تحلیل حوادث جاده‌ای ناشی از حمل و نقل گازهای سمی‌در شهر حسن آباد واقع در مسیر ترانزیتی تهران – بندر عباس

منصور اورعی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

علی اصغر آل شیخ، دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

ابوالقاسم صادقی نیارکی، استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: m.oraei@mail.kntu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۰

چکیده:

هر نوع ماده‌ای که توانایی بروز خسارت در انسان، تجهیزات و محیط زیست را داشته باشد، یک ماده پرخطر محسوب می‌شود. پیامدهای ناشی از بروز حادثه در زمان حمل و نقل مواد خطرناک، می‌تواند موارد متعددی همچون اثرات سوء روی سلامتی انسان‌ها (مانند مرگ انسان و جراحات بدنی)، تأثیرات مخرب زیست محیطی، مشکلات ترافیکی و غیره باشد. افزایش حمل و نقل این مواد به منزله افزایش احتمال وقوع حادثه و درنتیجه افزایش خسارات ناشی از این حوادث است. ارزیابی حوادث ناشی از حمل و نقل مواد پرخطر امری لازم و ضروری است. از آنجا که بیشترین حمل و نقل مواد پرخطر از طریق جاده‌ها صورت می‌گیرد، به این جهت هدف این مقاله ارزیابی مکانی حوادث ناشی از حمل و نقل جاده‌ای مواد پرخطر است. ارزیابی حوادث ناشی از حمل جاده‌ای مواد پرخطر نیازمند طیف وسیعی از داده‌ها و اطلاعات آماری، آنالیز، مدل سازی و تصمیم گیری مکانی در سطوح مختلف است. در این میان سیستم اطلاعات مکانی (GIS) با ابزار و توانمندی‌هایش می‌تواند فرآیند حل مساله را تسهیل کند. در این مقاله به ارزیابی اثرات ناشی از نشت گازهای سمی‌پرداخته شده است. جهت شبیه سازی منطقه اثر، از مدل گوسین یا گازهای سنگین که در آن اثرات مربوط به سرعت، جهت وزش باد و شرایط اتمسفری در نظر گرفته شده، استفاده شده است. جهت پیاده سازی مطالعه موردی، با استفاده از نرم افزار Aloha[1] مناطق اثر را به دست آورده و سپس این مناطق وارد محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی (ArcGIS v9.3) شده و از قابلیت‌های ویژه محیط‌های GIS برای تحلیل‌های مکانمند استفاده شده است. در این مقاله باتوجه به محل وقوع حادثه در شهر حسن آباد تعداد جمعیت در معرض خطر مرگ، محاسبه و برای گاز آمونیاک برابر ۳۸۶ نفر شده است.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل، سیستم اطلاعات مکانی، مواد خطرناک، منطقه اثر، ریسک

۱. مقدمه

مواد خطرناک از اصلی ترین ملزومات جهت توسعه صنعت کشورها محسوب می‌شوند. بر اساس تعریف سازمان حمل و نقل ایالات متحده، هر نوع ماده ای که توانایی بروز خسارت در انسانها، تجهیزات و محیط زیست را دارا باشد یک ماده پر خطر محسوب می‌شود.

ریسک، پارامتر اصلی جدا کننده حمل و نقل مواد پرخطر، از حمل و نقل سایر مواد است. در حالی که سوانح مربوط به مواد خطرناک گهگاهی اتفاق میافتد، زیانهای متعاقب آن به مردم و محیط زیست در بسیاری موارد هزینه‌های اجتماعی زیادی را در پی دارد. در رابطه با حوادث مواد خطرناک می‌توان مواردی همچون تصادفاتی که حین حمل و نقل رخ می‌دهند و منجر به نشت مواد پرخطر می‌شوند و نیز حوادثی که حین بارگیری و تخلیه بار ممکن است حادث شوند را در نظر گرفت.

پیامد[۲]های یک چنین حادثه‌ای نیز می‌تواند موارد متعددی از جمله اثرات بر روی سلامتی انسان (مانند مرگ، جراحات، تأثیرات بلند مدت به دلیل در معرض قرارگیری[۳] به مدت طولانی)، از بین رفتن دارایی‌ها، تأثیرات زیست محیطی (مانند آلودگی خاک، آسیب به گونه‌های گیاهی و جانوری)، تخلیه ساکنین اطراف منطقه وقوع حادثه و مشکلات ترافیکی باشد.

در گذشته حوادثی در زمان حمل مواد پرخطر رخ داده که متاسفانه خسارات مالی، زیستی و از همه مهم‌تر جانی بسیاری در پی داشته است. این مقاله به بررسی مسأله ریسک و نحوه مدل کردن آن در حمل فرآورده‌های پرخطر می‌پردازد. مساله آنالیز ریسک حمل مواد پرخطر نیازمند طیف وسیعی از داده‌ها و اطلاعات آماری، آنالیز، مدل سازی و تصمیم گیری در سطوح مختلف است. در این میان سیستم اطلاعات مکانی (GIS) با ابزار و توانمندی‌هایش می‌تواند فرآیند حل مساله را تسهیل کند. اما مشکل اصلی پیدا کردن بهترین مدل از بین مدل‌های مختلف جهت استفاده در GIS است. در این پژوهش ابتدا منطقه اثر مربوط به حادثه مواد خطرناک توسط نرم‌افزار تخصصی Aloha ایجاد وسپس خروجی را وارد نرم‌افزار Arc GIS نموده و آنالیزهای مورد نیاز انجام می‌شود. بخش بعدی به ساختار کلی مقاله می‌پردازد.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

مقوله حمل و نقل مواد پرخطر به دلیل عامل ریسک و خطرات آن مورد توجه بسیاری قرار گرفته و محدوده تحقیقات وسیعی را به خود اختصاص داده است. تاکنون از جنبه‌های مختلف و متنوعی به این موضوع نگاه شده است. در زمینه مدل کردن ریسک حمل و نقل مواد پرخطر Saccomanno و Chan (۱۹۸۵) احتمال وقوع تصادف را به عنوان معیاری برای ریسک حمل و نقل مواد پرخطر ارائه کردند. Batta و Chiu (۱۹۸۸) مجموع جمعیتی را که به واسطه زندگی در حاشیه راه‌های مورد استفاده محموله‌های پرخطر در معرض ریسک قرار دارند، به عنوان فاکتور ریسک در نظر گرفتند.

Alp (۱۹۹۵) ترکیبی از دو حالت فوق را به عنوان مدل ریسک اجتماعی[۴] معرفی کرد و با در نظر گرفتن دو فاکتور اصلی احتمال وقوع تصادف و جمعیت در معرض خطر میزان ریسک را برآورد می‌نمود Zhang و همکاران (۲۰۰۰) با در نظر گرفتن حمل و نقل هوایی مواد پرخطر گازی و استفاده از GIS، نحوه انتشار گازهای سمی‌را در فضای اطراف محل احتمالی حادثه مدل سازی کردند و با پیدا کردن منطقه خطر، میزان جمعیت در معرض خطر را نیز براورد نمودند.

Erkut (۲۰۰۷) روش‌های مختلف مدل کردن ریسک مواد پرخطر را در قالب یک کتاب مورد بررسی قرار داد. Chakrabarti و Parikh (a۲۰۱۱) نیز در کارهای مشابهی حوادث مواد پرخطر را بررسی کرده و نیز مدل کردن محدوده اثر ناشی از نشت مواد خطرناک به وسیله نرم افزار Alloha، مورد بررسی قرار دادند و در نهایت نتایج حاصل را جهت نمایش مکانی از محیط Google Earth استفاده نمودند. در این مقاله سعی بر آن است که به مسئله حمل و نقل مواد

پرخطر از دیدگاه مکانی پرداخته شود و بتوان بین نرم افزار تخصصی Aloha و محیط‌های GIS ارتباط برقرار کرد و بتوان اثرات ناشی از این حوادث را به صورت مکانی مورد بررسی قرار داد.

۲-۱ سناریوهای مختلف در اثر بروز حادثه در زمان حمل مواد خطرزا

Chakrabarti و همکاران(۲۰۱۱) بدترین سناریوهایی را که در اثر وقوع حادثه در حین حمل و نقل مواد خطرناک پیش خواهد آمد به صورت زیر در نظر گرفتند.

