فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۰، بهار ۹۱

مدل سازی انتشار نشت پروپان در یک صنعت

فریده گلبابایی[1*]

نورالدین آور[2]

ایرج محمد فام[3]

چکیده

نشت مواد سمی و خطرناک و آتشگیر در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از مخاطرات مربوط به افراد شاغل، ساکنین اطراف این صنایع و همچنین آسیب به محیط زیست بوده است. از مهم ترین مواد خطرناک موجود در این صنایع می توان به پروپان و گازهای سوختنی اشاره کرد. که به دلیل شرایط خاص نگه داری و ذخیره آن در مخازن بزرگ برای مصرف واحدهای تولیدی، دچار نشت، حریق و انفجار و بالطبع باعث مرگ ده ها نفر می گردد. در صنایع تمهیدات خاصی جهت پیشگیری از نشت مواد و وقوع این چنین حوادثی در نظر گرفته نمی شود.

بنابراین یکی از روش های موثر در انجام اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامد حوادث با استفاده از روش های ارزیابی ریسک و مدل های پخش اتمسفری است. امروزه جهت کمی نمودن ریسک ها (QRA) مدل های نرم افزاری متعددی همچون PHAST - SLAB-DEGADIS-ALOHA به منظور مدل سازی پخش مواد سمی، آتشگیر و خطرناک تهیه شده است که هر یک متناسب با کاربرد آن، دارای ویژگی های خاصی می باشند. با انجام مدل سازی پخش مواد توسط نرم افزارهای معتبر، علاوه بر مشخص نمودن محدوده متاثر از نشت مواد سمی، آتشگیر و خطرناک می توان برنامه کنترلی(پیشگیرانه، حین و پس از حادثه) و واکنش در شرایط اضطراری را با استفاده از نتایج مدل سازی طرح ریزی نمود.

در این مطالعه یک صنعت در منطقه شرق تهران مد نظر قرار گرفت. ورودی های نرم افزار طبق شرایط آب و هوایی منطقه داده شد و تعیین گردید که در فاصله یک کیلومتر،پروپان دارای تراکمی معادل ۱۷ برابر TLV موجود است و از طرفی این فاصله حد مفید اثر انفجار می باشد که موجب از بین رفتن حدود ۹۱۶ نفر از پرسنل و ۱۳۰ نفر از راکبین خودرو، همچنین خسارت مالی حدود حداقل ۴۰۱ میلیارد تومان می شود. لذا پیشنهادهایی از جمله ساخت و تجهیز ایستگاه مدیریت بحران،مرکز امداد و نجات،نصب دایک، فنس کشی و کنترل تردد خودروها، ex نمودن تجهیزات نزدیک به مخزن جهت جلوگیری و کنترل خطرات ناشی از انتشار عنوان می گردد.

کلمات کلیدی: مدل سازی، انتشار، انفجار، QRA، نرم افزارPHAST ، ex

---

۱- استاد، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران [*](مسئول مکاتبات).

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- استادیار، دانشکده بهداشت، دانشگاه بوعلی همدان.

مقدمه

گاز سوخت بسیار تمیزی است و از همین رو بسیار مطلوب واقع شده است. گاز را بسیار خوب می توان کنترل کرد و هم در مخازن و هم لوله کشی برای مصرف آماده می گردد، به علاوه گاز هرگز خاکستر تولید نمی‌کند تا مجبور شویم برای جمع آوری آن زحمت و هزینه صرف کنیم. لذا اکثر حوادثی که در صنعت رخ می دهد غالبا به دلیل خروج یک ماده سمی یا قابل اشتعال بر اثر ایجاد پارگی در مخزن، خطوط لوله و یا اتصالات ایجاد می شود. تخلیه به دو شکل انجام می پذیرد: دایمی و ناگهانی(۶-۱).

عوامل مختلفی بر مدل سازی تخلیه مواد: نظیر شکل انتشار مواد، فاز ماده تخلیه شده، اندازه نشتی، مدت نشتی و مسیر ترمودینامیکی و نقطه پایانی موثر است(۵-۱و ۱۳-۷).

علاوه بر مدل سازی تخلیه مواد، نحوه پخش ماده در محیط و اتمسفر از اهمیت ویژ ه ای برخوردار است. هدف اصلی مدل سازی پخش مواد، تخمین غلظت ماده منتشر شده در محیط در یک فاصله معین و زمان خاص، با توجه به شرایط محیطی است. انتشار مواد در محیط به شکل تخلیه مایع، تخلیه گازی و تخلیه دوفازی تقسیم می شود و در تخلیه گازی (از نظر رفتار ابر توده تشکیل شده) به سه دسته گازها با شناوری مثبت، گازها با شناوری منفی و گازهـــا با شناوری خنثی تقسیم بندی می شود (۵-۱و ۱۳-۷) .

عواملی همچون شرایط آب و هوایی، پایداری اتمسفر، ارتفاع انتشار مواد، ناهمواری های زمین و اندازه حرکت مواد رها شده بر شکل ابر و نحوه پخش آن موثر است (۵-۱و ۱۳-۷).

امروزه مدل های زیادی به منظور مدل سازی پخش گازها تهیه و توسعه یافته اند که با بهره گیری از مدل های ریاضی در قالب بسته های آماده نرم افزاری ارایه شده اند .هر یک از این مدل ها دارای مزایا و معایبی بوده که از مهم ترین آن ها می توان به مدل PHAST و-DEGADIS-SLAB HGSYSTEM-ALOHAاشاره کرد (۵-۱و ۱۳-۷) .

