



مدل سازی و شبیه سازی پیامد انفجار گاز هیدروژن در یک واحد شیمیایی

محمد رضا کاظمی*

دانشکده مهندسی شیمی، مهندسی فرآیند دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

حمیدرضا مقدم زاده

دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله اثرات نشت احتمالی گاز هیدروژن برای پیشگیری از وقوع حادثه، در یک پلنت تولید گاز هیدروژن مورد مطالعه قرار گرفته است. برای شبیه سازی از نرم افزار PHAST نسخه ۶/۵۳/۱ استفاده شده و به بررسی پدیده های انفجار ابر بخارا (وی سی ای) و موج ناشی از انفجار ۲ (مولتی انرژی) که در صورت انفجار هیدروژن رخ می دهد، پرداخته شده است. این تحقیق با میزان ضریب مرگ و میر (۱۰۰٪) و سطح پایداری جوی (B, D, E) و در سه سرعت مختلف باد (۲،۳،۵) m/s هم جهت با فوران انجام شده است. نتایج نشان داد موج ناشی از انفجار ابر گاز هیدروژن داخل کوره تا فاصله ۲۰ متری از آن ۳-۷۳/۵ psi می باشد که پس از ارزیابی نتایج با جدول استاندارد، این موج انفجار باعث تخریب کامل کوره و آسیب به ماشین آلات، ادوات و تجهیزات فرآیندی با وزن ۱۵۰۰ کیلوگرم و هم چنین سبب تخریب سازه های فلزی ساختمان ها و از جا در آمدن آن ها می شود.

کلیدواژه: ارزیابی پیامد خطر، انفجار، شعاع انفجار، موج ناشی از انفجار، ایمنی

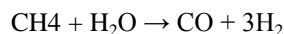
* Email: Sir_kazemi@yahoo.com

^۱Vapor Cloud Explosion (VCE)

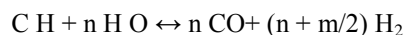
^۲Multi Energy

مقدمه

هیدروژناسیون یک واکنش شیمیایی پر کاربرد در صنعت است، که از طریق آن هیدروژن به محل پیوندهای غیر اشباع که به طور طبیعی در تری گلیسیریدها وجود دارند، اضافه و آن‌ها را اشباع می‌دهد. هیدروژناسیون ویژگی فیزیکی و شیمیایی چربی‌ها و روغن‌ها را تغییر داده و روغن مایع به چربی‌های نیمه جامد یا جامد تبدیل شده و در نتیجه محدوده کاربرد آن‌ها در صنایع غذایی وسیع می‌باشد. یکی از روش‌های متداول تولید گاز هیدروژن روش رفرمینگ متان با بخار (ام اس آر)^۳ می‌باشد، که از طریق واکنش گاز طبیعی توسط بخار آب فوق اشباع در حضور کاتالیزور نیکل صورت می‌گیرد. متان در واکنش تعادلی با بخار شرکت می‌کند و محصول واکنش به طور عمده هیدروژن و گاز منوکسید کربن می‌باشد. حدود ۸۶ درصد خروجی ریفورمر گاز هیدروژن می‌باشد، که پس خروج از روزنه نشتی به قطر ۵ میلی‌متر، وارد فضای بخش تشعشع کوره با دمای ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود و در این حالت پدیده انفجار ابر بخار رخ می‌دهد، که باعث بروز خطرات ایمنی می‌شود [۱۸].