سناریوی BLEVE[۵] در بررسی ریسک حمل مواد خطرناک، برای مایعات قابل اشتعال در نظر گرفته می‌شود، به این صورت که مایع قابل اشتعال ذخیره شده در مخزن در اثر فشار از هم می‌پاشد و مایع درون آن به سرعت به گاز تبدیل می‌شود و در نهایت باعث انفجار می‌شود. ازجمله عواقب این انفجار می‌توان به گلوله‌های انفجاری، آتش سوزی و اثرات حرارتی آن اشاره کرد. اثرات حرارتی پدیده BLEVE می‌تواند باعث مرگ انسان‌ها، سوختگی درجه ۲ و درجه ۱ شود.

سناریوی UVCE[۶] زمانی رخ می‌دهد که توده انبوهی از گاز که قابلیت اشتعال دارد و آتش گرفتن آن به تأخیر افتاده در یک جا جمع شده باشد. در اثر آتش گرفتن این توده گاز خساراتی چون مرگ انسان‌ها، صدمه و آسیب‌های ساختمانی به بار خواهد آمد.

سناریوی آزاد شدن گاز غیر قابل اشتعال که اثرات سمی‌دارد، می‌تواند باعث مرگ انسان‌ها شود. در این موارد ابتدا باید نقطه انتهایی منطقه اثر این مواد محاسبه شود و از جمعیت خالی شود. در این مقاله باتوجه به این که مواد مورد مطالعه از نوع گازهای سمی‌هستند، این سناریو مورد بررسی قرار داده می‌شود.

۲-۲ مدل‌های منطقه اثر

پیامدهای زیادی می‌تواند از یک تصادف محموله پرخطر نتیجه شود که تمامی‌این پیامدها در واقع تابعی از منطقه اثر[۷] (منطقه در معرض قرارگیری) و پارامترهای موجود در منطقه اثر هستند. مقصود از این پارامترها، جمعیت، اموال، دارایی‌ها و تجهیزات است. شکل و اندازه منطقه اثر به نوع و مقدار ماده‌ای که حمل می‌شود و همچنین به توپوگرافی، وضعیت آب و هوا و حتی سرعت وزش باد بستگی دارد [Erkut, Tjandra, Verter, 2007]. بنابراین تخمین منطقه اثر پیش از وقوع تصادف، سخت است. برای مدل سازی منطقه اثر ناشی از نشت گازهای سمی‌با توجه به نوع گاز از دو مدل گوسین (GPM)[۸] و گازهای سنگین[۹] استفاده می‌شود. درصورتی که گاز نشت پیدا کرده از هوا سبک‌تر باشد، از مدل گوسین و در صورتی که گاز از هوا سنگین‌تر باشد از مدل گازهای سنگین استفاده می‌شود.

مدل گوسین(Gaussian Plume Model (GPM

با توجه به خواص شیمیایی بعضی از مواد خطرناک، این مواد پس از نشت و خروج از مخزن به صورت گاز در آمده و وارد هوا شده و در آن پخش می‌شوند. در صورتی که ماده حمل شونده یکی از این نوع مواد باشد، جهت و سرعت باد و شرایط جوی در گسترش منطقه اثر ناشی از پخش این مواد، در هوا موثر است.

با توجه به اثرات باد و شرایط جوی پخش گاز در هوا، میزان غلظت گاز سمی‌در جهات مختلف متفاوت است. در واقع در جهت وزش باد بیشترین آلودگی و در جهت خلاف وزش باد کمترین میزان آلودگی هوا وجود دارد. جهت بررسی منطقه اثر و میزان آلودگی گازهای سمی‌یا به عبارتی ریسک بخش‌های مختلف منطقه باید از مدلی مناسب استفاده کرد که تمامی‌نکات یادآوری شده در بالا را در نظر بگیرد به همین دلیل مدلی به نام GPM در نظر گرفته شد.

در مدل GPM فرض‌هایی برای محدود کردن شرایط در نظر گرفته می‌شود. فرض اول آن است که خواص شیمیایی گاز در مدت انتشار نباید تغییر کند. فرض دوم بیان می‌دارد که سطح زمین گاز را جذب نمی‌کند. در فرض سوم جهت و سرعت باد در مدت انتشار گاز پایدار می‌ماند و تغییر نمی‌کند. فرض چهارم آن است که نرخ نشت گاز ثابت است. فرضیات بالا کاربردهای مدل GPM را محدود می‌کند. به عنوان مثال فرض ۱ کاربرد مدل GPM را برای مواد

شیمیایی پایدار محدود می‌کند. باتوجه به فرضیات یادآوری شده در بالا معادله GPM به صورت معادله (۱) در می‌آید [Erkut, Tjan-dra and Verter, 2007].

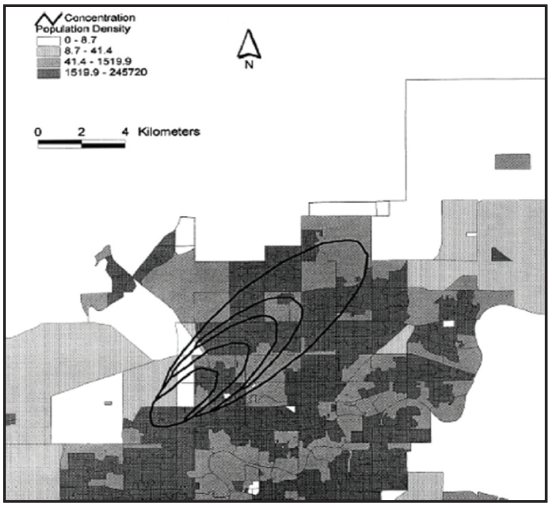
$$C(x,y,z,h_e)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) * \left[exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h_e}{\sigma_z}\right)^2\right)+exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h_e}{\sigma_z}\right)^2\right)\right] \quad (۱)$$

در این فرمول C میزان غلظت گاز سمی، X فاصله نقطه مورد نظر تا منبع آلودگی در جهت وزش باد، Y فاصله نقطه مورد نظر تا منبع آلودگی عمود برجهت وزش باد، Z ارتفاع نقطه مورد نظر، he ارتفاع نقطه نشت یا منبع آلودگی از سطح زمین، Q نرخ نشت ماده سمی‌که براساس واحد g/s یا m3/s، μ متوسط سرعت باد و و پارامترهای انتشار در جهت‌های y و z هستند. در تصادفات جاده‌ای این گونه مواد فرض می‌شود که ارتفاع منبع he=0 است. علاوه بر این چون علاقه داریم میزان آلودگی را در سطح زمین بسنجیم بنابراین Z=0 در نظر گرفته می‌شود با توجه به این موارد معادله GPM به صورت زیر ساده می‌شود. شکل ۲ که مربوط به شهر ادمنتون کانادا ست، میزان غلظت ماده سمی‌در سطح‌های مختلف با استفاده از مدل GPM در اثر وجود یک منبع آلودگی را نشان می‌دهد.

$$C(x,y,z,h_e)=\frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \quad (۲)$$

مدل گازهای سنگین

در این جهان گازهای سمی‌بسیاری تولید، ذخیره و جابجا می‌شوند. بسیاری از این گازها در صورت آزاد شدن در اتمسفر، از هوا متراکم‌تر و در نتیجه سنگین‌تر هستند. این گازها به علت وزن ملکولی بیشتر نسبت به هوا (مانند دی اکسید کربن)، دمای کمتر نسبت به هوا (مانند گاز طبیعی مایع LNG)، تبدیل‌های شیمیایی (مانند پلاریزه هیدروژن فلورید) و یا تغییر شکل از مایع به گاز می‌توانند از هوا سنگین‌تر باشند. ارزیابی و تعقیب رویدادهایی که در آن یک گاز سمی‌آزاد شده که از هواسنگین تر است امری ضروری است.



