

# مدلسازی انتشار ناگهانی آمونیاک از مخازن ذخیره و تهیه

## طرح واکنش در شرایط اضطراری

فریده عتابی<sup>۱</sup>، علیرضا نریمان نژاد<sup>۲</sup>، احمد خوشگرد<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده محیط زیست و انرژی

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده محیط زیست و انرژی - مدیریت HSE شرکت ملی صنایع پتروشیمی

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی - مدیریت HSE شرکت ملی صنایع پتروشیمی

### چکیده

نشت مواد سمی و خطرناک در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از عوامل تهدید کننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع و همچنین آسیب به محیط زیست بوده است. از مهمترین مواد خطرناک موجود در این صنایع می توان به آمونیاک اشاره کرد. غلظتهای بالای ۲۰۰ppm آمونیاک برای انسان خطرناک بوده و بدلیل شرایط خاص نگهداری و ذخیره آن در مخازن بزرگ واحدهای تولید اوره و کود شیمیایی، نشت این گاز همواره خطر مرگ ده ها نفر را به دنبال داشته است. گرچه در صنایع شیمیایی تمهیدات ویژه ای جهت پیشگیری از نشت مواد و وقوع این چنین حوادثی در نظر گرفته می شود، اما اغلب بدلیل خطاهای انسانی در زمان کنترل واحد و یا بروز اشکالات فرآیندی در حین تعمیرات، باعث بروز نشتی می گردد. بنابراین یکی از روشهای موثر در انجام اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامد حوادث با استفاده از روشهای ارزیابی ریسک و مدلهای پخش اتمسفری است. امروزه مدلهای نرم افزاری متعددی همچون ALOHA و SLAB-DEGADIS-PHAST بمنظور مدلسازی پخش مواد سمی و خطرناک تهیه شده است که هر یک متناسب با کاربرد آن دارای ویژگیهای خاصی می باشند. با انجام مدلسازی پخش مواد با استفاده از نرم افزارهای معتبر، علاوه بر مشخص نمودن محدوده متاثر از نشت مواد سمی و خطرناک می توان برنامه واکنش در شرایط اضطراری را با استفاده از نتایج مدلسازی طرح ریزی نمود. در این مطالعه ضمن تشریح عوامل موثر بر تخلیه و انتشار مواد و بررسی نرم افزارهای مدلسازی موجود، نرم افزار PHAST بعنوان مناسبترین نرم افزار جهت مدلسازی انتشار آمونیاک از مخزن ذخیره ۲۰ هزار تنی یک واحد پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه) مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس نتایج مدلسازی و برنامه واکنش در شرایط اضطراری در زمان انهدام ناگهانی مخزن آمونیاک تهیه و ارائه گردیده است.

واژه های کلیدی: مدلسازی، انتشار، شرایط اضطراری

### ۱- مقدمه

اکثر حوادثی که در صنعت رخ می دهد غالباً بدلیل خروج یک ماده سمی یا قابل اشتعال بر اثر ایجاد پارگی در مخازن، خطوط لوله و یا اتصالات ایجاد می شود. عوامل مختلفی جهت مدلسازی تخلیه این مواد در اثر حوادث مذکور نظیر شکل انتشار مواد، فاز ماده تخلیه شده، اندازه نشتی، مدت نشتی و مسیر ترمودینامیکی موثر است.

علاوه بر مدلسازی تخلیه مواد، نحوه پخش ماده در محیط و اتمسفر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هدف اصلی مدلسازی پخش مواد، تخمین غلظت ماده منتشر شده در محیط در یک فاصله معین و زمان خاص است. انتشار مواد در محیط، از نظر رفتار ابر توده تشکیل شده ناشی از آن، به سه دسته گازها با شناوری مثبت، گازها با شناوری منفی و گازها با شناوری خنثی

تقسیم بندی می شوند . عواملی همچون شرایط آب و هوایی ، کلاس اتمسفری ، ارتفاع انتشار مواد ، ناهمواری های زمین و اندازه حرکت مواد رها شده بر شکل ابر و نحوه پخش آن موثر است.