نقش اصلی بخار در واکنش‌های تبدیل با بخار این است که تعادل را به سمت تولید CO و H₂ هدایت می‌کند و با توجه به تعادلی بودن واکنش، با کاهش فشار، واکنش به سمتی پیش می‌رود که تعداد بیش‌تری مولکول هیدروژن تولید شود. علاوه بر متان سایر هیدروکربن‌ها نیز می‌تواند در واکنش تبدیل با بخار آب شرکت کرده و تولید هیدروژن نمایند. از این رو شکل عمومی واکنش تبدیل بخار آب را می‌توان به صورت ذیل نشان داد



این واکنش به شدت گرماگیر بوده و برای تولید بیش‌تر هیدروژن و مونوکسید کربن باید واکنش در شرایط دمای بالا و فشار پائین انجام شود. فشار معمولاً " ثابت می‌باشد، بنابراین بالا بردن درجه حرارت، واکنش را به سمت تولید

هیدروژن پیش می‌برد. برای تأمین چنین حرارت بالایی (حدود ۸۰۰ الی ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد) راکتوری که واکنش در آن انجام می‌شود را در بخش تشعشعی یک کوره قرار می‌دهند [۱۲].

در این فرآیند نسبت بخار به کربن خوراک ورودی ۳/۵ می‌باشد، بنابراین با این شرایط حدود ۷۵ درصد متان به هیدروژن تبدیل می‌شود و در صورت نیاز به بالا بردن راندمان و درصد خلوص هیدروژن تولیدی، مخلوط گازهای حاصل از احتراق را از PSA عبور داده و به حدود ۹۹ درصد هیدروژن تولیدی دست پیدا می‌کنیم. نشت مواد به محیط می‌تواند باعث به وجود آمدن آتش و انفجار شود. این حوادث می‌توانند به سلامتی اشخاص، محیط و دستگاه‌های فرآیندی آسیب برسانند. در حالت کلی اثر و نتیجه حوادث مذکور را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم نمود:

- گرمایی: تشعشع حرارتی
- شیمیایی: رها شدن مواد سمی و شیمیایی به محیط
- مکانیکی: انفجار (موج فشاری) و پرتاب شدن قطعات تجهیزات به اطراف

در صورتی که مواد نشت یافته به منبع حریق نرسد، ابری از مواد قابل اشتعال^۱ ایجاد می‌گردد و اگر این ابر به منبع حریق برسد، آتش گرفته و در صورتی که تراکم ابر بالا باشد سبب انفجار و در نهایت بروز موج انفجاری می‌گردد [۲۲].

انفجار فضای محدود^۲: این نوع انفجار در داخل مخازن، تجهیزات فرآیندی، لوله‌ها و محوطه‌های محصور اتفاق می‌افتد. موج ناشی از انفجار پیامدهایی را به همراه دارد که در جدول ۱ آورده شده است [۱]، [۱۶].

^۱VCE

^۲Confined Explosions

^۳Methane Steam Reforming (MSR)

جدول ۱: پیامدها با توجه به میزان موج ناشی از فشار انفجار

Overpressure (psf)	Damage Observed
۰/۰۲	صدای آزاردهنده (۱۳۷dB) در فرکانس پایین (۱۵Hz-) (۱۰)
۰/۰۳	گاهی موجب شکست شیشه پنجره های بزرگ تحت تنش می گردد
۰/۰۴	فشار صوتی (۱۴۳ dB)، بمب صوتی، شکست شیشه ها
۰/۱	شکستن شیشه های کوچک تحت تنش
۰/۱۵	فشارهای موضعی برای شکستن شیشه
۰/۳	فاصله ایمن به احتمال ۰/۹۵ بدون خطر جدی تا این مقدار، حد متصور، خطر برای سقف خانه، ۱۰٪ شکستن شیشه ها
۰/۴	صدمات کوچک به بدنه ساختمان
۰/۵	خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک، گاهگاهی صدمه به پنجره ها
۰/۷	صدمات کوچک به بدنه ساختمان، خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک، گاهگاهی صدمه به قاب پنجره ها
۱/۰۰	تخریب قسمتی از ساختمان، غیر قابل سکونت ساختن. خرد شدن شیشه های بزرگ و کوچک، گاهگاهی صدمه به قاب پنجره
۱/۳۰	قاب های استیل پنجره ها به طور خفیف خراب می شود.
۲/۰۰	تخریب قسمتی از دیواره ها و سقف خانه ها
۲/۳۰	تخریب اسکلت ساختمان (کمتر از حالت جدی)
۲/۵۰	۵۰٪ تخریب ساختمان های آجری. تخریب فریم استیل ساختمان ها
۳/۰۰	صدمات کم به ماشین های سنگین (۳۰۰۰ Ib)، تخریب فریم استیل ساختمان ها و از جا در آمدن آن.
۴/۰۰	تخریب (ترکیدن) ساختمان صنایع به طور خفیف
۵/۰۰	صدمات خفیف دستگاه های کار روی چوب، پرس های هیدرولیک بزرگ (۴۰۰۰ Ib) موجود در ساختمان.
۷/۰۰	پیچیده شدن واگن های دارای بار قطار
۹/۰۰	تخریب کامل دیواره های قطار دارای بار
۱۰/۰۰	احتمال تخریب ساختمان ها، ماشین ابزارهای سنگین (۷۰۰۰ Ib) صدمات بد و حرکت آن، سالم ماندن ماشین ابزارهای خیلی سنگین (۱۲۰۰۰ Ib)
۳۰۰	حد تخریب کامل

