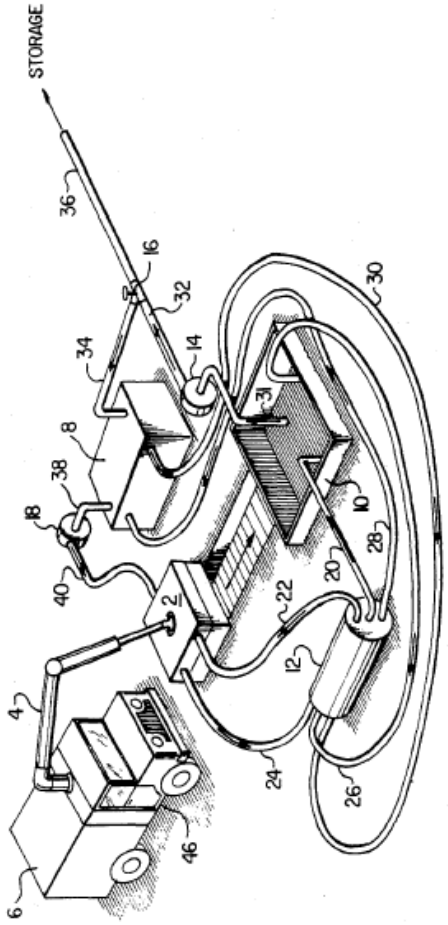
۳. در دمای بالاتر از ۱۵۵ درجه سانتی‌گراد، گوگرد دچار تبدیل حالت شده و با افزایش شدید ویسکوزیته روبرو می‌گردد که مشکلات عملیاتی زیادی به دنبال دارد. در روش‌های مذبور احتمال قرار گرفتن قسمت خاصی از بلوک در معرض المنت و رسیدن به این شرایط محتمل‌تر می‌باشد.

۴. گوگرد مایع، هادی گرمایی ضعیفی بوده و گوگرد مذاب تشکیل شده در زیر تجهیزات ذوب، خود به عنوان نوعی عایق عمل کرده و بازده حرارتی فرآیندهای مرسوم را پایین می‌آورد.

وی اشاره می‌کند که در روش پیشنهادی جدید، مشکلات مذکور برطرف شده‌اند. در این روش، عمل ذوب با استفاده از گوگرد مذاب سوپرهیت و پاشش آن بر روی سطح بلوک با استفاده از تجهیزات پاششی مناسب انجام می‌پذیرد. مزیت بالای این روش، استفاده از گرمای نهان خود گوگرد مذاب برای ذوب مجدد گوگرد جامد است. سرعت و توربولنسی بالای گوگرد مذاب پاشیده شده، علاوه بر تأمین گرمای ذوب لازم، عمل کندن هیدرولیکی و شستشوی گوگرد ذوب شده از سطح گوگرد جامد را نیز فرآهم می‌آورد. در نتیجه این حالت شستشوی ایجاد شده، از مسأله عملکرد عایق مانند گوگرد مذاب مذکور در بالا، اجتناب می‌شود.

دمای گوگرد سوپرهیت مورد استفاده برای پاشش در حدود ۱۲۰°C و ترجیحاً ۱۳۵°C است. فشار مورد استفاده برای پاشش گوگرد سوپرهیت در حدود ۷۵ psig است. ماشین‌آلات پیشنهادی شامل یک قسمت نگهداری موقت در دمای ۱۲۰°C و یک مخزن نگهداری گوگرد مذاب در دمای ۱۳۵°C است که قسمتی از این گوگرد به نازل‌ها ارسال شده (برای پاشش و عملیات ذوب) و بخش اصلی به

تانک ذخیره اصلی فرستاده می‌شود. تانک ذخیره اصلی به نوبه خود مجهز به تجهیزات گرمایش برای نگهداری گوگرد در حالت مذاب است. در شکل (۸-۵) نمایی شماتیک از سیستم پیشنهادی مذکور، نشان داده شده است.



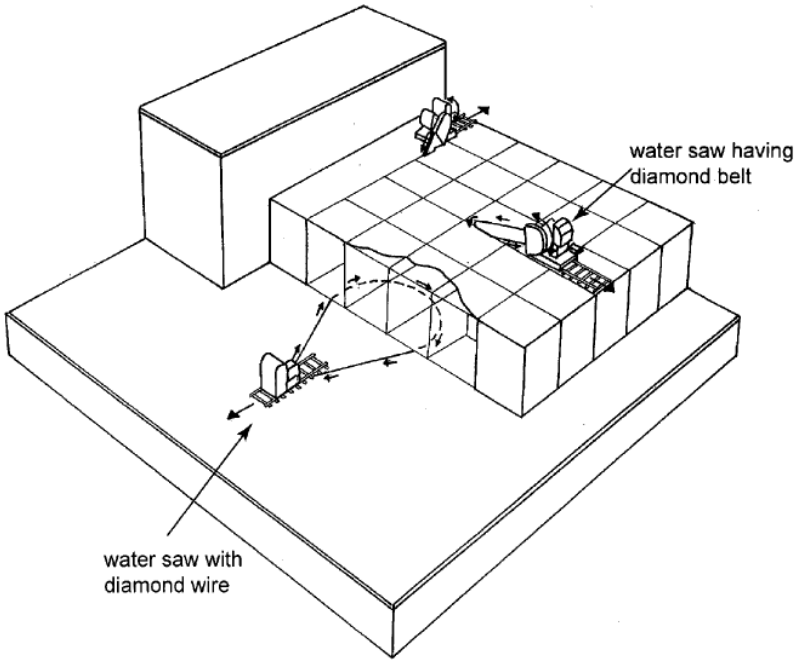
شکل (۸-۵) نمایی شماتیک از ماشین‌آلات و سیستم ذوب پیشنهادی با استفاده از پاشش گوگرد مذاب

روشی برای انتقال گوگرد از بلوک‌های گوگردی با ابعاد بزرگ: در ثبت اختراع آمریکایی شماره ۰۰۳۱۶۰۹A1 در سال ۲۰۱۰ ، آقای لئوناردو زان[4] روش‌هایی برای برش بلوک‌های گوگردی بزرگ به ابعاد کوچک وحمل و نقل مناسب مربوطه را پیشنهاد داده است. تکنیک‌های برش پیشنهادی، هر دو صنعتی بوده و در برش سنگ و صنایع سنگ‌های زینتی کاربرد دارند و عبارتند از:

[4] Leonardo Zan

- سیم الماسه: متشکل از یک سیم استیل مجهز به الماس‌های مصنوعی است که با سرعت بالا در حرکت بوده و از سیستم خنک کننده آبی بهره می‌برد.
- اره دایره‌ای: متشکل از اره‌ای دایره‌ای با پایه تفلونی است که الماس‌هاس مصنوعی بر روی محیط آن تثبیت شده‌اند. این تکنیک نیز از سیستم خنک کننده آب بهره می‌برد.

ابعاد برش، در حد قابل حمل و نقل با سیستم‌های حمل و نقل موجود، انتخاب می‌شود. به منظور محافظت فیزیکی برش‌های بدست آمده، آن‌ها را می‌توان در میان صفحات پلی‌اتیلنی نیز پیچید. ضخامت صفحات پلی‌اتیلنی مذبور در حدود ۰/۲۳ تا ۰/۵ میکرومتر و ترجیحاً ۰/۲۳ تا ۰/۳ میکرومتر بوده و تعداد لایه‌های بکار رفته، بین ۴ تا ۱۰ عدد می‌باشد. در شکل (۹-۵) نمایی شماتیک از روش پیشنهادی ارایه شده است.



شکل (۹-۵) نمایی شماتیک از روش و نحوه کار سیستم برش پیشنهادی

۲-۵- انبارش گوگرد در پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی

در پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی، واحدهای دانه‌بندی (بصورت گرانول) فازهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ از شرکت کانادایی انرسول[5] و واحدهای دانه‌بندی (بصورت پاستیل) فازهای ۹ و ۱۰ از شرکت سوئدی سندویک[6] خریداری و نصب شده است. تولید فعلی پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی ۱۴۰۰ تن گوگرد در روز می‌باشد. گوگرد دانه‌بندی شده با استفاده از تسمه نقاله‌ها و تجهیزات مخصوص، از انبارهای مسقف به درون کشتی بارگیری شده و صادر می‌شود.

فلسفه انبارش گوگرد بصورت دانه‌بندی شده بر مبنای کاهش مشکلات زیست محیطی (به عنوان مثال، کاهش بسیار زیاد گرد و غبار گوگرد) و تسهیل حمل و نقل می‌باشد. بایستی توجه داشت که گوگرد بصورت دانه‌بندی شده به شرایط جوی (باران، برف، باد و رطوبت محیط) بسیار حساس‌تر بوده و به علت برخورداری از سطح تماس بیشتر امکان اکسیداسیون آن توسط باکتری‌ها نیز بالاتر است. حتی در صورت وجود امکان انبارش در فضای باز، بایستی محیط محوطه انبارش تا ارتفاع مناسبی دیواره‌سازی گردد تا دانه‌ها را از وزش‌های باد در امان نگاه دارد. فلذا این نوع انبارش، فقط برای نگهداری گوگرد در مدت زمان‌های کم توصیه می‌شود و اگر نیاز به انبارش گوگرد برای مدت زمان‌های طولانی باشد، روش بلوک کردن به این روش ارجحیت دارد.

تمامی فازهای پارس جنوبی، مجهز به واحدهای دانه‌بندی بوده و تمامی گوگرد تولیدی دانه‌بندی می‌شود. این گوگرد دانه‌بندی شده با استفاده از کامیون به دو عدد انبار مسقف پیش‌بینی شده انتقال داده می‌شود تا پس از مدت زمان نسبتاً کوتاهی بارگیری و صادر شود. با این وجود، متأسفانه ظرفیت هر کدام از این انبارها ۳۶۰۰۰ تن گوگرد بوده و با توجه با افزایش ظرفیت‌های اخیر تولید گوگرد، مازاد آن در فضای باز انبارش می‌شود. آب و هوای منطقه پارس جنوبی بسیار گرم و شرجی بوده و شرایط بسیار ایده‌آلی برای فعالیت میکروبی باکتری‌های تیوباسیلوس فراهم می‌آورد. لذا این گوگرد انبار شده در فضای باز، در معرض اکسیداسیون شدید بوده و به علت عدم پیش‌بینی زیر سازی مناسب و تجهیزات جمع‌آوری و تصفیه آب‌های اسیدی، خسارت شدید و جبران ناپذیری به خاک و زیست بوم اطراف وارد می‌گردد.