امروزه مدل های زیادی بمنظور مدلسازی پخش گازها تهیه و توسعه یافته اند که با بهره گیری از مدل های ریاضی در قالب بسته های آماده نرم افزاری ارائه شده اند. هر یک از این مدل ها دارای مزایا و معایبی بوده که از مهمترین آنها می توان به مدل PHAST و DEGADIS-SLAB-HGSYSTEM-ALOHA اشاره کرد . در جدول (۱) به برخی از ویژگی های این نرم افزارها اشاره شده است.

جدول (۱) : ویژگی برخی نرم افزارهای مدلسازی

نام مدل	AFTOX	ALOHA	CHARM	AIRTOX	DEGADIS	DRIFT	PHAST
توسعه دهنده	US AirForce	NOAA	Radian Corp	ENSR Consulting Mills	U. of Arkansas Havens Spicer & AEA	Technology UK	DNV
اثر مومتم چشمه	-	-	-	-	√	√	√
چشمه سطح زمین	√	-	-	-	√	-	√
چشمه مرتفع	-	-	-	-	√	-	√
تبخیر از حوضچه	-	-	-	-	√	√	√
چشمه آبی	√	√	√	√	√	-	√
چشمه پیوسته	√	√	√	√	√	-	√
پیوسته با زمان مشخص	-	√	√	√	√	-	√
نشئی دو فازی	-	√	√	-	√	-	√

نرم افزار PHAST یکی از بهترین مدل‌های ارائه شده برای مدل‌سازی پخش مواد در محیط می باشد. این مدل طیف وسیعی از مواد خالص سبک و سنگین تر از هوا را در بر می گیرد و توانایی مدل‌سازی مخلوطی از مواد را نیز دارد. این نرم افزار بعنوان یکی از ابزارهای تصمیم گیری مدیران شرکتها / سازمانها در خصوص پیامد مخاطرات صنعتی محسوب می شود. از مهمترین ویژگیهای این نرم افزار می توان به User Friendly -Verification-Validation و Over Estimate بودن آن اشاره کرد .

نتایج حاصل از خروجی نرم افزار می تواند معیاری جهت تدوین حداکثر مناطق متاثر از غلظتهای خطرناک ناشی از نشت مواد در نظر گرفته شود بدین طریق امکان تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری میسر خواهد شد.

مهمترین حد برای تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری، حدی است که اثرات تهدید زندگی افراد در آن وجود دارد. مهمترین حدود تماس خطوط راهنمای برنامه ریزی واکنش در شرایط اضطراری<sup>4</sup> ( ERPG ) مربوط به انجمن بهداشت صنعتی آمریکا مطابق جدول (۲) می باشد.

جدول (۲): مقادیر ERPG برای آمونیاک

استاندارد Substance	ERPG1 (ppm)	ERPG2 (ppm)	ERPG3 (ppm)
NH3	25	200	1000

## ۲- سناریوی تحت مطالعه

در مطالعه حاضر به بررسی و مدل‌سازی نحوه انتشار آمونیاک از مخزن ذخیره ۲۰ هزار تنی در یک مجتمع پتروشیمی مواقع در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( جنوب ایران ) پرداخته شده و در ادامه به عوامل موثر بر کاهش محدوده متاثر از انتشار این ماده و همچنین تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری در آن مجتمع و منطقه متاثر از انتشار اشاره می گردد.