نرم افزار PHAST یکی از بهترین مدل های ارایه شده برای مدل سازی 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 مدل سازی مخلوطی از مواد را نیز دارد. از مهم ترین ویژگی های آن می توان به - User Friendly Verification-Validationو Over Estimate بودن اشاره کرد. و نتایج حاصل از خروجی نرم افزار می تواند معیاری جهت تدوین حداکثر مناطق متاثر از غلظت های خطرناک ناشی از نشت مواد در نظر گرفته شود و بدین طریق امکان تدوین راهکارهای کنترلی (پیشگیرانه، حین و پس از حادثه) وجود دارد. لذا این نرم افزار به عنوان یکی ازابزارهای تصمیم ساز مدیران صنایع در خصوص پیامد مخاطرات صنعتی محسوب می شود(۷، ۸، ۳، ۴، ۵ و۱).

پیامدهای ناشی از سمیت مواد رها شده در محیط را با معیارهای ERPG ، معیار IDLH، معیار TLV-TWA، TLV-STEL، معیار LD50 و معیار Probit می توان سنجید(۷، ۸، ۳، ۴، ۵ و۱).

پیامدهای ناشی از آتش، شدت تشعشع بالا و پیامدهای ناشی از انفجار به علت افزایش فشار ایجاد شده ناشی از موج انفجار در یک فاصله خاص می‌باشد.

۱- اهداف تحقیق

هدف از تحقیق حاضر ارایه تصویری از نحوه انتشار و انفجار و سطح تحت پوشش قبل از بروز حادثه از طریق مدلسازی انتشار نشت پروپان از مخزن ذخیره آن در یک صنعت می باشد.در این راستا نسبت به بررسی انواع مدل ها ی انتشار ناگهانی، انفجار و سپس انتخاب مدل مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، به کارگیری پارامتر های ورودی مدل، اجرای مدل و تعیین نحوه انتشار و توزیع پروپان و تجزیه و تحلیل نتایج مدل اقدام می شود.

۲- سناریوی تحت مطالعه

مخزن حاوی گاز مایع LPG در شرکت تولیدی واقع در جاده آبعلی با شرایط ذیل موجود است.

– **صنایع اطراف** :کارخانجات اطراف این کارخانه به ترتیب از شرق کارخانه تلوزیون سازی، شمال شرقی کارخانه پلاستیک سازی، در شمال کارخانه ملامین سازی، در غرب شرکت تولیدی و صنعتی شیر آلات و از جنوب نیز به جاده آبعلی و در روبـــروی آن کارخانه چاپ و نشر منتهی می شود.تمامی کارخانه های مذکور دارای گاز شهری می باشند.

– **تعداد پرسنل صنعت :**

جدول۱ – تعداد پرسنل کارخانه مذکور و کارخانه های اطراف

ردیف	نام واحد	تعداد پرسنل
۱	واحد برش و فرمدهی	۳۰
۲	واحد شستشو	۱۸
۳	واحد تولید لعاب و لعاب زنی	۲۴
۴	واحد کوره و اصلاح و بسته بندی	۲۶
۵	واحد اداری	۸
۶	کارخانه تلوزیون سازی	۱۳۰
۷	کارخانه پلاستیک سازی	۸۵
۸	کارخانه ملامین سازی	۹۲
۹	شرکت تولیدی و صنعتی شیر آلات	۱۹۶
۱۰	کارخانه چاپ و نشر	۲۳۵
مجموع		۹۱۶

– دانسیته ترافیکی (تعداد خودروهای عبوری):

با توجه به آمارگیری رندوم از خودروهای عبوری (ساعت۶,۳۰ صبح مورخه ۹۰/۹/۳۰) در هر ۵ ثانیه ۱۵ خودروی سبک و سنگین از این معبر عبور می کند.

جدول۲– تعداد پرسنل کارخانه مذکور و کارخانه های اطراف

ردیف	نوع خودرو	تعداد خودرو	تعداد پرسنل	مجموع
۱	باری(کامیون)	۲	۱	۲
۲	مسافر بری(اتوبوس)	۲	۴۰	۸۰
۳	مسافر بری(مینی بوس)	۱	۱۸	۱۸
۴	سواری	۱۰	۳	۳۰
مجموع پرسنل عبوری از این معبر در ۵ ثانیه				۱۳۰

– موقعیت مخزن پرو پان

مخزن موجود از شمال به واحد تولید و بسته بندی و از شرق به سمت کارخانه تلوزیون سازی، شمال شرقی کارخانه پلاستیک سازی، در شمال کارخانه ملامین سازی، در غرب شرکت تولیدی و صنعتی شیر آلات و از جنوب نیز به جاده آبعلی و در روبروی آن کارخانه چاپ و نشر منتهی می شود.

مشخصات گاز مایع و مخزن مورد استفاده به شرح ذیل می باشد.

گاز مایع در حالت مایع به چگالی ۱/۸۳ کیلوگرم بر متر مکعب، گاز مایع در حالت گاز به چگالی ۰/۵۷۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب

نوع مخزن ثابت، بیشترین فشار کار مجاز مخزن ۲۵۰ PSI در ۱۲۵ درجه فارنهایت

سطح خارجی M^2 ۲۰۷، حجم مخزن ۱۵۰۰متر مکعب، وزن آب هم حجم ۱۲۵۱۰ کیلوگرم

ضخامت کلگی ۱۵/۵ mm، ضخامت پوسته ۱۵ mm، قطر خارجی ۱۴۲۲ mm، طول ۳۹۱۰ mm

شرط: از این مخزن نمی بایستی برای محصولی که فشار بخار آن در دمای ۱۰۰ درجه فارنهایت بیشتر از psi ۲۱۵ می باشد استفاده شود.

شکل۱ - نمای یک مخزن LPG (نگارنده ۱۳۹۰)

- شناسایی علل ایجاد شکاف

به علت تردد لیفتراک و کامیون ها جهت بارگیری امکان تصادم و ایجاد پارگی روی مخزن و یا شکستن شیرهای ورودی و خروجی وجود دارد.از طرف دیگر به علت فرسودگی پس از چند سال و عدم انجام تست هیدرواستاتیک از محل درز جوش ها نیز امکان ایجاد شکاف وجود دارد.