مواد و روش

مدل‌های پخش

مجموعه ای از معادلات ریاضی هستند که برای یک سناریوی داده شده تخمین ارزیابی ابر آلاینده بصورت یک تابع از موقعیت و زمان آن را ممکن می‌سازد. یک جنبه مهم

مدت زمان آزاد شدن می‌باشد. مطابق مدت زمانی که آزادسازی اتفاق می‌افتد انتشارات می‌تواند به دو دسته تقسیم شود [۱۳]، [۱۹].

(۱) سریع

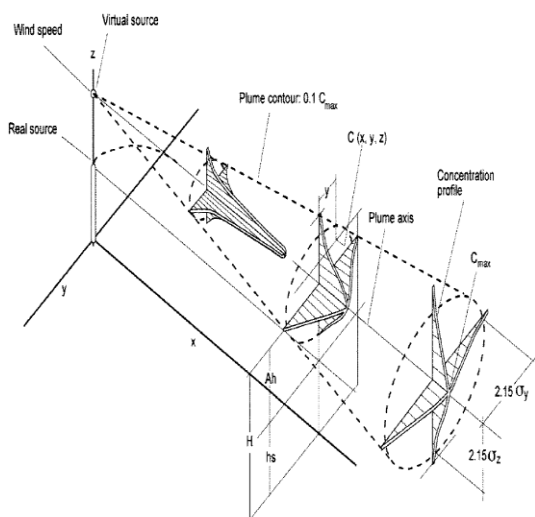
(۲) پیوسته

معیارهای مختلفی برای شناسایی سریع یا پیوسته بودن یک آزادسازی استفاده می‌شود.

انتشار سریع: وقتی که زمان مورد نیاز برای رسیدن ابر به یک موقعیت داده شده طولانی‌تر از زمان آزاد سازی است. یک مثال می‌تواند انفجار یک مخزن شامل گاز تحت فشار باشد.

انتشار پیوسته: وقتی که مدت زمان آزاد سازی طولانی‌تر از زمان مورد نیاز برای رسیدن به ابر به یک موقعیت داده شده می‌باشد. یک مثال در این مورد خروج دود از دودکش می‌باشد. انتشار سریع وقتی است که ماده در کمتر از یک دقیقه به سمت اتمسفر برود. انتشار پیوسته وقتی که حرکت ماده به اتمسفر بیش از یک دقیقه می‌باشد.

