شبیه سازی میزان آب خنک کننده تانک ذخیره نفت در جلوگیری از آتش سوزی

سایه امیرپور مهرداد[۱]، آرش نجفی[۲*]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. استادیار مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

دریافت: ۹۳/۱/۲۰ پذیرش: ۹۳/۳/۲۸

چکیده

در این مقاله تابش حرارتی برای طراحی تجهیزات حفاظتی از طریق دینامیک سیالات محاسباتی و توسط شبیه‌سازی موقعیت با نرم افزار فلوئنت محاسبه شده و انرژی تابشی دریافتی تانک های مجاور تانک آتش گرفته جهت تخمین دبی آب مورد نیاز برای جلوگیری از بروز حادثه استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد شار گرمایی پیش بینی شده مدل دی او[۱] در مقایسه با مدل منبع نقطه‌ای در اغلب موارد برای هر دو حالت حضور و یا عدم حضور باد، شار گرمایی بیش تری پیش بینی می‌کند و ضریب ایمنی بالاتری دارد؛ همچنین مدل به کار رفته نسبت به مدل های قبلی، حالت عمومی‌تری در نظر می‌گیرد. روش تحلیلی و مدل سازی‌های مودان و شکری - بیلر برای حضور باد کاربرد ندارند ولی چون تاثیر باد در محاسبه شار گرمایی و آب خنک کننده مورد نیاز قابل چشم‌پوشی نیست. این امر استفاده از مدل‌های پیشین را به خاطر شرایط جوی متفاوت موجود محدود می‌کند.

کلمات کلیدی: تابش حرارتی، آب خنک کننده، تانک ذخیره نفتی، شبیه سازی، دینامیک سیالات محاسباتی

مقدمه

در سال‌های اخیر رشد صنعتی‌شدن کشورهای در حال توسعه و همچنین افزایش تکنولوژی‌های جدید، حمل و نقل سریع و ارتباطات مدرن را فراهم کرده‌است. هرچند این پیشرفت‌ها شامل افزایش حوادث صنعتی نیز شده و همه ساله صدها حادثه‌کاری شامل صدمات انسانی و ضررهای شدید برای اقتصاد و محیطزیست، در جهان اتفاق می‌افتد. در صنایع پتروشیمی معمولا از تانک‌های ذخیره بزرگ که حاوی مقدار زیادی مواد

* arash_najafi@hotmail.com

[1] DO model

شیمیایی اشتعال‌پذیر و خطرناک‌اند استفاده می‌شود که ممکن است منجر به آتش‌سوزی، انفجار و آلودگی محیط زیست با نشر گازهای حاصل از آتش گردد. علاوه بر این، آتش مخازن نفتی بزرگ برای ساختارهای اطراف و محیط زیست فاجعه آمیزمی‌باشد. آگاهی از نواحی ریسک برای اقدامات مهار آتش الزامی می باشد؛ لذا مارکاتوس و همکاران فواصل خطر از نظر ایجاد سمیت بعد از آتش سوزی را تحقیق نمودند[۲،۱]. با بررسی تاریخچه و خطرات ناشی از تانک‌های ذخیره، جهت ارائه راهکارهایی برای پیش‌گیری از آتش‌سوزی، دلایل مختلف ایجاد آتش بررسی شده است. روش‌های سیستماتیکی برای بررسی حوادث رخ داده و یافتن دلایل خطر وجود دارد؛ و این خود اهمیت بالا بردن ایمنی دستگاه‌های حفاظتی حوزه‌های ذخیره نفتی را حاکی است[۳،۴]. محققین طی تحقیقی ۲۴۲ حادثه رخ داده در طول ۴۰ سال را با بررسی دلایل هر یک مطالعه نمودند و نتایج نشانگر این بود که طراحی مهندسی خوب در عملکرد مخازن و حفاظت از آن ها در بیش تر حالت‌ها می توانست از رخداد چنین حوادثی جلوگیری نماید[۵].

تابش و جابجایی مکانیزم مطرح برای انتقال گرمای آتش به اطراف می‌باشد. تابش معمولا مدل غالب انتقال حرارت در آتش‌های بزرگ است، اگرچه انتقال حرارت جابه‌جایی برای تجهیزاتی که مستقیما با آتش احاطه شده‌اند مدل مهمی محسوب می‌شود. برای ارزیابی خطرات وابسته و برنامه‌ریزی تمامی فعالیت‌های لازم برای کاهش اثرات آتش، یک تخمین منطقی حرارت تابشی شعله ضروری است. این کار می‌تواند توسط روش‌های مختلفی انجام گیرد [۶].

مکان قرارگیری و فاصله ایمن تانک‌های ذخیره سوخت از جمله موارد مهم تحقیقات می‌باشد؛ به نحوی که تانک‌ها و تجهیزات مجاور از آتش ایجاد شده توسط تانک نزدیک خود صدمه نبینند. اساس کار، طراحی ایمنی مورد نیاز است. فاصله جدایی بهینه تانک برای عملیات حفاظتی، طراحی لوله، حفاظت و کنترل حوادث و کاهش اندازه گیری‌ها ضروری است. این فاصله به مواد شیمیایی انبار شده و ظرفیت تانک‌ها وابسته است [۷]. همچنین رفتار دیواره تانک در معرض حرارت مطالعه شده است[۸].