- به کارگیری نرم افزار PHAST در مدل سازی انتشار و حریق مخزن پروپان

پارامترهای ورودی مورد نیاز برای مدل سازی نشت و انفجار با استفاده از نرم افزار PHAST عبارتند از :

الف -پارامترهای مربوط به چشمه /منبع انتشارSource ابعاد شکاف یک اینچ، فشار داخلی ۴bar، فشار خارجی فشار اتمسفرمی باشد

میزان بازده انفجار در اثر واکنش دهی پروپان کم و در حد۵٪ است(۵-۱، ۱۱، ۱۲و۱۴).

قدرت انفجار به علت باز بودن محیط یک می باشد. موج انفجار پروپان به علت انفجار در فضای باز سه بعدی می باشد(۵-۱، ۱۱، ۱۲و۱۴).

میزان حضور منابع جرقه به علت وجود هواکش ها در فواصل نزدیک و ex نبودن آن ها می توان د زیاد باشد.پس احتمال جرقه نیز تا ۰/۹ افزایش می یابد(۵-۱، ۱۱، ۱۲و۱۴).

ب -پارامترهای محیطی

در این مدل سازی مخزن حاوی گاز مایع مدل سازی می شود این مخزن در شرایط محیطی واقع می باشد لذا بدترین شرایط (متوسط دمای (سانتی گراد)، رطوبت و سرعت باد مطابق جدول ذیل در نظر گرفته شده است

جدول۳ - شرایط آب و هوایی (اداره هواشناسی- ایستگاه آبعلی- سال ۱۹۸۳-۲۰۰۵)

نوع اطلاعات	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	سالانه
سرعت باد(متربر ثانیه)	۴/۷	۴/۷	۳/۴	۲/۴	۳/۸
متوسط دما(درجه سلسیوس)	۶/۴۳	۱۹/۷	۱۰/۱	-۲/۷	۸/۴
درصد رطوبت	۶۷	۴۴/۶	۵۸	۷۹/۷	۶۲

- تعیین کلاس پایداری اتمسفر

کلاس پایداری اتمسفر یکی از پارامترهای تعیین کننده در رقیق شدن گاز در اتمسفر است .کلاس پایداری نشان دهنده درجه تلاطم اتمسفری است و با شاخصA (ناپایدارترین حالت) تا G پایدارترین حالت نشان داده می شود در زمان آزاد شدن مواد خطرناک، افزایش پایداری اتمسفر نشان دهنده کاهش و خنثی شدن تلاطم و بنابراین افزایش غلظت ها در سطح زمین است. هر چقدر پایداری بیشتر شود، گسترش ماده خطرناک ابعاد بیشتری پیدا می کند (۴، ۵، ۱۵، ۱۱، ۹و ۸) .

لازم به ذکر استF 1/5 موجود در اطلاعات ورودی نرم افزار نشان دهنده پایداری F با سرعت باد1/5 m/s است .

برای تعیین کلاس پایداری روش های مختلفی وجود دارد که در مطالعه حاضر با توجه به اطلاعات قابل دسترس از روش گیفورد (1997) استفاده می شود .

جدول۴ - تعیین کلاس پایداری(گیفورد-۱۹۹۷) (۹، ۱۱، ۴، ۵، ۱۵ و ۸)

هوای کاملا ابری در هر زمان از شبانه روز	شب: درجه ابری بودن آسمان		روز: میزان تابش خورشید			سرعت باد (m/s)
	بین ۰/۴ و ۰/۸	کمتر از ۰/۴	زیاد	متوسط	کم	
D	-	-	A	A-B	B	کمتر از ۲
D	F	E	A-B	B	C	۲-۳
D	E	D	B	B-C	C	۳-۵
D	D	D	C	C-D	D	۵-۶
D	D	D	C	D	D	بیشتر از ۶

با تــوجه به شرایط اقلیمی منطقـــه آبعلی و سرعت های بالای باد کلاس پایداری بین Cو B-C بــرآورد می شود. با فرض در نظر گرفتن بدترین حالت شرایط C به عنوان شرایط غالب منطقه قابل انتخاب است لیکن جهت پوشش بهتر وضعیت خطر از گزینه F در قسمت Weather Data نرم افزار استفاده می گردد.

و با توجه به شناسایی خطر روی این نوع مخزن دو نوع سناریو(انتشار از مخزن پروپان، حریق و انفجار مخزن پروپان) قابل رویداد خواهد بود.

- تعیین پیامدهای سناریو

غلظت مجاز این ماده برای کار نمودن با آن و اثرات روی بدن انسانPPM ۱۰۰۰ است .

یکی از پارامترهایی که در طول آنالیز حوادث منجر به حریق مورد استفاده است موج حرارتی(Radiation Effect) می باشد. و میزان تشعشعی است که از سطح آتش به محیط اطراف انتشار می یابد. لذا غالباً تشعشع های ناشی از حریق های بزرگ که مدت زمان های طولانی تا مهار کامل به طول می انجامد(مانند Pool fire) از اهمیت بالاتری نسبت به سایر موارد برخوردارند. برای نمایش آن از مقدار حرارت رسیده

بر واحد سطح ($\frac{KW}{m^2}$) استفاده شده که اعداد استانداردی نیز دارا می باشدکه در ذیل نمونه ای از این مقادیر استاندارد به همراه پیامدهای ناشی از هر مقدار ارایه شده است(۴-۲،۱۱و۱۲).

جدول۵ - پیامدها با توجه به میزان تشعشع(۴-۲، ۱۱و۱۲).

میزان تشعشع ($\frac{KW}{m^2}$)	پیامدها
۰/۵	این حد حرارت میزان تابشی است که از سوی خورشید به زمین می رسد.
۴	این حد حرارت حد آستانه درد می باشد که البته شخص توانایی فرار را دارد(حد ایمن).
۸	این حد حرارت حد آستانه آسیب به تاسیسات ثابت است.
۱۲/۵	این حد حرارت حد آستانه آسیب به تجهیزات فرایندی است.
۲۰	این حد حرارت حد آستانه ای است که در صورت رسیدن به انسان سبب آسیب شدید می شودو اگر تیم نجات نرسد موجب مرگ می شود.
۳۷/۵	این حد حرارت برای آسیب به تجهیزات کافی است، در صورت رسیدن این تشعشع به انسان، موجب مرگ آنی می شود.