حتی در مواردی که از انبارهای مسقف استفاده می‌شود، به دلیل عدم استفاده از مواد غبار نشانی[7] در اکثر موارد و یا تهویه مناسب، غلظت غبار گوگرد در واحد حجم انبار افزایش یافته و احتمال آتش-

[5] Enersul
[6] Sandvik
[7] Dust Suppression Agent

سوزی الکترواستاتیک افزایش پیدا می‌کند. متأسفانه آتش‌سوزی الکترواستاتیک گوگرد در پارس جنوبی تجربه شده است. سیستم‌های غبار نشانی عمدتاً از اسپری کفی استفاده می‌کنند که متشکل از آب، هوای فشرده، یک ماده فعال سطحی[8] و ماده‌ای کف‌زا[9] می‌باشد.

۱-۲-۵- مشکلات انبارش گوگرد در پالایشگاههای گاز پارس جنوبی

همانگونه که اشاره گردید، به دلیل افزایش ظرفیت تولید گوگرد و ظرفیت محدود انبارهای مسقف، قسمتی از گوگرد دانه‌بندی شده، انبارش خارجی می‌شود (شکل ۵-۱۰). چون سیستم‌های مکانیزه بارگیری گوگرد به کشتی‌های باربری در درون انبارها تدارک دیده شده است، لذا اگر خواسته شود که گوگرد انبار شده در بیرون بارگیری شود، بایستی دوباره از انبار خارجی برداشت شده، بار کامیون شده، به انبار انتقال داده شده و تخلیه گردد. این افزایش ناخواسته تعداد مراحل برداشت، علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی به دلیل شکننده بودن گوگرد دانه‌بندی شده باعث افزایش احتمال متلاشی شدن دانه، غبار، آلودگی و مشکلات زیست محیطی می‌گردد. البته لازم به ذکر است که در این مرحله نیز در اکثر موارد از مواد غبار نشانی استفاده نشده و احتمال آلودگی زیست محیطی در حین مراحل برداشت و بارگیری بالا است.

شکل (۵-۱۰) انبارش گوگرد دانه بندی شده در فضای باز منطقه پارس جنوبی

[8] Surfactant
[9] Foam Generator

۲-۲-۵- رفع مشکلات انبارش گوگرد در پارس جنوبی

در بالا اشاره شد که افزایش تولید، باعث انبارش خارجی گوگرد دانه‌بندی شده است. با توجه به تعبیه سیستم‌های مکانیزه انتقال و بارگیری گوگرد به درون کشتی‌های باربری، یک مرحله انتقال نیز برای صادرات گوگرد انبار شده در فضای باز اضافه می‌شود. لذا با توجه به عدم استفاده از مواد غبار نشانی در اکثر موارد، علاوه بر هزینه، هر مرحله حمل و نقل آلودگی و خطرات اضافی (افزایش احتمال آتش‌سوزی) به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این وجود نقص‌های فنی در سیستم‌های مکانیزه انتقال و بارگیری انبارهای مسقف، خود مشکلی عمده در حمل و نقل گوگرد دانه‌بندی شده به شمار می‌رود. در شکل (۱۱-۵) تصویری از نحوه انتقال گوگرد در درون انبار مکانیزه نشان داده شده است.

شکل (۱۱-۵) تصویری از نحوه انتقال گوگرد از انبار مکانیزه به قسمت بارگیری

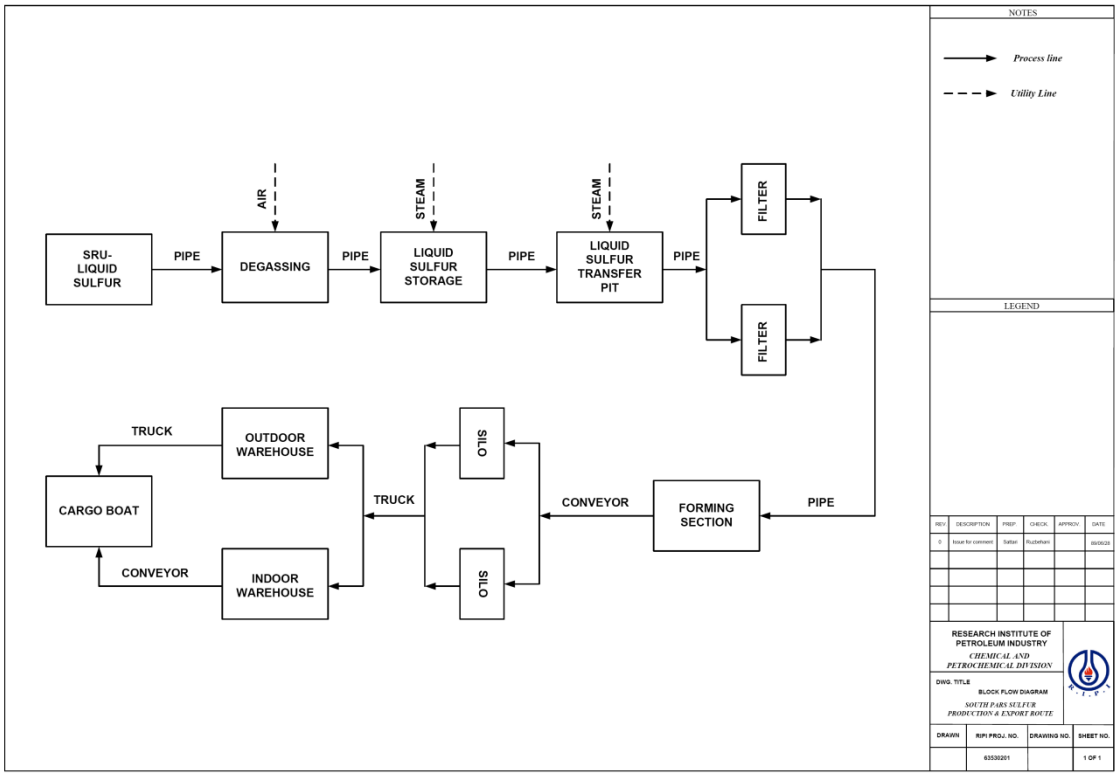
۳-۲-۵- توصیف تاسیسات فعلی انبارش گوگرد در عسلویه

برای پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی پیش‌بینی شده است که گوگرد تولیدی واحدهای بازیافت گوگرد (SRU) دانه‌بندی شده و از پایانه موجود در عسلویه صادر گردد. در فازهای قدیمی‌تر

(فازهای ۱ تا ۸) گوگرد تولیدی با استفاده از فرآیند انرسول[10] گرانول شده و برای فازهای ۹ و ۱۰ گوگرد تولیدی با استفاده از فرآیند سندویک[11] پاستیل می شود. بدین منظور، گوگرد تولیدی از واحدهای SRU به یک مخزن نگهداری گوگرد مذاب انتقال داده می‌شود که توسط کویل‌های بخار تأمین حرارتی می‌شود. سپس گوگرد مذاب به یک مخزن کوچکتر که در واقع تأمین کننده خوراک واحد دانه‌بندی است ارسال می‌شود. گوگرد مذاب به واحد دانه‌بندی پمپ شده (گرانولاسیون یا پاستیلاسیون) و گوگرد دانه‌بندی تولیدی توسط نقاله به سیلوهای عمودی انتقال داده می‌شود. انبارهای مسقف پیش‌بینی شده در فاصله‌ای دورتر در نزدیکی ساحل و اسکله صادراتی قرار دارند. گوگرد دانه‌بندی با استفاده از کامیون از سیلوهای عمودی بارگیری شده و به این انبارها انتقال داده می‌شود. سیستم انبارها کاملاً مکانیزه بوده و گوگرد با استفاده از تسمه نقاله‌های مخصوص به کشتی بارگیری می‌شود. در مواردی که انبارها فضای کافی نداشته باشند و گوگرد دانه‌بندی بالاجبار بایستی در فضای باز انبار شود، کامیون‌ها پس از بارگیری از سیلوهای عمودی، گوگرد را به مکان پیش‌بینی شده انتقال داده و تخلیه می‌کنند. در زمانی که خواسته شود این گوگرد بار کشتی شده و صادر شود، دوباره و با استفاده از چنگک‌های مخصوصی، گوگرد بار کامیون شده و به انبار مسقف انتقال داده می‌شود تا توسط سامانه مکانیزه تسمه‌نقاله‌ها به کشتی بارگیری شود. در شکل (۱۲-۵) بلوک دیاگرام مسیر گوگرد از مرحله تولید تا بارگیری برای صادرات آورده شده است.

انجمن مهندسی گاز ایران

[10] Enersul
[11] Sandvik



شکل (۱۲-۵) بلوک دیاگرام مسیر گوگرد، از مرحله تولید تا صادرات (پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی)

۲-۵- ۴- ملاحظات اقتصادی انبارش گوگرد در انبار مسقف

در اینجا، هدف ارزیابی اقتصادی انبار ذخیره سازی گوگرد به ظرفیت ۳۶۰۰۰ تن در سال در محل پارس جنوبی می‌باشد.

انبار در ۲ حالت بررسی گردیده است:

- حالت (۱): انبار و تجهیزات آن
- حالت (۲): انبار + ۲ عدد کامیون + پکیج شیپ لودر جهت بارگیری گوگرد به کشتی و صادرات آن

نتایج بررسی نشان می‌دهد که سرمایه دو حالت بین حدود ۲۷۳,۴۵۳ - ۲۱۶,۸۵۳ میلیون ریال و هزینه‌های انبارداری دو حالت بین حدود ۴۸,۳۲۷ – ۴۰,۶۶۹ میلیون ریال می‌باشد.

با این محاسبات هزینه اجاره سالیانه دو حالت بین حدود ۳۷۲,۴۸۷-۸۳,۱۰۱ میلیون ریال و اجاره ماهیانه دو حالت بین حدود ۹۴۷,۴۵۷-۶,۸ میلیون ریال برآورد گردید.

همچنین با انجام آنالیز حساسیت در ۲ حالت، نتایج مشابه بوده و با افزایش سرمایه ثابت ۵۰٪ +، IRR=۱۲٪ و با کاهش آن ۵۰٪-، ۴۱٪ = IRR به دست آمد.

مشابه بالا در مورد هزینه تولید ۵۰٪± ،۲۵٪-۱۵= IRR و در مورد اجاره انبار ۵۰٪± ،۳۵٪-۱=IRR برآورد گردید.