در رابطه با آتش مخازن، تانک و محیط اطرافش می‌تواند به طور جدی تحت گرمای تابشی آسیب ببینند[۹]. سنگوپتا و همکاران[۷]، مقدار انرژی تابشی تانک مجاور را با سه مدل منبع نقطه‌ای[1]، مودان[2] و شکری- بیلر[3] محاسبه نمودند. مقایسه نتایج نشان داد در حضور باد در حالتی‌که سرعت باد ۸m/s-۴ باشد مدل منبع نقطه-ای اصلاح شده معتبر بوده و در سایر موارد دو مدل دیگر نیز نتایج قابل قبولی دارند.گوپتا و جین[۹]، مقدار انرژی تابشی را با استفاده از مدل شعله ثابت محاسبه کرده و با استفاده از موازنه گرمایی مقدار آب لازم جهت مقابله با آتش را به دست آوردند.

حفاظت ایمنی در برابر آتش در تانک‌های ذخیره سوخت بسیار مهم می‌باشد. منبع مهم برای طراحی سیستم ایمنی، تابش حرارتی ناشی از تانک حاوی سوخت هیدروکربنی مایع می‌باشد. از جمله سیستم‌های رایج در حفاظت در برابر آتش سیستم اسپری آب است. این سیستم سبب کاهش میزان حرارت رسیده به تجهیزات

[1]Point Source Model
[2]Mudan
[3]Shokri-Beyler

مجاور خواهد شد. که میزان آب مصرفی که با جذب گرما از دمای اولیه خود به دمای جوش می‌رسد وابسته به نحوه محاسبه تابش حرارتی می‌باشد. محققین مینیمم مقدار آب که سطح ایمنی استاندارد را ایجاد نماید محاسبه نموده‌اند. آنها شکل هندسی شعله را استوانه فرض کرده و محاسبه حرارت احتراق تولیدی را بر مبنای تبخیر سوخت در نظر گرفته و با توجه به اطلاعات تجربی کارهای گذشته طول شعله و مشخصات آتش استخری ایجاد شده را محاسبه نمودند. برای تابش شعله نیز از مدل شعله ثابت[1] استفاده کردند [۹].

فوسا و دویا[۶]، با استفاده از مدل شعله ثابت مقدار انرژی تابشی دریافتی تانک مجاور را در حضور باد برای سیالات مختلف محاسبه کردند و پس از مقایسه با داده‌های موجود در مقالات دریافتند که نتایج به خصوص در رابطه با آتش‌های استخری با قطر بزرگ رضایت بخش است. آن‌ها اثر تابش حرارتی آتش استخری ناشی از تانک مشتعل به تانک‌های ذخیره (هیدروکربن مایع) مجاور را بررسی کرده و تابش حرارتی را از روابط تجربی که از داده‌های تجربی به دست آمده بود در نظر گرفتند. سپس از این داده‌ها برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای جلوگیری از گسترش آتش استفاده نمودند. آن‌ها دما و سایر پارمترهای شعله را ثابت فرض کرده و برای محاسبه میزان آب مصرفی روشی مشابه جین و گوپتا[۹] را به کار بردند. لین و ونگ[۱۰] نیز با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز دینامیکی آتش[2] توزیع دمایی حول تانک‌های مخازن را حین آتش سوزی براساس فاصله حفاظتی بین تانک‌ها به دست آوردند.

با توجه به خطرات مرور شده، بهتر است با طراحی دقیق‌تر سیستم ایمنی، در صدد پیشگیری از زیان‌های ناشی از آتش‌سوزی بوده و ضریب ایمنی را افزایش دهیم و این کار با شناخت دقیق‌تر این پدیده امکان پذیر می‌باشد. عملیاتی که در هنگام آتش‌سوزی مخازن حجیم اتفاق می‌افتد بسیار خطرناک بوده و دانش و تکنولوژی پیشرفته حفاظت در مقابله با آتش و شناخت مایعات اشتعال پذیر مورد نیاز است. در طی بررسی انجام گرفته با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی، پدیده سیستم خنک کننده تانک‌ها دقیق‌تر مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت صنایع پتروشیمی، تانک‌های ذخیره موجود در پتروشیمی تبریز با در نظر گرفتن شرایط جوی حاکم جهت بررسی انتخاب شده‌اند.

خوشبختانه توسعه روش‌های عددی و در دسترس بودن پردازشگرهای بزرگ این اطمینان را به وجود آورده است که تقریبا برای هر مساله علمی بتوان از مفاهیم یک مدل ریاضی استفاده کرد. مهمترین امتیاز یک پیشگویی محاسباتی هزینه پایین آن است. در بیش‌تر کاربردها هزینه به کار بردن یک برنامه کامپیوتری به مراتب کم‌تر از مخارج تحقیق آزمایشگاهی مشابه و اندازه‌گیری‌های تجربی می‌باشد. این عامل وقتی که وضعیت فیزیکی مورد مطالعه بزرگ و پیچیده‌تر می‌شود اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند. یک تحقیق محاسبه‌ای می‌تواند با سرعت قابل ملاحظه‌ای انجام شود، طراح می‌تواند مفاهیم صدها ترکیب از حالت‌های مختلف را در کم‌تر از یک روز مطالعه کرده، طرح بهینه را انتخاب نماید، از طرف دیگر به‌سادگی می‌توان تصور کرد تحقیق آزمایشگاهی مشابه نیاز به زمان زیادی خواهد داشت.