شکل ۲. تراکم جمعیت و میزان غلظت ماده سمی‌در سطح‌های مختلف [Zhang, Hodgson and Erkut , 2000]

یکی از ارزیابی‌هایی که در این زمینه انجام می‌شود مطالعات مربوط به نحوه گسترش گاز سمی‌است. در این مطالعات باید مقدار غلظت گاز سمی‌را در هرنقطه به عنوان تابعی از موقعیت نسبت به منبع آلودگی و زمان تخمین زد. یکی از مدل‌هایی که برای بررسی نحوه گسترش گازهای سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل DEGA-DIS[۱۰] است. مدل DEGADIS توسط تحقیقاتی که از سوی گارد ساحلی و موسسه تحقیقات گاز آمریکا انجام پذیرفت توسعه داده شد [Havens and Spicer 1985] . DEGADIS مطابق با مدل Shell HEGADAS است که توسط Colenbrander(1980) و Colenbrander and Puttock(1983) تشریح شده است. قبل از شرح مدل ابتدا نکته‌ای را باید در نظر گرفت. گازهای سمی‌سنگین‌تر از هوا زمانی که آزاد می‌شوند، در صورتی که نرخ نشت گاز منبع بیشتر از بیشینه نرخ دریافت اتمسفر باشد، ابری از گاز در اطراف منبع اصلی ایجاد می‌شود که همانند یک منبع عمل می‌کند که آن را منبع دوم می‌نامند. اما در صورتی که نرخ نشت گاز منبع اصلی از بیشینه نرخ پذیرش اتمسفر کمتر باشد، در این صورت گاز آزاد شده به صورت مستقیم وارد اتمسفر می‌شود و در جهت وزش باد پراکنده می‌گردد. در این مدل گسترش غلظت در جهت ارتفاعی به صورت قانون توانی و در جهت افقی لبه‌ها به صورت تصحیح گوسینی فرض

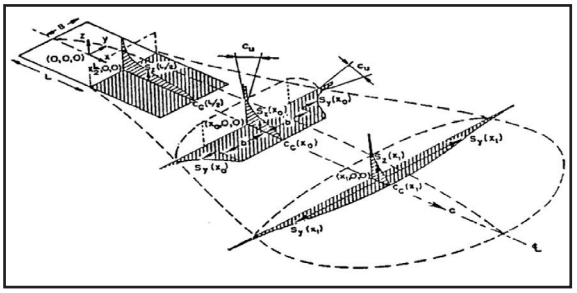
می‌شود. مدل گسترش گاز در جهت وزش باد برای منبع مستطیل شکل با عرض 2b و طول L به صورت معادله (۳) است. که در این معادله منبع دایره‌ای ابر آلودگی هم مساحت با مستطیل معرفی می‌شود ($\pi R^2=2bL$) که در آن $L=2R$ است [U.S.Environmental Protection Agency ,1988].

(۳)

$$c(x,y,z) = c_c(x)\exp\left[-\left(\frac{|y|-b(x)}{S_y(x)}\right)^2 - \left(\frac{z}{S_z(x)}\right)^{1+\alpha}\right] \quad for\ |y| > b$$

$$c(x,y,z) = c_c(x)\exp\left[-\left(\frac{z}{S_z(x)}\right)^{1+\alpha}\right] \quad for\ |y| \le b$$

غلظت گاز در موقعیت(x,y,z) که x فاصله ازمنبع در جهت وزش باد، y فاصله در جهت عمود بر وزش باد از منبع و z ارتفاع نقطه مورد نظر از منبع آلودگی و $C_c(x)$ میزان غلظت گاز سمی‌روی سطح زمین روی خط مرکزی (kg/m^3) است. ضریب انتشار عمودی $S_z(x)$ که میزان تنزل غلظت ماده سمی‌در جهت ارتفاعی و ضریب انتشار در جهت عمود بر وزش باد $S_y(x)$ که میزان کاهش غلظت گاز سمی‌در قسمت گوسینی فرمول غلظت را تعریف می‌کنند. $b(x)$ قسمت میانی فاصله در جهت عمود بر وزش باد است. (که در طول آن غلظت زمینی گاز سمی‌برابر $Cc(x)$ است) هرچه $S_y(x)$ افزایش یابد b کاهش و در نهایت برابر صفر می‌شود و ضریب انتشار در جهت عمود بروزش باد کاملا مانند رابطه گوسین عمل می‌کند. برای هریک از منابع یادآوری شده در بالا مدل گسترش گاز به صورت شکل (۳) است که هر یک از پارامترهای یادآوری شده برای معادله (۳) روی شکل مشخص است. تمامی‌پارامترهای گفته شده در رابطه روی شکل مشخص است.



شکل ۳. نحوه گسترش گازهای سنگین در هوا[U.S.Environmental Protection Agency ,1988].

در معادله (۳) قانون توانی سرعت به صورت معادله (۴) فرض می‌شود. در این معادله u_0سرعت وزش باد است که در ارتفاع $z=z_0$ اندازه گیری شده است و سرعت وزش باد در جهت x و Z_0 ارتفاع مرجع است. جهت محاسبه محاسبه غلظت گازهای سمی‌در هر نقطه سیزده معادله به صورت همزمان حل می‌شود که در این مقاله از آوردن تمامی‌معادلات خود داری شده است.

$$u_x = u_0\left(\frac{z}{z_0}\right)^{\alpha} \qquad (۴)$$

۲-۳ ویژگی‌های مواد مورد مطالعه

گاز آمونیاک[11] گازی است بی رنگ، بسیار محلول در آب، قلیائی با بوی مشخص و زننده که می‌تواند باعث آسیب شدید مجاری تنفسی شود. گاز آمونیاک از هوا سبک‌تر بوده و به سهولت به مایع تبدیل می‌شود. گاز آمونیاک به صورت گاز مایع در دمای منفی ۳۳ درجه حمل می‌شود [Wikipedia, 2013].

در این مقاله غلظت ppm ۸۵۱۹ حد آستانه ۹۹ درصد کشندگی، غلظت ppm۴۰۰۵ حد آستانه ۵۰ درصد کشندگی و غلظت ppm۵۰۰۰ حد آستانه ۱ درصد کشندگی در نظر گرفته شده است [Perry and Articola, 1980].

بوتادین ۱، ۳ [12] گازی بی رنگ با بوی معطر است که به صورت یک گاز مایع شده تحت فشار بخار خود، حمل می‌شود. تماس با مایع این گاز می‌تواند باعث یخ زدگی شود که به راحتی مشتعل می‌شود. البته این گاز از هوا سنگین تر است که با آن جابجا شده و خفه کننده است.

برای این گاز حد آستانه آسیب به این صورت در نظر گرفته می‌شود که غلظت‌های بیشتر از ppm ۱۲۹۰۰۰ به عنوان حد آستانه ۵۰ درصد کشندگی، غلظت بیشتر از ppm۴۱۰۰۰ و کمتر از ppm ۱۲۹۰۰۰ حد آستانه ۱ درصد کشندگی و غلظت بیشتر از ppm۵۰۰۰ و کمتر از ppm ۴۱۰۰۰ حد آستانه ایمن و آسیب جزئی است [National Advisory Committee, 2009].

۳. پیاده سازی

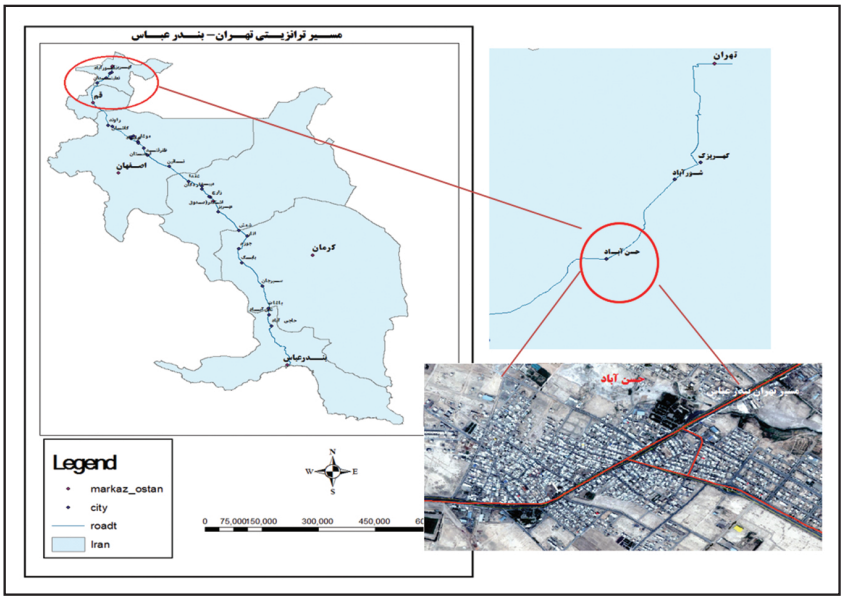
در این قسمت به پیاده سازی مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود. جهت پیاده سازی مدل مورد نظر شهر حسن آباد، واقع در مسیر قدیم قم-تهران، با توجه به شرایط ویژه آن به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. شهر حسن آباد فاقد جاده کمربندی است، بنابراین تمامی‌وسایل نقلیه سنگین ناگریز از داخل شهر عبور می‌کنند. از جمله بارهایی که در این مسیر ترانزیت می‌شوند، مواد خطرزا هستند. بنابراین بررسی حوادث مربوط به مواد خطرناک در این شهر، امری لازم و ضروری است. لازم به یادآوری است که این شهر در ۳۵ کیلومتری جنوب تهران واقع است و جمعیت آن بر اساس آخرین آمار گیری انجام شده ۲۷۰۰۰ نفر اعلام شده است. در شکل ۴ منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