فرضیات طرح:

۱) ظرفیت انبار: ۳۶,۰۰۰ تن گوگرد در سال

۲) محل طرح: پارس جنوبی

۳) نرخ دلار: ۱۱,۱۵۰ ریال

۴) مدت زمان اجرای طرح: ۲ سال

۵) مدت زمان بهره برداری (تولید): ۱۲ سال

۶) نرخ تنزیل: ۱۲٪

۷) حالات مورد بررسی: دو حالت

- حالت اول: انبار
- حالت دوم: انبار + ۲ عدد کامیون + هزینه ship loader

۸) قیمت کامیون هر عدد ۸۰۰ میلیون ریال

۹) قیمت پکیج شیپ لودر: ۵۵,۰۰۰ میلیون ریال

۱۰) منابع تأمین مالی: تمامی سرمایه به وسیله سرمایه سهامداران تأمین می‌شود.

قیمت دستگاه‌ها:

۱) قیمت تسمه نقاله‌ها، از شرکت مهند استعلام شده و ۳٪ جهت ارزش افزوده و ۱۰٪ جهت حمل و نقل بدان اضافه گردیده است.

همچنین جهت سیستم غبار نشانی (dedusting) ۵٪ به قیمت تسمه نقاله ۶۶۰۵۲-CV5 و ۶۶۰۵۲-CV6 (Reclaiming Conveyer) اضافه شده است.

به قیمت تسمه نقاله ۶۶۰۵۲-CV3 (Stacking Conveyer) نیز ۵٪ جهت Tripper اضافه منظور گردیده است.

۲) قیمت هاپرها، بر مبنای وزن آنها و قیمت واحد C.S برآورد شده است.

همچنین ۳٪ جهت ارزش افزوده،۱۰٪ حمل و نقل و ۵٪ جهت سیستم غبارنشانی (dedusting) بدان اضافه گردیده است.

۳) تغذیه کننده لرزشی (Vibrating Feeder) بر مبنای توان الکتروموتور آنها و استفاده از منبع:

Preliminary Chemical engineering plant design, William D. Bassel, P: 528, Table: B-1.

که به Cost index روز و ۳۸٪ جهت سود، عوارض گمرکی، حمل و نقل و غیره اضافه گردیده است.

۴) ناودان متحرک (Motorized chute)، بر مبنای وزن آنها و قیمت واحد C.S برآورد قیمت شده است. همچنین جهت الکتروموتور آن مشابه منبع بالا تعیین قیمت گردیده است.

۵) قیمت Scraper ها، با استفاده از بازار داخلی، برآورد شده است.

۶) قیمت کمپرسور هوا، با توجه به دبی ورودی و استفاده از منبع مشابه تغذیه کننده لرزشی برآورد قیمت شده است.

۷) سیستم غبارنشانی (JT01 dedusting system)، بر مبنای ۲/۵٪ قیمت تسمه نقاله CV6-۶۶۰۵۲ (Reclaiming Conveyer) و سیستم غبارنشانی (JT03 dedusting system)، بر مبنای ۵٪ قیمت تسمه نقاله CV6-۶۶۰۵۲ برآورد گردیده است.

برآورد سرمایه طرح[1][2]

سرمایه طرح به شرح زیر برآورد گردیده است:

۱) قیمت دستگاه‌ها

۲) زمین: برمبنای ۸۰,۰۰۰ مترمربع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از قرار مترمربعی ۲۵۰,۰۰۰ ریال، قیمت زمین برآورد شده است.

۳) آماده سازی زمین و محوطه سازی: ۱۳٪ قیمت دستگاه‌ها

۴) ساختمان: ساختمان طرح شامل ۲ قسمت:

- ۱) سوله با ابعاد ۳۰۰ × ۴۳/۲ متر و ارتفاع ۱۲/۵ متر، از قرار مترمربعی ۳۰۰ هزار تومان
- ۲) سازه بتنی با حجم ۴,۸۸۰ مترمکعب، از قرار مترمکعبی ۷۰ هزار تومان (قیمت سازه بتنی، با ۳۰٪ افزایش جهت هزینه پیمانکاری و منطقه‌ای می‌باشد).

۵) نصب: ۴۵٪ قیمت دستگاه‌ها

۶) ابزار دقیق: ۹٪ قیمت دستگاه‌ها

---

[1] درصدهای سرمایه طرح از کتاب: [2]

Plant design & economics for chemical engineer, Maxs peter, P-183, Table: 17, Solid processing plant.

استفاده شده است.

۷) لوله کشی و شیرآلات: ۱۶٪ قیمت دستگاه‌ها

۸) تجهیزات برقی: ۱۰٪ قیمت دستگاه‌ها

۹) سرویس جانبی: فرض بر این است که طرح از تجهیزات utility عسلویه استفاده می‌کند، لذا هزینه آن صفر در نظر گرفته شده است.

۱۰) مهندسی: ۳۳٪ قیمت دستگاه‌ها

۱۱) نظارت بر ساخت: ۳۹٪ قیمت دستگاه‌ها

۱۳) هزینه پیمانکار: ۱۷٪ قیمت دستگاه‌ها

۱۴) هزینه کامیون و شیپ لودر: طرح در دو حالت:

-۱) انبار گوگرد

-۲) انبار گوگرد + ۲ عدد کامیون + هزینه پکیج شیپ لودر که قیمت هر کامیون ۸۰۰ میلیون ریال و هزینه شیپ لودر ۵۵,۰۰۰ میلیون ریال می‌باشد.

برآورد هزینه انبارداری:

جهت برآورد هزینه انبارداری آیتم‌های زیر در نظرگرفته شده است:

۱) قطعات یدکی: ۲٪ سرمایه ثابت

۲) تعمیر و نگهداری: ۲/۵٪ سرمایه ثابت

۳) بیمه: ۰/۳٪ سرمایه ثابت

۴) حقوق و دستمزد: بر مبنای نیروی انسانی مورد نیاز در سه شیفت کاری و مبانی حقوق و دستمزد شرکت ملی پالایش و پخش در سال ۱۳۷۸، که سالی ۱۵٪ به آن اضافه گردیده است.

همچنین جهت حقوق سالیانه، ۱۲ ماه حقوق + ۱ ماه پاداش + ۱ ماه مرخصی + ۲۳٪ حق بیمه کارفرما منظور شده است.

۵) بالاسری طرح: مطابق با مبانی شرکت ملی پالایش و پخش، جهت لیسانس و بالاتر ۱/۶ برابر حقوق و دستمزد و جهت فوق دیپلم و پایین‌تر ۱/۴ برابر حقوق و دستمزد در نظر گرفته شده است.

۶) استهلاک: ۱۲ ساله خطی با ارزش اسقاطی ۱۰٪ منظور شده است.

۷) سرویس جانبی: چون مقدار مصرف سرویس جانبی مشخص نبود، لذا ۵٪ هزینه تولید جهت هزینه سرویس جانبی در نظر گرفته شده است.

۸) هزینه پیش بینی نشده تولید: ۵٪ هزینه تولید

۹) مالیات: طرح ۵ سال اول معاف و از سال ششم به بعد ۲۵٪ سود به عنوان مالیات کسر می‌گردد.

اجاره انبار:

فرض بر این است که انبار ساخته شده، سالیانه اجاره داده شود به همین جهت روی هزینه انبارداری طرح، درصدهای مختلفی در ۲ حالت اضافه شده تا IRR حدود ۲۰٪ به دست آید.

لذا در حالت (۱)، جهت اجاره سالیانه انبار، هزینه انبارداری، ۲/۰۵ برابر و در حالت (۲)، هزینه انبارداری، ۲/۱ برابر گردید.

محاسبات اقتصادی:

قیمت دستگاهها:

Sulphur Storage(1)	کد	تعداد	هزار دلار	میلیون ریال	جمع کل (میلیون ریال)
DUAL TRANSFER CONVEYER	66052-CV1	۱		۲۲۶/۱۰,۲	۲۲۶/۱۰,۲
DUAL TRANSFER CONVEYER	66052-CV2	۱		۱۶۳/۹۵,۲	۱۶۳/۹۵,۲
STACKING CONVEYER	66052-CV3	۱		۹۵۳/۲۰,۷	۹۵۳/۲۰,۷
EMERGENCY STACKING CONVEYER	66052-CV4	۱		۷۵۷/۱۰	۷۵۷/۱۰
RECLYMING CONVEYER	66052-CV5	۱		۸۰۲/۴۰	۸۰۲/۴۰
RECLYMING CONVEYER	66052-CV6	۱		۸۰۴/۷۶	۸۰۴/۷۶
COLLECTING CONVEYER	66051-CV1	۱		۴۲۹/۷۰,۶	۴۲۹/۷۰,۶
CONNECTING CONVEYER	BC-301	۱		۲۷۶/۸۵	۲۷۶/۸۵
EXPORTING CONVEYER	BC-204	۱		۵۹۹,۲	۵۹۹,۲
JETTY CONVEYER	66051-CV2	۱		۶۴۴/۴۰,۶	۶۴۴/۴۰,۶
SULPHUR HOPPER	66052-HP1	۱		۵۱۷/۵۰	۵۱۷/۵۰
SULPHUR HOPPER	66052-HP2	۱		۵۱۷/۵۰	۵۱۷/۵۰
VIBRATING FEEDER	66052-VF1	۱	۶/۱۴		۶۸/۴۶
VIBRATING FEEDER	66052-VF2	۱	۶/۱۴		۶۸/۴۶
AIR PLANT COMPRESSOR		۱	۶۶/۵۴		۷۴۱/۹۲
MOTORIZED CHUTE	66052-MC1	۱	۶/۵۶	۶۷/۶۵	۱۴۰/۷۹
MOTORIZED CHUTE	66052-MC2	۱	۶/۵۶	۶۷/۶۵	۱۴۰/۷۹
SCRAPER	66052-RS1	۱		۰۰۰,۸	۰۰۰,۸
SCRAPER	66052-RS2	۱		۰۰۰,۸	۰۰۰,۸
JT01 DEDUSTING SYSTEM	DC1A	۱		۱۹/۲۶	۱۹/۲۶
JT03 DEDUSTING SYSTEM	DC3	۱		۳۸/۵۳	۳۸/۵۳
جمع دستگاه‌ها			۹۱/۹۴	۸۸۵/۵۵,۴۷	۹۱۰/۶۸,۴۸

هزینه سرمایه ثابت:

عنوان	قیمت کل (میلیون ریال)
زمین	۲۰,۰۰۰
آماده سازی زمین و محوطه سازی	۶,۳۵۸/۳۹
هزینه ساختمان	۴۲,۲۹۶
دستگاه‌ها	۴۸,۹۱۰/۶۸
هزینه نصب تجهیزات	۲۲,۰۰۹/۸۱
ابزار دقیق	۴,۴۰۱/۹۶
لوله کشی و شیرآلات	۷,۸۲۵/۷۱
تجهیزات برقی	۴,۸۹۱/۰۷
سرویس جانبی	۰
مهندسی	۱۶,۱۴۰/۵۲
نظارت بر ساخت	۱۹,۰۷۵/۱۷
هزینه پیمانکار	۸,۳۱۴/۸۲
احتمالات	۱۶,۶۲۹/۶۳
جمع کل سرمایه ثابت	**۲۱۶,۸۵۳/۷۶**