در این سناریو ، آمونیاک مایع در دمای  $34^{\circ}\text{C}$  - نگهداری می شود که با فرض انهدام ناگهانی مخزن مقداری از آن سریعاً تغییر فاز داده و بصورت گاز پخش می شود ولی مقدار قابل توجهی نیز روی سطح و در دیواره بتنی اطراف تانک جمع می شود که متناسب با آهنگ تبخیر شروع به تغییر فاز از مایع به گاز می نماید. در این حالت ترکیبی از آمونیاک گازی با ذرات ریز مایع وارد اتمسفر

<sup>4</sup> Emergency Response Planning Guideline (ERPG)

می‌شوند که می‌تواند توده سنگین‌تری نسبت به هوا را تشکیل دهد. در جدول (۳) مشخصات سناریوی مورد بررسی و مشخصات فیزیکی ماده آمونیاک نشان داده شده‌است.

جدول (۳): مشخصات عملیاتی سناریوی تحت مطالعه

ارتفاع دایک (m)	حجم دایک (m <sup>3</sup> )	فشار	دمای عملیاتی مخزن (°C)	حجم (m <sup>3</sup> )	ماده	نوع مخزن
۲	۴۵۰۰۰	اتمسفری	-۴۰	۲۰۰۰۰	آمونیاک	استوانه‌ای

### ۳- پارامترهای ورودی مورد نیاز مربوط به منبع در نرم افزار PHAST

۳-۱- پارامترهای مربوط به منبع انتشار: پارامترهای منبع برای مدل سازی نشت آمونیاک از مخزن ذخیره ۲۰ هزار تنی آمونیاک عبارتند از نوع ماده و مقدار آن (حجم یا جرم)، قطر روزنه (برای حوادث نشتی)، دما و فشار، ابعاد دیواره بتنی اطراف مخزن (برای حوادث مربوط به نشت آبی از مخازن) می‌باشند.

۳-۲- پارامترهای محیطی: منطقه پتروشیمی عسلویه بین کوه و دریا محصور گردیده است و این شرایط جغرافیایی ویژه باعث بوجود آمدن شرایط جوی خاصی در منطقه گردیده است. بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در منطقه مورد مطالعه (جدول ۴) متوسط دمای محیط (سانتیگراد)، رطوبت و سرعت باد مطابق جدول ذیل در نظر گرفته شده است.

جدول (۴): متوسط پارامترهای محیطی منطقه

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	فصل پارامتر
۱۴/۹۶	۱۹/۳۶	۲۹/۲۳	۲۵/۶	میانگین حداقل دما (سانتیگراد)
۲۳/۷۶	۲۹/۳۳	۳۷/۹۶	۳۶/۳۳	میانگین حداکثر دما (سانتیگراد)
۲۷	۳۱	۳۰	۱۲	میانگین حداقل درصد رطوبت نسبی
۸۸	۸۴	۸۲	۸۲	میانگین حداکثر درصد رطوبت نسبی
۷/۳۵	۹/۷۸	۶/۶۹	۸/۲۹	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)