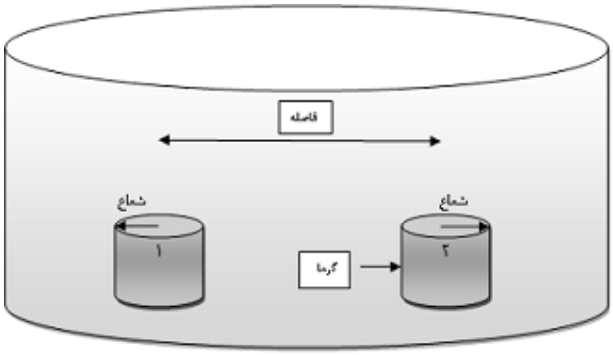
[1] Solid Flame
[2] Fire Dynamics Simulator

در تحقیقات گذشته [۶، ۷، ۹] برای محاسبه میزان آب مورد نیاز برای حفاظت تانک‌های ذخیره عمدتا از روش‌های تجربی و ساده استفاده شده است. اما با وجود نرم افزارهای مناسب مانند فلوئنت بهتر است از اعمال ساده‌سازی خودداری شده و از روش‌هایی با ساده سازی‌های کم‌تر استفاده گردد.

در این تحقیق برای محاسبات از دینامیک سیالات محاسباتی استفاده شده و نرم افزار شبیه‌ساز فلوئنت با برای حل معادلات مربوطه به کار گرفته شده‌است. مخازن مورد بررسی، دو مخزن حاوی بنزین با توجه به درصد خطر بالای این سوخت و اشتعال سریع بخارات آن دامنه کاربرد وسیع و نگهداری آن در اکثر مجتمع‌های تانک ذخیره انتخاب شده‌اند که در فواصل حفاظتی مختلف مقدار گرمای تابشی تانک مجاور محاسبه شده و با استفاده از این مقدار انرژی گرمایی، مقدار آب مورد نیاز برای حفاظت محاسبه گردیده است که این کار توسط مدل تعریف شده این نرم افزار یعنی مدل دی او انجام گرفته است.

تعریف فیزیکی مسئله

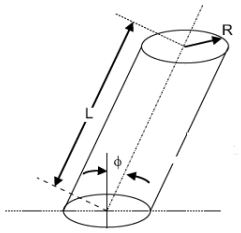
برای شبیه‌سازی عددی مساله دو تانک با سقف ثابت حاوی بنزین در ابعاد مختلف نظیر تانک‌های موجود در پتروشیمی تبریز انتخاب شده‌اند که با تغییر فاصله بین دو تانک در بازه ($۲/۵\leq X/R\leq ۶$) مطابق با شرایط مدل شعله ثابت که در شبیه سازی هندسه مسئله استفاده شده، مقدار انرژی تابشی دریافتی توسط تانک شماره ۲ محاسبه شده است. در این بررسی فضای مطالعاتی توسط میدان جریانی که شعاع آن ۵ برابر شعاع مخازن است محدود شده که شمای کلی مدل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱. الگوی کلی تانک شماره۱ (تحت آتش) و تانک شماره۲ (مجاور) با در نظر گرفتن فاصله بین آن ها

مدل درنظرگرفته‌شده برای شبیه‌سازی هندسه شعله، مدل شعله ثابت[۹،۶] می‌باشد که در این مدل شعله به شکل سطح یکنواخت استوانه‌ای که شکل و ویژگی‌های گرمایی آن با زمان تغییر نمی‌کند در نظر گرفته می‌شود که در حضور باد تحت زاویه ϕ خمیده شده و سطح مقطع دایروی به حالت بیضوی تغییر شکل می‌یابد (شکل۲). و هندسه مورد نظر توسط نرم افزارگمبیت[1] شبیه‌سازی شده‌است.

[1]Gambit 2.3.16



شکل۲. شعله استوانه‌ای خمیده شده تحت زاویه ϕ[۶]

مدل سازی ریاضی

در نرم افزار فلوئنت، دامنه وسیعی از مدل‌های ریاضی برای پدیده‌های انتقال (نظیر انتقال حرارت) و واکنش-های شیمیایی با قابلیت تعریف هر گونه هندسه سیستم، درنظر گرفته شده است. برای تمامی جریان‌ها فلوئنت معادلات بقای جرم و مومنتوم را حل می‌کند. برای جریان‌های شامل انتقال حرارت یا تراکم پذیری، معادلات بقای انرژی نیز حل می‌شود و برای حل مسایل انتقال حرارت تابشی به کاربر قابلیت استفاده از مدل‌های تابشی تعریف شده در فلوئنت را داده است.