در مواردی که حریق به یکباره بوقوع بپیوندد، علاوه بر موج حرارتی، موج انفجاری را نیز با خود به همراه خواهد داشت. این موج انفجاری به واسطه خاصیت دینامیکی که در اختیار دارد می تواند سبب تخریب های ناشی از موج حرارتی گردد. واحد ابعادی این موج فشاری psi یا bar می باشد برای آن که بتوانیم شدت آسیبهای وارده به محوطه تحت الشعاع نقطه رخداد حادثه را شناسایی و دسته بندی کنیم می بایست از معیارهایی برای این منظور استفاده نماییم که در ذیل برخی از این معیارها معرفی می گردد(۴-۲، ۱۱و۱۲).

جدول۶ - پیامدها با توجه به میزان فشار(۴-۲، ۱۱و۱۲).

Damage Observed	Overpressure(psi)
صدای آزار دهنده(۱۳۷ dB) در فرکانس پایین(۱۵-۱۰ Hz).	۰/۰۲
گاهی موجب شکست شیشه پنجره های بزرگ تحت تنش می گردد.	۰/۰۳
فشار صوتی(۱۴۳ dB)، بمب صوتی، شکست شیشه ها	۰/۰۴
شکستن شیشه های کوچک تحت تنش.	۰/۱
فشارهای موضعی برای شکستن شیشه.	۰/۱۵
فاصله ایمن به احتمال ۰/۹۵ بدون خطر جدی تا این مقدار،حد متصور، خطر برای سقف خانه،۱۰٪شکستن شیشه ها	۰/۳
صدمات کوچک به بدنه ساختمان	۰/۴
خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک،گاهگاهی صدمه به قاب پنجره ها	۰/۵
صدمات کوچک به بدنه ساختمان،خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک،گاهگاهی صدمه به قاب پنجره	۰/۷
تخریب قسمتی از ساختمان ،غیر قابل سکونت ساختن. خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک،گاهگاهی صدمه به قاب پنجره	۱/۰۰
قاب های استیل پنجره ها به طور خفیف خراب می شود.	۱/۳۰

تخریب قسمتی از دیواره ها و سقف خانه ها	۲/۰۰
تخریب اسکلت ساختمان(کمتر از حالت جدی)	۲/۳۰
۵۰٪تخریب ساختمان های آجری.تخریب فریم استیل ساختمان ها	۲/۵۰
صدمات کم به ماشین های سنگین(Ib ۳۰۰۰)، تخریب فریم استیل ساختمان هاو از جا در آمدن آن.	۳/۰۰
تخریب(ترکیدن) ساختمان صنایع به طور خفیف	۴/۰۰
صدمات خفیف دستگاه های کار روی چوب، پرس های هیدرولیک بزرگ (Ib ۴۰۰۰۰) موجود در ساختمان	۵/۰۰
پیچیده شدن واگن های دارای بار قطار	۷/۰۰
تخریب کامل دیواره های قطار دارای بار	۹/۰۰
احتمال تخریب کامل ساختمان، ماشین ابزارهای سنگین(Ib ۷۰۰۰) صدمات بد و حرکت آن، سالم ماندن ماشین ابزارهای خیلی سنگین(Ib ۱۲۰۰۰)	۱۰/۰۰
حد تخریب کامل	۳۰۰

۳- نتایج مدل سازی انتشار پروپان

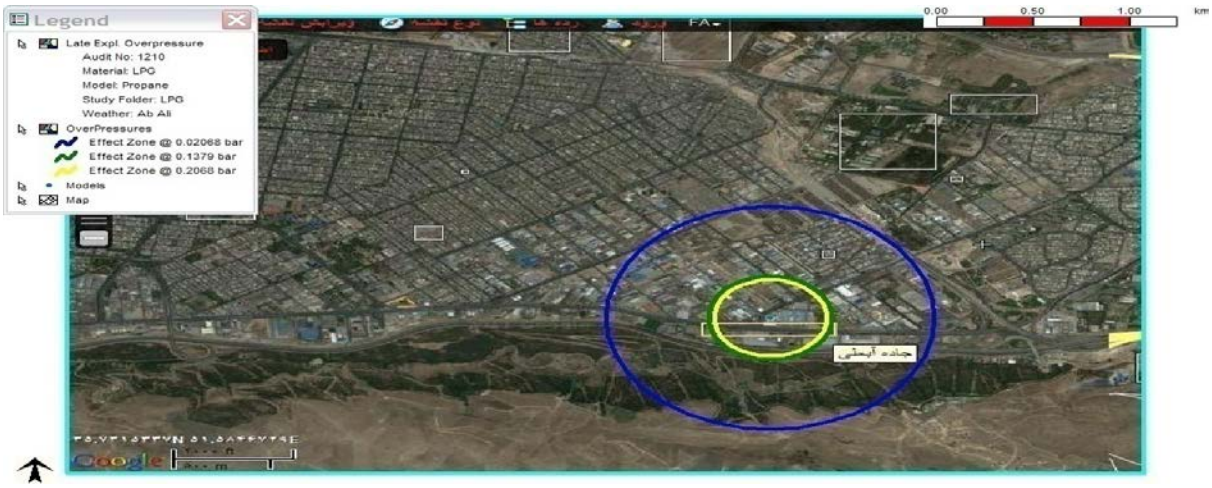
بر اساس یافته های حاصله این مخزن می تواند ایجاد حریق های (جت فایر،فلش فایرو فایر بال)و انفجار نماید.تصویر ۲ مربوط به نشت گاز و سپس انفجار ناشی از نشت می باشد. منطقه زرد رنگ با فشارbar ۰/۲۰۶۸ که معادل psi ۳/۰۳۹۹۶ است و طبق جدول ۶ این منطقه بافشار psi ۳/۰۳۹۹۶ می توان د موجب صدمات کم به ماشین های سنگین(Ib ۳۰۰۰)، تخریب فریم استیل ساختمان هاو از جا در آوردن آن ها، همچنین تخریب(ترکیدن) ساختمان صنایع به طور خفیف گردد. یعنی می توان انتظار تخریب استراکچر سوله و از جا کنده شدن تمامی ماشین آلات داخل کارگاه و مقداری از کارگاه های کناری که در این منطقه وجود دارند را داشت (۴-۲، ۱۱و۱۲).