۳-۱ پارامترهای شبیه سازی منطقه اثر

جهت شبیه سازی منطقه اثر مربوط به نشت گازهای سمی‌پارامترهای هواشناسی، پارامترهای مربوط به حمل کننده مواد و حدود آستانه آسیب مورد نیاز است. پارامترهای مربوط به هواشناسی جهت تعیین کلاس پایداری جوی و همچنین نحوه گسترش گاز سمی‌بسیار مهم است. حجم تانکر حامل و همچنین سناریوی نشت گاز نیز از پارامترهای مهم دیگر شبیه سازی منطقه اثر است. حدود آستانه آسیب در قسمت ویژگی‌های مواد مورد مطالعه آورده شده است.

با توجه به ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام واقع در ۵ کیلومتری شهر حسن آباد و سرعت وزش باد برابر ۳ متر بر ثانیه، جهت وزش باد از جنوب غربی، دمای محیط برابر ۳۰ درجه سلسیوس، رطوبت هوا برابر ۵۰ درصد و میزان ابر در هوا برابر ۷/۱۰ در نظر گرفته شده است. باوارد کردن پارامترهای هواشناسی در نرم افزار و انتخاب منطقه شهری نرم‌افزار ALOHA به صورت خودکار کلاس پایداری جو را کلاس D (شرایط طبیعی) انتخاب می‌کند. کلاس‌های پایداری جوی را در ۶ گروه طبقه بندی می‌شوند که شامل گروه‌های بسیار ناپایدار A، ناپایداری معتدل B، ناپایداری کمC، وضعیت طبیعی جوی D، پایداری کم E و پایداری معتدل F، است.

مواد خطرزای مورد مطالعه در صورت بروز حادثه بر اساس خصوصیات گازهای مایع شده معمولا در دو فاز نشت از سوراخ ایجاد شده در تانکر و نشت از طریق شکافته شدن محل اتصالات تانکر در اثر برخورد آزاد می‌شوند. برای فاز اول در مورد آمونیاک دو نوع سناریوی نشت بزرگ با اندازه ۱۰۰ میلی متر و نشت متوسط با اندازه ۲۵ میلی متر درنظر گرفته می‌شود [Hassan et al.,



شکل ۴. منطقه مورد مطالعه

2008]؛ و برای بوتادین ۱، ۳ (Butadiene 1,3) فقط فاز اول در نظر گرفته شد.[Chakrabarti and Parikh, 2011a] در مورد آمونیاک تانکرهای حامل با گنجایش ۱۰۰۰۰ کیلوگرم و ۱۵۰۰۰ کیلو گرم و تانکر حامل بوتادین با گنجایش ۱۷۵۰۰ کیلوگرم درنظر گرفته شده است.

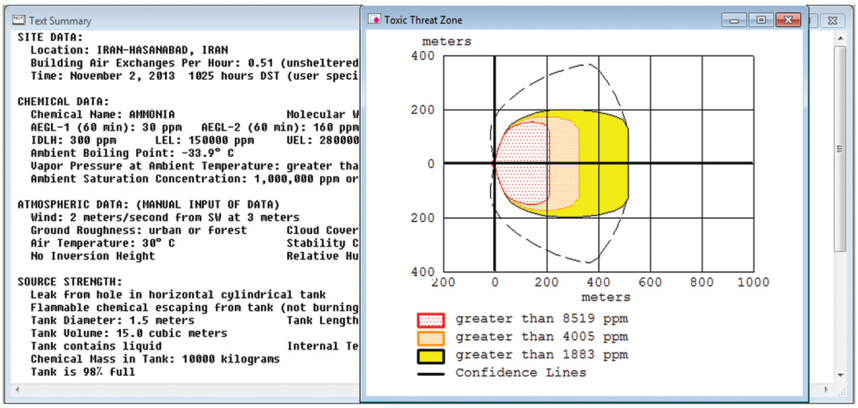
۳-۲ شبیه سازی منطقه منطقه اثر

نرم افزار CAMEO[۱۳] مجموعه ای از کاربردهای نرم افزاری هستند که برای برنامه ریزی و مدیریت بحرانهای مرتبط با مواد شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم افزار توسط آژانس محیط زیست آمریکا (EPA[۱۴]) با همکاری آژانس اداره امور اقیانوس و اتمسفر آمریکا (NOAA[۱۵]) به منظور کمک به مدیران بحران تهیه شده است. نرم افزار CAMEO متشکل از سه نرم افزار فرعی CAM-EO، MARPLOT[۱۶] و ALOHA است.

تحلیل انتشار مواد در اتمسفر در قسمت ALOHA انجام می‌شود که با استفاده از اطلاعات جوی نحوه انتشار مواد شیمیایی در فضا را بررسی و تحلیل می‌کند. ALOHA منطقه خطر را به صورت زونهایی نمایش می‌دهد. از این نرم افزار برای بررسی منطقه اثر گازهای سمیو مواد شیمیایی قابل اشتعال استفاده می‌شود. جهت مدل سازی منطقه اثر ناشی از نشت گاز سمی‌در این مقاله از نرم افزار ALOHA استفاده شده است. نرم افزار ALOHA منطقه اثر ناشی از گازهای سمی‌را به صورت زونهایی با غلظتهای مشخص نشان می‌دهد. با توجه به پارامترهای وارد شده در نرم افزار و نیز شرایط جوی، منطقه اثر شبیه سازی می‌شود. منطقه اثر شبیه سازی شده با توجه حدود آستانه آسیب معرفی شده ایجاد می‌شود. در شکل ۵ منطقه اثر مربوط به تانکر ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گاز آمونیاک برای سناریوی سوراخ شدن تانکر با اندازه ۱۰۰ میلی متر آورده شده است. در جداول ۱ تا ۴ پارامترهای مناطق اثر مربوط به سناریوهای محتلف حاصل آورده شده است، به طوری که در جداول ۱ و ۲ سناریوهای شکافته شدن مخزن برای دو گاز آمونیاک و بوتادین ۱، ۳ آورده شده است. با توجه به این که در این سناریو حجم زیادی از گاز به یکباره وارد اتمسفر می‌شود، منطقه بیشتری را آلوده می‌کند. در جداول ۳ و ۴ مربوط به سناریوی سوراخ شدن تانکر است که باتوجه به این که حجم کمتری از گاز وارد اتمسفر می‌شود فواصل به دست آمده در مقایسه با سناریوی قبل بسیار کمتر است.