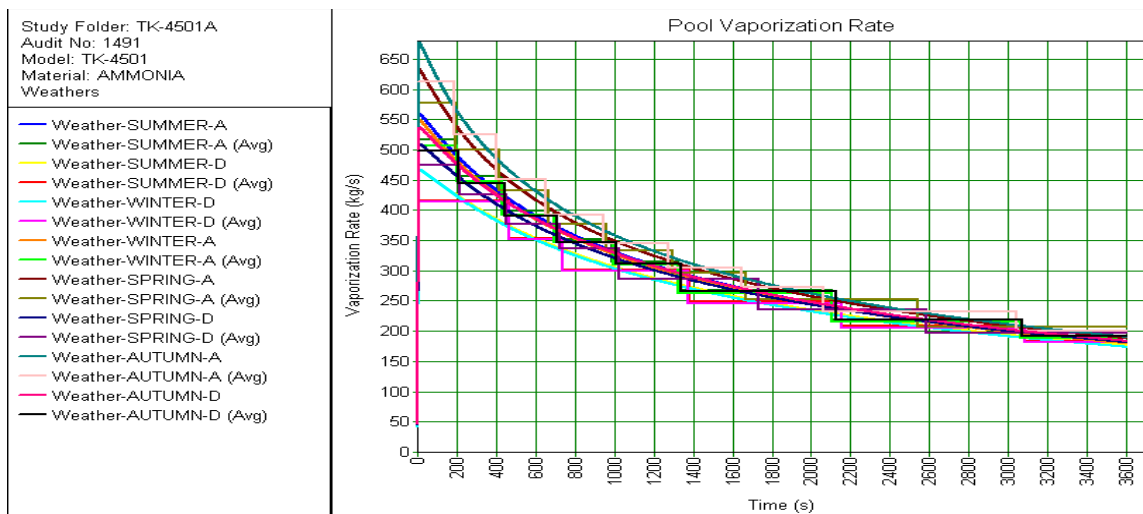
#### ۴- تعیین رده پایداری اتمسفر

رده پایداری اتمسفر یکی از پارامترهای تعیین کننده در میزان رقیق شدن گاز در اتمسفر است. اصولاً کلاس پایداری نشان دهنده درجه تلاطم اتمسفری است و با شاخص‌هایی از A (ناپایدارترین حالت) تا G (پایدارترین حالت) نشان داده می‌شود. برای تعیین رده پایداری روش‌های مختلفی وجود دارد که در مطالعه حاضر با توجه به اطلاعات قابل دسترس، از روش گیفورد (۱۹۹۷) استفاده می‌شود.

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه عسلویه و سرعت‌های بالای باد ( $6 \text{ m/s}$ )، رده پایداری منطقه، بین C و D برآورد می‌شود. با فرض در نظر گرفتن بدترین حالت شرایط D به عنوان شرایط غالب منطقه انتخاب گردیده است. همچنین رده پایداری A نیز به عنوان حالتی که می‌تواند شرایط ناپایدار جوی را نشان دهد نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۵- نتایج حاصل از مدل‌سازی تخلیه آمونیاک

با توجه به اینکه آمونیاک در دمای پایین و بصورت مایع در داخل مخزن نگهداری می‌شود، محاسبات نشان می‌دهد که پس از انتشار، قسمتی از آن تبدیل به توده گازی شده، اما بدلیل اینکه تانک ذخیره آمونیاک دارای فشار اتمسفری است، درصد کمی از آمونیاک مایع بعد از رهایش ناگهانی، سریعاً به فاز بخار تغییر فاز می‌دهد و مابقی بصورت مایع در سطح جاری می‌شود که با یک آهنگ تبخیر متغیر شروع به تبخیر می‌نماید. با توجه به اینکه مخزن مورد مطالعه دارای دیواره بتنی در اطراف آن است، آمونیاک آزاد شده در محدوده دیواره شروع به تبخیر می‌کند و به اصطلاح حوضچه تبخیر را تشکیل می‌دهد. در شکل (۱) آهنگ تبخیر برای فصول مختلف نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رود در تابستان آهنگ تبخیر شدیدتر است و البته پس از مدتی آهنگ تبخیر به دلیل کاهش دما در سطح حوضچه آمونیاک کاهش می‌یابد. کمترین آهنگ تبخیر نیز مربوط به زمستان است.



شکل (۱): تغییرات آهنگ تبخیر با زمان برای فصول مختلف

## ۶- نتایج حاصل از مدل سازی پخش آمونیاک

گاز تشکیل شده در اثر تبخیر از سطح حوضچه، در ابتدا بصورت گاز سنگین عمل می کند زیرا دارای دمای پایین و حاوی قطرات ریز مایع است و بعد از مدت کوتاهی (بسته به شرایط محیطی) رقیق شده و بصورت گاز سبک تر از هوا در می آید و از سطح زمین فاصله می گیرد.

مطابق مدل های خروجی مناطق تحت پوشش در اثر غلظت های (ERPG2) در شرایط پایداری D گستردگی زیادی نشان می دهد و غلظت های خطرناک (ERPG3) نیز دارای گستردگی قابل توجهی است و در تمامی شرایط هواشناسی می تواند واحدهای مجاور را تحت پوشش قرار دهد.