شکل ۲-نشت گاز و سپس انفجار ناشی از نشت (نگارنده ۱۳۹۰)

منطقه سبز رنگ با فشارbar ۰/۱۳۷۹ که معادل psi ۲/۰۲۷۱۳ است و طبق جدول ۶ این منطقه بافشار psi ۲/۰۲۷۱۳ می توان د موجب تخریب قسمتی از دیواره ها و سقف خانه هـــا و تخریب اسکلت ساختمان ها گردد. یعنـــی می توان انتظار تخریب استراکچر سوله کارگاه و مقداری از کارگاه های کناری که در این محدوده وجود دارند را داشت (۴-۲، ۱۱و۱۲).

همچنین منطقه آبی bar ۰/۰۲۰۶۸ که معادل psi ۰/۳۰۳۹۹۶ است و طبق جدول ۶ این منطقه بافشار psi ۰/۳۰۳۹۹۶ می تواند موجب صدمات کوچک به بدنه ساختمان (بدون خطر جدی تا این مقدار)، خطر برای سقف خانه،۱۰٪ شکستن شیشه ها گردد. یعنی می توان انتظار تخریب یک یا دو دیواره از سوله کارگاه های کناری و شکستن شیشه های موجود در این محدوده را داشت(۴-۲، ۱۱و۱۲).

از طرفی در شعاع یک کیلو متری غلظت گاز بحدی بالا است که موجب حریق تمامی اشیاء موجود در این فاصله شده و میزان گرما در این محدوده بسیار زیاد است به طوری که موجب فعال شدن زنجیره چهارم حریق می شود (۴-۲، ۱۱و۱۲).



شکل ۳ - حریق و انفجار ناشی از حریق (نگارنده ۱۳۹۰)

تصویر ۳ مربـــوط به حریق و انفجـــار ناشی از آن می باشد. این مخزن در صورتی که به هر نحوی دچار سوراخ و ریزش (leak) گردد ایجاد آتش فورانی (جت فایر) می نماید. که سه منطقه تشعشعی در آن دیده می شود.

منطقه زرد رنگ با تشعشع KW/m2 ۳۷/۵ است و طبق جدول ۵ این منطقه با تشعشع KW/m2 ۳۷/۵ می تواند موجب آسیب به تجهیزات، همچنین در صورت رسیدن این تشعشع به انسان، موجب مرگ آنی می شود(۴-۲،۱۱ و ۱۲).

منطقه سبز رنگ با تشعشع KW/m2 ۱۲/۵ است و طبق جدول ۵ این منطقه با تشعشع KW/m2 ۱۲/۵ حد آستانه آسیب به تجهیزات فرایندی می باشد(۴-۲،۱۱ و ۱۲).

همچنین منطقه آبی رنگ با تشعشع KW/m2 ۴ است و طبق جدول ۵ این منطقه با تشعشع KW/m2 ۴ حد آستانه درد بوده و البته شخص توانایی فرار را دارد(حد ایمن) (۴-۲،۱۱ و ۱۲).

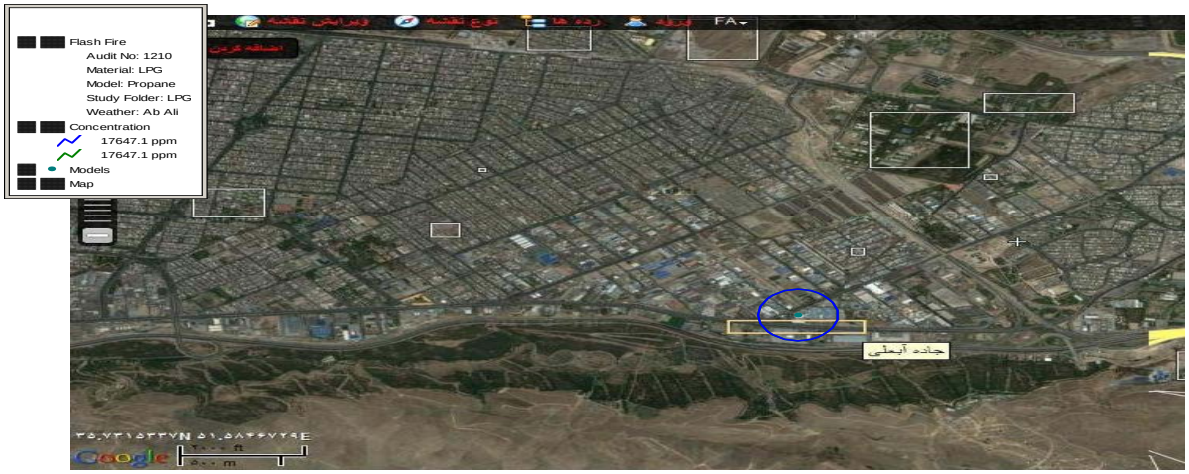
جت فایر(شکل ۴) زمانی اتفاق می افتد که مخزن از پایین ترین قسمت دچار سوراخ و یا ترک شود. چنانچه در این وضعیت عامل جرقه ای وجود داشته باشد (مدارات سوئیچینگ،کارکرد کوره و....) دچار حریق شده و افزایش گرمای مخزن موجب افزایش بخارات داخل مخزن و بالطبع افزایش فشار داخل مخزن و سریعتر شدن تخلیه مایع درون مخزن می گردد.که به این علت منجر به انفجار مخزن در زمان بسیار محدودی می گردد(۴-۲،۱۱ و ۱۲).