در حقیقت بیش‌تر انتشارات رفتار حد واسی را نشان می‌دهد. مدت آزاد سازی t_f محدود است. مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن ابر به موقعیت یک مشاهده کننده در فاصله X می‌تواند به صورت: $t_x = X \cdot UX - 1$ [۱۷]. فرض شده است که ابر با سرعتی برابر سرعت باد حرکت می‌کند. زمان مورد نیاز برای پخش کامل ابر برابر با $t_d = X \cdot Uw - 1$ [۱۷]. بنابراین لحظه‌ای که در معرض ابر قرار گرفتن مشاهده کننده به پایان خواهد رسید می‌تواند به صورت $t = t_x + t_d$ [۱۷]. تخمین زده شود. بعلاوه هر چند برای یک مشاهده کننده قرار گرفتن در نزدیک منبع، انتشار ممکن است پیوسته باشد برای مشاهده گر دیگر قرار گرفتن در نقطه ای دورتر می‌تواند به صورت سریع در نظر گرفته شود. مفهوم منبع پیوسته، به مدت زمانی که غلظت پایا در یک موقعیت داده شده وجود دارد وابسته است.



شکل ۱: توزیع گوس افقی و عمودی غلظت آلاینده [۱۶]

شبیه‌سازی

برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی در نرم افزار PHAST ابتدا لازم است که فرآیند مورد نظر به شکل یک سناریو تعریف شده و اطلاعات مورد نیاز از قبیل تعیین شرایط آب و هوایی، نوع ماده قابل انفجار و یا سمی بودن و... سناریو تعریف شده در این جا گاز هیدروژن تولیدی در داخل کوره حرارتی در دمای ۹۰۰-۸۰۰ درجه سلسیوس و در فشار ۱۵-۱۸ بار که به روش متان استیم رفرمینگ تولید می‌گردد می‌باشد. در صورتی که قطر نشتی ایجاد شده بر روی لوله رفرمر ۵ میلی‌متر باشد به بررسی پیامدهای حاصل وی سی ای مولتی انرژی پرداخته شده است. هم‌چنین شرایط پایداری جو طبق جدول پاسکوویل در سه معیار: ناپایدار (B)، خنثی (D) و نسبتاً پایدار (E) و سرعت باد (m/s) ۲,۳,۵ و سطح مرگ و میر ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است.

مدل پخش برای گازهای خنثی (مدل‌های گوس)

معادلات پخش گوس برای توصیف پخش گازهای اتمسفریک که دانسته آن‌ها شبیه به هوا است استفاده شده است. بنابراین، می‌توانند برای آلاینده‌هایی که وزن مولکولی آن‌ها شبیه به هوا یا آن‌هایی که سنگین‌تر از گازهای هوایی که به اندازه کافی در منیع رقیق شده‌اند می‌تواند به کار رود. این مورد اغلب در مورد آلاینده‌های شامل گازهای احتراق یا بخارات جدا شده از مایعات می‌باشد.

بیش‌تر این معادلات بر اساس معادلات عمومی پیشنهاد شده به وسیله پاسکوویل^۱ و گیگورد^۲ می‌باشند:

این معادله تفاوت در غلظت در زمان مختلف در جهت X به صورت تابعی از متغیرها در تمام جهات یک فضای سه بعدی می‌دهد. مقادیر k نفوذ در سه جهت می‌باشد.

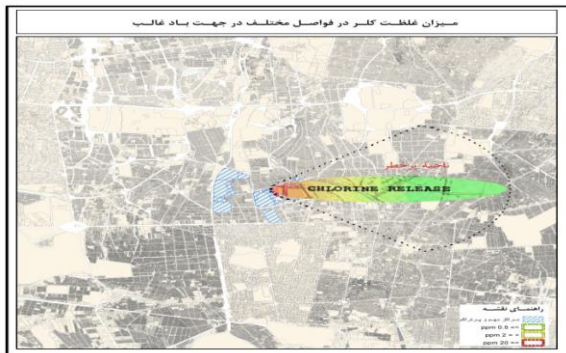
مدل‌های گوس بر اساس فرض‌های ساده کننده زیر می‌باشند:

۱. شدت جریان جرمی انتشار در طول زمان ضرورتاً پیوسته است.
۲. ماده ای از دود به وسیله واکنش شیمیایی جدا نشده است، تمام مواد منتشر شده از منبع در اتمسفر باقی می‌ماند.
۳. تاثیر گراویته بر روی مواد منتشر شده وجود ندارد.
۴. وضعیت آب و هوایی در طول زمان انتقال از منبع ثابت است.
۵. موانعی مانند کوه، ساختمان وجود ندارد و زمین به صورت افقی است.
۶. ابر به وسیله باد منتقل شده است [۷]، [۱۲]، [۱۸].