هزینه نیروی انسانی:

	تعداد شیفت	تعداد پرسنل (نفر)	حقوق ماهیانه (میلیون ریال)	حقوق سالیانه (میلیون ریال)	بالاسری (میلیون ریال)
مدیر	۱	۱	۱۰/۵	۱۷۵/۹۸	۲۸۱/۵۷
رئیس واحد	۲	۲	۱۰/۵	۳۵۱/۹۶	۵۶۳/۱۴
مهندسی	۳	۶	۱۰/۵	۱,۰۵۵/۸۸	۱,۶۸۹/۴۱
نیروی خدماتی فنی	۳	۹	۸/۵	۱,۲۸۲/۱۴	۱,۷۹۵
نیروی خدماتی ساده	۳	۹	۸/۵	۱,۲۸۲/۱۴	۱,۷۹۵
تعمیر و نگهداری	۳	۳	۸/۵	۴۲۷/۳۸	۵۹۸/۳۳
جمع		**۳۰**		**۴,۵۷۵/۴۸**	**۶,۷۲۲/۴۴**

هزینه انبارداری:

	هزینه کل (میلیون ریال)
قطعات یدکی	۴,۳۳۷/۰۸
تعمیر و نگهداری	۵,۴۲۱/۳۴
بیمه	۶۵۰/۵۶
حقوق و دستمزد	۴,۵۷۵/۴۸
بالاسری	۶,۷۲۲/۴۴
استهلاک	۱۵,۲۶۵/۳۷
جمع موارد بالا	۳۶,۹۷۲/۲۷
سرویس جانبی	۱,۸۴۸/۶۱
هزینه پیش بینی نشده	۱,۸۴۸/۶۱
جمع هزینه‌های تولید	۴۰,۶۶۹/۴۹
اجاره سالیانه انبار	۸۳,۳۷۲/۴۶
سود سالیانه	۴۲,۷۰۲/۹۷
اجاره ماهیانه انبار	۶,۹۴۷/۷۰

خلاصه نتایج محاسبات اقتصادی

(ارقام: میلیون

ریال)

	حالت (۱) انبار	حالت (۲) انبار+کامیون+پکیج شیپ لودر
۱) قیمت دستگاه‌ها	۴۸,۹۱۰/۶۸	۴۸,۹۱۰/۶۸
۲) سرمایه طرح	۲۱۶,۸۵۳/۷۶	۲۷۳,۴۵۳/۷۶
۳) هزینه تولید	۴۰,۶۶۹/۴۹	۴۸,۳۲۷/۴۷
۴) هزینه اجاره سالیانه	۸۳,۳۷۲/۴۶	۱۰۱,۴۸۷/۶۹

۵) هزینه اجاره ماهیانه	۶,۹۴۷/۷	۸,۴۵۷/۳
۶) نرخ بازگشت داخلی (**IRR**)	۲۰٪	۲۰٪

آنالیز حساسیت:

	»IRR«	
	حالت (۱)	حالت (۲)
۱) سرمایه ثابت:		
+۵۰٪	۱۲٪	۱۱٪/۹۷ ≃ ۱۲٪
+۴۰٪	۱۳٪	۱۳٪
+۳۰٪	۱۴٪	۱۴٪
+۲۰٪	۱۶٪	۱۶٪
+۱۰٪	۱۸٪	۱۸٪
۰	۲۰٪	۲۰٪
-۱۰٪	۲۲٪	۲۲٪
-۲۰٪	۲۵٪	۲۵٪
-۳۰٪	۲۹٪	۲۹٪
-۴۰٪	۳۴٪	۳۴٪
-۵۰٪	۴۱٪	۴۱٪
۲) هزینه انبارداری:		
+۵۰٪	۱۵٪	۱۵٪
+۴۰٪	۱۶٪	۱۶٪
+۳۰٪	۱۷٪	۱۷٪
+۲۰٪	۱۸٪	۱۸٪
+۱۰٪	۱۹٪	۱۹٪
۰	۲۰٪	۲۰٪
-۱۰٪	۲۱٪	۲۱٪
-۲۰٪	۲۲٪	۲۲٪
-۳۰٪	۲۳٪	۲۳٪
-۴۰٪	۲۴٪	۲۳٪/۹۱
-۵۰٪	۲۵٪	۲۴٪/۷۹

	IRR	
	حالت (۱)	حالت (۲)
۳) اجاره انبار:		
+۵۰٪	۳۵٪	۳۵٪
+۴۰٪	۳۲٪	۳۲٪
+۳۰٪	۲۹٪	۲۹٪
+۲۰٪	۲۶٪	۲۶٪
+۱۰٪	۲۳٪	۲۳٪
۰	۲۰٪	۲۰٪
-۱۰٪	۱۶٪	۱۶٪
-۲۰٪	۱۳٪	۱۳٪
-۳۰٪	۹٪	۹٪
-۴۰٪	۵٪	۵٪
-۵۰٪	۰٪/۶	۱٪

بطور کلی نتایج محاسبات اقتصادی حاکی از آن است که انبارش گوگرد در انبارهای مسقف در ماه بطور متوسط حدود ۲۱/۵ دلار هزینه در بر خواهد داشت. بعبارت دیگر انبارش طولانی مدت در انبارهای مسقف به هیچ وجه توجیه اقتصادی نداشته و تنها در صورت عرضه زود هنگام باید گوگرد دانه بندی و ذخیره گردد. در واقع یکی از دلایل اصلی بلوک سازی گوگرد مسئله اقتصادی انبارش است که باعث شده است که گوگرد متناسب با نیاز بازار دانه بندی و عرضه شود.

مهمترین فاکتور مؤثر بر میزان صادرات گوگرد تولیدی کشور، قیمت گوگرد در بازارهای جهانی است که با توجه به متغیر بودن این قیمت، گاهاً فروش محصول گوگرد هیچ‌گونه صرفه اقتصادی به دنبال نداشته و حتی هزینه‌های تولید را نیز برآورده نمی‌سازد. بطور معمول، در صورت مناسب بودن قیمت نیز میزان تولید از میزان تقاضا بیشتر بوده و در دوره‌های خاص و غیرقابل پیش‌بینی تقاضای جهانی گوگرد افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی، انبارش گوگرد به فروش آن ترجیح داده می‌شود و با طولانی‌تر شدن این دوره میزان گوگرد انبار شده افزایش یافته و افزایش ظرفیت انبارش واحدهای تولید کننده گوگرد امری اجتناب ناپذیر خواهد بود.

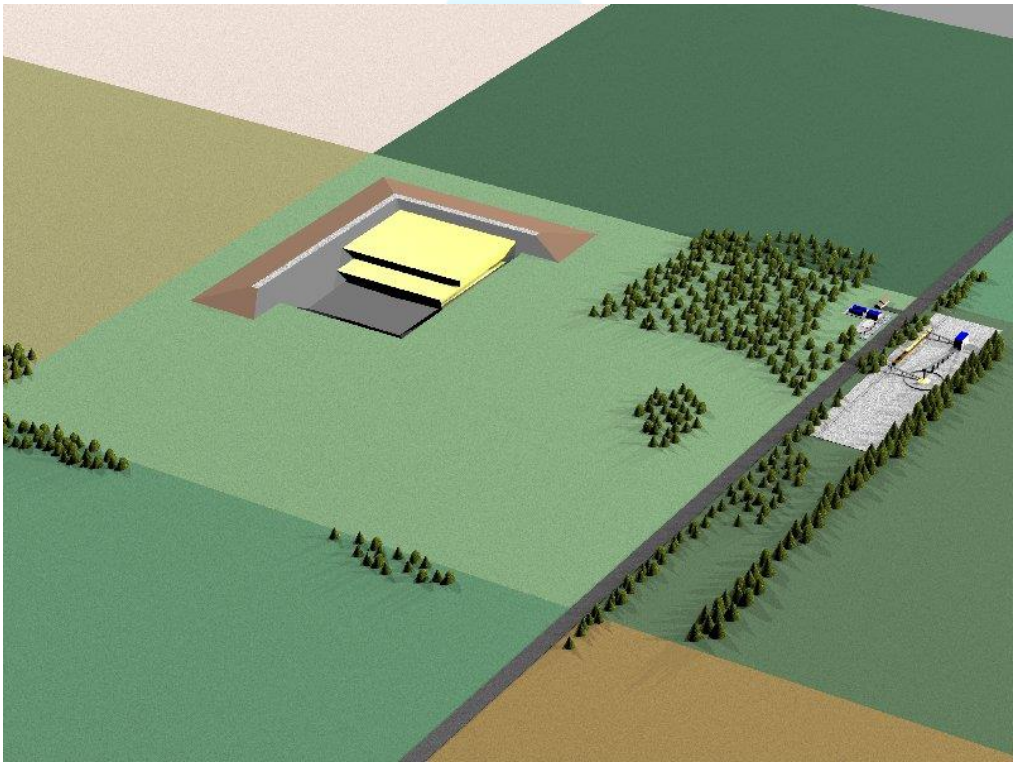
۳-۵- امکان سنجی و ارایه مدلی برای انبارش زیرزمینی گوگرد در خانگیران و پارس جنوبی

هنگامی که لازم است گوگرد در مدت زمان‌های طولانی‌تری نگهداری شود، انبارش در زیر سطح زمین و یا زیر زمین، نسبت به دیگر روش‌های انبارش مزایای قابل توجهی دارد. با این وجود، عمده-ترین مزایای این روش انبارش بصورت موردی در زیر اشاره شده است:

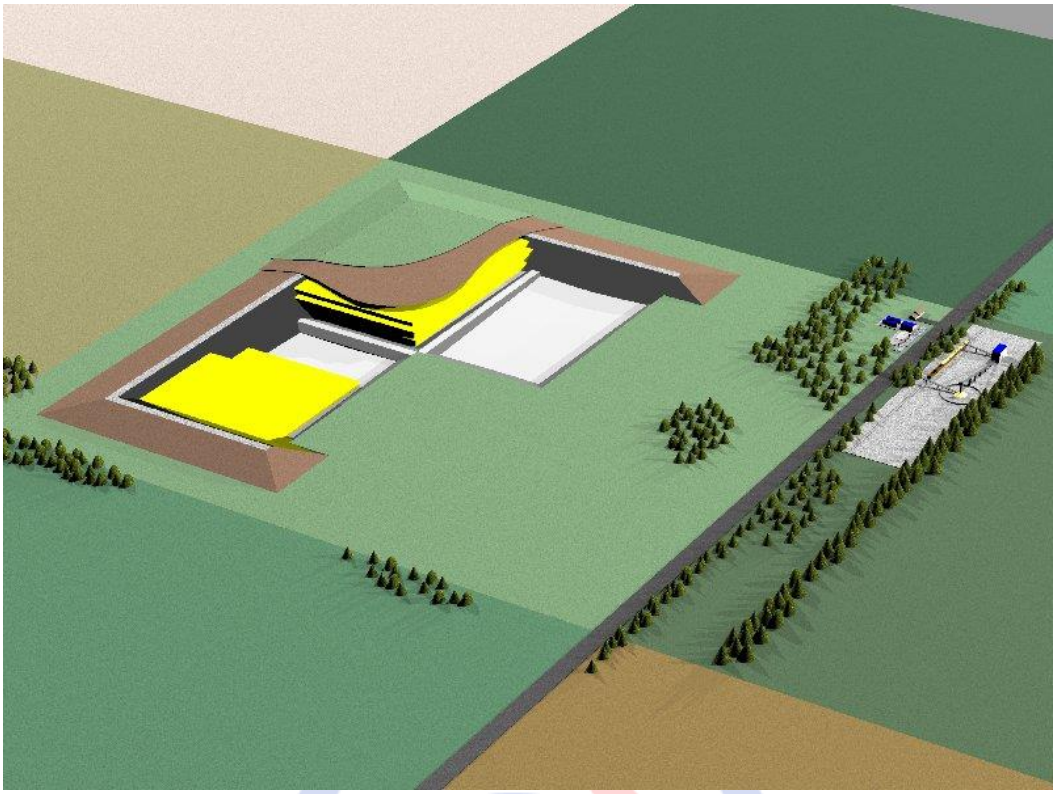
- استفاده بهینه از فضای در دسترس: این روش برای پالایشگاه‌هایی که با کمبود فضا مواجهند بسیار مناسب بوده و با توجه به اینکه انبارش در زیر سطح زمین انجام شده است، فضای روی قسمت انبارش می‌تواند برای کاربردهای خاص دیگری مورد استفاده قرار گیرد.
- حذف آلودگی بصری ناشی از بلوک‌ها یا انبارهای بزرگ: در روش استاندارد پیشنهادی، روی سطح محل انبارش گیاه نیز کاشته می‌شود که خود بهبود اثرات زیست محیطی و زیبایی بصری محل را نیز به دنبال دارد.
- عدم نیاز به قالبگیری مرسوم انجام شده برای بلوک‌های روی سطح زمین که به نسبت فرآیندی سخت و زمانبر است: از طرف دیگر، پله‌ای بودن قالب‌ها باعث می‌شود حجم هر پله از پله پایینی خود کمتر بوده و رفته رفته ظرفیت پله‌ها کاهش می‌یابد.
- عدم رسیدن رطوبت و آب‌های سطحی به بستر گوگرد: تولید آب‌های سطحی اسیدی و آلودگی خاک.
- عدم نیاز به واحد تصفیه و خنثی‌سازی آب‌های اسیدی جاری.
- ایمنی کامل از نقطه نظر HSE و علی‌الخصوص حذف کامل احتمالات آتش‌سوزی.
- حذف هزینه‌های انبارداری گوگرد که گاه ماهانه تا ۲۳-۱۹ دلار بر تن نیز می‌رسد.

در این روش زمین مناسبی انتخاب گشته و تا عمق مورد نظر خاک‌برداری می‌شود. سپس کف و دیواره‌های قسمت خاک‌برداری شده آماده‌سازی شده و تا حد قابل قبولی عایق‌کاری (آماده‌سازی با بتون و حتی در مواردی با استفاده از پلیمرهایی مانند پلی‌اتیلن دانسیته بالا (HDPE) یا پلی‌استایرن (PS)) می‌شود. در مرحله بعد گوگرد مذاب بصورت یک لایه در کف ریخته شده و زمان لازم به آن داده می‌شود تا جامد گردد. سپس لایه مذاب بعدی اضافه می‌شود و این کار تا جایی تکرار می‌شود تا گوگرد جامد به ارتفاع مورد نظر برسد. پس از آن روی سطح گوگرد با یک نمک معدنی مانند Na_2SO_4، KNO_3، KCl و یا NaCl پوشانیده می‌شود. این نمک‌ها خاصیت بازدارندگی باکتری‌های و میکروب‌های اکسید کننده گوگرد به اسید سولفوریک دارند. در این مرحله روی گوگرد با یک لایه

خاک با ضخامت مناسب پوشانیده می‌شود تا در تماس مستقیم با شرایط جوی نباشد. در مواردی بسته به نوع شرایط جوی روی این خاک، بتون، آسفالت و یا حتی علف‌کاری می‌شود تا بارش‌های جوی به لایه‌های زیرین نفوذ نکنند. شکل‌های ۵-۱۳ و ۵-۱۴ تصاویر شماتیک ۳ بعدی از انبارش گوگرد در زیر سطح زمین ارائه می‌دهند. لازم به ذکر است که این تصاویر دقیقاً مبتنی بر مدل پیشنهادی این پروژه برای انبارش در زیر سطح زمین می‌باشند با این تفاوت که در شکل شماره ۵-۱۴ انبار گوگرد نشان داده شده چهار بخش دارد ولی در مدل‌های نهایی پیشنهادی تمامی انبارها ۶ بخش دارد. البته لازم به ذکر است که بسته به ظرفیت انبار و شرایط فرآیندی و محلی، تعداد و نوع بخش-های انبارهای پیشنهادی می‌تواند متفاوت و متنوع باشد که بایستی در مرحله پیش از اجرا و در طراحی مفهومی به دقت مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و انتخاب شود..



(شکل ۵-۱۳) شماتیک سه بعدی یک بخش از انبار گوگرد در زیر سطح زمین در حال پر شدن



(شکل ۵-۱۴) شماتیک سه بعدی یک انبار گوگرد از نوع چهار بخشی در زیر سطح زمین در حال پر شدن

۱-۳-۵- برآورد مقدار گوگرد قابل انبارش در زیر سطح زمین

همانگونه که در بخش‌های پیشین نیز اشاره گردید انبارش در زیر سطح زمین در مواردی توصیه می-شود که لازم است گوگرد مدت زمان طولانی (تا ۵ سال و یا بیشتر) انبار و نگهداری شود. از این رو برای استفاده از چنین روش انبارشی در منطقه عسلویه و یا خانگیران لازم است که ابتدا برآورد مناسبی در راستای تخمین میزان گوگرد مازاد تولیدی که بایستی در مدت‌های طولانی‌تری انبارداری شود مشخص شود. در این اینجا بعنوان الگو ظرفیت اسمی تولید گوگرد فازهای در حال بهره‌برداری پالایشگاه‌های پارس جنوبی و روند عملی تولید در سال‌ها گذشته به همراه ظرفیت تئوری صادرات همراه با میزان صادرات واقعی در طول سالیان گذشته و میزان گوگرد مازاد این پالایشگاه‌ها به روشی منطقی مورد بررسی قرار می گیرد تا بر اساس آن بتوان مدلی مهندسی برای انبارش زیرزمینی گوگرد استخراج کرد. پرواضح است که با تعمیم نتایج حاصل می توان الگوی بدست آمده را برای پالایشگاه خانگیران نیز استفاده کرد.

برای این منظور در ابتدا پتانسیل تولید گوگرد از فازهای در حال بهره برداری در پارس جنوبی مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس جدول (۵-۱) مشاهده می شود که سالانه ۴۲۰ هزار تن گوگرد از این فازها تولید می گردد که با احتساب گوگردی که در آینده از پالایش فازهای ۶،۷ و ۸ حاصل می شود انتظار می رود به این مقدار ۳۳۰ هزار تن دیگر نیز اضافه گردد.

جدول (۱-۵) پتانسیل تولید گوگرد فازهای در حال بهره برداری عسلویه

موقعیت	فاز	تولید گوگرد فعلی (تن در روز)	تولید آتی گوگرد (تن در روز)
در حال بهره‌برداری	۱	۲۰۰	-
	۲ و ۳	۴۰۰	-
	۴ و ۵	۴۰۰	-
	۶، ۷ و ۸	-	۱۱۰۰
	۹ و ۱۰	۴۰۰	-
ظرفیت تولیدی کل (روز/تن)		۱۴۰۰	۱۱۰۰
ظرفیت تولیدی کل (سال/تن)		۴۲۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰

شایان ذکر است که ظرفیت اسمی تولیدی گوگرد فازهای در حال بهره‌برداری پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی چیزی در حدود ۱/۴ میلیون تن در روز، معادل ۴۲۰،۰۰۰ تن در سال می‌باشد. با این وجود با توجه به گزارشات موجود، تولید واقعی و فعلی فازهای مختلف پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی چیزی در حدود ۱۰۰۰ تن در روز و معادل ۳۰۰،۰۰۰ تن در سال است. در جدول (۲-۵) نیز میزان تولید واقعی و صادرات انجام شده در طول سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷ و در نهایت در سال ۱۳۸۹ ارائه شده است.

جدول (۲-۵) تولید و فروش گوگرد در عسلویه طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۷

عنوان	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۹
تولید گوگرد (تن)	۱۸۰/۰۰۰	۱۸۰/۰۰۰	۲۰۷/۰۰۰	۲۰۳/۷۵۱	۲۱۷/۶۲۷	۲۹۳/۹۹۶
میزان فروش داخلی (تن)	-	-	-	-	-	
میزان صادرات (تن)	۹۸۵/۸۶۳					

بر اساس اطلاعات آماری جدول (۲-۵) می‌توان نتایجی به شرح جداول (۵-۳) و (۴-۵) را استخراج نمود.