وقتی مخزن فوق الذکر از بالاترین نقطه دارای ترک و یا سوراخ گردد و دمای محیط هم به بالا باشد، موجب پوشش حجم زیادی از گاز در اطراف مخزن و ایجاد حریق ناگهانی (فلش فایر) می گردد که یک احتراق غیر انفجاری از گاز در هوای آزاد می‌باشد.

شکل ۴- جت فایر (آتش فورانی) (نگارنده ۱۳۹۰)

این نوع حریق در زمانی که گاز به طور یکنواخت در محیط پراکنده شده باشدو سرعت شعله های آن دارای شتاب کافی برای ایجاد تاثیرات فشاری نباشد غیر انفجاری است اما در صورتی که ابر گازی قابل اشتعال که در یک محیط متراکم نظیر اتاق مخازن، به صورت آشفته و غیر یکنواخت تجمع یافته و با یک جرقه تاخیر دار همراه شود سبب ایجاد انفجار ابر گازی می‌شود. آتش سوزی ناگهانی معمولا بیشتر از چند دهم ثانیه طول نمی‌کشد و سرعت شعله آن نیز کم و برای گاز پروپان بین ۱۲-۲۰ m/s است. لذا تاثیرات ناشی از تشعشعات حرارتی آن در مقایسه با سایر آتش سوزی ها پایین می‌باشد. محدوده شعله این نوع آتش سوزی بین نصف حد پایین اشتعال و محل خروج گاز در نظر گرفته می‌شود. تاثیرات فشاری آن نیز از مرتبه نامحسوس تا مرتبه ای که ممکن است سبب آسیب رسیدن به یک پنجره شود طبقه بندی می‌شوند. این نوع آتش سوزی معمولا سطح گسترده ای را در بر می‌گیرد و سبب کاهش اکسیژن در محیط می‌شود(۴-۲،۱۱ و ۱۲).

اکثر خطرات مربوط به آتش سوزی ناگهانی به دلیل تشعشات حرارتی و تماس مستقیم با شعله می‌باشد. در نقشه حریق ناگهانی دو منطقه با غلظت مشخصی از گاز مشخص شده است.



شکل ۵ - حریق ناگهانی(فلش فایر) (نگارنده ۱۳۹۰)

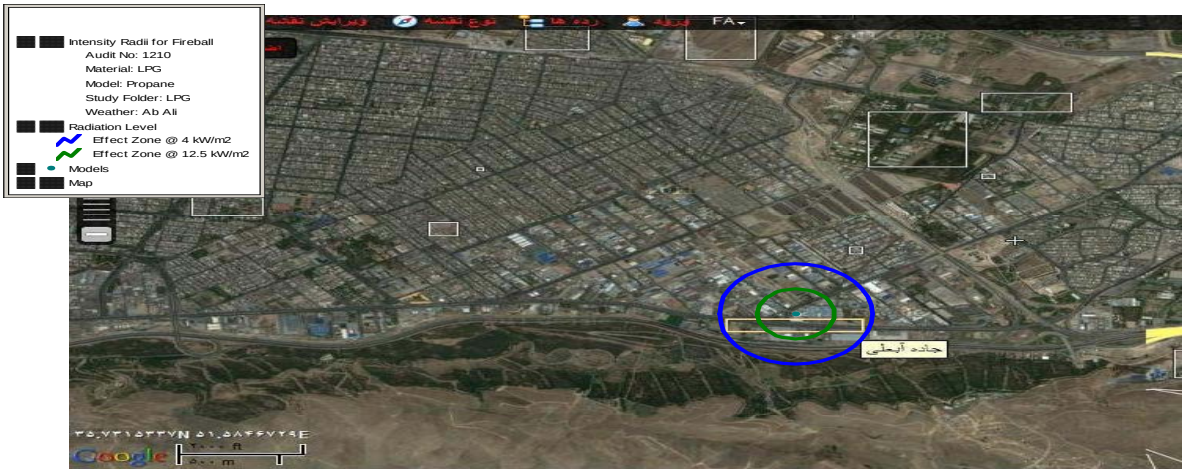
منطقه سبز رنگ با غلظت ۱۷۶۴۷ PPM می باشد که ۱۷ برابر TLV (استانداردTLV-TWA برابر۱۰۰۰PPM به عنوان حد مجاز می باشد) است. لذا انسان در این محدوده که بالاتر از استاندارد مجاز است دچار خفگی(پوشش هوای

اطراف توسط ترکیب گاز پروپان (LPG) یک ماده خفگی آور ساده که میزان اکسیژن هوا را محدود می کند، خود موجب خفگی کارکنان و تردد کنندگان در این محدوده می گردد)، اختلالات عصبی و عدم قدرت تصیم گیری صحیح و گیجی خواهد شد. این محدوده کارخانه را پوشش می دهد(۱۴).

منطقه آبی رنگ با غلظت ۱۷۶۴۷ PPM می باشد که ۱۷ برابر TLV است و موجب خفگی، اختلالات عصبی و عدم قدرت تصیم گیری صحیح و گیجی خواهد شد. این محدوده کارخانه مذکور و کارخانجات همجوار و خط ماشین رو را پوشش می دهد(۱۴) .

هر دو منطقه فوق دارای غلظت یکسانی از گاز بوده و نیز در هوای آزاد می‌باشد. لذا گاز به طور یکنواخت در محیط پراکنده شده و با توجه به این که سرعت شعله های گاز نیز دارای شتاب کافی برای ایجاد تاثیرات فشاری نیست. لذا در محوطه کارگاه غیر انفجاری و درون کارگاه انفجاری است(۵-۱و ۱۱و۱۲).