جدول ۱. منطقه اثر مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن در مورد حامل‌های آمونیاک

گنجایش تانکر	سناریو	مقدار ماده آزاد شده	فاصله در جهت باد برای غلظت‌های متفاوت (متر)		
			(ppm) ۸۵۱۹ ۹۹٪ کشندگی	(ppm) ۴۰۰۵ ۵۰٪ کشندگی	(ppm) ۱۸۸۳ ۱٪ کشندگی
۱۰۰۰۰kg	شکافته شدن مخزن	۹۰۷۲	۵۵۰	۷۲۶	۹۴۹
۱۵۰۰۰kg	شکافته شدن مخزن	۱۳۶۰۸	۶۳۹	۸۳۹	۱,۱



شکل ۵. منطقه اثر مربوط به تانکر ۱۰۰۰۰ کیلوگرم گاز آمونیاک برای سناریوی سوراخ شدن تانکر با اندازه ۱۰۰ میلی متر براساس مدل گاز سنگین

جدول ۲. منطقه اثر مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن در مورد حامل بوتادین ۱، ۳

فاصله در جهت باد برای غلظت‌های متفاوت (متر)			مقدار ماده آزاد شده	سناریو	گنجایش تانکر
(ppm) ۵۰۰۰ آسیب جزئی	(ppm) ۴۱۰۰۰ ۱٪ کشندگی	(ppm) ۱۲۹۰۰۰ ۵۰٪ کشندگی			
۶۶۱	۲۳۳	۹۴	۱۵۷۸۶	شکافته شدن مخزن	۱۷۵۰۰kg

جدول ۳. منطقه اثر مربوط به سناریوی سوراخ شدن مخزن با اندازه ۱۰۰ میلی متر در مورد حامل‌های آمونیاک

فاصله در جهت باد برای غلظت‌های متفاوت (متر)			مقدار ماده آزاد شده	مدت زمان نشت(دقیقه)	اندازه سوراخ	گنجایش تانکر
(ppm) ۱۸۸۳ ۱٪ کشندگی	(ppm) ۴۰۰۵ ۵۰٪ کشندگی	(ppm) ۸۵۱۹ ۹۹٪ کشندگی				
۵۱۵	۳۲۶	۲۱۱	۸۷۳۳	۲۱	mm)۱۰۰ (	۱۰۰۰۰kg
۵۲۲	۳۳۰	۲۱۴	۱۳۱۰۰	۳۱	mm)۱۰۰ (	۱۵۰۰۰kg

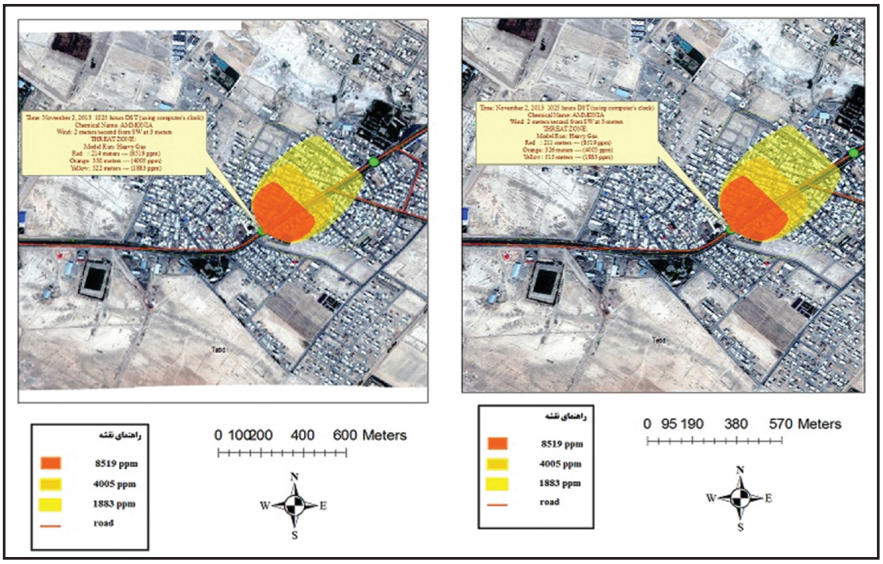
جدول ۴. منطقه اثر مربوط به سناریوی سوراخ شدن مخزن با اندازه ۲۵ میلی متر در مورد حامل‌های آمونیاک

فاصله در جهت باد برای غلظت‌های متفاوت (متر)			مقدار ماده آزاد شده	مدت زمان نشت(دقیقه)	اندازه سوراخ	گنجایش تانکر
(ppm) ۱۸۸۳ ۱٪کشندگی	(ppm) ۴۰۰۵ ۵۰٪ کشندگی	(ppm) ۸۵۱۹ ۹۹٪ کشندگی				
۱۲۴	۷۶	۴۶	۳۸۴۴	۶۰	(mm)۲۵	۱۰۰۰۰kg
۱۲۷	۷۷	۴۸	۱۳۱۰۰	۶۰	(mm)۲۵	۱۵۰۰۰kg

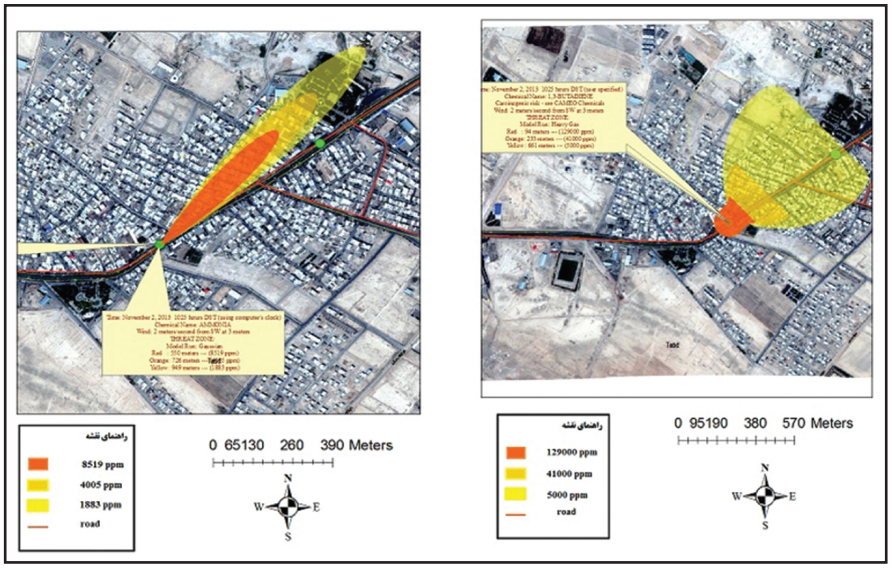
۳-۳ منطقه اثر در محیط مکانی

برای نمایش مکانی منطقه اثر به دست آمده از نرم افزار ALOHA نیاز است که منطقه اثر مورد نظر را در نرم افزاری مکانی وارد کرد و نمایش داد. در این مقاله مناطق اثر محاسبه شده در نرم افزار ALOHA وارد Arc GIS شده و در نقطه‌ای که به صورت فرضی حادثه در آن به وجود آمده، نمایش داده شده است. در شکلهای ۶ تا ۹ نمایش مکانی تعدادی از مناطق اثر آورده شده است. با توجه به این که گاز آمونیاک سبک‌تر از هوا است، بنابراین باید از مدل گوسین جهت شبیه سازی منطقه اثر استفاده شود، اما همان طور که در شکلهای ۶ و ۷ مشخص است، مدل گازهای سنگین برای شبیه سازی استفاده شده است. درواقع چون در حالتی که در مخزن سوراخی ایجاد می‌شود، گاز آمونیاک به صورت مخلوطی از گاز و

مایع از مخزن خارج و همانند گازهای سمی‌در هوا منتشر می‌شود، به همین دلیل مدل گازهای سنگین انتخاب شده است. در شکل ۸، منطقه اثر مربوط به بوتادین ۱، ۳ در مورد سناریوی شکافته شدن مخزن آورده شده است. همان طور که در مدل گازهای سنگین بیان شد، در صورتی که نرخ انتشار گاز، بیشتر از بیشینه نرخ پذیرش اتمسفر باشد، در اطراف منبع اصلی گاز به صورت ابری از آلودگی، یک منبع دوم را ایجاد می‌کند که در شکل ۹ این امر به به خوبی قابل مشاهده است. شکل ۸ نیز سناریوی شکافته شدن مخزن گاز آمونیاک را نشان می‌دهد، با توجه به این که گاز آمونیاک از هوا سبک‌تر است، در این سناریو گاز به صورت مستقیم وارد هوا شده (مخلوطی از مایع وگاز نبوده) و بنابر این مدل گوسین انتخاب شده است. یکی از خسارت‌های جبران ناپذیر نشت گازهای سمی‌در حین حمل این مواد، آسیب رساندن به سلامتی انسان است بنابراین جهت مدیریت بحران چنین حوادثی آگاهی از جمعیت در معرض خطر یکی پارامترهای مهم و موثر است. محاسبه جمعیت در معرض خطر با توجه به ویژگی‌های محیط نرم افزار Arc GIS، امری میسر