جدول (۳-۵) مقایسه میزان تولید و صادرات از پالایشگاه‌های پارس جنوبی

عنوان	در طول سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷ (تن در سال)	سال ۱۳۸۹ (تن در سال)
متوسط تولید سالیانه	۱۹۷/۶۷۶	۳۰۰/۰۰۰
متوسط صادرات سالیانه	۱۹۷/۱۷۳	اطلاعات موجود نیست
متوسط صادرات تئوری بر مبنای بارگیری و صادرات ماهانه یک کشتی ۲۰/۰۰۰ تنی	-	۲۴۰/۰۰۰

جدول (۴-۵) برآورد میزان گوگرد مازاد پالایشگاه‌های پارس جنوبی بر دو مبنای آماری و تئوری

عنوان	(تن در سال)	ملاحظات
مازاد گوگرد بر اساس اطلاعات آماری	۱۰۲/۸۲۷	مقایسه اطلاعات آماری تولید و صادرات در سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۷
مازاد گوگرد بر اساس اطلاعات تئوری و ظرفیت‌های اسمی	۱۸۰/۰۰۰	مقایسه اطلاعات ظرفیت‌های تولید اسمی و صادرات تئوری بر مبنای بارگیری و صادرات ماهانه یک کشتی ۲۰/۰۰۰ تنی
میانگین مازاد گوگرد بر اساس مقایسه مازاد گوگرد اطلاعات آماری و تئوری	۱۴۰/۰۰۰	متوسط حسابی و معادل ۷۰۰/۰۰۰ تن در ۵ سال

همانطور که مشاهده می شود در طول سال‌ها گذشته تا سال‌های ۸۸-۸۷ میزان تولید و صادرات گوگرد پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی تقریباً متعادل و برابر بوده و انبارهای مسقف موجود (انبارهای مسقف با ظرفیت ۳۶،۰۰۰ تن که تعداد دو عدد از آنها به بهره‌برداری رسیده است) می-توانستند میزان اختلاف موجود را پوشش دهند. با این وجود در سال‌های اخیر (از سال ۸۸ به بعد) میزان تولید گوگرد پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی افزایش پیدا کرده و روندی افزایشی در رسیدن به حداکثر ظرفیت تولید برابر با ۴۲۰،۰۰۰ تن گوگرد در سال مشاهده می‌شود. از طرفی میزان ظرفیت بارگیری کشتی و صادرات از اسکله ماهشهر رشدی نداشته و در بهترین شرایط، متوسط ماهانه یک کشتی ۲۰،۰۰۰ تنی بارگیری و صادر می‌شود. در خلال فصولی که قیمت گوگرد در بازارهای جهانی افت زیادی پیدا می‌کند، روند و میزان صادرات از این مقدار نیز کمتر است. در این میان، اختلاف

میزان گوگرد تولیدی و صادراتی روز به روز افزایش یافته و بر مقدار گوگرد تولیدی مازاد که نیاز به انبارش و نگهداری دارند افزایش می‌یابد.

با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول (۴-۵)، میانگین مازاد گوگرد بر اساس مقایسه مازاد گوگرد اطلاعات آماری و تئوری برابر با ۱۴۰،۰۰۰ تن در سال و یا ۷۰۰،۰۰۰ تن در طول ۵ سال می‌باشد. از طرفی در حال حاضر گوگرد دانه‌بندی تولیدی فازهای ۴ و ۵ پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی، کیفیت مناسبی نداشته و این فازها با مشکلات خاصی برای دانه‌بندی گوگرد تولیدی خود مواجهند. روش انبارش در زیر سطح زمین می‌تواند بخوبی در این فازها اجرا شود. ظرفیت تولیدی این دو فاز برابر با ۴۰۰ تن در روز، معادل ۷۲۰/۰۰۰ تن در ۶ سال است. طراحی انجام شده بر مبنای اطلاعات جدول ۴ صورت گرفته و انبار زیرزمینی پیشنهادی دارای ظرفیتی کمی بیش از ۷۰۰/۰۰۰ تن است. انبار زیرزمینی پیشنهادی برای فازهای ۴ و ۵ پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی می‌تواند بصورت سوپاپ اطمینانی عمل نماید. بدین صورت که در فصولی که تقاضا و میزان صادرات گوگرد بالا باشد، گوگرد تولیدی این فازها نیز می‌تواند دانه‌بندی شده و برای صادرات ارسال شود. در صورت عدم وجود تقاضا، کاهش قیمت و بروز مشکل در صادرات گوگرد، قسمتی و یا تمامی گوگرد تولیدی فازهای ۴ و ۵ می‌تواند انبارش زیرزمینی شده و برای مدت‌های طولانی و با صرف هزینه اولیه اندکی انبارش و نگهداری شود. می‌توان نتیجه گرفت که اگر تمامی گوگرد تولیدی فازهای ۴ و ۵ پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی در زیر سطح زمین انبارش گردد، تا حدود ۶ سال هیچ گونه نگرانی در مورد مازاد گوگرد تولیدی پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی نبوده و می‌توان همواره به گونه‌ای تعادل میان تولید و صادرات را برقرار نمود.

۲-۳-۵- نکات در نظر گرفته شده در اساس طراحی مدل

با توجه به اطلاعات بدست آمده از منابع مختلف و بررسی‌های انجام شده، نکات مهمی در طراحی انبارهای ذخیره گوگرد در زیر سطح زمین بدست آمد که بصورت موردی در زیر اشاره شده است:

- حداکثر عمق عملی و مقرون به صرفه در زیر سطح زمین که می‌توان برای انبارش در نظر گرفت ۱۰ متر و حداقل ۵ متر می‌باشد. برای تمامی استراتژی‌های پیشنهادی در این پروژه، عمق متوسط ۷ متر در زیر سطح زمین به عنوان مبنای ثابت مدل‌های پیشنهادی بوده و ارتفاع گوگرد بر روی سطح زمین در سه ارتفاع مختلف ۱۳، ۸ و ۳ متری تغییر داده شده است. به

هنگام تصویب و اجرای چنین طرحی، مناسب‌ترین ارتفاع می‌تواند با در نظر گرفتن فاکتورهای متعددی که با ارزیابی میدانی حاصل می شود می تواند تعیین شود.

- انباشت سالیانه ۱۴۰،۰۰۰ تن گوگرد تولیدی مازاد، به عنوان متوسط مقادیر آماری موجود، مقادیر تئوری و ظرفیت‌های اسمی به عنوان مرجعی برای تعیین گنجایش انبار پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت. مدت زمان مرجع ۵ سال اقامت گوگرد در انبار نیز، ظرفیتی انبارشی در حدود ۷۰۰،۰۰۰ تن را به دنبال دارد که سعی شده است تمامی استراتژی‌ها پیشنهادی دارای حداقل ظرفیت ۷۰۰،۰۰۰ تن باشند.
- همانطور که در پیوست و نقشه‌های مدل پیشنهادی دیده می‌شود، کف انبار پیشنهادی و دیواره‌ها شیب‌دار می‌باشند. دیواره‌ها دارای یک لایه پلیمر غیر قابل نفوذ از جنس HDPE هستند که در صورت تولید شدن هر گونه آب اسیدی آن را به سمت پایین و در نهایت، کف انبار پیشنهادی هدایت می‌کنند. کف انبار، با لایه‌ای از آهک پوشانیده شده است تا در صورت تولید احتمالی مقادیر کمی آب‌های اسیدی بتواند براحتی آن‌ها را خنثی کرده و از انتقال آن به لایه‌های خاک جلوگیری نماید.
- در انبارش‌های زیر سطح زمین می‌توان سطح نهایی گوگرد انبار شده را با نمک‌های معدنی مانند Na_2SO_4، KNO_3، KCl و یا NaCl پوشانید که خاصیت بازدارندگی باکتری‌ها و میکروب‌های اکسید کننده گوگرد به اسید سولفوریک دارند و یا سطح نهایی را با چند لایه خاک مناسب کشاورزی پوشانیده و سطح حاصل را گیاه‌کاری کرد. از آنجایی که استفاده از گیاهان علاوه بر اثرات زیست محیطی، اثرات بصری مثبتی نیز به محل انبارش گوگرد می-بخشد، این نوع پوشش نهایی انتخاب و در مدل پیشنهادی استفاده شده است.

۳-۳-۵- توصیف مدل پیشنهادی

لازم به ذکر است که تمامی استراتژی‌های پیشنهادی، همگی در حد مدل بوده و به هنگام اجرای چنین طرحی در محل پالایشگاه لازم است طراحی مفهومی کاملی انجام شده و تمامی پارامترها دوباره و با توجه به شرایط محلی و فرآیند موجود در منطقه دوباره بازبینی و اصلاح شوند.

مدل پیشنهادی در این پروژه، انباری است که مقداری از آن در زیر سطح زمین و مقداری بر روی سطح زمین قرار دارد. این انبار خود می‌تواند به چندین بخش داخلی انبارش گوگرد تقسیم می‌شود

که مدل‌هایی چهارتایی و شش‌تایی مرسوم‌ترند. بطور کلی هر انبار گوگرد زیر سطحی را می‌توان به چهار بخش به شرح ذیل تقسیم کرد:

کف انبار: کف انبار گوگرد بصورت بلوک، مهمترین نقش را در آلودگی خاک‌های مجاور بازی می‌کند. در انبارهای بلوک‌های روی زمین پیشرفته امروزی، کف انبار کاملاً زیرسازی شده و کانال‌هایی در آن‌ها تعبیه می‌گردد تا آب‌ها اسیدی و سطحی را خارج کرده و به سمت حوضچه خنثی‌سازی و تصفیه هدایت نماید. در انبارش زیر سطحی، احتمال رسیدن رطوبت و آب‌های سطحی به گوگرد و تولید آب‌های اسیدی بسیار کم است ولی نامحتمل نیست. فلذا بایستی تدبیری اندیشیده شود تا آب‌های اسیدی تولیدی خنثی شده و به خاک اطراف راه نیابند. از طرفی در انبارش زیر سطحی جمع‌آوری و خارج نمودن آب‌های اسیدی بسیار دشوارتر است، از این رو بهترین راهکار پیش رو خنثی نمودن آب‌های اسیدی احتمالی در همان محل انبار می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، کف انبار بصورت لایه لایه ساخته شده است. لایه اول عبارت است از یک ژئوممبران[3]که برای جداسازی موثر جامدات از مایعات و نفوذ دادن مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً ژئوممبران‌ها متشکل از پلی‌استر و قیر اکسید شده[4]هستند، نفوذپذیری اندکی داشته و بصورت تجاری در دسترسند. سپس یک لایه پارچه زهکشی نبافته[5]قرار داده می‌شود که معمولاً از جنس الیاف پروپیلن با کیفیت بالا بوده و به منظور حفظ ذرات خاک استفاده می‌شود. این پارچه‌ها قابلیت نفوذ دادن آب را داشته و بصورت تجاری در دسترسند. در لایه بعدی حدود ۱۵cm آهک ریخته می‌شود که نقش آن جذب آب‌های اسیدی نفوذ یافته از لایه‌های بالاتر و خنثی نمودن آن است. با توجه به این نکته که میزان آب‌های اسیدی احتمالی تولیدی بسیار اندک است، یک بستر ۱۵ سانتی‌متری، ظرفیت خنثی‌سازی تمامی آب‌های اسیدی تولیدی را داراست. پس از این لایه، دوباره یک لایه پارچه زهکشی نبافته استفاده می‌شود. در نهایت و در پایین‌ترین لایه، یک زیرسازی ۱۰۰ سانتی‌متری از جنس رس فشرده با نفوذپذیری بسیار کم (<1×10-8m/s) قرار دارد که علاوه بر زیرسازی انبار، نقش مهم جذب کردن و نگهداری هر گونه محتوای اسیدی خنثی نشده را بازی می‌کند.