در جدول (۵) نتایج مدلسازی به کمک نرم افزار PHAST برای حداکثر فواصل مربوط به رخداد غلظت های ERPG1، ERPG2 و ERPG3 متناسب با فصول مختلف سال و کلاس پایداری A و D ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود بیشترین غلظت ها مربوط به رده پایداری D و در فصل تابستان است. نتایج بدست آمده با انتظارات موجود نیز همخوانی دارد زیرا شرایط جوی، در رده پایداری D نسبت به A دارای تلاطم پایین تری است و همچنین در تابستان به دلیل دمای بالا، آهنگ تبخیر و میزان ماده آمونیاک مایع تغییر فاز داده، نیز بیشتر است.

جدول (۵): حداکثر فواصل (متر) وقوع غلظت‌های ERPG1, ERPG2 و ERPG3

حد غلظت	زمستان پایداری D	زمستان پایداری A	تابستان پایداری D	تابستان پایداری A	بهار پایداری D	بهار پایداری A	پاییز پایداری D	پاییز پایداری A
ERPG1 (25 PPM)	۲۶۵۳۵	۵۳۲۹/۴	۲۹۵۸۵/۹	۵۹۵۴/۴	۲۷۷۰۱/۲	۵۵۳۶/۵	۲۴۹۷۴/۷	۵۰۹۷/۸
ERPG2 (200 PPM)	۵۸۶۴/۱	۱۴۲۹/۷	۶۴۷۳	۱۵۶۰/۲	۶۱۰۰/۶	۱۵۴۲/۴	۵۵۴۵/۳	۱۶۷۹/۲
ERPG3 (1000 PPM)	۱۷۴۸/۲	۴۷۵/۹	۱۹۸۹/۵	۵۳۰	۱۸۶۲/۸	۱۲۱۷/۱	۱۶۱۴/۴	۱۳۸۴/۱

مطابق شکل‌های (۲) و (۳) حداکثر فاصله تاثیرات غلظت ERPG3 در فصل تابستان (کلاس پایداری D) و تا فاصله ۱۹۸۹ متر رخ خواهد داد و چنانچه در همین فصل کلاس اتمسفری A را در منطقه داشته باشیم حداکثر فاصله رخداد ۵۳۰ متر خواهد بود. بنابراین ایجاد اتمسفر تلاطمی در منطقه و در زمان نشت آمونیاک باعث کاهش ۷۵ درصدی غلظت‌های خطرناک می‌گردد.



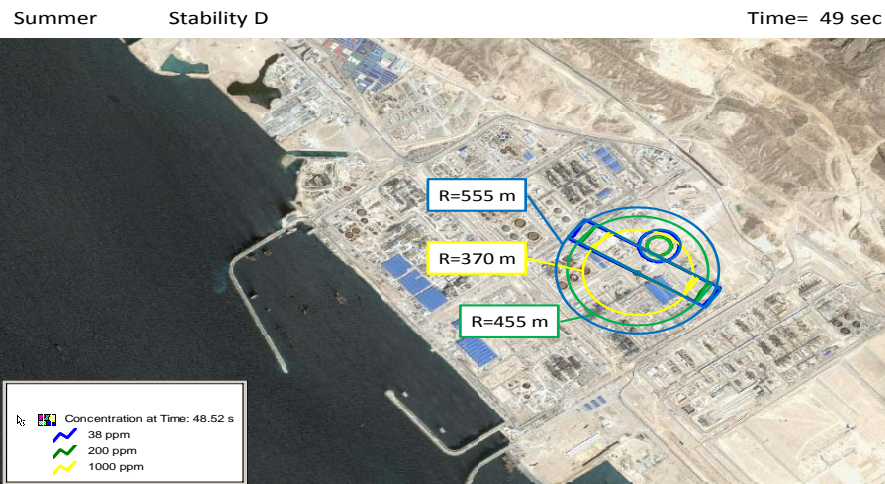
شکل (۲): حداکثر تاثیر غلظت انتشار آمونیاک در فصل تابستان (کلاس اتمسفری A)