شکل ۶ و ۷ . از راست منطقه اثر مربوط به آمونیاک ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ کیلوگرم برای نشت با اندازه ۱۰۰ میلی متر براساس مدل گازهای سنگین



شکل ۸ و ۹ . از راست منطقه اثر مربوط به بوتادین ۱۷۵۰۰۰ کیلوگرم و آمونیاک ۱۰۰۰۰ کیلوگرم برای شکافته شدن مخزن مدل مربوط به بوتادین گاز سنگین و آمونیاک گوسین

است. نتایج حاصل در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است. نتایج مربوط به حادثه تانکر ۱۰۰۰۰ کیلوگرم آمونیاک و سناریوی شکافته شدن مخزن است. با توجه به این که داده‌های بزرگ مقیاس از منطقه در دسترس نبود، از داده‌های ۱/۲۵۰۰۰ استفاده شده است. در نقشه‌های ۲۵۰۰۰ام ساختمانهای تک موجود نیست و تنها بلوک‌های ساختمانی ترسیم می‌شوند؛ بنابراین جمعیت‌های بلوکها با توجه به مساحت بلوک داده شده است (به ازای هر ۱۰۰ متر مربع ۲ نفر). اما همان طور که در شکل ۱۰ مشخص است، کل یک بلوک داخل منطقه اثر قرار نمی‌گیرد و در نظر گرفتن جمعیت کل بلوک کار صحیحی نیست، بنابراین نسبت مساحت قسمتی از بلوک که در داخل منطقه اثر قرار دارد را به کل مساحت بلوک حساب کرده و در جمعیت بلوک ضرب می‌شود تا جمعیت حقیقی در معرض خطر محاسبه شود. مساحت قسمتی از پارک نزدیک به محل حادثه که در منطقه اثر قرار گرفته در جدول ۷ ارائه شده است. در شکل ۱۱ قسمتی از پارک موجود در منطقه اثر نشان داده شده است.

جدول ۷. مساحت پارک داخل منطقه اثر

مساحت پارک داخل منطقه اثر	منطقه اثر مربوط به هر غلظت
۰	۸۵۱۹ (ppm)
۳۵۰۱/۳۹	۴۰۰۵ (ppm)
۲۰۵۵۱/۹۳۰	۱۸۸۳ (ppm)

۳-۴ محاسبه ریسک مسیر

درقسمت قبل جمعیت در معرض خطر برای سناریوهای مختلف محاسبه گردید. برای بررسی ریسک مسیر داخل شهر حسن آباد با حرکت دادن منطقه اثر ایجاد شده در طول کل مسیر منطقه اثر مربوط به کل تکه مسیر داخل شهر مدل خواهد شد که این امر با توجه به ویژگی‌های محیط GIS به راحتی امکان پذیر است. شکلهای ۱۲ و ۱۳ مناطق اثر ایجاد شده مربوط به تانکر حامل ۱۰۰۰۰ کیلوگرم آمونیاک را نمایش می‌دهند که شکل ۱۲ مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن بر اساس مدل گوسین و شکل ۱۳ مربوط به سناریوی نشت از

جدول ۵. مساحت و جمعیت بلوک‌های ساختمانی داخل مناطق اثر

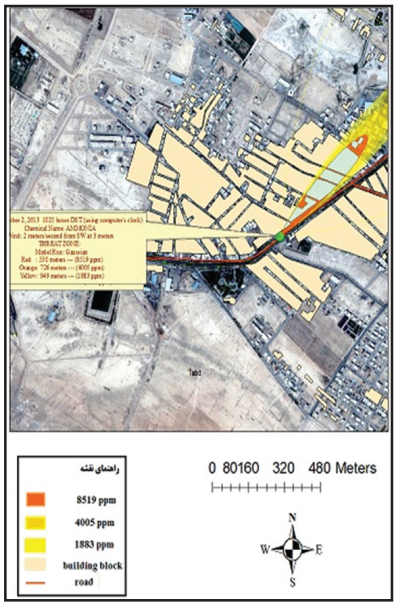
مساحت کل بلوک‌های ساختمانی متقاطع با منطقه اثر	مساحت قسمتی از بلوک‌های ساختمان داخل منطقه اثر	جمعیت کل بلوک‌های متقاطع با منطقه اثر	مساحت منطقه اثر	منطقه اثر مربوط به هر غلظت
۱۱۲۳۲۸/۵۰۹	۲۲۲۷۸/۵۱۹	۲۱۰۰	۳۲۴۳۲/۳۱۸	۸۵۱۹ (ppm)
۱۴۹۹۹۷/۲۵۸	۸۹۰۳/۹۸۷	۲۴۵۴	۲۵۹۴۷/۳۶۷	۴۰۰۵ (ppm)
۱۱۸۵۶۲/۹۶۹	۵۴۲۵/۰۷۵	۲۳۳۱	۱۰۱۷۲۰/۷۹۱	۱۸۸۳ (ppm)

جدول ۶. محاسبه جمعیت در معرض خطر

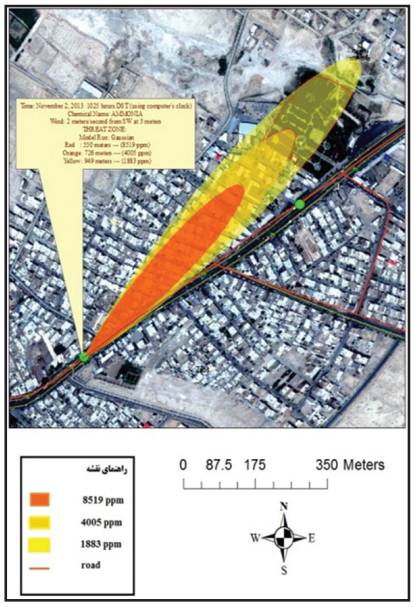
جمعیت کل بلوک‌های داخل منطقه اثر	مساحت منطقه اثر	منطقه اثر مربوط به هر غلظت
۳۸۶	۰/۱۸۳۹	۸۵۱۹ (ppm)
۱۴۶	۰/۰۵۹۳	۴۰۰۵ (ppm)
۱۰۷	۰/۴۵۷۰	۱۸۸۳ (ppm)

حفره با اندازه ۱۰۰ میلیمتر براساس مدل گازسنگین است.همان‌طور که در شکلهای ۱۲ و ۱۳ مشهود است، با توجه به پیچ و خمهای مسیر در قسمتهایی از مسیر مناطق مسکونی بیشتر و در قسمتهایی با مناطق مسکونی کمتر در منطقه خطر قرار خواهند گرفت، بنابراین جمعیت در معرض خطر و درنتیجه ریسک مسیر تغییر خواهد کرد. از طرفی همان‌طور که در این دو نقشه مشهود است، قسمتهایی از مسیر از نزدیکی مراکز آموزشی، بیمارستان و پارک عبور می‌کند. برای محاسبه ریسک مسیر موجود در داخل شهر مسیر را به قسمتهای ۱۰۰ متری تقسیم کرده و باتوجه به مناطق اثر وارد شده برای هر قسمت جمعیت در معرض خطر، فاصله تا مراکز آموزشی، فاصله تا بیمارستان، فاصله تا آتش‌نشانی و همچنین مساحت پارک موجود در منطقه خطر برای هر قسمت از مسیر محاسبه گردیده و به عنوان توصیفات برای هر قسمت مسیر در نظر گرفته شده است. با توجه به توصیفهای مربوط به هر قسمت مسیر ریسک مسیر محاسبه شده است. در محاسبه ریسک برای جلوگیری از ایجاد مقادیر بزرگ، تمامی‌اعداد به اعدادی بین ۰ تا ۱ نرمال شده‌اند. در مورد بیمارستان و آتش‌نشانی در صورتی که در منطقه خطر واقع نشده باشند، اثرات کاهشی بر روی ریسک خواهند داشت، یعنی قسمتهایی از مسیر که به بیمارستان وآتش‌نشانی نزدیک‌تر، دارای ریسک کمتری نسبت به قسمتهای دورتر اند، در صورتی که بیمارستان و آتش‌نشانی در منطقه خطر واقع باشند، دارای اثر افزایشی روی ریسک مسیر خواهند بود یعنی هرچه به منطقه حادثه نزدیک تر باشند، ریسک بیشتر است. مراکز آموزشی هرچه به منطقه حادثه نزدیک‌تر باشند، ریسک مسیر بیشتر و هرچه دورتر باشند، ریسک مسیر کمتر است. با توجه به مطالب گفته شده، ریسک مسیر برای قسمتهای ۱۰۰ متری در داخل شهر محاسبه شده و در نقشه‌های ۱۴ و ۱۵ آورده شده است. نقشه ۱۴ مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن گاز امونیاک است. همان‌طور که در این نقشه مشهود است، در قسمتهایی از مسیر که به مراکز آموزشی نزدیک‌تر هستند، میزان ریسک مسیر بیشتر است. همچنین قسمتهایی از مسیر که به پارک نزدیک تر بوده و مساحت بیشتری از پارک در منطقه خطر واقع شده، ریسک مسیر افزایش یافته، اما با توجه به این که بیمارستان در منطقه خطر واقع نیست اثر کاهشی داشته و ریسک در نزدیک بیمارستان کاهش یافته است.