---

[1] Geo-membrane [3]

[1] Non-woven polyester and oxidized bitumen [4]

[1] Non-woven geotextile [5]

دیواره‌های جانبی انبار

الف. دیواره‌های درونی: نقشی که دیواره‌های جانبی انبار ایفا می‌کنند متفاوت از کف انبار است. چیدمان لایه‌های دیواره‌های جانبی کاملاً مشابه کف انبار بوده و فقط به جای لایه آهک یک لایه شبکه زهکشی دو محوری از پلی‌اتیلن سنگین[16] قرار داده می‌شود که به عنوان تقویت کننده خاک در شیب و زهکشی عمل می‌نماید. تا هر گونه آب اسیدی تشکیل شده را به سمت کف مخزن و لایه آهکی پیش‌بینی شده انتقال دهد. این دیواره با نسبت ۳:۱ (ارتفاع:وتر) شیب داده می‌شود تا هم از نظر انتقال سیال عملکرد مناسبی از خود نشان دهد، هم از لحاظ مکانیکی و عملی، خاکبرداری و ایجاد آن راحت‌تر باشد.

ب: دیواره‌های بیرونی: دیواره‌های بیرونی انبار در مقایسه با دیواره‌های درونی دارای شیب کمتری بوده و با نسبت ۵:۱ خاکریزی می‌شوند. این شیب ملایم، سطح بالایی انبار را به زمین رسانده و دسترسی به روی انبار برای انجام کارهایی مانند خاکریزی، گیاهکاری و غیره را فراهم می‌آورد.

دیواره‌های تقسیم داخلی انبار: دیواره‌های تقسیم داخلی انبار، همانگونه که از اسمشان بر می‌آید، برای تقسیم‌بندی فضای داخلی انبار به بخش‌های (قالب‌های) کوچک‌تر استفاده می‌شوند. بطور عمومی در مدل پیشنهادی، این دیواره‌ها دارای عرضی معادل ۳ متر بوده و از جنس خاک محل انبار می‌باشند.

روکش انبار: فلسفه انبارش در زیر سطح زمین، عدم تماس گوگرد با تغییرات جوی و بارش‌های جوی است. پس از اتمام ریخته شدن گوگرد در انبار و پر شدن آن، سطح روی گوگرد با یک پوشش چند لایه پوشانیده می‌شود. در مدل پیشنهادی این لایه‌ها به ترتیب و پس از سطح گوگرد، عبارتند از یک لایه از خاک محلی به عمق ۵۰cm، یک لایه زیرین خاک[17] به عمق ۶۰cm که شامل خاک رس و مواد معدنی مثل آهن، اکسید آلومینیم و کربنات کلسیم است. یک لایه زیرین دیگر[18] به عمق ۶۰cm که عمدتاً از جنس شن و ماسه و گل و لای ساخته شده، لایه خاک بالایی[19] به عمق ۳۰cm که

[1] HDPE geonet-biaxial drainage layer
[1] Select soil layer
[1] Subsoil
[1] Topsoil

معمولاً خاک نباتی غنی استفاده می‌شود و در نهایت گیاهان سطح خاک که عمدتاً استفاده از بوته‌ها و علف‌های محلی که با شرایط محیطی سازگاری بیشتری دارند توصیه می‌شود.

بطور کلی برای استفاده از چنین مدلی به نقشه های مهندسی اولیه ای نیاز است که با مفروضات مطرح شده در بالا کلیه نقشه های انبارها، خاکریزی و آماده‌سازی آن‌ها برای مدل فوق با ظرفیت انبارش ۷۰۰ هزار تن در ضمیمه ۱ آورده شده است.

۴-۵- نتیجه‌گیری

در حال حاضر و با استناد به اطلاعات موجود، انبارش گوگرد در زیر سطح زمین برای فازهای ۴ و ۵ پالایشگاه‌های پارس جنوبی پیشنهاد داده شده است. بدیهی است که چون ممکن است در فصولی از سال، حتی تمامی ظرفیت تولید این فازها به سمت انبارش زیرزمینی انتقال داده شود، بهتر است برای انتقال گوگرد مذاب به سمت محل انبارش، از لوله‌های دوجداره مناسب استفاده شده و برای انتقال گوگرد مذاب به درون انبار نیز از شوت‌های[۲۰] مرسوم در بلوک‌ریزی گوگرد استفاده شود. پیشنهاد می‌شود که در هر مرحله انبارش، سه بخش از شش بخش انبار پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته و به ترتیب و بصورت دوره‌ای لایه‌ریزی شوند (هنگامی که دو بخش دیگر در حال جامد شدن هستند، بخش سوم در حال پر شدن است) تا گوگرد مذاب ریخته شده فرصت کافی برای جامد شدن داشته و احتمال بروز هر گونه مشکل به حداقل کاهش داده شود.

ظرفیت کل، محوطه انبار پیشنهادی کمی بیش از ۷۰۰،۰۰۰ تن بوده و چیزی در حدود ۶ سال تولید گوگرد فازهای ۴ و ۵ را براحتی در خود جای می‌دهد.

همچنین برای مدیریت بهتر انبارش گوگرد در خانگیران و پارس جنوبی راهبردهای بدست آمده است که بطور مختصر به آنها اشاره می شود.

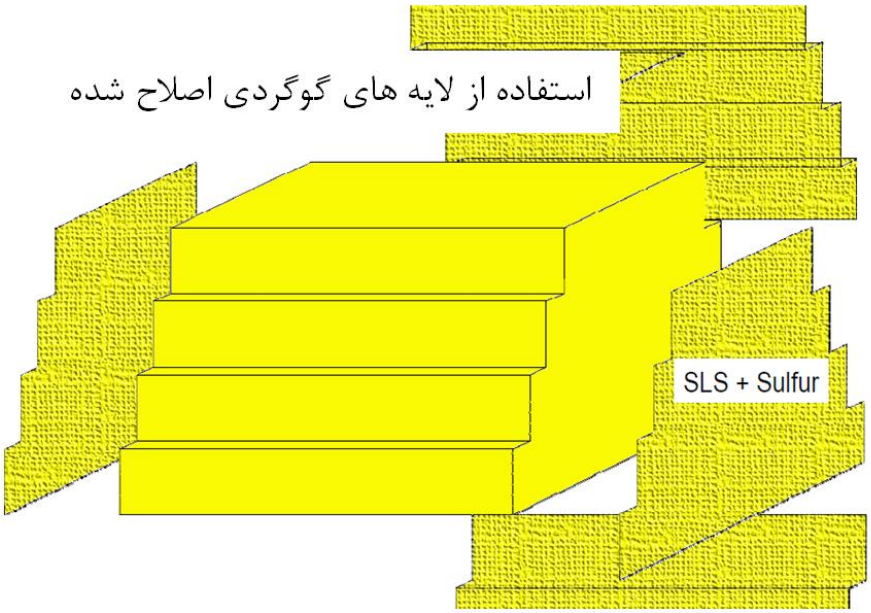
۱-۴-۵- راهبردهای بهبود انبارش گوگرد در خانگیران

بطور کلی بررسی های انجام شده نشان می دهد که با توجه به عدم توازن تولید، مصرف و صادرات گوگرد در کشور و همچنین جلوگیری از خام فروشی گوگرد باید به دنبال راهکارهایی برای انبارش طولانی مدت آن بود. اگر چه در منطقه خانگیران در حال حاضر از سیستم بلوک سازی گوگرد به این

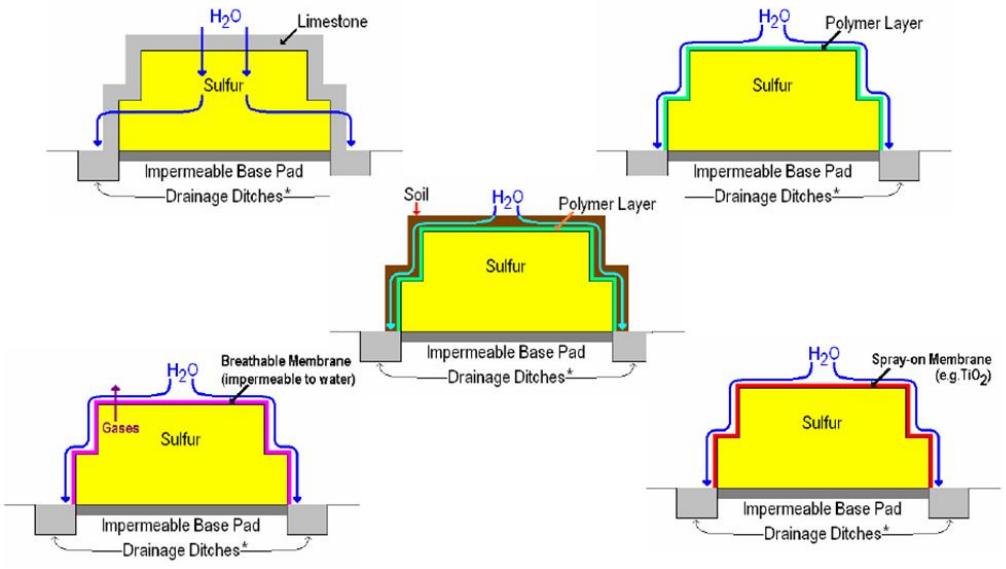
---

2 Shoot 0

منظور استفاده می شود ولی شواهد عینی حاکی از آن است که استفاده پوشش های محافظتی(شکل های ۵-۱۵ و ۵-۱۶) روی بلوک ها می توان طول عمر انبارش بلوک ها را افزایش داد.