معادلات حاکم

معادله انتقال حرارت تابشی[۱] تعریف شده در نرم افزار فلوئنت برای یک محیط جذب کننده، صادرکننده و پخشنده در موقعیت $\vec{r}$ و جهت $\vec{s}$ بصورت زیر است:

$$\frac{dI(\vec{r},\vec{s})}{ds}+(a+\sigma_s)I(\vec{r},\vec{s})=an^2\frac{\sigma T^4}{\pi}+\frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi}I(\vec{r},\vec{s}')\Phi(\vec{s},\vec{s}')d\Omega' \quad (۱)$$

مدل تابشی دی او

مدل دی او معادله انتقال تابشی در جهت $\vec{s}$ را به عنوان معادله کلی در نظر می‌گیرد که به صورت زیر است:

$$\nabla.(I(\vec{r},\vec{s})\vec{s})+(a+\sigma_s)I(\vec{r},\vec{s})=an^2\frac{\sigma T^4}{\pi}+\frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi}I(\vec{r},\vec{s}')\Phi(\vec{s},\vec{s}')d\Omega' \quad (۲)$$

فلوئنت همچنین اجازه مدل‌سازی تابش غیر خاکستری با استفاده از مدل نوار خاکستری[۲] را می‌دهد. RTE برای شدت طیفی می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\nabla.(I_\lambda(\vec{r},\vec{s})\vec{s})+(a_\lambda+\sigma_s)I(\vec{r},\vec{s})=a_\lambda n^2 I_{b\lambda}+\frac{\sigma_s}{4\pi}\int_0^{4\pi}I(\vec{r},\vec{s}')\Phi(\vec{s},\vec{s}')d\Omega' \quad (۳)$$

که λ طول موج و a_λ ضریب جذب طیفی است و $I_{b\lambda}$ شدت تابش جسم سیاه داده شده توسط تابع پلانک است. ضریب پخشندگی، تابع فازی پخشندگی، و شاخص انکساری n مستقل از طول موج فرض شده است. اجرای دی او سطوح غیر خاکستری طیف تابشی را به N نوار(باند) طیفی تقسیم می‌کند که لازم نیست پیوسته و هم‌اندازه باشد. فواصل طول موج توسط کاربر انتخاب شده و به مقادیر در خلا نسبت داده می-شود(n=1). درRTE حول فاصله هرطول موج به دست آمده از معادلات انتقال برای مقدار $\Delta\lambda I_\lambda$ انتگرال گرفته

[1] RTE (Radiative Transfer Equation)
[2] gray band

شده‌است. انرژی تابشی در محدوده طول موج $\Delta\lambda$ می‌باشد. رفتار در هر محدوده به صورت خاکستری فرض شده است.

فرضیات

شرایط در حالت اتمسفری و مطابق با شرایط جوی پتروشیمی تبریز با در نظر گرفتن سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین برابر [ساعت/کیلومتر۸] فرض شده است. حل معادلات در حالت پایا و سه بعدی می‌باشد.

شرایط مرزی

شرط مرزی تانک تحت تاثیر آتش، برای کلیه سطوح به دلیل استفاده از مدل شعله ثابت شرط دمای ثابت برابر ۱۲۴۰ کلوین که دمای شعله بنزین است و برای تانک مجاور که شار تابشی را از تانک تحت آتش سوزی دریافت می‌کند شرط مرزی تابشی می باشد و برای میدان محاسباتی شرط مرزی فارفیلد[1] استفاده گردیده است.

محاسبه مقدار آب مورد نیاز

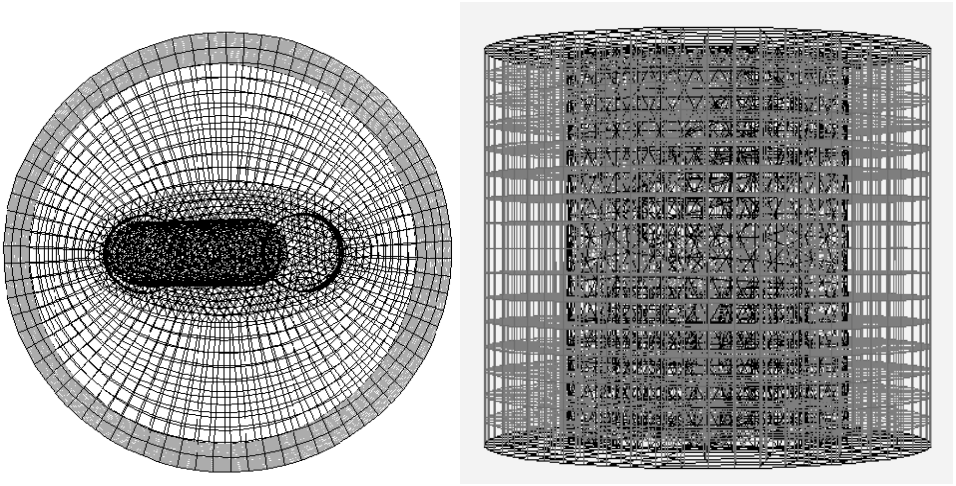
برای محاسبه مقدار آب به کار رفته از موازنه انرژی گرمای دریافتی توسط تانک مجاور و گرمای جذبی توسط آب خنک کننده استفاده می شود که رابطه به صورت زیر است:

$$qA_f = MA_w C_p \Delta T \qquad (۴)$$

آنالیز شبکه

معادلات دیفرانسیل جزئی سه بعدی پایا با در نظرگرفتن شرایط مرزی مناسب توسط روش حجم محدود[2] حل شده است. معادلات به صورت کوپل شده و با استفاده از اسکیم ضمنی و با در نظرگرفتن عدد کورانت برابر یک حل شده اند. مرتبه همگرایی در نظر گرفته شده $۱۰^{-۷}$ می‌باشد که در این حالت همگرایی مطلوبی حاصل می شود. اسکیم به کاررفته مرتبه دوم بالادست[3] می‌باشد. شرط اولیه، میانگین دمای دو تانک یعنی برابر۷۷۰ کلوین فرض شده و شرایط محیط اتمسفری در نظر گرفته شده است. شبکه به کار رفته ترکیبی از شبکه مربعی سازمان یافته و شبکه مثلثی بی سازمان بوده و اندازه فاصله[4] برابر یک در نظر گرفته شده است که با این شرایط نتایج مطلوبی حاصل می شود که تصویر شبکه به صورت زیر است.

[1] Pressure_far_field
[2] finite volume method (F.V.M)
[3] second order upwind
[4] interval size



شکل۳. فضای محاسباتی شبکه بندی شده

جهت بررسی عدم وابستگی نتایج به شبکه محاسباتی مش بندی با اندازه فواصل متفاوت برای مخازنی با ابعاد و فاصله مشخص تکرار گردیده است که نتایج حاصله در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۱. بررسی عدم وابستگی شار گرمایی و میزان آب خنک کننده به شبکه محاسباتی قطر مخزن(۳/۸m)و ارتفاع(٤/٥٦٥m)

فاصله (m)	اندازه فاصله (interval size)	شار گرمایی (kw/m^2)	میزان آب مورد نیاز با استفاده از مدل DO($kg*10^{-3}/m^2.s$)
۷/۶	۰/۹	۶/۴۱	۰/۱۶۴۴
	۱	۶/۴۴	۰/۱۶۵۰
	۱/۱	۶/۴۵	۰/۱۶۵۴
	۱/۵	۶/۴۷	۰/۱۶۵۹

بحث و نتایج

نتایج شار گرمایی تابشی و مقدار آب خنک کننده مورد نیاز با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و توسط مدل دی او تعریف شده در نرم‌افزار فلوئنت برای فواصل مختلف در بازه $۲/۵\leq x\leq ۶$ به دست آمده است و یک نمونه از نتایج در جداول ۱ ارائه شده و نتایج با میزان آب مصرفی به دست آمده از روش حل تحلیلی مقایسه گردیده است. محاسبات برای تانک‌هایی در سه قطر و ارتفاع متفاوت انجام گرفته است.

بررسی نتایج نشان می دهد ساده سازی‌های انجام گرفته در روش تحلیلی باعث اختلاف در پاسخ‌ها شده است. فرضیات اعمال شده که در روش حل تحلیلی [۹] استفاده شده است و شامل صرف نظر از حضور باد، در نظر- گرفتن قابلیت نشر شعله برابر یک و نادیده گرفتن جذب انرژی تابشی توسط اتمسفر می‌باشند منجر به

پیشگویی شار گرمایی بالاتر و میزان آب مورد نیاز متفاوتی گردیده است. هم چنین در این روش سطح ساطع کننده انرژی تابشی تنها سطح شعله منظور شده است؛ در حالی که علاوه بر سطح شعله سطح تانک تحت آتش سوزی نیز در این محاسبه می‌بایست منظور گردد. در روش دی او که در این مقاله استفاده شده است اثر باد در نظر گرفته می‌شود ولی در روش حل تحلیلی با این توجیه که جهت وزش باد قابل پیش بینی نبوده و بسته به جهت آن شار گرمایی محاسبه شده می‌تواند افزایش یا کاهش یابد از تاثیر آن صرف نظر شده است؛ در حالی که در هر منطقه و در هر فصل مشخصی از سال جهت وزش باد مشخص می‌باشد. در مناطقی که عمدتا باد خیز هستند عدم در نظر گرفتن این فرض سبب اشتباه در محاسبات می‌گردد. عدم در نظرگرفتن باد به طور عمده در مصرف آب اثر دارد و علاوه بر این مسئله مهم در بررسی ایمنی در نظرگرفتن بدترین شرایط ممکن می‌باشد؛ بنابراین استفاده از این فرض ساده کننده صحیح نیست. با به کار بردن این روش برای شرایط تبریز و ارایه نتایج در جداول نشان می دهد که نمی‌توان از روش این مرجع استفاده کرد و اصولا ساده سازی در نتایج تغییر ایجاد می کند. محاسبات باید با حداقل فرضیات ساده شونده و در نظر گرفتن نقش سطح تانک تحت آتش‌سوزی و اثر باد در محاسبه شار تابشی انجام گیرد تا نتایج با شرایط واقعی هم خوانی بیش‌تری داشته باشد.