از طرف دیگر اگر مخزن فوق الذکر از بالاترین نقطه(بالاتر از سطح مایع درون مخزن) دارای ترک و یا سوراخ گردد و در صورتی که دیواره خارجی این مخزن در معرض شعله‌های آتش قرار گیرد باعث افزایش تدریجی دمای دیواره مخزن و مایع درون آن می‌گردد، موجب جوشش مایع درون مخزن به دلیل افزایش دما شده و به دلیل تبخیر مایع فشار گاز در بالای سطح مایع شروع به افزایش می‌کند تا به فشار طراحی شیرهای اطمینان مخزن می‌رسد. که شیرهای اطمینان باز شده و بخارات را به درون محیط می‌فرستد. اگر دیواره مخزن باز هم در معرض شعله‌های آتش بماند، استحکام آن به تدریج کاهش یافته و در این حالت مخزن به طور ناگهانی می‌ترکد (البته هر عامل دیگری غیر از آتش نیز می توان د باعث افزایش دما یا فشار مخزن شود). و باعث پخش ناگهانی گازهای حاصله از جوشش مایع فضای اطراف مخزن می شود و در صورتی که این گازها بلافاصله، با منبع جرقه‌ای تماس یابند محترق شده و کره ای از آتش را در فضای بالای مخزن ایجاد می‌کنند که به سرعت به سمت بالا می‌رود و به تدریج کوچک‌تر شده تا این که در ارتفاعی از بالای مخزن ناپدید می‌گردد.پیامدهای حاصله از آتش کروی معمولاً براساس تشعشع کره آتش ایجاد شده و موج فشار ناشی از انفجار صورت می‌گیرد(۳-۷و ۱۲و۱۳).



شکل ۶ -حریق کروی(فایر بال) (نگارنده ۱۳۹۰)

همان طور که در نقشه آتش کروی مشاهده می شود دو منطقه تشعشع در آن مشاهده می گردد.

منطقه سبز رنگ با تشعشع ۱۲/۵ KW/m2 است و طبق جدول ۵ این منطقه با تشعشع ۱۲/۵ KW/m2 حد آستانه آسیب به تجهیزات فرایندی می باشد(۴-۲،۱۱ و ۱۲).

همچنین منطقه آبی رنگ با تشعشع ۴ KW/m2 است و طبق جدول ۵ این منطقه با تشعشع ۴ KW/m2 حد آستانه درد بوده و البته شخص توانایی فرار را دارد(حد ایمن). (۴-۲،۱۱ و ۱۲).

در حالت های نشت و حریق و انفجار تعداد ۹۱۶ نفر از کارکنان کارخانجات و ۱۳۰ نفر از خودرو سواران عبوری از این محدوده از بین خواهند رفت و بالطبع خسارات مربوط به برخورد خودروها، حوادث جانی و ایجاد بستر مناسب برای انفجار با تصادف خودروها، همچنین رسیدن جرقه به پلوم بخار(ابر بخار) این گاز موجب خسارت مالی فراوانی(حدود حداقل ۱۸۰/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان قیمت دستگاه های موجود در صنایع و مبلغ ۷۴۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان با توجه به جدول ۷ برای خسارت به خودروهای عبوری در لحظه اول)خواهد شد. بدیهی است با یک حساب ساده می توان خسارت وارده به خودروها را در مدت ۱۰ دقیقه به دست آورد (مبلغ ۸۸/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان). و در مجموع در مدت ۱۰ دقیقه خسارتی حدود ۲۶۸/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان به وجود خواهد آمد و از طرف دیگر دیه هر فرد ۱۲۶/۰۰۰/۰۰۰ تومان است و در کل برای ۱۰۴۶ نفر مبلغ ۱۳۱/۷۹۶/۰۰۰/۰۰۰ تومان خواهد شد. و در کل ۴۰۰/۵۹۶/۰۰۰/۰۰۰ تومان خواهد شد. با توجه به این که ۱۰۴۶ نفر در این اتفاق از بین خواهند رفت، لذا فاجعه ای بزرگی محسوب می گردد(البته این عدد فارغ از میزان دیه خودرو سوارانی است که درلحظات بعدی (غیر از لحظه اول) وارد محدوده شده و بحث های قانونی آن و سایر هزینه ها می باشد). این موضوع در زمانی که دو حالت حریق و انفجار پس از هم رخ دهد شدت بیشتری دارد. پس باید با به کارگیری تمهیداتی از بروز آن جلوگیری نمود و آن را تا حد زیادی تحت کنترل در آورد.اما متاسفانه در این صنعت فقط به تعدادی شیر اطمینان روی این کپسول اکتفا نموده و هیچ گونه اقدام حفاظتی روی آن انجام نشده است.لذا در بخش بعدی پیشنهاداتی جهت جلوگیری از تبدیل نشت و حریق کپسول مذکور به فاجعه ارایه خواهد شد.

جدول۷- محاسبه حدودی قیمت خودروهای عبوری در لحظه اول (نگارنده ۱۳۹۰)

ردیف	نوع خودرو	تعداد خودرو	قیمت تقریبی	مجموع
۱	باری(کامیون)	۲	۱/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۳/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۲	مسافر بری(اتوبوس)	۲	۱/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۳/۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۳	مسافر بری(مینی بوس)	۱	۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۴	سواری	۱۰	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰	۱/۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰
هزینه کل				۷/۴۰۰/۰۰۰/۰۰۰

۵- بحث و نتیجه گیری

این مخزن در زمان نشت تا شعاع حدود یک کیلو متر را با غلظت ppm ۱۷۶۴۵پوشش داده و لذا بر اساس TLV-TWA انسان در این محدوده که بالاتر از PPM ۱۰۰۰ است دچار اختلالات عصبی و عدم قدرت تصیم گیری صحیح می شود و از طرف دیگر در این قسمت ایجاد حریق ناگهانی(فلش فایر) و آتش فورانی (جت فایر) می نمایدو برد موثر انفجار ناشی از نشت آن نیز در همین فاصله می باشد.