شکل (۵-۱۵) استفاده از گوگرد تقویت شده با بیوساید SLS بعنوان پوشش محافظ بلوک گوگردی



شکل (۵-۱۶) استفاده از مواد پلیمری برای محافظت بلوک گوگردی

شایان ذکر است که از عمده معضلات انبارش گوگرد در این منطقه وجود گاز هیدروژن سولفید در گوگرد مذابی است که روانه بخش قالب گیری می گردد. این مهم باعث شده است که نه تنها مشکلات زیست محیطی به سبب آزاد شدن این گاز خطرناک بهنگام سرد شدن گوگرد ایجاد گردد بلکه عامل اصلی در ایجاد گرد غبار بهنگام برداشت از قالب ها می باشد. لذا انتظار می رود با اصلاحاتی به شرح ذیل بتوان در گوگرد مذاب و تاسیسات موجود بتوان کیفیت انبارش گوگرد و بهره برداری از آن را تا سطح مطلوب ارتقائ داد:

- گاززدائی از گوگرد مذاب تولیدی واحدهای SRU، برای این منظور لازم است با بررسی و امکان سنجی دقیق، راهبرد مناسب و قابل اجرا در واحدهای بازیافت گوگرد خانگیران شناسایی، طراحی و اجرا گردد. در این رابطه می توان اذعان کرد که با اجرای این برنامه مشکلات انبارش و بهره برداری از بلوک های گوگرد تا حد زیادی مرتفع خواهد شد.
- استفاده از سیستم های غبارنشانی برای کاهش انتشار ذرات ریز گوگردی در محوطه بارگیری گوگرد، در واقع با نصب سیستم های سیار اسپری کننده می توان از انتشار ذرات گوگردی به محیط اطراف به نحو قابل ملاحضه ای جلوگیری کرد.
- ایجاد زیرساخت های لازم برای دانه بندی و عرضه به موقع کل گوگرد تولیدی خانگیران: در این رابطه باید خاطر نشان کرد که با تکمیل چرخه تولید تا صادرات می توان گوگرد مذاب خروجی از واحدهای بازیافت گوگرد را مستقیم دانه بندی و روانه بازار نمود.
- استفاده از سیستم های مکانیزه برش مخصوص بلوک گوگردی و تولید بلوک های کوچکتر قابل حمل، این روش در مواقعی که بلوک های گوگردی از مقاومت مکانیکی بالایی برخوردار باشند می تواند راهکار اقتصادی مناسبی در حمل و نقل نیز باشد.
- استفاده از سیستم های مکانیزه ذوب مجدد گوگرد در مواقع اظطرار، با این راهبرد می توان در زمان هایی که بازار گوگرد مناسب باشد بهره لازم را برد. بعبارت دیگر با ذوب مجدد گوگرد و انتقال آن به واحد دانه بندی می توان محصول مورد نیاز را به موقع عرضه کرد.

بهر حال انتخاب یک و یا چندتای از این استراتژی ها می تواند در تجارت گوگرد خانگیران و هچنین نیل اهداف به توسعه پایدار بسیار موثر باشد.

۲-۴-۵- راهبردهای بهبود انبارش گوگرد در پارس جنوبی

همانطور که گفته شد در حال حاضر تمامی گوگرد تولیدی در منطقه پارس جنوبی دانه بندی و در انبارهای مسقف انبار می گردد. بررسی های صورت گرفته در این زمینه نشان می دهد که انبارهای مسقف تنها حدود ۷۰ هزار تن گوگرد را در خود جای می دهند و اضافی آن در فضای باز انبار می گردد. شایان ذکر است که چنین انبارهایی فقط برای انبارش های کوتاه مدت بوده و استفاده از آنها برای نگهداری طولانی مدت گوگرد هزینه بسیار بالایی خواهد داشت. همانطور که در بحث اقتصادی مطرح شد هزینه انبارش هر تن گوگرد در انبارهای مسقف بطور متوسط حدود ۲۱/۵ دلار است. بعبارت دیگر فلسفه وجود چنین انبارهایی به آن سبب است که گوگرد پس از دانه بندی بسرعت مصرف و یا روانه بازارهای هدف گردد.

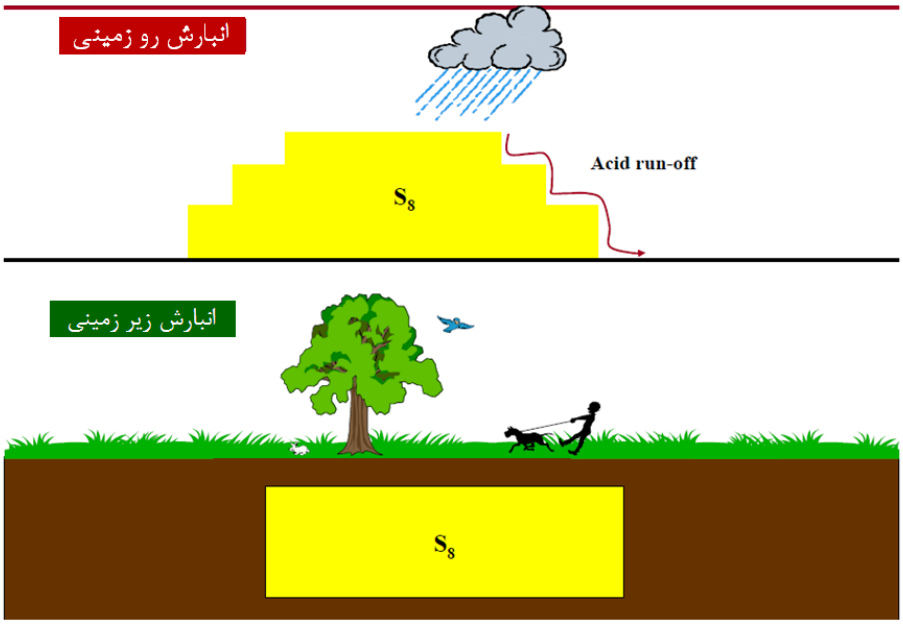
روند توسعه فازهای پالایشگاهی در پارس جنوبی نشان می دهد که میزان گوگرد تولیدی در این منطقه بسرعت زیاد شده و لذا به سبب عدم وجود زیرساخت های لازم مصرف و صادرات آن پاسخگوی حجم بالای تولید گوگرد نخواهد بود. همچنین مشاهده شده است که حجم انبارهای مسقف موجود در شرایط نامساعد بازار گوگرد برای ذخیره سازی کافی نبوده و مازاد گوگرد تولیدی منطقه در فضای باز ذخیره می شود. اگر چه گوگرد دانه بندی شده در بخش های مختلف جهان برای متناسب با شرایط اقلیمی زمانهای طولانی ذخیره می شود ولی متاسفانه بخشی از گوگرد دانه بندی شده در پارس جنوبی به سبب پایین بودن مقاومت مکانیکی ایجاد خاکه کرده و باعث بروز مشکلاتی به شرح ذیل می گردد:

- انتشار ذرات گوگردی و متعاقب آن آلودگی خاک، آب و هوا
- ایجاد محیطی غیر ایمن و پرخطر برای نیروی انسانی
- ایجاد عامل خوردگی برای تاسیسات پالایشگاهی
- ایجاد زمینه بروز خطر آتش سوزی بهنگام بارگیری و حمل و نقل

با توجه به واقعیت های موجود در ذخیره سازی گوگرد در منطقه پارس جنوبی، استفاده از روش های انبارش طولانی مدت ضروری خواهد بود. در این خصوص می توان به راهبردهای اساسی به شرح ذیل پرداخت:

- بر اساس شرایط عملیاتی و اقلیمی منطقه عسلویه ذخیره زیرزمینی گوگرد می تواند راهکاری مناسب برای ذخیره سازی طولانی مدت گوگرد باشد. بررسی های انجام شده

نشان می دهد که با یک ارزیابی دقیق از شرایط اقلیمی، زمین شناسی و آنالیز خاک منطقه می توان در آینده بخشی از گوگرد تولیدی را در انبارهای زیرزمینی ذخیره کرد. برای این منظور لازم است که گوگرد مذاب توسط تانکرهای ویژه به مکانهایی از پیش آماده شده منتقل و در گودل قالب بندی شود. همانطور که در شکل های (۱۷–۵) و (۱۸–۵) مشاهده می گردد پس از اتمام مرحله تخلیه مذاب روی آن توسط خاک پوشیده می شود به نوعی که در سطح آن می توان فضای سبز ایجاد کرد.



شکل (۱۷–۵) انبارش زیرزمینی و مصونیت آن در مقابل شرایط جوی

انجمن مهندسی گاز ایران

شکل (۱۸-۵) انبارش گوگرد در گودال زمینی

- انتقال گوگرد مذاب به مکانهایی مناسب و بلوک نمودن آنها به شیوه های استاندارد از دیگر راهبردها است که می توان در صورت نیاز با ذوب مجدد گوگرد را دانه بندی و عرضه نمود.
- بازسازی و اصلاح سیستم های دانه بندی گوگرد در پارس جنوبی جهت ارتقائ مقاومت مکانیکی گرانول ها و متعاقب آن ذخیره ایمن تر آنها در محوطه های باز
- انتقال گوگرد مذاب از واحدها به تانک های ذخیره مذاب در مجاورت اسکله و متعاقب آن دانه بندی

ایجاد زیرساخت های انبارش گوگرد به شکل مذاب در منطقه پارس جنوبی به منظور توسعه صنایع تبدیلی گوگرد

مراجع:

[1] Tim Rappold, "Sulfur Management at Large Scales", Henry Krumb Sustainable Engineering Symposium March 6, 2009.

[2] Paul Davis, "Perspectives on Sulfur Management", TOPSOE CATALYSIS FORUM 2007, August 23-24, 2007, Hornbaek, Denmark

[3] Clark, P.D., "A review of solid sulfur technology, part tow"; Sulphur, No 280, 2002.

[4] Suresh, B.; "Sulfur", SRI Consulting CEH Report, 2009.

[5] Heffer, P.; Prud'homme, M.; "Fertilizer Outlook 2009-2013", 77th IFA Annual Conference Shanghai, 2009.

[6] New data received from Iranian sulfur producers, 2009.

[7] Sandra Cobianco, "The underground solution", SULPHUR MANAGEMENT, 2004.

[8] J.E. Johnson and P.D. Clark, "Hazards of Molten and Solid Sulfur Storage, Forming and Handling", Proceeding of Sogat IV, Publ. Dome Exhibitions, Abu Dhabi, UAE, April 27 – May 1,2008.

[9] N.I. Dowling, "Corrosion of Materials Used in Storage and Handling of Solid Elemental Sulphur", Proceeding of the International Symposium on Materials Performance: Sulphur and Energy, 31st Annual Conference of Metallurgists of CIM, Edmonton, Alberta, August 23 – 27, 1992, pp. 103 – 105.

[10] **Sulfur storage** method - **US Patent** 6582025

[11] **Sulfur storage** method - **Patent** 6582025

[12] http://eco.gov.kz/tengiz/doc/kazeco_eng.pdf

[13] http://www.patentstorm.us/patents/4190627/description.html

[14] http://eco.gov.kz/tengiz/doc/brochure_en.pdf

[15] http://www.ercb.ca/docs/ils/ils/pdf/il84-11.pdf

[17] http://www.rti.ca/pdf/report_sulphur.pdf