با افزایش ۰/۲۵٪ فاصله بین دو تانک مقدار شار گرمایی و میزان آب مصرفی در مدل منبع نقطه‌ای در حالت عدم حضور باد ۰/۳۱۵٪ کاهش و در حضور باد با سرعت [ثانیه/متر۴]، ۰/۳۵٪ کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله دو تانک بدیهی است شار گرمایی دریافتی تانک مجاور کم می‌شود. در مدل شکری- بیلر با افزایش ۰/۲۵٪ فاصله بین دو تانک، شار گرمایی و آب مصرفی ۰/۳۳٪ کاهش می‌یابند که این مقدار در مدل مودان ۰/۴۸٪ می‌باشد. افزایش ۰/۲۵٪ فاصله بین دو تانک مقدار شار گرمایی و میزان آب مصرفی در مدل دی او در حالت عدم حضور باد ۰/۳۱٪ کاهش و در حضور باد با سرعت [ثانیه/متر۴]، ۰/۲۷٪ کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که تابش حرارتی باعث افزایش دمای تانک مجاور می‌شود و این افزایش دما باعث رسیدن دمای سوخت مایع به نقطه اشتعال خواهد شد لذا اختلاف دمایی که گرمای پیش بینی شده توسط روش‌های متفاوت به‌دست می-آورد برای ارزیابی مدل مهم است. حال تفاوت اختلاف دما برای این مدل‌ها بررسی می‌شود؛ به طور کلی گرما با استفاده از معادله $q=mc\Delta T$ محاسبه می‌گردد چرا که q ورودی به تانک مجاور باعث افزایش میزان گرمای ذخیره شده در جسم می‌شود. با توجه به این‌که میزان mc برای کلیه حالات ثابت است لذا ΔT متناسب با q تغییر می‌کند و این نسبت مستقیم است. بررسی داده های q در مقایسه با مدل منبع نقطه‌ای نشان می‌دهد که در اغلب موارد در هر دو حالت عدم حضور باد و در نظر گرفتن جریان باد مدل دی او شار گرمایی بیش‌تری را پیش بینی می‌کند و در نتیجه افزایش دمای پیش بینی شده در مدل دی او با توجه به جدول بالاتر از مدل منبع نقطه‌ای است. پس مدل دی او ضریب ایمنی بسیار بالاتری داردکه با توجه به حجم خسارات وارده در اثر آتش‌سوزی مخازن نفتی در صنایع پتروشیمی که در مقدمه مرور شد و ایجاد ضررهای مالی و جانی جبران ناپذیر، رعایت چنین ضریب ایمنی ضروری می‌باشد. در مقایسه مدل‌های دی‌او و منبع نقطه‌ای ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که در مدل منبع نقطه‌ای شعله به صورت یک منبع نقطه‌ای واقع در مرکز شعله واقعی در نظر گرفته می‌شود و سطح مشخصی ندارد در حالی‌که در شبیه سازی شعله در مدل