این مخزن در زمان حریق نیز تا شعاع یک کیلو متر بسیار خطر ناک است و تکه های بدنه این کپسول در این شعاع پرتاب شده که علاوه بر کارخانجات اطراف موجب از بین رفتن خوروها و انسان های سوار بر خودروهای مذکور و افراد پیاده در حال تردد می شوداز طرفی در این شعاع غلظت گاز به حدی بالا است که موجب حریق تمامی اشیاء موجـــود در این فاصـــله می شود. میزان گرما در این محدوده بسیار زیاد می باشد به طوری که موجب فعال شدن زنجیره چهارم حریق می شود. در این حادثه تعداد ۱۰۴۶ نفر از بین خواهند رفت و حداقل مبلغ ۴۰۰/۵۹۶/۰۰۰/۰۰۰ تومان نیز خسارت مالی به وجود خواهد آمد. لذا می بایست از تبدیل نشت و حریق کپسول مذکور به فاجعه با یکسری از تمهیدات جلوگیری نمود.

۶- پیشنهادات

۱. ایجاد دایک با توجه به شیب کارخانه به سمت جاده آبعلی
۲. ایجاد حفاظ اطراف مخزن با فاصله جهت حذف ترکش های تولیدی در زمان انفجار
۳. ایجاد سیستم اعلام(گازیاب) و اطفاء حریق (با به کارگیری دی اکسید کربن و گازهای بی اثر حرارتی (مثل آرگن، نیتروژن، هلیوم) برای محیط های بسته و یا به کار گیری موادشیمیایی خشک، اسپری آب، مه در محیط های باز)
۴. ایجاد کمیته واکنش در شرایط اضطراری و تعیین شرح وظایف هر کدام از اعضاء در منطقه و کارخانه
۵. ایجاد کمیته بحران و تعین شرح وظایف هر کدام از اعضاء در منطقه و کارخانه
۶. قرار دادن پایگاه امداد و نجات در محدوده یک و نیم کیلو متری از کارخانه مذکور
۷. بازرسی روزانه از مخزن و تست فشار (هیدرواستاتیک) سالیانه
۸. ایجاد سیستم تخلیه اضطراری به مخازن دیگرتحت فشار با شیرهای کنترلی جدا کننده
۹. افزایش تعداد شیرهای اطمینان
۱۰. Ex نمودن مدارات سوئیچینگ اطراف مخزن
۱۱. استفاده از طلق بجای شیشه برای پنجره های نزدیک مخزن

۷- پیشنهاد برای تحقیقات بعدی:

۱. تاثیر سوپاپ های اطمینان، تعداد مورد نیاز، احتمال نشت از این سوپاپ ها و حجم انتشار و مدل سازی آن.
۲. مواد محافظی که بتوان در درون کپسول ها قرار داد تا از تلاطم مایع مخزن جلوگیری کرده و میزان نشت را به حجم کمی محدود نماید (به اصطلاح در زمان نشت و حجم نشت و... تاخیر بیاندازد)(مشابه محصول های تجاری مثل XCCES)
۳. شستشو گرهای گاز و اثر آن روی انسان و کارایی آن روی کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از انتشار گاز، همچنین مدل سازی پوشش آن روی کپسول ها و خطوط لوله های گاز و.....
۴. نمونه برداری از تعداد کارخانجات دارای این نوع کپسول و مدل سازی انتشار و حریق و انفجارحاصل از آن ها و تاثیر روی کل منطقه در یک منطقه از تهران
۵. نمونه برداری از تعداد کارخانجات دارای سوخت CNG و مدل سازی انتشار و حریق و انفجارحاصل از آن ها و تاثیر روی کل منطقه در یک منطقه از تهران

مطالعه موارد ۱ و ۲ و ۳ روی سوخت CNG

منابع

1. The quest quarterly “A Comparison of vapor cloud explosion models", Volume 4, 1999
2. Shepherd, J. E., Melhem, G. A., and Athens, P., “Unconfined vapor cloud explosions: a new perspective,” International Conference and Workshop on Modeling and Mitigatingthe Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials,” New Orleans, LA, May 20–24, 1991, AIChE, New York, 1991, pp. 613–635
3. 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.

۴. گوهررخی. مهدی، ترابی. مرتضی، گلعذاری. فواد، اکبری. فرزاد، سال۱۳۸۸،" ارزیابی کمی و کیفی ریسک در واحدهای فرایندی، روش های بررسی حوادث و شبیه سازی شبکه flare با نرم افزار aspen flarenet "، انتشارات طراحان تاش رسانه

۵. عبدالحمید زاده. بهمن، بدری. ناصر، سال ۱۳۸۹، "ارزیابی کمی و کیفی ریسک در صنایع فرایندی "، انتشارات اندیشه سرا.

۶. منبع: سازمان بهینه سازی سوخت کشور

7. Robert,Alley.E,1998,"Air Quality Control Handbook"
8. P. Zannetti, "Air Pollution Modeling", 1990 New York: Wiley
9. Nevers. N.D, McGraw. Hill ,2000,"Air Control Engineering"
10. J.M. Santamaria Ramiro, P.A. Brana Aisa,1998, "Risk Analyses and Reduction in the Chemical Process Industry",
11. Hanna, S. R., Chang, J. C., and Strimaitis, D. G., 1993, "Hazardous gas model evaluation with field observations," Atmospheric Environment, 27A (15) 2265–2285, PASQUILL, F. and SMITH, F.B. (1983). Atmospheric Diffusion, 3rd ed. (New York: Wiley)
12. Clancey, VJ, Diagnostic Features of Explosion Damage, 6th International Meeting on Forensic Sciences, Edinburgh, Scotland, 1972

۱۳. ترکیان. ایوب، اسلامی. زهرا، سال ۱۳۸۰،" مهندسی کنترل آلودگی هوا"، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن.

14. TLVs and BEIs , 2010

۱۵. تقدیسیان. ح. میناپور، سال۱۳۸۲، "تغییرات آب و هوا "، سازمان محیط زیست.