شکل (۳): حداکثر تاثیر غلظت انتشار آمونیاک در فصل تابستان (کلاس اتمسفری D)

حال با توجه به نتایج اولیه بدست آمده از محدوده تحت تاثیر انتشار آمونیاک در منطقه متناسب با فصول مختلف سال، می توان نتیجه گرفت که در فصل تابستان و کلاس اتمسفری D بیشترین محدوده متاثر از نشت آمونیاک را خواهیم داشت. بدین منظور جهت تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری لازم است در زمانهای مختلف، مدلسازی مجددی از نحوه انتشار آمونیاک انجام گردد.

شکل (۴) نشان دهنده انتشار آمونیاک در لحظه اولیه پس از نشت می باشد و از دو جزء کلی تشکیل شده است. دواير متحدالمرکز نشان دهنده پاف اولیه حاصل از آزاد شدن کسری از ماده در اثر تغییر ناگهانی دما است. این مقدار در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل ماده است و فقط در زمان صفر آزاد می شود. در این زمان دو دایره متحد المرکز مشاهده می شود که بیانگر دو غلظت مختلف می باشد و پلوم ناشی از تبخیر مایع از سطح زمین است و دواير متحدالمرکز نیز نشان دهنده مکان هندسی مکانهای تحت تاثیر است. در این زمان نیز افزایش دامنه تاثیر غلظت های خطرناک مشخص است و تا جاده بالای سایت رسیده است.



شکل (۴) : انتشار آمونیاک در لحظات اولیه

مطابق شکلهای فوق حداکثر شعاعهای تحت تاثیر از غلظتهای خطرناک متناسب با زمان نشت آمونیاک از مخزن در جدول (۶) بیان شده است .

جدول (۶) : حداکثر شعاعهای تحت تاثیر از غلظتهای خطرناک متناسب با زمان نشت آمونیاک

زمان ( دقیقه )	حداکثر فواصل رخداد غلظت خطرناک ERPG <sub>3</sub> (1000 PPM) بر حسب متر	حداکثر فواصل رخداد غلظت خطرناک ERPG <sub>2</sub> (200 PPM) بر حسب متر
۱	۳۷۰	۴۵۵
۲/۳	۱۱۰۰	۱۵۰۰
۹/۷	۱۶۰۰	خارج از محدوده مطالعه
۲۲	۱۱۰۰	خارج از محدوده مطالعه
۴۶	۸۰۰	خارج از محدوده مطالعه
۶۳	-	۷۳۰

## ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

نظر به اینکه یکی از اقدامات موثر در کاهش تلفات انسانی در زمان انتشار گازهای سمی و خطرناک اطلاع رسانی بموقع در زمان نشت و اقدام موثر در تخلیه و جابجایی نیروهای انسانی می باشد بنابراین تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری نقش موثری در محدود نمودن اثرات زیان بار انتشار مواد سمی و خطرناک خواهد داشت . بنابراین اقدامات واکنشی در زمان انتشار آمونیاک بدلیل انفجار مخزن ۲۰ هزار تنی آمونیاک بشرح ذیل می باشد :