دی‌او از مدل شعله ثابت استفاده می‌گردد که سطح شعله مشخص است و این سطح در محاسبه مقدار آب خنک کننده می‌بایست منظور گردد که در مدل منبع نقطه‌ای درنظر گرفته نشده است. هم چنین برای محاسبات در مدل منبع نقطه‌ای نیاز به کدنویسی است ولی مدل دی او در نرم افزار فلوئنت تعریف شده است که کاربردش را راحت‌تر می‌کند. مدل سازی‌های مودان و شکری- بیلر برای حالتی که باد حضور دارد کاربرد ندارند ولی از آنجایی که تاثیر جریان باد در محاسبه شار گرمایی و در نتیجه مقدار آب خنک کننده مورد نیاز قابل چشم پوشی نیست این امر استفاده از این دو مدل را با توجه به شرایط جوی متفاوت موجود محدود می-کند. فرضیات اعمال شده در هر یک از مدل‌هایی که بررسی گردید سبب تفاوت در نتایج به دست آمده شده است؛ در مدل شعله ثابت به کار رفته در روش حل تحلیلی، هندسه شعله با استفاده از مدل شعله ثابت به صورت یک استوانه یکنواخت در نظر گرفته شده است و برای مدل‌سازی از روابط تجربی استفاده گردیده است. هم چنین این مدل x را فاصله محیط جانبی دو تانک در نظر می گیرد. در نظر گرفتن قابلیت نشر شعله برابر یک و نادیده گرفتن جذب انرژی تابشی توسط اتمسفر از فرضیات دیگر استفاده شده در این روش می-باشند. اثر باد با توجیه این‌که جهت وزش باد قابل پیش بینی نیست و بر اساس جهت آن که ممکن است به طرف تانک آتش گرفته یا در جهت عکس باشد منجر به افزایش یا کاهش حرارت می شود، در نظر گرفته نشده است که فرض نادرستی است. هم چنین در مقاله اشاره شده که صرف نظر از تاثیر باد به صورت حالت میانگین کاهش و افزایش انتقال حرارت در نظر گرفته می‌شود در حالی که در مهندسی ایمنی آتش، بدترین شرایط برای طراحی ایمنی در نظر گرفته می‌شود. مدل منبع نقطه‌ای، ساده ترین مدل است که آتش را به صورت یک منبع نقطه‌ای واقع در مرکز شعله واقعی در نظر می گیرد. و از آنجایی که سطح مشخصی برای شعله در نظر گرفته نمی‌شود در محاسبات آب خنک کننده نیز منظور نمی‌گردد. هم چنین استفاده از این مدل برای فواصل دور توصیه نمی‌شود. در مدل منبع نقطه‌ای اصلاح شده، اثر باد به کمک روابط تجربی در نظر گرفته شده است. روابط ارائه شده در مدل مودان با توجه به داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده‌اند. شعله به صورت یک جسم سیاه استوانه‌ای و تابنده همگن با قدرت صدور متوسط در نظر گرفته شده است. مدل شکری- بیلر اصلاح شده مدل مودان با برخی از فرضیات ساده شونده آن می‌باشد. در هیچ یک از این مدل ها اثر باد در نظر گرفته نشده است.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌سازی دقیق تر و بدون ساده سازی در تعیین میزان آب مصرفی در خنک کردن تانک‌های مجاور آتش بسیار اهمیت دارد و این با توجه به شرایط محیطی قابل تغییر است. لذا استفاده از محاسبات ساده مانند روش حل تحلیلی با ساده سازی قابل تردید است و همچنین فرضیات مدل-های منبع نقطه‌ای، مودان و شکری- بیلر نیز تامل برانگیز هستند. بر خلاف نظر کارهای گذشته نمی‌توان یک مقدار ثابت برای همه حالت ها ارائه داد و با توجه به نوع سوخت، شرایط محیطی، سرعت و جهت باد و سایر موارد باید طراحی صورت پذیرد؛ لذا استفاده از نرم افزار توصیه می شود تا نتایج قابل قبول تری کسب گردد.

جدول۲. شار گرمایی و آب مورد نیاز تانک مجاور در حضور باد با سرعت(km/hr)۸، مدل DO و روش تحلیلی، قطر مخزن(۳/۸m)

ارتفاع مخزن(m)	شعاع/فاصله	فاصله (m)	شار گرمایی (kw/m^2)	میزان آب مورد نیاز با استفاده از مدل DO ($kg*10^{-3}/m^2.s$)	میزان آب مورد نیاز به روش تحلیلی($kg*10^{-3}/m^2.s$)
۳/۵	۲/۵	۴/۷۵	۱۱/۰۲	۰/۳۵۱	۰/۴۰۷
	۳	۵/۷	۹/۰۹	۰/۲۸۷	۰/۳۳۴
	۴	۷/۶	۶/۳۴	۰/۲۰۳	۰/۲۳۸
	۵	۹/۵	۴/۸۷	۰/۱۵۶	۰/۱۷۳
	۶	۱۱/۴	۴/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۳۲
۴/۵۶۵	۲/۵	۴/۷۵	۱۱/۲۵	۰/۲۸۸	۰/۳۲۳
	۳	۵/۷	۹/۱۷	۰/۲۳۵	۰/۲۶۵
	۴	۷/۶	۶/۴۴	۰/۱۶۵	۰/۱۸۸
	۵	۹/۵	۴/۹۹	۰/۱۲۸	۰/۱۳۷
	۶	۱۱/۴	۴/۱	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵
۶/۳۶۵	۲/۵	۴/۷۵	۱۱/۳۷	۰/۲۲۹	۰/۲۴
	۳	۵/۷	۹/۳۳	۰/۱۸۹	۰/۱۹۷
	۴	۷/۶	۶/۶۱	۰/۱۳۲	۰/۱۴
	۵	۹/۵	۵/۰۹	۰/۱۰۱	۰/۱۰۲
	۶	۱۱/۴	۴/۲۳	۰/۰۸۴	۰/۰۷۸

جدول۳. مقایسه مقادیر شار گرمایی و آب خنک کننده مدل دی او با مدل‌های منبع نقطه‌ای، شکری- بیلر و مودان (تانک به قطر ۱۰ متر و ارتفاع ۷ متر)