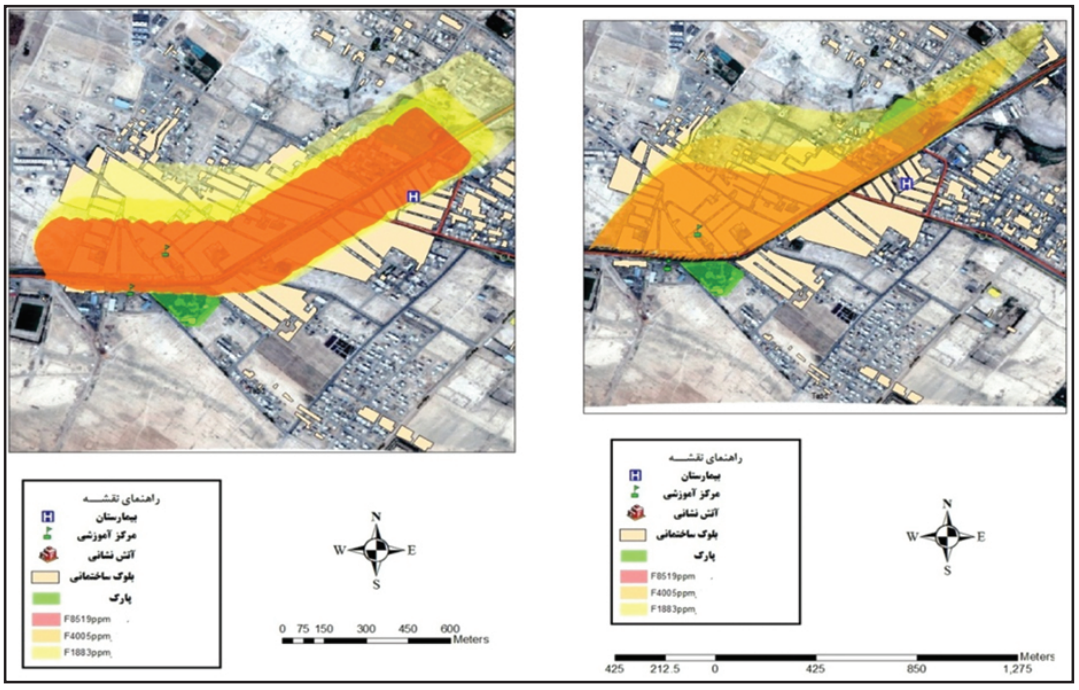
نقشه ۱۵ ریسک مسیر مربوط به سناریوی حفره با اندازه ۱۰۰



شکل ۱۰. مناطق مسکونی داخل منطقه اثر مربوط به شکافته شدن مخزن حامل ۱۰۰۰۰ کیلو گرم آمونیاک

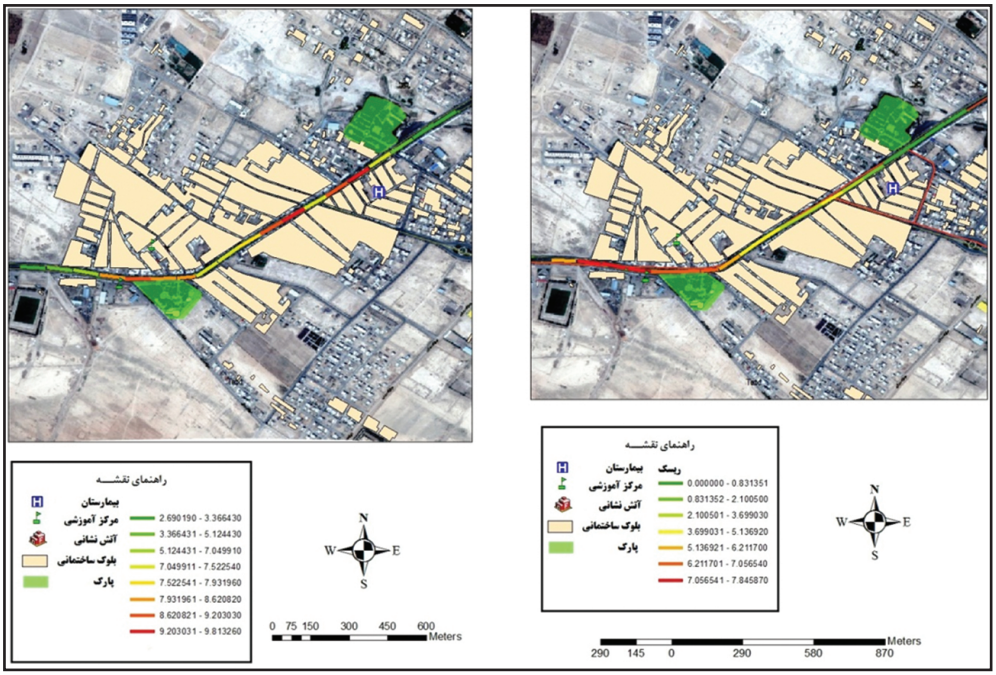


شکل ۱۱. قسمتی از پارک داخل منطقه اثر مربوط به شکافته شدن مخزن حامل ۱۰۰۰۰ کیلو گرم آمونیاک



شکل ۱۲. منطقه اثر کل مسیر داخل شهر حسن آباد مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن امونیاک ۱۰۰۰۰ کیلو گرم شکل

شکل ۱۳. منطقه اثر کل مسیر داخل شهر حسن آباد مربوط به سناریوی حفره با اندازه ۱۰۰ میلی متر تانکر ۱۰۰۰۰ کیلو گرم آمونیاک



شکل ۱۴. ریسک قسمت‌های مختلف مسیر داخل شهر حسن آباد مربوط به سناریوی شکافته شدن مخزن امونیاک ۱۰۰۰۰ کیلو گرم

شکل ۱۵. ریسک قسمت‌های مختلف مسیر موجود در شهر مربوط به سناریوی حفره با اندازه ۱۰۰ میلی متر تانکر ۱۰۰۰۰ کیلو گرم آمونیاک

میلیمتر است. در این سناریو همان‌طور که در نقشه ۱۳ مشهود است بیمارستان در منطقه خطر واقع شده که هم چنان که گفته شد در این حالت اثر افزایشی روی ریسک خواهد داشت. نقشه به دست آمده به خوبی این مسئله را نمایش می‌دهد.

۴. نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به این که بروز حادثه در زمان حمل و نقل مواد خطرزا باعث خسارات جبران ناپذیری می‌شود، ارزیابی ریسک حمل و نقل این مواد امری لازم و ضروری است. تحلیل و ارزیابی دقیق و واقع‌بینانه از مناطق اثر ناشی از نشت گازهای سمی‌می‌تواند در کاهش خسارات نقش بسزایی ایفا کند. انتخاب مدلی مناسب جهت مدل سازی این منطقه اثر می‌تواند باعث نتیجه گیری صحیح و در نتیجه پیدا کردن راه حلی مناسب برای کاهش میزان آسیب شود.