- با توجه به امکان تغییر شرایط جوی منطقه ( سرعت و مسیر باد ) در لحظات انتشار آمونیاک ، پیش بینی های لازم در خصوص تخلیه اضطراری از طریق دریا و اسکله ها به سمت ضلع غربی منطقه صورت پذیرد.
- در زمان انتشار آمونیاک بر اساس باد غالب منطقه انتشار ، مسیرهای تخلیه اضطراری از سمت کریدور اصلی بسمت فاز دو پتروشیمی عسلویه و شهرک شیرینو انتخاب شود
- چنانچه انتشار آمونیاک در راستای باد غالب منطقه و در فصل تابستان رخ دهد ، دو مجتمع پتروشیمی با تعداد پرسنل بیش از ۳۰۰۰ نفر در معرض این غلظتهای خطرناک قرار می گیرند.
- متناسب با شرایط باد غالب منطقه و همچنین مسیر حرکت انتشار آمونیاک در فصل تابستان ، پیشنهاد می گردد نقاط تجمع اضطراری چهار مجتمع پتروشیمی در ضلع جنوبی آن مجتمع ها انتخاب گردد تا بدین طریق تخلیه اضطراری از این واحدها با کمترین آسیب به نفرات صورت پذیرد.
- نظر به اینکه غلظتهای خطرناک ERPG3 آمونیاک تا ۴۶ دقیقه پس از انتشار در منطقه وجود دارد بنابراین برنامه تخلیه اضطراری و اولویتهای تخلیه متناسب با مسیر باد غالب طراحی گردیده است .
- آموزشهای لازم به موقع به نفرات در خصوص استفاده از لوازم حفاظت تنفسی مناسب و همچنین آشنایی آنان بامحللهای تجمع و تخلیه پیش بینی گردد.
- بانک اطلاعات جامع از مسئولین و نفرات کلیدی هر شرکت همراه با شماره تلفنهای ثابت / متغیر ، محللهای سکونت و دسترسی سریع به آنها جهت مواقع اضطراری تهیه گردد.

- بازرسی و بازدیدهای مستمر از سیستم های اعلام / هشدار ، سیستمهای اسپری آب بمنظور رقیق سازی آمونیاک و همچنین تجهیزات حفاظت فردی صورت پذیرد.
- انجام بازرسی های منظم (مطابق پیشنهاد شرکت سازنده) از شیرهای اطمینان بالای مخازن آمونیاک جهت اقدام بموقع این شیرها، در زمان افزایش فشارهای عملیاتی صورت پذیرد.
- پیش بینی خطوط تلفن اضطراری و تجهیزات ارتباطی جهت هماهنگی بیشتر با مجتمع های مجاور بعمل آید

## منابع :

- ۱- کاتالوگ "صنایع پتروشیمی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس" ، شرکت ملی صنایع پتروشیمی- تابستان ۱۳۸۶
- ۲- کاتالوگ "مجتمع های شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ویرایش اول" ، شرکت ملی صنایع پتروشیمی- ۱۳۸۶
- ۳- کاتالوگ "شرکت پتروشیمی برزویه مجری بزرگترین آروماتیک جهان"
- ۴- کاتالوگ "مجتمع شرکت پتروشیمی برزویه"
- ۵- بولتن "شرکت ملی صنایع پتروشیمی- شرکت پتروشیمی مبین"
- 6- WWW.NIPC.NET
- 7- J.M.Santamaria Ramiro, P.A. Brana Aisa, "Risk Analyses and Reduction in the Chemical Process Industry", 1998
- 8- P. Zannetti, "Air Pollution Modeling", 1990 (New York: Wiley)
- 9- Hanna, S. R., Chang, J. C., and Strimaitis, D. G., "Hazardous gas model evaluation with field observations," Atmospheric Environment, 27A(15) 2265-2285, 1993
- 10- PASQUILL, F. and SMITH, F.B. (1983). Atmospheric Diffusion, 3rd ed. (New York: Wiley)
- 11- CCPS. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs, AIChE, , New York, ISBN 0-8169-0474-X, 387 pp., 1994
- 12- The quest quarterly "A Comparison of vapor cloud explosion models", Volume 4, 1999
- 13- Shepherd, J. E., Melhem, G. A., and Athens, P., "Unconfined vapor cloud explosions: a new perspective," International Conference and Workshop on Modeling and Mitigating the Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials," New Orleans, LA, May 20-24, 1991, AIChE, New York, 1991, pp. 613-635
- 14- Clancey, VJ, Diagnostic Features of Explosion Damage, 6th International Meeting on Forensic Sciences, Edinburgh, Scotland, 197