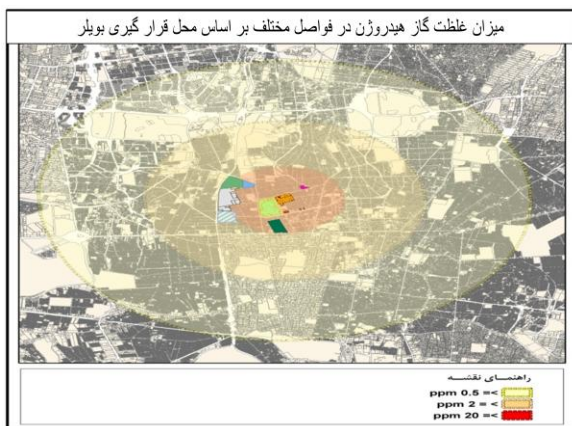
^۱ Pasquill
^۲ Giggord

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی

با توجه به باد غالب تهران که باد غربی می‌باشد (وزش از غرب به شرق) طراحی شده و نحوه پخش گاز هیدروژن و میزان غلظت هیدروژن را بر حسب فاصله از مرکز انتشار، در جهت باد نشان می‌دهد. این مناطق، پرخطرترین مناطق هنگام انتشار هیدروژن می‌باشد و همچنین مناطق حساس مورد آسیب نیز در این نقشه مشخص شده است.



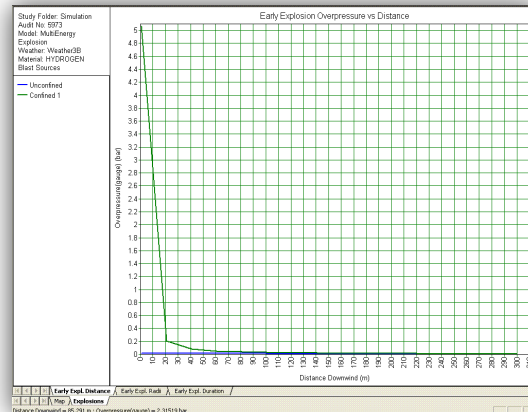
نقشه ۱: میزان غلظت گاز هیدروژن در فواصل مختلف در جهت باد غالب در نقشه ۲ میزان غلظت در تمامی جهات با توجه به فاصله، با در نظر گرفتن احتمال تغییر جهت وزش باد در تمامی جهات و شرایط پایدار برای اتمسفر با رعایت کامل احتیاط و ایمنی طراحی شده است.



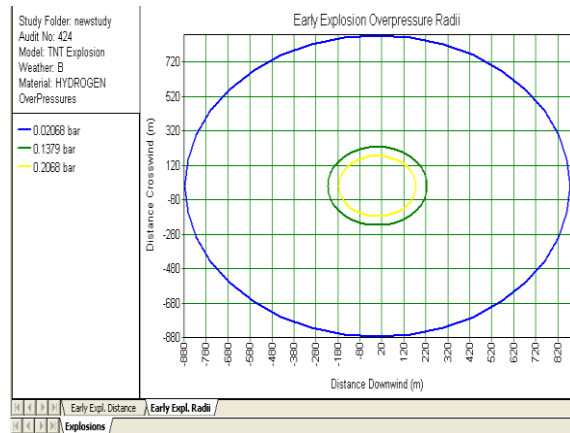
نقشه ۲: غلظت (mg/m^3 یا ppm) را نسبت به فاصله از محل نشت بویلر در تمامی جهات (با توجه به راهنمای نقشه) را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