شعاع/فاصله	فاصله (m)	مدلDO بدون حضور باد		مدل DO (v=۴m/s)		مدل مودان بدون حضور باد [۷]		مدل شکری- بیلر بدون حضور باد [۷]		مدل منبع نقطه- ای بدون حضور باد [۷]		مدل منبع نقطه- ای (v=۴m/s)[۷]	
		آب	گرما	آب	گرما	آب	گرما	آب	گرما	آب	گرما	آب	گرما
۲/۵	۱۲/۵	۰/۳۵۵	۱۲/۰۶	۰/۳۸۷	۱۲/۶۲	۰/۱۴۱۱۲	۱۶/۳	۰/۱۳۸۵	۱۶	۰/۰۸۸	۱۰/۲	۰/۱۲۱۲	۱۴
۳	۱۵	۰/۲۹۹	۱۰/۱۵	۰/۳۲۷	۱۰/۶۴۷	۰/۱۰۰۴	۱۱/۶	۰/۱۰۳۸۹	۱۲	۰/۰۷۹۶	۹/۲	۰/۰۸۶۵	۱۰
۴	۲۰	۰/۲۰۶	۷	۰/۲۳۸	۷/۷۵	۰/۰۵۱۹	۶	۰/۰۶۹۲	۸	۰/۰۵۴۵	۶/۳	۰/۰۵۶۳	۶/۵
۵	۲۵	۰/۱۴۸	۵/۰۲۷	۰/۱۷۹۸	۵/۸۵	۰/۰۳۱۱۶	۳/۶	۰/۰۴۸	۵/۶	۰/۰۴۱۵	۴/۸	۰/۰۴۴	۵/۱
۶	۳۰	۰/۱۱۴۹	۳/۹	۰/۱۳۸۸	۴/۵۲	۰/۰۲۸۸	۳/۳۳	۰/۰۳۴۶	۴	۰/۰۳۱۳	۳/۶۲	۰/۰۳۲۴	۳/۷۵

در مقالات به میزان آب حداقل اشاره شده است که در مهندسی ایمنی با توجه به حجم بالای خطر در تانکهای ذخیره نفتی مهار آتش اهمیت بیش‌تری دارد. نتایج به دست آمده از مدل دی او نرم افزار فلوئنت با توجه به ساده سازی‌های کم‌تر این مدل نسبت به سایر مدل‌ها بهتر بوده و استفاده از این مدل پیشنهاد می-گردد. تحقیق نویسندگان نشان می دهد نیاز به بازنگری در استانداردهای موجود احساس می شود و برای ایمنی بیش‌تر بهتر است از ماکزیمم مقدار پیشنهادی آب مصرفی در استانداردها یا نتایج به دست آمده، استفاده شود.

فهرست علائم و نشانه‌ها

a	Absorption coefficient
A	Area (m^2)
A_f	Area of flame (m^2)
A_w	Surface area over which water is flowing (m^2)
C_P	Heat capacity at constant pressure(J/kg-K)
I	Radiant intensity energy per area of emitting surface per unit solid angle
m	Mass(kg)
M	Molecular weight(kg/kmol)
n	Refractive index
q	Heat flux(W/m^2)
$\vec{r}$	Position vector
R	Radius(m)
s	Path length
$\vec{s}$	Direction vector
$\vec{s}'$	Scattering direction vector
T	Temperature(K)
Δ	Change in variable, final-initial
V	Velocity(m/s,km/hr)
λ	Wavelength(m,nm,$\dot{A}$)
σ	Stefan-Boltzman constant($5.67*10^{-8}$ W/m^2-K^4)
σ_s	Scattering Cofficient(m^{-1})
ϕ	Tilted angle(°)
Φ	Phase function
Ω'	Solid angle

منابع

1.N.C. Markatos, C. Christolis, C. Argyropoulos, Mathematical modeling of toxic pollutants dispersion from large tank fires and assessment of acute effects for firefighters, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52,2009, pp. 4021–4030.
2.Yu.N. Shebeko, I.A. Bolodian, V.P. Molchanov, Yu.I. Deshevih, D.M. Gordienko, I.M. Smolin, D.S. Kirillov, 'Fire and explosion risk assessment for large-scale oil export terminal,Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 20, 2007, pp. 651–658.

3.C. Crippa, L. Fiorentini, V. Rossini, R. Stefanelli, S. Tafaro, M. Marchi, Fire risk management system for safe operation of large atmospheric storage tanks, Journal ofLoss Prevention in the Process Industries,22 ,2009, pp. 574–581.
4.C.D. Argyropoulos, M.N. Christolis, Z. Nivolianitou, N.C. Markatos, A hazards assessment methodology for large liquid hydrocarbon fuel tanks, Journal of LossPrevention in the Process Industries,25 ,2012, pp. 329-335.
5.James I. Changa, Cheng-Chung Lin, A study of storage tank accidents, Journal ofLossPrevention in the Process Industries, 19, 2006, pp. 51–59.
6.Marco Fossa, Francesco Devia, A model for radiation evaluation and cooling system design in case of fire in tank farms, Fire Safety Journal 43, 2008, pp. 42–49.
7.AnganSengupta, A.K. Gupta, I.M. Mishra,Engineering layout of fuel tanks in a tank farm,Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24 ,2011, pp. 568-574.
8.Luis A.Godoy, JeanC.Batista-Abreu, Buckling of fixed-roof aboveground oil storage tanks under heat induced by an external fire, Thin-Walled Structures, 52, 2012, pp. 90-101.
9.Nitesh Jain, J.P. Gupta, Water requirement in tank farm fire, Journal of Petroleum Science and Engineering 55, 2007, pp. 167–173.
10.Cheng-I Lina, Hui-Fang Wang, Research on Safety and Security Distance of Flammable Liquid Storage Tank, Procedia Engineering, 11 , 2011, pp. 51–60.