نتایج این مقاله به خوبی نشان داد که نرم افزار یاد شده می‌توان برای تمام مناطق ایران به کار برد.

همان طور که در نقشه‌های ۶ تا ۹ مشخص است، یکی از پارامترهایی که می‌تواند برروی آسیب‌های انسانی ایجاد شده موثر باشد، نوع ماده پرخطر، سناریوی نشت گاز سمی، سرعت و جهت وزش باد است. به این معنی که با توجه به جهت وزش باد، اگرگاز سمی‌به سمت منطقه با جمعیت بیشتر منتشر شود، میزان آسیب به مردم بیشتر خواهد شد. نتایج بالا بر اساس تنفس گاز سمی‌در محیط باز است، بنابراین در مورد ساختمانها، در صورت بسته بودن در و پنجره‌ها و نیز خاموش بودن وسایل تهویه هوا، میزان آسیب در خانه به مقدار ناچیزی خواهد رسید. بنابراین با هشدار بموقع به ساکنان مناطق در معرض خطر، مبنی بر بستن در وپنجره‌ها و همچنین خاموش کردن وسایل تهویه هوا، تعداد آسیب دیدگان کاهش خواهدیافت. اما در مورد محیط‌هایی همچون پارک، به دلیل تماس مستقیم با گاز سمی‌در محیط باز، آسیب به حداکثر میزان خود می‌رسد. با هشدار بموقع، مبنی بر تخلیه پارک وسایر محیط‌های عمومی‌تعداد آسیب دیدگان کاهش می‌یابد.

نقشه‌های ۱۴ و ۱۵ وابستگی ریسک مسیر به موقعیت وقوع حادثه را به خوبی نشان می‌دهند که در این نقشه‌ها، ریسک برای تکه مسیرهای ۱۰۰ متری محاسبه شد و مناطق با ریسک بالا با توجه پارامترهای در نظر گرفته شده، به دست آمد. در این دونقشه اثر کاهشی و افزایشی عدم قرارگیری و قرارگیری مراکز درمانی در منطقه اثر به خوبی مشهود است.

مناطق اثر ایجاد شده توسط Aloha با توجه به حدود آستانه معرفی شده است و مرزهای هر ناحیه به صورت مطلق است. پدیده انتشار گاز آلوده کننده در واقعیت به صورت مرزهای فازی است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده زون‌ها به صورت فازی درنظر گرفته شود. انجام این پژوهش به میزان زیادی وابسته به داده‌های در دسترس بوده است. آشکار است که در مسأله مورد بررسی این تحقیق، می‌توان داده‌های دقیق‌تری را نیز برای ارزیابی استفاده کرد. این داده‌ها می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

* داده‌های مکانی و آماری حوزههای جمعیتی با تفکیک دقیق در حد پارسل
* داده‌های میزان تردد جمعیت در معابر در زمانهای مختلف روز، ماهها و فصلهای مختلف سال
* داده‌های پویای مربوط به تردد وسایل نقلیه در معابر مختلف
* آمار جامع تصادفات وسایل نقلیه و خصوصاً حاملین مواد پرخطر با تعیین محل وقوع در یک بازه زمانی طولانی
* اطلاعات دقیق ارزش املاک

۵. پی نوشتها

1- Areal Locations of Hazardous Atmospheres

2- Consequence

3- Exposure

4- Societal Risk

5- Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

6- An Unconfined Vapour Cloud Explosion

7- Impact Area

8- Gaussian Plume Model(GPM)

9- Heavy Gas Dispersion

10- DEnse Gas DISpersion

11- Ammonia

12- 1.3 butadiene

13- Computer-Aided Management of Emergency Operations

14- United States Environmental Protection Agency

15- National Oceanic and Atmospheric Administration

16- Mapping Applications for Response, Planning, and Local Operational Tasks

۶. مراجع

–جبلی. م. (۱۳۹۰) "آنالیز ریسک حمل و نقل شهری موادپرخطر در محیط GIS، مطالعه موردی چهار منطقه مرکزی شهر تهران شامل مناطق ۶، ۷، ۱۱ و ۱۲"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

-Abkowitz, M. D. (2002) “Transportation risk management: A new paradigm”, Presented at the TRB 2003 Annual Meeting.

-Alp, E. (1995) Risk-based transportation planning practice: overall methodology and a case study”, INFOR, 33(1).

-Barilla, D., Leonardi, G. and Puglisi, A. (2009) “Risk assessment for hazardous materials transportation”. Applied Mathematical Sciences, 3(46), pp. 2295 - 2309.

-Batta, R. and Chiu, S. S. (1988) “Optimal obnoxious paths on a network: Transportation of hazardous materials”. Opns. Res., 36, pp. 84-92.

-Brown, D. F., Dunn, W. E. and Policastro, A. J. (2000) “A national risk assessment for selected hazardous materials in transportation”, Illinois: Decision and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory. ANL/DIS-01-1, pp. 1-246,

-Chakrabarti, U. K. and Parikh, J. K. (2011a)” Class-2 hazmat transportation consequence assessment on surrounding population”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(6), pp.758-766.

-Chakrabarti, U. K. and Parikh, J. K. (2011b) Route risk evaluation on class-2 hazmat transportation", Process Safety and Environmental Protection, 89(4), pp. 248-260.

- Childs, I. R., Carlisle, R. D. and Hastings, P. A. (2001) “The Brisbanee Gladstone transportation corridor: identification of risk and vulnerability for the bulk transport of dangerous goods”, Australian Journal of Emergency Management, 15, pp.54-57.

-Crowl, D. A. and Lowar, J. F. (2002) “Chemical process safety, fundamentals with applications”, Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences, 2nd. ed., pp. 109-287.

-Das, A., Gupta, A. K. and Mazumder, T. N. (2012)”

A comprehensive risk assessment framework for off-site transportation of inflammable hazardous waste", Journal of Hazardous Materials, 227– 228 (2012), pp. 88– 96

-Erkut, E., Akgün, V. and Batta, R. (2000) "On finding dissimilar paths", European Journal of Operational Research, 121(2), pp. 232-246.

-Erkut, E., Tjandra, S. A. and Verter, V. (2007) Chapter 9: Hazardous Materials Transportation", Operations Research Handbook on Transportation ,Vol. 14, pp. 539-621.

-Erkut, E. and Verter, V. (1998) "Modeling transport risk for hazardous materials", Operations Research, 46(5), pp.625-642.

-Hassan, C. R. C., Puvaneswaran, A., Balasubramaniam, L., Raman, A. A. A. Mahmood, N. Z., Hunga, F. C., ... (2008) "Inclusion of human errors assessment in failure frequency analysis : A case study for the transportation of ammonia by rail in Malaysia", American Institute of Chemical Engineers, pp. 60-67.

-National Advisory Committee (2009) Interim acute exposure guideline levels (AEGLs)", 1,3-butadiene (CAS Reg. No. 106-99-0). USA: NAS/COT Subcommittee for AEGLs

-Perry, W. W., and Articola, W. P. (1980) "Study to modify the vulnerability model of the risk management system" U.S. Coast Guard. Report CG-D-22-80.

-Saccomanno, F. F. and Chan, A. (1985) "Economic evaluation of routing strategies for hazardous road shipments", Transportation Research Record, 1020, pp. 12-18.

-U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air and Radiation (1988) "A dispersion model elevated gas jet chemical releases", Office Aire Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina 27711, EPA-450/4-88-006a, pp.68-77.

-US EPA. (2009) "Interim acute exposure guideline levels (AEGLs)", 1,3-butadiene , NAS/COT Subcommittee for AEGLS. Interim 1: 12/2008, pp.1-50.

-Weisskopf, M. G., Drew, J. M., Hanrahan, L. P. and Anderson, H. A. (2000) "Hazardous ammonia releases in Wisconsin: trends and risk factors for evacuation and injury". Wisconsin Medical Journal, 99, pp.30-46.

Wikipedia (2013) "Ammonia", WWW.WIKIPEDIA. ORG. [Online] 5 13, 2011. [Cited: 10 20, 2012.] http://en.wikipedia.org/wiki/ Ammonia

Zhang, J., Hodgson, J. and Erkut, E. (2000) "Using GIS

to assess the risks of hazardous materials transport in networks", European Journal of Operational Research, 121(2), pp.316-329.