موج ناشی از انفجار ابر گاز هیدروژن داخل کوره تا فاصله ۲۰ متری از آن $3-73/5$ psi می‌باشد که پس از ارزیابی نتایج



نمودار ۱: موج ناشی از انفجار تا فاصله ۳۰۰ متری از محل نشت با استفاده از مدل Multi Energy برای سرعت های $(2.3, 5) m/s$ پایداری جوی (B,D,E)



نمودار ۲: موج ناشی از انفجار تا فاصله ۳۰۰ متری از محل نشت با استفاده از مدل VCE برای سرعت های $(2.3, 5) m/s$ پایداری جوی (B,D,E)

بررسی دامنه انتشار گاز هیدروژن

نحوه انتشار گاز هیدروژن، تابعی مستقیم از جهت باد می‌باشد. نحوه انتشار گاز هیدروژن با در نظر گرفتن جهت باد غالب در نقشه‌ها به طور کامل آورده شده است. نقشه ۱ موقعیت پلنت را که هیدروژن تولید می‌شود با رنگ نارنجی مشخص کرده است. همچنین کاربری‌های مهم و حساس را نیز با توجه به راهنمای نقشه مشخص نموده است. در نقشه زیر

با جدول استاندارد، این موج انفجار باعث تخریب کامل کوره و آسیب به ماشین آلات، ادوات و تجهیزات فرآیندی با وزن ۱۵۰۰ کیلوگرم و همچنین سبب تخریب سازه‌های فلزی ساختمان‌ها و از جا در آمدن آن‌ها می‌شود.

منابع

- [1] CCPS, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", 2nd Edition, New York.
- [2] Center for Chemical Process Safety, (2000).
- [3] DNV Software PHAST, Version 6.0. DNV, (2000).
- [4] "Shell HAZOP Manual", EP 95-03013, (1995).
- [5] Det Norske Veritas, "CO₂ Sequestration Risk Assessment", April (2003).
- [6] CCPS, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", 2nd Edition, New York.
- [7] Chemical Process Safety, (1992).
- [8] AIChE/CCPS, "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires and BLEVEs", New York, Center for Chemical Process Safety, 1994.
- [9] Center for Chemical Process Safety (CCPS), Guidelines for chemical process quantitative risk analysis., American Institute of Chemical Engineers; New York, 2000.
- [10] Cheremisinoff, N.P., Handbook of Hazardous Chemical Properties, Butterworth-Heinemann, London, pp. 311-350 (2000).
- [11] Risk Assessment. Committee for the Prevention of Disasters; 1999.
- [12] Process Industries Hazard Identification, assessment, and Control. 3rd ed, Elsevier; 2005.
- [13] Protection. 88 (2):97-108.
- [14] Risk acceptance criteria for hydrogen refueling stations., Norsk Hydro ASA and Det Norske Veritas.
- [15] U.S. Department of Energy, Hydrogen Incident Reporting and Lessons Learned., 2011, May 24.
- [16] Gerboni, E. Salvador., 2008, Hydrogen transportation systems: elements of risk analysis. Energy. 2009; 34:2223-9 H₂ Release and Jet Dispersion-Validation of PHAST and KFX. Report for DNV Research CT1910., DNV Energy.
- [17] Joaquim Casal., industrial safety series, Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in industrial Plants, Volume 8.
- [18] Wikipedia, the Free Online Encyclopedia, www.wikipedia.com.
- [19] Davies, M.L. and Cornwell, D. A., 1991, Introduction to Environmental Engineering. McGraw-Hill, Inc. New York.
- [20] Britter, R. E. and McQuaid, J., 1988, Workbook on the Dispersion of Dense Gases. Health and Safety Executive., Sheffield.
- [21] F. Pasquill. Meteorol. Mag, 90 (1961) 33.
- [22] Google Earth